


**ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ**

P. 3352/82



GÓRNICTWO

**Z. 121
GLIWICE
1982**



POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 733

ZENON SZCZEPANIAK

**PODPORNOŚĆ SEGMENTOWEJ OBUDOWY
ŻELBETOWEJ ORAZ JEJ WPŁYW
NA STATECZNOŚĆ WYROBISK
UDOSTĘPNIAJĄCYCH
NA DUŻYCH GŁĘBOKOŚCIACH**

OPINIODAWCY

Prof. zw. dr inż. Józef Adam Ledwoń
Prof. dr hab inż. Kazimierz Podgórski

KOLEGIUM REDAKCYJNE

Wiesław Gabzdyl (redaktor naczelny), Mirosław Chudek (redaktor działu),
Elżbieta Stinzing (sekretarz redakcji)

OPRACOWANIE REDAKCYJNE

Eugenia Mandrak

Wydano za zgodą

Rektora Politechniki Śląskiej

PL ISSN 0372-9508

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej
ul. Kujańska 3, 44-100 Gliwice

Nakł 250+85 Ark. wyd. 12 Ark. druk. 11,25 Papier drukowy kl. V, 70x100, 70 g
Oddane do druku 2.07.1982 Podpis. do druku 2.08.1982 Druk ukończ. w sierpniu 1982
Zamówienie 667/82 B-24 Cena zł 120,-

Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

P. 301/82

SPIS TREŚCI

	Str.
1. WSTĘP	5
2. ANALIZA PRZYDATNOŚCI STOSOWANYCH OBUDÓW W PODZIEMNYCH WYROBISKACH UDOSTĘPNIAJĄCYCH - DLA WARUNKÓW DEFORMACYJNYCH CIŚNIEŃ GÓROTWORU	7
3. KONSTRUKCJE SEGMENTOWYCH OBUDÓW ŻELBETOWYCH STOSOWANE DOTYCHCZAS W KOPALNIACH KRAJOWYCH I ZAGRANICZNYCH	10
4. DOTYCHCZASOWE BADANIA OBUDOWY Z SEGMENTÓW ŻELBETOWYCH	13
5. TEZA I CEL PRACY ORAZ JEJ ZAKRES I ZAŁOŻENIA	15
6. STATECZNOŚĆ PODZIEMNYCH WYROBISK KAPITAŁNYCH Z UWZGLĘDNIENIEM PODPORNOŚCI OBUDÓW I ICH WSPÓŁPRACY Z GÓROTWOREM	18
6.1. Stateczność wyrobiska przy różnych kierunkach przemieszczeń deformujących się skał	18
6.2. Stateczność wyrobiska o kształcie kołowym w otoczeniu skał stanowiących układ sprężysto-plastyczny i wywierających wszechstronne ciśnienie na jego obudowę	37
6.3. Stateczność wyrobiska w kształcie kołowym w otoczeniu skał spękanych przy wszechstronnym ich ciśnieniu na wykonaną w nim obudowę	39
6.4. Uzasadnienie celowości stosowania segmentowej obudowy żelbetowej w warunkach deformacyjnego ciśnienia górotworu ..	41
7. KONSTRUKCJA SEGMENTOWEJ OBUDOWY ŻELBETOWEJ	44
8. BADANIA LABORATORYJNE SEGMENTOWEJ OBUDOWY ŻELBETOWEJ	50
8.1. Badania wytrzymałościowe betonu i stali zbrojeniowej	50
8.2. Konstrukcja stoisk do badań segmentowej obudowy żelbetowej	52
8.3. Metody badań oraz sposoby pomiarów przemieszczeń i odkształceń obudowy	57
8.4. Badania pierścieni 5-segmentowej obudowy żelbetowej	61
8.5. Badania pierścieni 6-segmentowej obudowy żelbetowej	85
8.6. Badania segmentów indywidualnych	92
8.7. Badania materiałów i elementów upodabniających segmentową obudowę żelbetową	103
9. BADANIA NA MODELACH STATECZNOŚCI SKAŁ W OTOCZENIU UDOSTĘPNIAJĄCYCH WYROBISK KORYTARZOWYCH	108
10. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ	110

	Str.
11. OBLICZANIE PARAMETRÓW TECHNICZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH SEGMENTOWEJ OBUDOWY ŻELBETOWEJ	117
11.1. Obliczenia wstępne segmentowej obudowy żelbetowej	117
11.2. Obliczenia sprawdzające podporność całego pierścienia obudowy z uwzględnieniem odporu sprężystego górotworu	132
11.3. Obliczanie podporności obudowy przy bezpośrednim wykorzystaniu wyników uzyskanych z badań segmentów indywidualnych i wykonanych z nich pierścieni	139
12. PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE SEGMENTÓW ŻELBETOWYCH O DUŻYCH GABARYTACH W WARUNKACH DOŁOWYCH	147
13. ANALIZA PRAKTYCZNEJ PRZYDATNOŚCI SEGMENTOWEJ OBUDOWY ŻELBETOWEJ DLA WARUNKÓW DEFORMACYJNYCH CIŚNIEŃ GÓROTWORU	154
14. PROPOZYCJE WIELOSEGMENTOWYCH I STALOWYCH KONSTRUKCJI OBUDÓW O WYSOKIEJ PODPORNOŚCI	160
14.1. Obudowa wielosegmentowa	160
14.2. Stalowa obudowa ramowa	162
15. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE	170
LITERATURA	175

Str.

1. WSTĘP

Udostępnienie złóż węgla i innych kopalin użytecznych na dużych głębokościach powoduje wzrost trudności związanych z długotrwałym utrzymaniem podziemnych wyrobisk udostępniających i komorowych przy jak najmniejszej ilości ich przebudów. Zachowanie stateczności określonej konstrukcji obudowy i otaczających ją skał jest zagadnieniem bardzo ważnym dla każdego wyrobiska górniczego, a zwłaszcza w odniesieniu do górniczych wyrobisk kapitalnych, których ciągła i pełna funkcjonalność powinna być zachowana przez wymagany długotrwały okres ich eksploatacji.

Warunki naturalne i górniczo-techniczne, jak coraz większa głębokość poziomów wydobywczych i związane z nią duże naprężenia pierwotne, fizyczne własności skał oraz ich tektonika, wielkość i kształty przekrojów poprzecznych wyrobisk, technika ich wykonywania, rodzaj stosowanej obudowy oraz sposób jej współpracy z górotworem - stwarzają często wokół nich sytuacje geotechniczne, przy których powstają niekorzystne obszary naprężeniowo-deformacyjne. W górotworze pozostającym w ich zasięgu wytwarza się stan naprężenia, przy którym przekraczana jest doraźna wytrzymałość otaczających dane wyrobisko skał nie tylko na rozciąganie i ścinanie ale również na ściskanie. Duże naprężenia są przyczyną niszczenia struktury skał i ich wyciskania w kierunku obudowy, co powoduje wywieranie na nią tzw. deformacyjnego ciśnienia górotworu.

Analiza różnych konstrukcji obudów kapitalnych wyrobisk górniczych, a zwłaszcza udostępniających wyrobisk korytarzowych wskazuje, że ciśnieniu deformacyjnemu mogą przeciwstawić się obudowy z prefabrykowanych elementów żelbetowych, charakteryzujące się przy każdej konfiguracji ich obciążenia dużą zadaną podpornością i określoną podatnością. Stąd głównym celem pracy jest przedstawienie sposobów projektowania, konstruowania i metodyki badań, tzw. segmentowej obudowy żelbetowej, z uwzględnieniem jej oddziaływania na otaczające ją skały przy różnych przewidywanych kierunkach i wielkościach wywieranego na nią ciśnienia od strony deformującego się górotworu.

Końcowy jej rozdział obejmuje dalsze kierunki badań i celowość praktycznego stosowania innych konstrukcji obudów projektowanych z prefabrykatów żelbetowych i wzmocnionych odrzwi stalowych dostosowanych do warunków deformacyjnego ciśnienia górotworu.

Praca nawiązuje do realizowanych w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni - rozwiązań teoretycznych oraz badań laboratoryjnych i dołowych stateczności górniczych wyrobisk korytarzowych.

Poczuwam się do miłego obowiązku podziękowania wszystkim współpracownikom, którzy służyli pomocą przy prowadzeniu bardzo pracochłonnych i złożonych badań laboratoryjnych oraz pomiarów dołowych segmentowej obudowy żelbetowej.

2. ANALIZA PRZYDATNOŚCI STOSOWANYCH OBUDÓW W PODZIEMNYCH WYROBISKACH UDOSTĘPIAJĄCYCH DLA WARUNKÓW DEFORMACYJNYCH CIŚNIEŃ GÓROTWORU

Konstrukcje obudów stosowanych w wyrobiskach kapitalnych w warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu powinny spełniać wymagania, w skład których wchodzi:

- zadana wysoka podporność i określona podatność obudowy przy zapewnieniu planowanej jej odkształcalności w każdym miejscu możliwych deformacji skał od strony wyłomu wyrobiska,
- owalny i zamknięty kształt umożliwiający przejmowanie przez obudowę dużego aktywnego ciśnienia górotworu z każdego kierunku,
- dokładne powiązanie z obrysem wyłomu wyrobiska - zapewniające prawidłową współpracę obudowy z górotworem przy pełnym wykorzystaniu maksymalnej jej podporności oraz własnej wytrzymałości otaczających ją skał,
- wykonawstwo obudowy bezpośrednio za przodkiem wyrobiska i szybkie nawiązanie pełnej jej współpracy z górotworem już po wystąpieniu początkowych niedużych jego deformacji, co ma szczególne znaczenie przy bardzo słabych skałach i działaniu na nie ciśnienia deformacyjnego w sąsiedztwie przodku wyrobiska, w krótkim odstępie czasowym od chwili urobienia skał na długości danego zaboru,
- odporność na korozję i zachowanie wymaganej długotrwałości obudowy oraz w pełni funkcjonalnego wyrobiska bez konieczności wykonywania kosztownych, pracochłonnych i często niebezpiecznych przebudów,
- mała grubość elementów konstrukcyjnych obudowy, przez co ogranicza się wielkość przekroju poprzecznego wyrobiska w wyłomie przy zachowaniu wymaganej jego wielkości użytecznej,
- uzyskiwanie dostatecznie dużych postępów przodku drążonego wyrobiska przy możliwie najmniejszych kosztach jego wykonawstwa i eksploatacji z uwzględnieniem zachowania wszystkich wymogów w zakresie bhp.

Wykonywane dotychczas w udostępniających wyrobiskach górniczych stalowe obudowy odrzwiowe - charakteryzują się wymaganą podatnością ale zbyt małą podpornością roboczą, niedostateczną do wytworzenia warunków właściwej współpracy obudowy z otaczającymi ją skałami przy deformacyjnym ciśnieniu górotworu.

W celu podwyższenia podporności obudowy z odrzwi stalowych i poprawy charakterystyki jej pracy podjęto szereg działań, wśród których należy wymienić:

- wprowadzanie nowego rodzaju stali ulepszonej cieplnie, charakteryzującej się wysoką odpornością na powstawanie kruchych pęknięć i na starzenie, dobrymi parametrami wytrzymałościowymi - wyższymi o 50% w stosunku do materiałów dotychczas stosowanych,
- zastosowanie nowych kształtów profili korytkowych o dużej wytrzymałości na zginanie i ułatwiających prawidłową pracę złączy łuków obudowy; produkuje się profile o znacznych wielkościach, jak V-25, V-29, V-36 i V-44,
- dobór nowych konstrukcji zamków umożliwiających wywieranie dużego wzajemnego docisku łuków na złączach i osiągnięcie w nich wymaganej wielkości siły tarcia. Zamki mają możliwość przemieszczania się przy dużym ciśnieniu górotworu razem z łukami obudowy, co umożliwia osiągnięcie względnie korzystnej charakterystyki jej pracy.
- zaprojektowanie i wykonanie nowych akcesorii do obudów stalowych, jak okładziny, rozpory, stopy podporowe - przystosowanych do przenoszenia dużych ciśnień górotworu.
- wprowadzenie nowych, znormalizowanych kształtów obudów, jak np.: obudowy ŁPN-V25, ŁPP-V25, ŁPS-V25, ZOKP-V25.

Wymienione usprawnienia nie zezwalają jednak na uzyskanie podporności obudowy stalowej o wartości większej od 400 kN/m^2 , przy zagęszczeniu odrzwi około 0,5 m. Szerokie stosowanie stalowych obudów odrzwiowych powodowane jest łatwością ich wykonywania, co pozwala na uzyskiwanie dużych postępów przodku wyrobiska.

Stosowane w coraz rzadszych przypadkach obudowy murowe z cegły, betonitów i betonu charakteryzują się małą odpornością na ciśnienie deformacyjne, jak również trudnym i pracochłonnym wykonawstwem.

Obudowy mieszane, najczęściej stalowo-murowe (stropnice szynowe i proste mury ociosowe), przenoszą duże ciśnienia pionowe i znajdują zastosowanie głównie na skrzyżowaniach, przy mocnych ociosach i słabych skałach stropowych.

Prawidłowo wykonane obudowy żelbetowe monolityczne posiadają dużą podporność ale minimalną podatność. Ich stosowanie w warunkach dołowych jest utrudnione ze względu na kłopotliwe wykonywanie zbrojenia i konieczność stosowania odpowiedniej konstrukcji odeskowania. Niedogodność stosowania odeskowań została zlikwidowana przez wprowadzenie do budownictwa górniczego obudów powłokowych, wykonywanych na bazie betonu netryskowego.

Obudowy stalowo-betonowe i kotwilo-betonowo-stalowe charakteryzują się wysoką podpornością i dość dobrą współpracą z górotworem. Znalazły szerokie zastosowanie w polskim budownictwie górniczym i aktualnie są jedynymi bardziej upowszechnionymi w praktyce konstrukcjami, zdolnymi przeciwstawić się ciśnieniom deformacyjnym w określonych warunkach górniczo-geologicznych. Wadami obudów powłokowych przy ich stosowaniu są dość duże trudności technologiczne podczas drążenia wyrobiska, zwłaszcza w przypadku tendencji skał spęgowych do intensywnego wyciskania i konieczności wykonawstwa zamkniętej obudowy. Ponadto obudowy te (oraz wszystkie obudowy

betonowe lub żelbetowe) uzyskują projektowaną końcową podporność po dłuższym okresie czasu wiązania i dojrzewania betonu, co ogranicza ich stosowanie w warunkach występowania deformacyjnego ciśnienia górotworu w sąsiedztwie przodku wyrobiska, tj. przed osiągnięciem przez beton wymaganej (końcowej) jego wytrzymałości.

Za granicę bardzo duże zastosowanie znalazły (w warunkach dużych ciśnień górotworu) obudowy prefabrykowane, do których należy zaliczyć: zamknięte obudowy z betonitów klinowych, obudowy z tubingów i z segmentów żelbetowych.

W warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu najskuteczniejszą w zakresie zachowania stateczności wyrobiska jest segmentowa obudowa żelbetowa. Spełnia ona wszystkie podstawowe wymogi stawiane konstrukcjom obudów przystosowanych do kapitalnych wyrobisk górniczych, wykonywanych na dużych głębokościach, w skałach o małej wytrzymałości. Segmenty żelbetowe, przy takiej samej wytrzymałości jak tubingi, są łatwiejsze w produkcji i prostsze jest technologia ich układania w pierścienie obudowy. Względem obudowy z betonitów klinowych - obudowa z segmentów żelbetowych ma możliwość przejmowania od strony górotworu większych obciążeń lokalnych dzięki odpowiedniemu uzdatnieniu jej konstrukcji przez zbrojenie - do przenoszenia dużych momentów zginających.

Przedstawiona w pracy technologia praktycznego stosowania obudowy segmentowej pozwala na minimalne odsłonięcie obrysu wyłomu wyrobiska przy długości zabioru od 35-70 cm. Rozwiązanie takie ogranicza deformacje odsłoniętych skał, np. ich kominowanie w otoczeniu stref uskokowych oraz intensywne wyciskanie w każdym niekorzystnych warunkach budowy geologicznej górotworu.

Ujemną stroną segmentowej obudowy żelbetowej jest dość skomplikowana technologia układania segmentów w pełne pierścienie obudowy, wymagające stosowania specjalnego sprzętu i wyposażenia przodku wykonywanego wyrobiska. Stąd w końcowym rozdziale pracy podaje się nową konstrukcję wzmocnionej obudowy odrzwiowej, tzw. ramową obudowę stalową. Można ją stosować (bez odrębnego dla niej wyposażenia przodku wyrobiska) w tych miejscach wykonywanych i przebudowywanych podziemnych wyrobisk kapitalnych narażonych na deformacyjne ciśnienie górotworu, w których względy górnicze i techniczno-technologiczne nie pozwalają na stosowanie segmentowej obudowy żelbetowej.

3. KONSTRUKCJE SEGMENTOWYCH OBUDÓW ŻELBETOWYCH
STOSOWANE DOTYCHCZAS W KOPALNIACH KRAJOWYCH I ZAGRANICZNYCH

Segmentowe obudowy żelbetowe znane pod nazwą obudów panelowych stosowane są od kilku lat w górnictwie CSSR, Belgii, ZSRR, RFN oraz - eksperymentalnie - w Polsce [1, 3, 15, 17, 21, 23, 38] - tablica 3.1. Wykonuje się je głównie w przekopach w warunkach występowania dużych ciśnień górotworu, gdzie stosowane dotychczas stalowe obudowy odrzwiowe ulegały silnym deformacjom, co wymagało prowadzenia stałych przebudów wyrobisk.

Przedstawione w tablicy 3.1 obudowy charakteryzują się kształtem owalnym - najczęściej kołowym zamkniętym, wykonanym z różnej ilości segmentów:

- 4 segmenty - CSSR, RFN i PRL [1, 3, 14 15],
- 4-5 segmentów - Belgia [38],
- 6 segmentów - Zagłębie Thibuli (ZSRR), kop. Zapadnaja [23],
- 8 segmentów - obudowa BK-60 stosowana w Zagłębiu Donieckim (ZSRR) [17],
- 9 segmentów - CSSR [37].

Wyrobiska wykonywane z zastosowaniem w nich wymienionych rodzajów obudów mają mały użyteczny przekrój poprzeczny, w granicach 4,1-11,5 m². Większymi przekrojami charakteryzują się wyrobiska z obudową owalną otwartą, wykonaną z tubingów żelbetowych w kopalniach ZSRR (tablica 3.1).

Segmenty żelbetowe dla obudów panelowych produkowane są z betonu o wytrzymałości od 20-80 MPa i ułożonego w nim zbrojenia z prętów stalowych oraz strzemion - najczęściej 4 pręty usytuowane przy bocznych płaszczyznach segmentów.

Między końcówkami poszczególnych segmentów - układanych w pierścienie obudowy - stosuje się:

- przy segmentach czeskosłowackich zaprawę cementową lub wkładki podatne z linexu,
- przy segmentach belgijskich, niemieckich i polskich wkładki podatne z linexu (płytki październikowe) lub z drewna.
- zabudowywane segmenty względnie tubingi w kopalniach Związku Radzieckiego łączy się na styk lub w sposób przegubowy za pomocą butów stalowych wypełnionych materiałem podatnym, np. trocinami.

Wszystkie stosowane rodzaje obudów z segmentów żelbetowych łączy się dokładnie z obrysem wyłomu wyrobiska podsadzką utwardzoną wykonaną na bazie spoiwa anhydrytowego lub cementowego. Najlepsze efekty w zakresie wykonywania wyrobisk z obudową segmentową (panelową) zostały osiągnięte w

Tablica 3.1

Rodzaje stosowanych obudów prefabrykowanych w udostępniających wyrobiskach korytarzowych

Lp.	Kopalnia (kraj)	Rodzaj obudowy	Prze-krój uży-teczny m ²	Sebaryty elementów obudowy			Wy-trzyma-łość be-tonu MPa	Zbrojenie		Rodzaj i gru-bość wkładki podatnej mię-dzy elemen-tami obudowy
				Gru-bość mm	Dłu-gość mm	Szere-kość mm		Ciężar kN	Główne szt./mm	
1	Beringen (Belgia)	zamknięta, kołowa 4,5 segmentowa	11,5	200	3187	320	80	4x ϕ 12	ϕ 5 l _s 110	wkładka po-datna z li-nexu, grubo-ści 2 cm
2	Zolder (Belgia)	zamknięta, kołowa 6-segmentowa	11,5	200	2390	320	80	4x ϕ 18	ϕ 6 l _s 200	wkładka po-datna z li-nexu grubo-ści 2 cm
3	Zapadnaja 2 (ZSRR)	zamknięta, kołowa 6-segmentowa	7,3	80	1770	300	20	4x ϕ 8	ϕ 5 l _s 200	but podatny z trocinami
4	Hlubine (CSSR)	zamknięta, kołowa, 4- lub 9-segmentowa	8,4 9,6	140 160	3110 1450	310 490	30 30	4x ϕ 8 4x ϕ 8	ϕ 6 l _s 72 ϕ 6 l _s 100	zaprawa ce-mentowa lub wkładka po-datna z li-nexu, gr. 2 cm
5	Mitterberg (RFN)	zamknięta, kołowa 4-segmentowa	4,1	160	2078	315	60	4x ϕ 10	ϕ 5 l _s 150	wkładki drem-niane grubo-ści 2 cm
6	Jaworzno (PRL)	zamknięta, kołowa 4-segmentowa	7,3	160	2873	240	25	4x ϕ 14	ϕ 4,5 l _s 120	wkładki drem-niane grubo-ści 5 cm
7	Zagłębie kuzbańskie (ZSRR)	GTK - otwarta 6-9 tubingów	8-28 (9 typ. - rozm.)	1300 ⁺ 2220	80	750	30	brak danych	brak danych	bez wkładek podatnych
8	Zagł. don. 1 pecz. (ZSRR)	KTAG - otwarta 5-7 tubingów	7,4-17	1400 ⁺ 1600	60	1000	30	brak danych	brak danych	bez wkładek podatnych
9	Zagł. don. 1 pecz. (ZSRR)	KTAM - otwarta 5-7 tubingów	6,5-16,7	1400 ⁺ 1600	60	1000	30	brak danych	brak danych	bez wkładek podatnych

Belgii w kopalni "Zolder" [20, 21, 22, 38]. Uzyskiwano w niej postępy przodków 4 mb/dobę, przy obsadzie 4 robotników pracujących na trzy zmiany.

W Polsce przewidziano do stosowania trzy podstawowe typy obudowy segmentowej [14, 15]:

- P-350 - pierścień o średnicy 3500 mm złożony z 4 segmentów,
- P-430 - 7 segmentów w pierścieniu o średnicy 4300 mm,
- P-490 - 5 segmentów łukowych w stropie i w ociosach oraz dwa proste spągowe.

Praktyczne zastosowanie znalazła jedynie obudowa typu P-350 w KWK "Ja-worzno", gdzie w r. 1972 wykonano ją w przekopie na odcinku o długości 150 m. Obudowa ta może być stosowana w wyrobiskach o małej wielkości użytkowej przekrojów poprzecznych. Posiada zbyt małą podporność w stosunku do wymogów stawianych obudowom przystosowanym do warunków deformacyjnego ciśnienia górotworu. Wszystkie dotychczasowe wyrobiska z wykonaną w nich segmentową obudową żelbetową charakteryzują się niewystarczającą wielkością użyteczną w stosunku do wymogów stawianych udostępniającym wyrobiskom korytarzowym na dużych głębokościach w górnictwie krajowym.

W związku z tym zaistniała potrzeba opracowania nowych konstrukcji obudów i przeprowadzenia ich szczegółowych badań pod względem wytrzymałościowym, z uwzględnieniem zachowania przez nie odpowiednich wymogów w zakresie współpracy z górotworem.

4. DOTYCHCZASOWE BADANIA OBUDOWY Z SEGMENTÓW ŻELBETOWYCH

Podporność konstrukcji prefabrykowanych obudów żelbetowych najdokładniej określają badania realizowane w skali naturalnej 1:1. Dotychczas najbardziej kompleksowe badania w tym zakresie przeprowadzono w Belgii [19, 20, 21, 22].

Badania wykonywano w specjalnie skonstruowanym stoisku, w którym obudowę obciążano dwoma zespołami siłowników hydraulicznych, umieszczonych w otoczeniu łuku stropowego i spągowego. Siłowniki były rozpierane o stalowe belki oporowe przykottwione do betonowego fundamentu w miejscu zastawienia stoiska badawczego. Pierścień segmentowej obudowy żelbetowej znajdował się w ramie wykonanej z belek stalowych, o którą był dokładnie rozparty za pomocą klocków i klinów wykonanych z drewna dębowego.

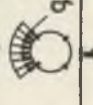
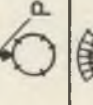
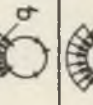
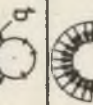
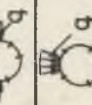
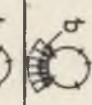
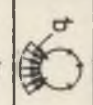

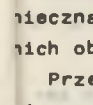
Prowadzone badania miały głównie na celu określenie wytrzymałości obudowy przy zmianie jej parametrów technicznych i zasięgu obciążenia badanych pierścieni wzdłuż ich obwodu. Uzyskane w czasie badań wyniki przedstawiono w tabelicy 4.1.

W kraju prowadzono jedynie badania modelowe [14, 15] obudowy cztero-segmentowej o średnicy wewnętrznej 2200 mm, przy grubości segmentów 100 mm i szerokości 300 mm. Konstrukcja stoisk badawczych stosowanych w laboratoriach belgijskich i krajowych nie pozwalała na uzyskanie kompleksowych badań w zakresie podporności i odkształcalności pierścieni z segmentów żelbetowych, z uwzględnieniem pełnego rozkładu akcyjnego i reakcyjnego ich obciążenia w sposób odzwierciedlający współpracę obudowy z górotworem.

Nie prowadzono również badań segmentów indywidualnych wg dość prostej metody zastosowanej w niniejszej pracy, których wyniki można wykorzystać do ustalania podporności całego pierścienia obudowy.

Tablica 4.1

Dotychczasowe badania obudów z segmentów żelbetowych (Belgia)

Lp.	Sposób obciążenia badanej obudowy	Średnica wewnętrznej obudowy mm	Ilość segmentów szt.	Szerokość pierścienia mm	Grubość pierścienia mm	Zbrojenie		Rodzaj i grubość włókna upadającego mm	Wytrzymałość betonu MPa	Obciążenie nieznaczne obudowy MN/m ²	Przenieszenie obudowy względem padkowej obciążenia	
						Główna	Strzemiona				l mm	mm
1		3700	4	310	140	4 φ 8	φ 6 1 ₉ 72	Linex 20	73,5	1,29	-80	+10
2		4200	4,5	320	200	4 φ 12	φ 5 1 ₉ 110	Linex 20	80,0	0,50 MN	-110	+10
3		4200	4,5	320	200	4 φ 12	φ 5 1 ₉ 110	Linex 20	80,0	1,62	-60	+20
4		4200	4,5	320	200	4 φ 12	φ 5 1 ₉ 110	Linex 20	80,0	1,89	-110	+20
5		4200	4,5	320	200	4 φ 12	φ 5 1 ₉ 110	Linex 20	80,0	2,65	-65	+15
6		4200	4,5	320	300	6 φ 12	φ 5 1 ₉ 110	Linex 20	90,2	3,70	-100	+28
7		4200	4,5	320	300	6 φ 20	φ 5 1 ₉ 110	Linex 20	90,2	3,65	-100	+30
8		4200	4,5	320	300	6 φ 20	φ 5 1 ₉ 110	Linex 40	90,2	3,01	-120	+35
9		4200	6	300	200	4 φ 12	φ 5 1 ₉ 110	Linex 20	80,0	2,73	-100	+30

5. TEZA I CEL PRACY ORAZ JEJ ZAKRES I ZAŁOŻENIA

Obudowa kapitalnych wyrobisk podziemnych oraz otaczające ją skały tworzą ściśle powiązany układ, w którym ich wzajemna prawidłowa współpraca może zapewnić nawet przy dużym ciśnieniu górotworu - pełną funkcjonalność każdego wyrobiska przez wymagany okres jego eksploatacji, bez konieczności wykonywania uciążliwych pod każdym względem przebudów. Występowanie na dużych głębokościach niekorzystnych stref naprężeniowych wokół istniejących i wykonywanych kapitalnych wyrobisk górniczych jest często przyczyną deformacyjnego ciśnienia górotworu na wykonaną w nich obudowę.

Ciśnieniu deformacyjnemu skał w wyrobiskach podziemnych przeznaczonych do długotrwałego użytkowania może skutecznie przeciwstawić się segmentowa obudowa żelbetowa, charakteryzująca się konstrukcją umożliwiającą jej dostosowanie w zakresie podporności i podatności oraz pod względem techniczno-technologicznym do różnych warunków górniczo-geologicznych.

Powyższe stwierdzenie zostanie udowodnione na drodze badawczo-teoretycznej. Głównym zadaniem przyjętym do rozwiązania w pracy było sprawdzenie za pomocą badań laboratoryjnych i dołowych podporności i podatności określonej konstrukcji segmentowej obudowy żelbetowej przy różnych sposobach i wielkościach jej obciążenia. Wyniki badań laboratoryjnych wykorzystano do sprawdzenia wzorów opracowanych w rozdziale 11 - stanowiących podstawę do projektowania obudowy, z uwzględnieniem takiego jej oddziaływania na otaczające ją skały, przy którym uzyskuje się zachowanie wymaganej stateczności wyrobiska.

Przeanalizowano również spostrzeżenia i wyniki uzyskane z obserwacji i pomiarów dołowych eksperymentalnie wdrożonej segmentowej obudowy żelbetowej w KWK "Borynia". Badania dołowe posłużyły do opracowania i przedstawienia wytycznych wskazujących na jej przydatność tak pod względem wytrzymałościowym jak i techniczno-technologicznym oraz ekonomicznym dla tych wszystkich kapitalnych wyrobisk podziemnych, których lokalizacja jest konieczna w górotworze wywierającym ciśnienia deformacyjne na wykonaną w nich obudowę.

Przeprowadzone w pracy badania i opracowania teoretyczne dotyczą głównie segmentowej obudowy żelbetowej o kształcie kołowym. Ich wyniki można również przenieść na inne konstrukcje obudów z segmentów żelbetowych, jak np. obudowa o kształcie owalnym przedstawiona na rys. 7.4.

Przy realizacji postawionego w pracy zadania przyjęto następujące założenia:

1. Obudowa posiada kształt kołowy lub owalny zamknięty, co pozwala jej przejmować ciśnienia z dowolnego kierunku od strony deformujących się skał.
2. Minimalna podporność robocza obudowy przy niekorzystnym jednokierunkowym jej obciążeniu wzdłuż łuku o rozpiętości określonej przez kąt środkowy około 70° - nie może być mniejsze niż 1 MPa, a jej podatność $0,10 \pm 0,12$ m. Parametry takie powinny umożliwić uzyskanie prawidłowej współpracy obudowy z deformującym się górotworem.
3. Średnica wewnętrzna pierścienia obudowy posiada wielkość nie mniejszą od 4,6 m, co gwarantuje otrzymanie wymaganego użytecznego przekroju poprzecznego wyrobiska o wielkości odpowiadającej odrzwiom łP8 i łP9.
4. Ciężar segmentów musi być dostosowany do udźwigu manipulatora, a ich maksymalne gabaryty do możliwości transportowych w wyrobiskach górniczych.
5. Beton zastosowany do produkcji segmentów powinien posiadać możliwie najwyższą klasę, celem uzyskania wymaganej dużej ich wytrzymałości i podporności wykonanej z nich obudowy, przy minimalnej ilości stali zbrojeniowej.
6. Konstrukcja segmentów powinna zapewniać łatwe i bezpieczne ich układanie w pierścieniu obudowy w bezpośrednim sąsiedztwie przodku wyrobiska.
7. Poszczególne pierścienie należy dokładnie wiązać z obrysem wyłomu wyrobiska za pomocą utwardzanej podsadzki.
8. Materiał podsadzkowy musi charakteryzować się krótkim okresem wiązania (około 30 min.) celem uzyskania przez obudowę wymaganej podporności w możliwie najkrótszym czasie od chwili jej wykonania w przodku wyrobiska.
9. W przypadku występowania w danym odcinku drążonego wyrobiska wzmożonego ciśnienia deformacyjnego i ograniczonej możliwości zastosowania segmentowej obudowy żelbetowej, np. z powodu braku odpowiednich segmentów lub urządzeń do ich układania, istnieje możliwość wykonania innej konstrukcji obudowy, np. tzw. obudowy ramowej z odrzwi stalowych o regulowanej podporności - dostosowywanej do aktualnych warunków górniczo-geologicznych.
10. Skały mogą wywierać na obudowę ciśnienie deformacyjne wszechstronne, względnie w jednym lub w kilku kierunkach, zależnie od budowy geologicznej górotworu, miejsca lokalizacji wyrobiska oraz jego kształtu i wielkości przekroju.

Zagadnienie ciśnień deformacyjnych zostało w pracy przedstawione w zakresie niezbędnym do uzasadnienia możliwości zachowania stateczności kapitalnych wyrobisk górniczych w warunkach dużego ciśnienia górotworu przy uwzględnieniu odpowiedniej jego współpracy z konstrukcją segmentowej obudowy żelbetowej lub innej, o dostatecznie dużej podporności i podatności.

Problem oddziaływania ciśnienia deformacyjnego na obudowę kapitalnych wyrobisk górniczych w różnych warunkach górniczo-geologicznych będzie

przedmiotem kolejnych wszechstronnych i szczegółowych badań objętych pracami naukowymi prowadzonymi w Instytucie. Istnieje również potrzeba dalszego kontynuowania badań nad nowymi konstrukcjami obudów wyrobisk kapitalnych - dostosowanych do deformacyjnych ciśnień górotworu i charakteryzujących się możliwie najłatwiejszym ich wykonawstwem w każdych warunkach górniczo-geologicznych.

6. STATECZNOŚĆ PODZIEMNYCH WYROBISK KAPITALNYCH
Z UWZGLĘDNIENIEM PODPORNOŚCI OBUDÓW I ICH WSPÓŁPRACY Z GÓROTWOREM

6.1. Stateczność wyrobiska przy różnych kierunkach przemieszczeń deformujących się skał

Wielkość naprężeń w skałach otaczających kapitalne wyrobiska podziemne zależy w dużym stopniu od wartości naprężeń pierwotnych p_z i p_x , jakie występują w górotworze na danej głębokości.

Ich wielkość (bez uwzględnienia wpływu budowy tektonicznej górotworu) można wyliczyć znanymi wzorami 6.1 i 6.1a

$$p_z = \rho \cdot g \cdot H = \gamma \cdot H \tag{6.1}$$

$$p_x = p_y = \frac{\gamma \cdot H}{m-1} = \frac{p_z}{m-1} \tag{6.1a}$$

gdzie:

- H - głębokość lokalizacji wyrobiska,
- $m = \frac{1}{\nu}$ - odwrotność współczynnika Poissona (liczba Poissona) dla danego rodzaju skał,
- γ - ciężar objętościowy skał,
- ρ - gęstość skał,
- g - przyspieszenie ziemskie.

Ciężar skał zalegających nad maksymalną szerokością kapitalnego wyrobiska korytarzowego lub komorowego przekazywany jest na górotwór w otoczeniu ociosu wyrobiska, co powoduje wystąpienie w nim tzw. naprężeń dodatkowych σ_{cdod} , sumujących się z pierwotnymi p_z .

W przypadku podziemnych wyrobisk udostępniających lub komorowych pozostających poza zasięgiem wpływów eksploatacji górniczej - wielkość wymienionego ściążaru słupa skał nad wyrobiskiem - przejmowanego przez górotwór w otoczeniu jednego ociosu, ustala się z zależności 6.2.

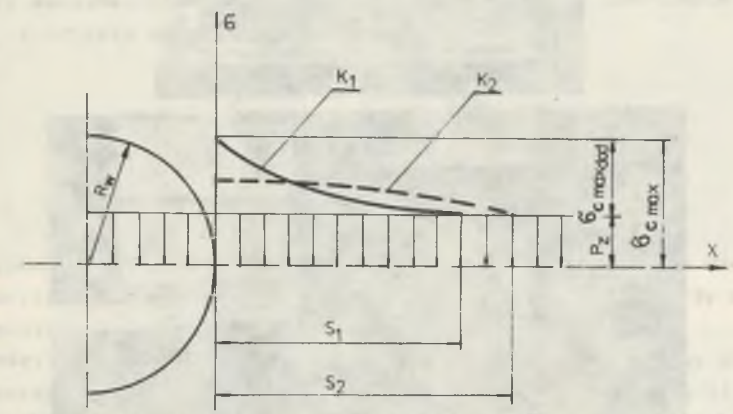
$$Q = 0,5 l_w \cdot \gamma \cdot H_1 \tag{6.2}$$

gdzie:

- l_w - maksymalna szerokość wyrobiska w wyłomie,
- H_1 - głębokość zalegania wyrobiska względem powierzchni ziemi lub układu warstw skalnych charakteryzujących się dużą sztywnością. War-

stwy sztywne przejmują ciężar skał zalegających nad nimi w pasie określonym szerokością wyrobiska i przekazują go na warstwy niższe wzdłuż drogi o znacznym zasięgu. Stąd przyrost naprężeń pod warstwami sztywnymi w stosunku do wielkości naprężeń pierwotnych jest nieduży i praktycznie, przy rozpatrywaniu stateczności wyrobiska, nie zachodzi potrzeba jego uwzględnienia.

Do obliczeń można przyjąć (na podstawie dokonanych analiz budowy geologicznej górotworu głębokich kopalń), że układ warstw sztywnych usytuowany jest nie wyżej niż 150-200 m nad projektowanym wyrobiskiem, tzn. $H_1 \leq 200$ m.



Rys. 6.1. Naprężenia pierwotne p_z i dodatkowe σ_{cdod} w skałach otaczających ociosy wyrobiska na wysokości określonej przez maksymalną jego szerokość

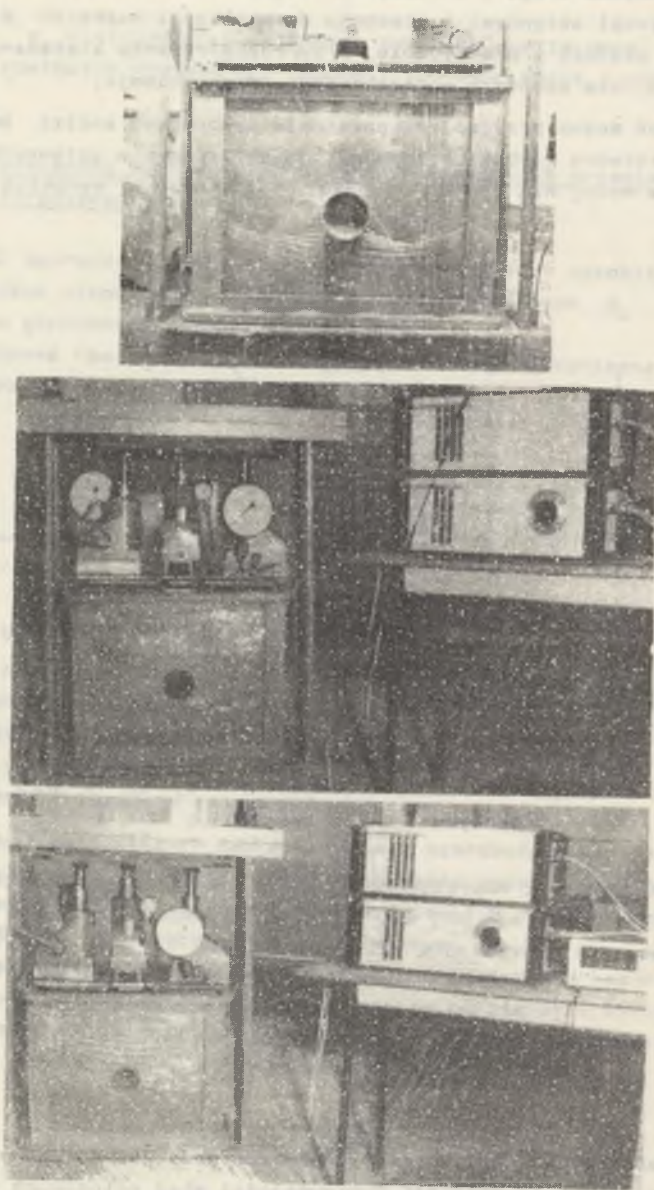
$k_1 - \sigma_{cdod}$ w zwięzłych skałach ociosowych $f > 4$, $k_2 - \sigma_{cdod}$ w skałach ociosowych o małej zwięzłości $f < 3$

Maksymalną wielkość naprężeń dodatkowych $\sigma_{cmax\ dod}$ w ociosach wyrobiska (rys. 6.1) można (wg [16, 49, 50] oraz na podstawie badań laboratoryjnych - rys. 6.2) określić z zależności 6.3

$$Q = \int_0^s \sigma_{cmax\ dod} \left[1 - \left(\frac{x}{s} \right)^{\frac{n+a}{2}} \right] dx \tag{6.3}$$

gdzie:

- n, a - współczynnik koncentracji naprężeń dodatkowych o wielkościach zależnych od doraźnej wytrzymałości skał ociosowych na ściskanie (n określa się za pomocą wzoru 6.4d, $0 \leq a \leq 1$ dla skał o $R_c > 45 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ i $a \approx 1$ dla skał o $R_c < 45 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$)



Rys. 6.2. Badania na modelach określających odkształcenie skał oraz występowanie w nich wielkości i rozkładu naprężeń w otoczeniu wyrobiska o kształcie kołowym

s - zasięg naprężeń $\sigma_{c\text{dod}}$ względem ociosów wyrobiska, określony za pomocą wzoru (6.4c),

x - współrzędna miejsca naprężeń $\sigma_{c\text{dod}}$ na drodze s.

Z zależności (6.3), po przeprowadzeniu całkowania otrzymuje się wzór (6.3a)

$$Q = \sigma_{c\text{ max dod}} \cdot \frac{(n+a) \cdot s}{n+a+2} \quad (6.3a)$$

Ze wzoru (6.3a) oblicza się przy znanych wielkościach a, n, s wielkość $\sigma_{c\text{ max dod}}$, którą w dalszym ciągu wykorzystuje się w zależności (6.4) do określania maksymalnej wielkości ściskających naprężeń obwodowych $\sigma_t\text{ max} = \sigma_c\text{ max}$ w ociosie wyrobiska

$$\sigma_{c\text{ max dod}} = \frac{Q(n+a+2)}{(n+a)s} \quad (6.3b)$$

$$\sigma_t\text{ max} = p_z + \sigma_{c\text{ max dod}} = p_z + \frac{Q \cdot (n+a+2)}{(n+a)s} \quad (6.4)$$

W przypadku występowania wpływów eksploatacji górniczej na dane wyrobisko - wartość naprężeń $\sigma_t\text{ max}$ ustalonych wzorem (6.4) należy odpowiednio powiększyć.

Wielkości s i n występujące w zależności (6.4) ustala się za pomocą badań laboratoryjnych (prowadzonych na modelach - rys. 6.2 i 6.3) obrazujących wielkość i rozkład naprężeń oraz zachowanie się różnych rodzajów zamodelowanych skał w otoczeniu wykonanych w nich wyrobisk.

Z przeprowadzonych badań wynika, że przybliżone wielkości s i n można obliczyć eksperymentalnymi wzorami (6.4a) i (6.4b)

$$s = \psi_1 \cdot \varphi \cdot \frac{p_z}{R_c} \cdot \frac{l_w}{2}, \quad (6.4a)$$

$$n = \psi_2 \cdot \frac{450}{R_c}, \quad (6.4b)$$

gdzie:

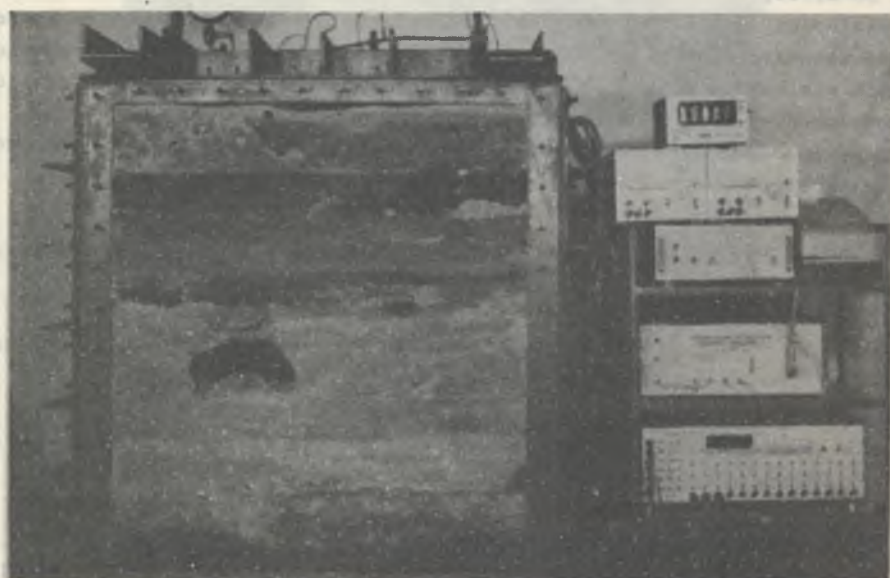
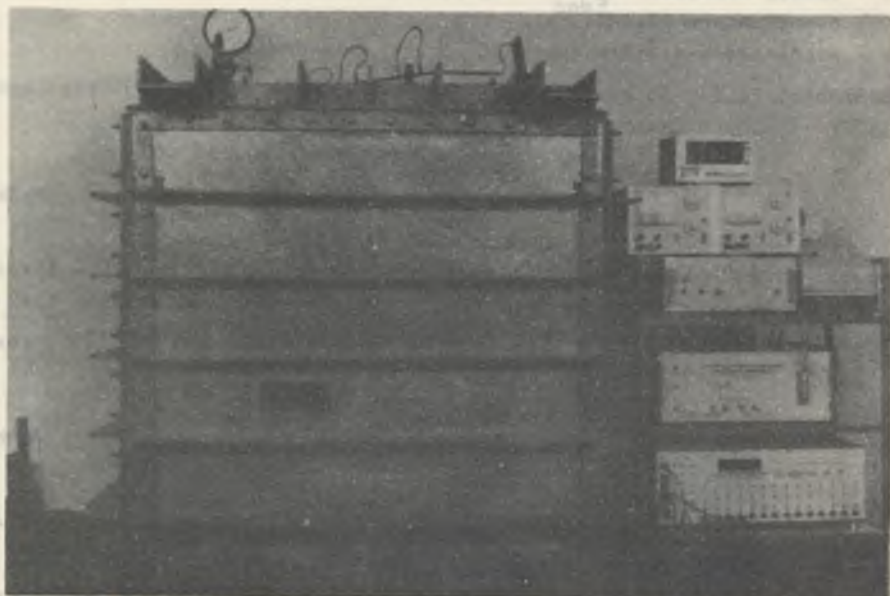
s - zasięg naprężeń dodatkowych w skałach otaczających ociosy wyrobiska,

R_c - doraźna wytrzymałość na ściskanie skał w ociosach wyrobiska,

l_w - maksymalna szerokość wyrobiska,

φ - współczynnik zasięgu występowania naprężeń dodatkowych zależny od rodzaju skał otaczających wyrobisko.

Wartość φ zwiększa się w skałach zwiezłych i tak dla skał o $R_c \geq 4,5 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$, wielkość φ dąży do 6,0 - natomiast w skałach mniej zwiezłych o



Rys. 6.3. Badania na modelach obrazujące zachowanie się skał oraz występowanie w nich wielkości i rozkładu naprężeń w otoczeniu wyrobiska o kształcie prostokątnym



Rys. 6.3a. Deformacje skał jednorodnych i uwarstwionych w otoczeniu dwóch wyrobisk prostokątnych przedzielonych wąskim filarem oporowym

o $R_c < 4,5 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ - przyjmuje wartość 4÷6. W przypadku skał o wartości $R_c: 4,6 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 \geq R_c \geq 1,0 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ wielkość φ przyjmuje wartości pośrednie: $4 \leq \varphi \leq 6$

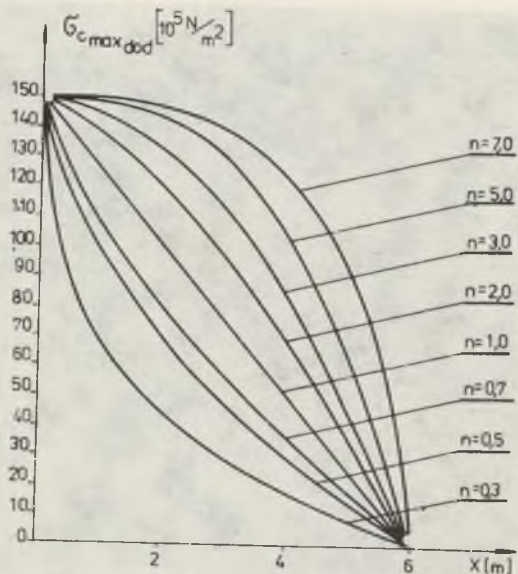
liczba 450 - w zależności (6.4b) odpowiada doraźnej wytrzymałości skał na ściskanie równej $45 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ (450 kg/cm^2).

ψ_1, ψ_2 - współczynniki określające zasięg oraz wielkość i rozkład bocznych naprężeń dodatkowych w zależności od wysokości wyrobiska W_w , jego szerokości l_w oraz od wielkości ich wzajemnego stosunku.

Z przeprowadzonych badań laboratoryjnych wynika (rys. 6.2, 6.3, i 6.3a), że przy spełnieniu warunku $W_w < l_w < 2 W_w$ (co w przypadku kopalnych wyrobisk górniczych najczęściej zachodzi) kształt wyrobiska nie ma większego wpływu na wielkość i zasięg naprężeń dodatkowych $\sigma_{c \text{ dod}}$ w ociosach wyrobiska i współczynniki $\psi_{1,2}$ w przybliżeniu przyjmują wartość równą 1 ($\psi_{1,2} \approx 1$). Stąd wielkości s i n można określić z zależności (6.4c i 6.4d):

$$s = \frac{\varphi \cdot p_z \cdot l_w}{2 R_c} \quad (6.4c)$$

$$n \approx \frac{45 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}{R_c} \quad (6.4d)$$



Rys. 6.4. Kształtowanie się naprężeń dodatkowych w ociosach wyrobiska korytarzowego, w zależności od wartości współczynnika n przy założonych wielkościach a, s i $\sigma_{c \text{ max dod}}$

Wpływ współczynnika n na kształtowanie się naprężeń dodatkowych obrazuje rys. 6.4. Jeżeli w otoczeniu danego wyrobiska występują warstwy o różnej wytrzymałości, wówczas wielkości s i n na kontakcie dwóch warstw należy ustalić przy uwzględnieniu warstwy skalnej o mniejszej doraźnej jej wytrzymałości na ściskanie (R_p).

Według prof. A. Sałustowicza [39] maksymalną wielkość ściskających naprężeń obwodowych w skałach otaczających ociosy wyrobiska o kształcie owalnym można określić za pomocą zależności (6.5)

$$\sigma_{t \text{ max}} = (p_z + p_x) \cdot \frac{m}{m-2} \quad (6.5)$$

Zależność (6.5) odnosi się do wyrobiska wykonanego w skałach jednorodnych o kształcie owalnym zbliżonym do elipsy, w której wartość stosunku pionowej i poziomej półosi (a i b) określa wzór (6.5a)

$$\frac{a}{b} \leq \frac{m-2}{2} \quad (6.5a)$$

Wzór (6.5) może być, z pewnym przybliżeniem, stosowany dla wszystkich wyrobisk typu korytarzowego lub komorowego, o dowolnym kształcie, w którym stosunek jego wysokości do maksymalnej szerokości spełnia zależność (6.5a). Według [39] w wyrobisku eliptycznym o stosunku półosi (a, b) - określonym zależnością (6.6) - na całym jego obwodzie występują naprężenia ściskające a ich wielkość ustala się za pomocą wzoru (6.6a):

$$\frac{a}{b} = \frac{p_z}{p_x} = m-1, \quad (6.6)$$

$$\sigma_{t \text{ max}} = p_z + p_x \quad (6.6a)$$

W praktyce, wyrobiska komorowe lub udostępniające korytarzowe mogą być wykonywane w górotworze, w którym naprężenia pierwotne spełniają warunek $p_z \geq p_x$, a gabaryty wyrobiska w wyłomie o kształcie owalnym lub prostokątnym wyrażają zależność (6.7)

$$m_1 > \frac{h_w}{0,5 l_w} > \frac{m-2}{2}; \quad \frac{h_w}{0,5 l_w} \approx \frac{a}{b} \quad (6.7)$$

gdzie:

$0,5 l_w$ - połowa maksymalnej szerokości wyrobiska,

h_w - wysokość wyrobiska nad miejscem maksymalnej jego szerokości.

W wyrobisku o gabarytach spełniających zależność (6.7) wielkość naprężeń obwodowych $\sigma_{t \text{ max}}$ można obliczyć wg [39] wzorem (6.7a)

$$\sigma_{t \text{ max}} = p_z \left(1 + 2 \frac{b}{a}\right) - p_x \approx p_z \left(1 + \frac{1}{m}\right) - p_x \quad (6.7a)$$

W przypadku wyrobiska wykonanego o kształcie kołowym, na głębokości którego naprężenia pierwotne p_z i p_x pod względem swojej wielkości różnią się w niewielkim stopniu - można przyjąć wg [39], że na całym obwodzie jego wyłomu występują jednoimienne naprężenia ściskające, a ich wielkość oblicza się wg wzoru (6.7b)

$$\sigma_{t \max} = p_z + p_x \approx 2 p_z. \quad (6.7b)$$

W zależnościach (6.5), (6.7a) i (6.7b) wartości $\sigma_{t \max}$ wypadają zbyt duże, gdyż nie uwzględnia się w nich oddziaływania sztywnych warstw wspornikowych zalegających powyżej danego wyrobiska na wielkość naprężeń w otaczających go skałach.

Z [39] oraz z przeprowadzonych badań laboratoryjnych (rys. 6.2 i 6.3) wynika, że obwodowe naprężenia ściskające mają decydujący wpływ na stateczność skał-otaczających wyrobiska korytarzowe.

Jeżeli naprężenia ściskające $\sigma_{c \max}$ przekroczą na obwodzie wyłomu wyrobiska w którymkolwiek miejscu wielkość doraźnej wytrzymałości skały na ściskanie (R_c), wówczas wystąpi w nich strefa skał odprężonych a wyrobisko może ulegać zaciskaniu.

Celem wyeliminowania lub ograniczenia zaciskania wyrobiska należy zastosować odpowiednie przeciwdziałanie poszerzeniu się, w jego otoczeniu, strefy skał odprężonych.

Wymagany stan równowagi w zakresie stateczności wyrobiska można osiągnąć przez zmuszenie otaczających skał do pracy w warunkach trójkierunkowego stanu naprężenia, przy zachowaniu takiego stosunku wielkości głównych naprężeń ściskających, przy którym dalsze niszczenie pierwotnej struktury skał i poszerzanie się w nich strefy odprężonej nie będzie zachodzić.

Celem opracowania powyższego zagadnienia należy w pierwszej kolejności ustalić obliczeniowy sposób określania wielkości następujących naprężeń ściskających w skałach otaczających ociosy wyrobiska:

- maksymalne naprężenia obwodowe ($\sigma_{t \max} = \sigma_{c \max} = \sigma_{z \max}$) w przybliżeniu prostopadłe do kierunku pokrywającego się z największą szerokością wyrobiska,
- wielkość naprężeń równoległych do podłużnej osi wyrobiska (σ_y),
- wielkość naprężeń prostopadłych do wewnętrznego obwodu strefy skał nieodprężonych (σ_r), które są wynikiem reakcyjnego oddziaływania obudowy i skał odprężonych na skały nieodprężone.

Wielkość naprężeń σ_r w pierwszym etapie współpracy obudowy z górotworem (w czasie kształtowania się w jej otoczeniu obszaru skał odprężonych) można przyjąć jako równą dopuszczalnemu naciskowi (q_0) odprężających się skał na obudowę i oznaczyć przez $\sigma_r = q_0$. Po powstaniu strefy skał odprężonych wielkość σ_r równa się sumarycznemu oddziaływaniu obudowy i

skał odprężonych na skały nieodprężone wzdłuż obwodu rozgraniczającego obydwie strefy.

Na podstawie przeprowadzonych badań (rys. 6.2 i 6.3) przyjmuje się, że deformacja głównie skał ociosowych może mieć miejsce w tym przypadku, gdy ich doraźna wytrzymałość na ściskanie (R_c) nie jest większa od wytrzymałości skał w stropie i w spęgu wyrobiska.

Celem sprawdzenia, czy dane wyrobisko będzie ulegało większemu zaciskaniu od strony skał ociosowych - należy wymienione wielkości naprężeń $\sigma_{t \max}$, σ_y i σ_r powiązać ze sobą, przy zastosowaniu odpowiedniej hipotezy traktującej o wyłączeniu materiału w warunkach trójkierunkowego stanu naprężenia.

W przypadku gdy odprężające się skały nie ulegają spękanu, a przechodzą w fazę plastyczną, wówczas można wykorzystać zależność podaną przez prof. Sałustowicza [39], której spełnienie ogranicza poszerzanie się strefy odprężonej

$$\sigma_{t \max} - \sigma_r < \frac{4k}{\sqrt{3}}, \quad (6.8)$$

gdzie:

2 k - granica plastyczności skały przy ściskaniu; $\sigma_{t \max} = \sigma_{c \max}$ w skałach ociosowych (wzór 6.4) w miejscu maksymalnej szerokości wyrobiska.

Najczęściej skały przy naprężeniach zbliżonych do granicznej ich wytrzymałości na ściskanie zachowują się jak materiał kruchy i przechodzą w strefę skał spękanych. W tym przypadku stateczność skał ociosowych można sprawdzić przy wykorzystaniu hipotezy de Saint Venanta lub kryterium niszczenia Coulomba.

Według hipotezy de Saint Venanta [2, 39] stateczność ociosów określa spełnienie zależności (6.9)

$$\sigma_{t \max} - \varphi(\sigma_y + \sigma_r) < R_c, \quad (6.9)$$

gdzie:

R_c - doraźna wytrzymałość skały na ściskanie w najsłabszej warstwie zalegającej w ociosach wyrobiska,

$$\sigma_y \approx \varphi(R_c + \sigma_r) \quad (6.9a)$$

lub można przyjąć, że σ_y posiada wartość nie mniejszą od określonej wzorem (6.1a).

Ogólna postać wzoru Coulomba przy uwzględnieniu naprężeń głównych $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ wyraża się zależnością (6.10)

$$\sigma_1 = a + b\sigma_3 \quad (6.10)$$

gdzie:

- $a = R_c$ - doraźna wytrzymałość skały na ściskanie,
- b - współczynnik, którego wartość zależy od rodzaju materiału (w przypadku skał - głównie od ich składu mineralogicznego, tekstury i struktury oraz porowatości i zawilgocenia). Najczęściej większej wartości a odpowiada większa wartość b ($b \approx R_c/R_r$),
- R_r - doraźna wytrzymałość skały na rozciąganie.

Wielkość współczynnika b dla niektórych rodzajów skał (między innymi i karbońskich) podano wg zestawienia dr M. Kwaśniewskiego w tablicy 6.1.

Tablica 6.1

Wielkość współczynnika b we wzorze Coulomba dla niektórych rodzajów skał

Rodzaj skały	Wartość liczby b	Rodzaj skały	Wartość liczby b
Piaskowce	4-9	Wapień miękki	3-5
Iłowce	2-5	Wapień twardy	9-11
Mułowce	2-6	Dolomit	6-10
Węgiel kamienny	2-3	Sól kamienna	3-4

Wzór oparty o kryterium zniszczenia Coulomba - określający stateczność skał ociosowych - wyraża się zależnością (6.10a)

$$\sigma_t \max \leq R_c + b \cdot \sigma_r \quad (6.10a)$$

Wzory (6.8) (w przypadku skał plastycznych) i (6.9) lub (6.10) (w przypadku skał kruchych) pozwalają określić wymaganą wielkość wywieranego nacisku σ_r (obudowy i przylegających do niej skał odprężonych) na górotwór nieodprężony, przy której nie będzie występowało dalsze niszczenie pierwotnej struktury budujących go skał. Wartość σ_r obejmuje oddziaływanie obudowy (równe jej podporności roboczej) i skał odprężonych na wewnętrzną powierzchnię strefy skał nieodprężonych. Wartość σ_r należy więc odpowiednio uwzględnić przy projektowaniu konstrukcji obudowy o podporności roboczej q_0 i podatności u , które to wielkości zdecydują o zachowaniu stateczności wyrobiska bez nadmiernego jego zaciskania.

Podatność obudowy można określić wg zależności (6.12a), (6.13), (6.14) i (6.15) oraz wzoru (6.16). Spośród wymienionych zależności (6.8), (6.9) i (6.10) wzory (6.10) i (6.10a) nie uwzględniają wpływu naprężeń σ_2 na graniczną wytrzymałość skał R_{cu} w warunkach trójkierunkowego stanu naprężenia.

Przeprowadzone doświadczenia na modelach (rys. 6.5) wykazują, że wpływ wielkości naprężeń σ_2 na doraźną wytrzymałość skał na ściskanie R_{cu} w warunkach trójkierunkowego stanu naprężenia jest znaczny i ich pominięcie zaniża parametry wytrzymałościowe skał otaczających wyrobisko, a tym samym obliczeniowo nie uwzględnia się pełnego wpływu podporności obudowy na stateczność wyrobisk.

Przy znanej wielkości ściskających naprężeń obwodowych $\sigma_t \max$ i R_{cu} (z uwzględnieniem σ_2 i σ_3 lub tylko σ_3) w skałach otaczających wyrobisko - ich stateczność można sprawdzić wg zależności (6.11)

$$\sigma_t \max \leq R_{cu} \quad (6.11)$$

Wartość R_{cu} dla różnych rodzajów skał oraz wartości $\sigma_3 = \sigma_r$ i $\sigma_2 = \sigma_y$ można przedstawić graficznie lub w ujęciu tabelarycznym.

Przedstawione zagadnienie wymaga odrębnego, szerokiego opracowania. Z badań wykonanych w pracy (rys. 6.5 i 6.6) wynika, że np. zamodelowana skała o $R_c = 10^6 \text{ N/m}^2$ posiada następujące wartości R_{cu} :

$$R_{cu} = 13 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \text{ przy } \sigma_2 = 5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \text{ i } \sigma_3 = 0 \text{ oraz}$$

$$R_{cu} = 17 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \text{ przy } \sigma_2 = \sigma_3 = 5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2.$$

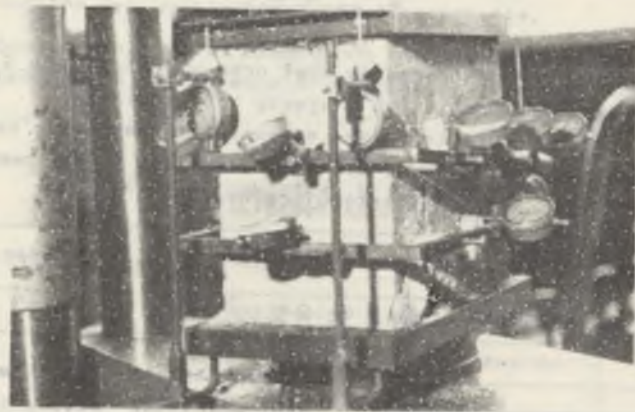
Potwierdzona badaniami laboratoryjnymi możliwość uzyskania w tym samym rodzaju skały i przy tej samej wartości σ_r - większej wielkości R_{cu} , jeżeli jest zachowana dostatecznie duża wielkość naprężenia $\sigma_2 = \sigma_y$, ujawnia dodatkową zaletę segmentowej obudowy żelbetowej. Obudowa ta wykonana w ślad za postępem przodku nie zezwala na znaczniejsze odprężenie się skał do chwili jej wykonania, co umożliwia zachowanie wielkości σ_y (w obzaryze skał zachowujących pierwotną strukturę) o wartości zbliżonej do określonej wg zależności (6.1a).

Jeżeli przy danej podporności obudowy ($\sigma_r = q_0$) odpowiednie zależności dotyczące skał plastycznych i kruchych (6.8), (6.9), (6.10a) lub (6.11) nie są spełnione, wówczas należy przeanalizować możliwość wykonania mocniejszej konstrukcji obudowy spełniającej



Rys. 6.5. Stanowisko badawcze z urządzeniem (zawierającym model górotworu) przystosowanym do badań zamodelowanych skał w warunkach trójosiowego i płaskiego stanu naprężenia

jącej jeden z wymienionych poprzednio wzorów. Zwiększanie podporności obudowy jest ograniczone względami technicznymi i ekonomicznymi. Stąd prawidłowa konstrukcja obudowy, dostosowana do warunków deformacyjnego ciśnienia górotworu, powinna charakteryzować się dostatecznie dużą podpornością i określoną zadana podatnością. Podatność obudowy musi umożliwiać powstanie strefy skał odprężonych o takim zasięgu, przy którym wielkość naprężeń σ_r - na granicy stref skał odprężonych i nieodprężonych powoduje spełnienie wymienionych poprzednio zależności (6.8), (6.9) względnie (6.10a) lub (6.11).



Rys. 6.6. Badany model górotworu w warunkach jednoosiowego stanu naprężenia

W przypadku słabych skał ociosowych ($\sigma_{t \max} > R_c$) i występowania od ich strony ciśnienia deformacyjnego - zasięg w nich strefy odprężonej można wyliczyć z warunku ustalenia odpowiedniej wielkości $\sigma_r = \sigma_H$ (rys. 6.7) przy uwzględnieniu podporności obudowy q_0 .

Symbol σ_H (rys. 6.7) oznacza wymaganą wielkość wystąpienia naprężeń ściskających na granicy stref skał odprężonych i nieodprężonych (ustaloną wg zależności 6.8 - 6.11) o kierunku w przybliżeniu równoległym do płaszczyzny przechodzącej przez środek strefy skał odprężonych.

Ustalona za pomocą wzorów (6.8), (6.9), (6.10a) lub (6.11) wielkość $\sigma_r = \sigma_H$ musi spełniać zależności (6.12 - 6.18) stanowiące podstawę do obliczenia wielkości zasięgu strefy odprężonej l_H i s_H (rys. 6.7), przy założeniu, że skała odkształca się na wysokości warstwy najsłabszej h_w z zachowaniem odpowiedniej szerokości s_H strefy bezpośredniego ścinania skał (rys. 6.7)

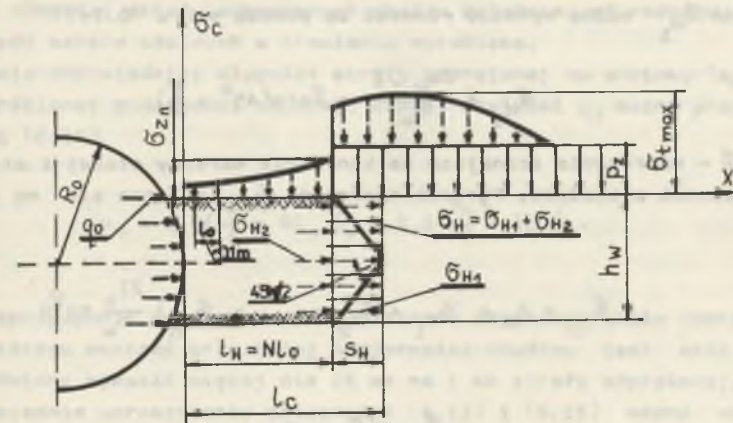
$$\sigma_r = \sigma_H = \sigma_{H1} + \sigma_{H2} \quad (6.12)$$

gdzie:

σ_{H1} - średnia wielkość naprężeń wynikająca z oporu przeciwstawiania się wyciskaniu skał wzdłuż strefy bezpośredniego ich ścinania S_H (rys. 6.7)

$$s_H = \frac{h_w}{2} \operatorname{ctg}(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \quad (6.12a)$$

σ_{H2} - średnia wielkość naprężeń określona przez podporność obudowy i opór wyciskania skały wzdłuż strefy odprężonej, na całej grubości warstwy (h_w), na odcinku $l_H = N l_0$ (rys. 6.7), gdzie $l_0 \approx 0,1$ m.



Rys. 6.7. Występowanie naprężeń ściskających i strefy skał odprężonych w otoczeniu ociosów wyrobiska o kształcie kołowym

W przypadku gdy miąższość warstwy w ociosach wyrobiska spełnia warunek $h_w > 2 R_0$ - wówczas w obliczeniach można przyjąć $h_w = 2 R_0$, gdzie R_0 - zewnętrzny promień pierścienia obudowy.

Według rozwiązań podanych w pracy - wielkości σ_{H1} i σ_{H2} można obliczyć w sposób przybliżony za pomocą wzorów (6.13), (6.14) i (6.15) lub (6.17) i (6.18) - rys. 6.7. W obliczeniach uwzględnia się założenia (na podstawie badań laboratoryjnych), że maksymalne naprężenia ściskające $\sigma_{t \max}$ posiadają w strefie odprężonej i nieodprężonej, wzdłuż rozdzielającej je linii granicznej - taką samą wartość.

Wymienione poprzednio numery wzorów (6.13-6.18) posiadają postać zależności określonych wg następujących funkcji

$$\sigma_{H1} = \frac{\sigma_{t \max} + \sigma_{zn}}{2} \operatorname{tg} \varphi_1 \operatorname{ctg}(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \quad (6.13)$$

Wielkość σ_{zn} we wzorze (6.13) jest końcowym elementem składowym wartości σ_{H_2} i ustala się ją w zależności (6.15). Najmniejsza wielkość σ_{zn} wynosi

$$\sigma_{zn} = C_0 \cdot q_0 \quad (6.13a)$$

$$C_0 = \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} \quad (6.13b)$$

gdzie:

φ - kąt tarcia w skałach odprężonych,

φ_1 - kąt tarcia w płaszczyźnie kontaktowej warstw wzdłuż odcinka s_H określonego długością strefy bezpośredniego ścinania skał.

Wielkość σ_{H_1} można wyrazić również za pomocą wzoru (6.14)

$$\sigma_{H_1} = \frac{2s_H \cdot \bar{\sigma}}{h_w} = \bar{\sigma} \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (6.14)$$

gdzie $\bar{\sigma}$ - naprężenia ścinające na kontakcie warstwy słabej z otaczającymi ją warstwami zwięzłymi. Wartość naprężeń σ_{H_2} oblicza się wg zależności (6.15)

$$\sigma_{H_2} = q_0 + (\sigma_{z_1} + \sigma_{z_2} + \dots + \sigma_{z_n}) \frac{2l_0}{h_w} \operatorname{tg}^2 \varphi_2 \quad (6.15)$$

gdzie:

$$\sigma_{z_1} = C_0 \cdot q_0 \quad (6.15a)$$

$$\sigma_{z_2} = C_0 \left(q_0 + \sigma_{z_1} \right) \frac{2l_0}{h_w} \operatorname{tg}^2 \varphi_2 \quad (6.15b)$$

$$\sigma_{z_3} = C_0 \left[q_0 + (\sigma_{z_1} + \sigma_{z_2}) \frac{2l_0}{h_w} \operatorname{tg}^2 \varphi_2 \right] \quad (6.15c)$$

$$\sigma_{z_n} = C_0 \left[q_0 + (\sigma_{z_1} + \sigma_{z_2} + \dots + \sigma_{z_{n-1}}) \frac{2l_0}{h_w} \operatorname{tg}^2 \varphi_2 \right] \quad (6.15d)$$

φ_2 - kąt tarcia warstwy odprężonej na kontakcie z warstwami nieodprężonymi.

Symbol σ_{zn} oznacza ostatni wyraz w zależności (6.15), przy którym wartość σ_{H_2} w sumie z wielkością σ_{H_1} spełnia warunek wyrażony zależnością (6.12).² Jeżeli warunek (6.12) jest spełniony przy $\sigma_{H_2} = q_0$, wówczas można przyjąć $\sigma_{z_1} + \sigma_{z_2} + \dots + \sigma_{z_n} = 0$.

Ze wzoru (6.15) wynika, że przy danej długości l_H strefy odprężonej wielkość naprężeń σ_{H_2} oddziałujących jako reakcja na skały nieodprężone jest odwrotnie proporcjonalna do grubości warstwy odprężonej. Stąd celowe jest regulowanie grubości warstwy odprężanej do wysokości około 20 cm. Regulację taką można przeprowadzić przez odwiercenie otworów o średnicy stosowanej przy wykonywaniu otworów strzałowych lub większej i długości 2,0-3,0 m - w otoczeniu maksymalnej szerokości wyrobiska. Regulowanie wysokości strefy odprężanych skał ociosowych za pomocą wierconych otworów jest wskazane w tych przypadkach, gdy warstwa słaba w ociosach jest grubsza od 0,5 m lub jeżeli na całej ich wysokości występują skały o małej zwięzłości. Rozkład wierconych otworów należy dostosować do przyjętej wysokości i długości strefy odprężanych skał - zależnie od rodzaju, grubości i układu warstw skalnych w otoczeniu wyrobiska.

Powstanie odpowiedniej długości strefy odprężonej na odcinku $(s_H + Nl_0)$ wymaga określonej podatności obudowy, której wielkość u_H można przyjąć wg zależności (6.16)

$$u_H = 1,5 \left(\frac{s_H}{2} + Nl_0 \right) \delta_V = 1,5 \left(\frac{s_H}{2} + l_H \right) \delta_V \quad (6.16)$$

gdzie:

δ_V - współczynnik wyciskania i zwiększenia objętości skały odprężonej, którego wartość przy dużej podporności obudowy jest mała i nie powinna wynosić więcej niż 15 mm na 1 mb strefy odprężonej.

Przy odpowiednim uproszczeniu zależności (6.13) i (6.15) można obliczyć zasięg strefy odprężonej l_H występującej w zależności (6.16) - bezpośrednio z równań posiadających postać (6.17) lub (6.18)

$$l_H = \frac{[\sigma_H - q_0 - 0,5(\sigma_{t \max} + q_0 \cdot C_0)C_1]h_w}{2q_0 \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_2} \quad (6.17)$$

$$\frac{q_0 \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_2}{h_w^2} (2 + C_0 C_1) l_H^2 + \frac{q_0 \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_2}{h_w} (2 + C_0 \cdot C_1) l_H + 0,5 \sigma_{t \max} \cdot C_1 + q_0 (1 + 0,5 C_0 \cdot C_1) - \sigma_H = 0 \quad (6.18)$$

gdzie:

$$C_1 = \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi_1,$$

$$\sigma_H = \sigma_r - \text{wyliczonej wg zależności (6.8), (6.9) lub (6.10).}$$

Projektowanie konstrukcji obudowy wymaga uwzględnienia konieczności uzyskania odpowiedniej jej podporności i podatności określonych przez wielkość σ_H , przy której są spełnione zależności (6.8), (6.9), (6.10a) lub

(6.11), co ogranicza dalsze poszerzanie się strefy skał odprężonych i zaciskanie wyrobiska.

Duży zasięg strefy odprężanej względem ociosów wyrobiska jest przyczyną zwiększonego ciśnienia na obudowę od strony skał odprężonych, jak również powoduje wywieranie na nią znacznego nacisku uginających się warstw stropowych.

Aktywne obciążenie łuku stropowego obudowy może wpłynąć na zwiększenie jej podporności w wyniku bardziej równomiernego ciśnienia od strony otaczającego ją górotworu. Szczytowa podporność segmentowej obudowy żelbetowej zastosowanej w KWK "Borynia" - przy wywieraniu na cały zewnętrzny jej obwód równomiernego nacisku - wynosi 4,5 MPa, podczas gdy przy nacisku jednostronnym na łuku o rozpiętości określonej przez kąt około 70° podporność ta wynosi 1,5 MPa.

Zabudowane pierścienie segmentowej obudowy żelbetowej mogą ulec zniszczeniu (mimo dużej ale jednak ograniczonej ich podporności) zarówno przy wywieraniu na nie jednostronnego ciśnienia górotworu od strony odprężających się skał ociosowych jak również pod wpływem dużego ciśnienia uginających się warstw stropowych. Jeżeli zasięg strefy odprężonej względem ociosów jest umiarkowany i nie przekracza z każdej ich strony wielkości około 5 m, wówczas można przyjąć, że obciążenie obudowy od strony skał stropowych nie będzie przekraczać wielkości ciśnienia statycznego około 1 MPa, wynikającego z ciężaru skał odprężonych wewnątrz elipsy Sałustowicza (rys. 6.3a) o stosunku półosi a, b wyrażonej zależnością (6.5a)

$$\frac{a}{b} = \frac{m-2}{2},$$

gdzie b - suma połowy maksymalnej szerokości wyrobiska i długości strefy skał odprężonych liczonej względem jego ociosu.

Skały odprężone przy ociosach wyrobiska (z wykonaną w nim obudową o podporności 100 T/m²) mogą przejmować wg wzoru (6.15a) ciężar warstw uginających się o miąższości około 150/m. Stąd wystąpienie strefy odprężonej o kilkumetrowym zasięgu względem ociosów nie powinno wpływać na wzrost naprężeń dodatkowych na granicy strefy skał nieodprężonych do wartości większej od wielkości ustalonej za pomocą wzoru 6.3b. Długa strefa odprężonych skał ociosowych (większa od 10 m), ich ciśnienie na obudowę (po wykorzystaniu podatności obudowy) oraz nacisk uginających się warstw stropowych mogą spowodować jej zniszczenie.

Skoncentrowane naprężenia w skałach ociosowych (rys. 6.1 i 6.4) przy dostatecznie dużej ich wytrzymałości na ściskanie mogą być przyczyną wyciskania do wnętrza wyrobiska skał spągowych lub stropowych. Zjawisko takie może mieć miejsce szczególnie w tym przypadku, gdy wytrzymałość na ściskanie skał stropowych lub spągowych jest znacznie mniejsza od wytrzymałości skał ociosowych, dla których spełniony jest warunek $\sigma_{t \max} \leq R_c$.

Przybliżoną wielkość zasięgu strefy odprężonej (rys. 6.8) w słabych skałach stropowych lub spągowych oraz wymaganą przy spęgu i przy stropie podporność obudowy można określać wg niżej podanych zależności uwzględniających hipotezę de Saint Venanta

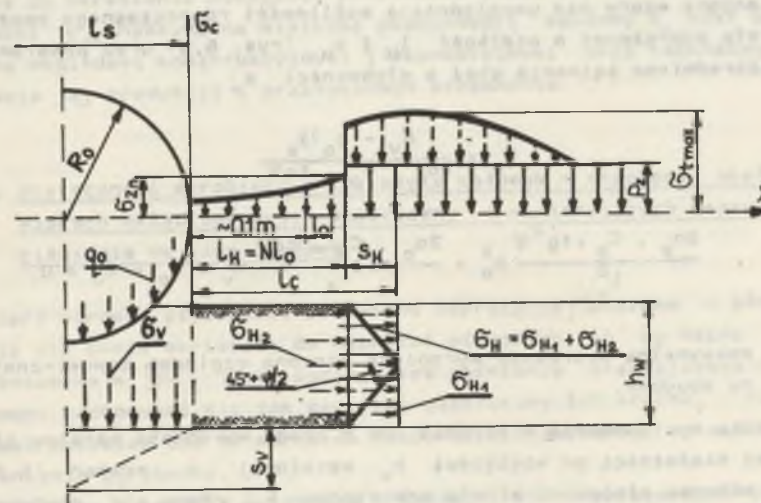
$$\sigma_{t \max} = \vartheta(\sigma_y + \sigma_x) \leq R_{cz} \quad (6.19)$$

gdzie:

- R_{cz} - doraźna wytrzymałość skał spągowych lub stropowych na ściskanie w kierunku prostopadłym do szerokości wyrobiska,
- σ_y i σ_x - naprężenia ściskające w skałach w płaszczyźnie poziomej na głębokości spęgu lub stropu wyrobiska,
- $\sigma_x = R_{cx}$ - wielkość doraźnej wytrzymałości skały na ściskanie w kierunku równoległym do szerokości wyrobiska

$$\sigma_y = \vartheta(R_{cz} + R_{cx}) \quad (6.20)$$

Przy ustalaniu zależności 6.20 przyjęto, że przy spęgu i stropie wyrobiska (w kierunku równoległym do jego osi) odkształcalność skał ociosowych jest minimalna i praktycznie można ją pominąć.



Rys. 6.8. Zasięg strefy odprężonej w słabych skałach spęgu (stropu) wyrobiska o kształcie kołowym przy zwięzłych skałach ociosowych

Skały spągowe pozostaną w równowadze i nie ulegną wyciskaniu pod warunkiem, że wymagana w zależności (6.19) wielkość σ_x nie przekroczy wg równania (6.21) wartości doraźnej wytrzymałości skał na ściskanie R_{cx} w kierunku równoległym do szerokości wyrobiska

$$\sigma_x \approx \frac{\sigma_t \max - R_{cz} - \vartheta \cdot \sigma_y}{\vartheta} = m \sigma_t \max - R_{cz} - \sigma_y \leq R_{cx} \quad (6.21)$$

Jeżeli zależność 6.21 nie jest spełniona, tzn. $m \sigma_t \max - R_{cz} - \sigma_y > R_{cx}$ wówczas naprężenia σ_x mogą zostać przejęte przez słabe skały spągowe lub stropowe, przy odpowiedniej ich współpracy z obudową - sołniąjącą w zakresie podporności σ_r zależność 6.22

$$\sigma_x = \vartheta_1 \sigma_y + \sigma_r \leq R_{cx} \quad (6.22)$$

gdzie:

- σ_y - wielkość naprężeń określona wg zależności 6.9a, w której $R_c = R_{cx}$
- σ_r - naprężenia wynikające z oddziaływania obudowy lub obudowy i skał z obszaru odprężonego σ_v na strefę nieodprężoną (rys. 6.8).
- R_{cx} - doraźna wytrzymałość skał stropowych lub spągowych na ściskanie w kierunku równoległym do szerokości wyrobiska.

Z zależności 6.21 i 6.22 można obliczyć wielkość $\sigma_r = \sigma_v$ (rys. 6.8). Istnieje również możliwość określenia wartości σ_v za pomocą wzoru 6.10, w którym $\sigma_1 = \sigma_x$ (wg wzoru 6.21), $\sigma_3 = \sigma_r = \sigma_v$. Po ustaleniu wielkości σ_v , oblicza się przybliżoną wielkość głębokości strefy skał odprężonych h_v (w spągu lub w stropie wyrobiska) wg wzorów 6.23 lub 6.24).

Wymienione wzory nie uwzględniają możliwości równoczesnego poszerzania się strefy odprężonej o wielkość l_H i s_H (rys. 6.8) oraz powstania strefy bezpośredniego ścinania skał o głębokości s_v .

$$h_v = \frac{(\sigma_v - \sigma_0) l_s}{2\sigma_0 \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (6.23)$$

$$\frac{2\sigma_0 \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi}{l_s^2} h_v^2 + \frac{2\sigma_0 \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi}{l_s} h_v + \sigma_0 - \sigma_v = 0 \quad (6.24)$$

gdzie

- l_s - maksymalna szerokość wyrobiska liczona względem zewnętrznej strony obudowy.

W przypadku występowania w stropie lub w spągu wyrobiska warstwy słabej o mniejszej miąższości od wielkości h_v ustalonej z równań 6.23 lub 6.24, wówczas głębokość strefy odprężonej h_v równa się grubości tej warstwy.

Przy obliczaniu zasięgu strefy skał odprężonych w stropie wyrobiska należałoby w zależności 6.23 i 6.24 wielkość σ_v powiększyć o obciążenie jednostkowe obudowy σ_1 , wynikające z oddziaływania na nią ciężaru skał odprężonych

$$\sigma_1 = h_v \cdot \varrho \cdot a = h_v \cdot \delta \quad (6.25)$$

gdzie h_v - wyliczona wstępnie wg zależności 6.23 lub 6.24 wysokość strefy skał odprężonych.

Szerokość strefy skał odprężonych l_H względem ociosów wyrobiska (rys. 6.8) można określić z zależności 6.17 lub 6.18, do których w miejsce wielkości h_w należy wstawić wcześniej ustaloną wartość h_v , a w miejsce σ_0 wielkość $\sigma_0 \cdot C_0$.

Całkowita szerokość strefy odprężonej jest sumą wielkości otrzymanych z zależności 6.17 lub 6.18 oraz 6.12a). Rzeczywiste wymiary głębokości i szerokości strefy skał odprężonych mogą być mniejsze od wielkości wyliczonych, gdyż wzory nie uwzględniają równoczesnego jej kształtowania się w obydwu kierunkach. Wymagana podatność obudowy u_v od strony stropu lub spągu, względnie w obydwu kierunkach można ustalić wg zależności 6.26

$$u_v = 1.5 \cdot w \cdot h_v \cdot \delta_v \quad (6.26)$$

gdzie w - współczynnik uwzględniający szerokość strefy odprężonej, $w > 1$.

Obliczenie wielkości zasięgu strefy odprężonej l_H za pomocą równań 6.15), 6.17) lub 6.18) oraz h_v wg równań 6.23) lub 6.24) stanowi podstawę do określenia wymaganej podatności obudowy posiadającej założoną podatność σ_0 . Maksymalna wielkość podatności obudowy σ_0 musi być uzasadniona względami konstrukcyjnymi i ekonomicznymi oraz technologicznymi w zakresie jej produkcji i praktycznego stosowania.

6.2. Stateczność wyrobiska o kształcie kołowym w otoczeniu skał stanowiących układ sprężysto-plastyczny i wywierających wszechstronne ciśnienie na jego obudowę

W miarę wzrostu głębokości pierwotne naprężenia poziome w órotworze zbliżają się swoją wartością do naprężeń pionowych, co wg Heina zostało udokumentowane w [39]. Skały podlegające ciśnieniu otaczającego je órotworu mogą zachowywać się jak materiał plastyczny lub kruchy. Plastyczność skał zwiększa się ze wzrostem głębokości i zależnej od niej wielkości ciśnienia órotworu.

W przypadku wykonania wyrobiska w skałach, które po wystąpieniu w nich dużych naprężeń ściskających wykazują własności plastyczne, tzn. odkształcają się w czasie bez występowania wyraźnych spękan - powstają wokół niego dwie strefy obrazujące dwie fazy pracy materiału skalnego.

1. Strefa I w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska, w której skały znajdują się w fazie plastycznej.
2. Strefa II, po zewnętrznej stronie strefy plastycznej, w której skały znajdują się i pracują w fazie sprężystej.

W przypadku wykonania wyrobiska o kształcie kołowym lub owalnym w skałach wykazujących przy dużym ciśnieniu górotworu własności plastyczne i przy spełnieniu warunku $p_x \approx p_y \approx p_z$ - podporność oraz podatność obudowy, przy której wyrobisko uzyskuje stateczność, można ustalić drogą kolejnych przybliżeń wg [39] z zależności (6.27)

$$\sigma_r = p - \frac{2k}{\sqrt{3}} - \frac{4k}{\sqrt{3}} \ln \frac{R}{r_w} \leq q_0 \quad (6.27)$$

gdzie:

- σ_r - obliczone ciśnienie górotworu na obudowę,
- p - wielkość naprężeń pierwotnych,
- q_0 - robocza podporność obudowy (dopuszczalne ciśnienie górotworu na obudowę),
- $2k$ - granica plastyczności skał w otoczeniu wyrobiska,
- r_w - promień wyrobiska w wyłomie,
- R - promień ograniczający zewnętrzny obszar strefy plastycznej i wewnętrznej strefy sprężystej w otoczeniu wyrobiska - względem jego środka.

W przypadku wyrobiska o kształcie owalnym (np. rys. 7.3 i 7.4) można przyjąć, że wielkość r_w w zależności (6.27) odpowiada promieniowi określającemu krzywiznę wyłomu wyrobiska w jego ociosach (jeżeli $r_{oc} > r_{str}$).

Przy ustalonej wielkości podporności obudowy q_0 należy tak dobrać wielkość jej podatności u_r , aby mogła wytworzyć się strefa plastyczna o zasięgu R , przy którym zależność (6.27) jest spełniona

$$u_r = 1.5(R - r_w)\delta_v \quad (6.28)$$

gdzie:

- δ_v - współczynnik wyciskania i wzrostu objętości materiału skalnego przy jego przechodzeniu z fazy sprężystej w fazę plastyczną - z uwzględnieniem wywierania na skały przez obudowę nacisku o wielkości q_0 .

Za pomocą wzorów (6.27) i (6.28) można dobrać (drogą kolejnych przybliżeń) podporność i podatność obudowy, przy których to wielkościach zależność (6.27) jest spełniona, a tym samym zostaje zachowana stateczność wyrobiska przez wymagany dla niego długotrwały okres eksploatacji.

6.3. Stateczność wyrobiska o kształcie kołowym w otoczeniu skał spękanych przy wszechstronnym ich ciśnieniu na wykonaną w nim obudowę

Wyrobisko typu korytarzowego lub komorowego zlokalizowane na dużej głębokości, w skałach charakteryzujących się małą odkształcalnością pod wpływem występujących w nich naprężeń, może być przyczyną powstania w jego otoczeniu strefy spękań. Jej kształtowanie się będzie miało miejsce po uprzednim wystąpieniu - naprężeń o wielkości przekraczającej graniczną wytrzymałość skał na ściskanie.

Jeżeli naprężenia pierwotne na dużej głębokości spełniają warunek $p_z \approx p_x \approx p_y$, wówczas można przyjąć, że w skałach wokół wyrobiska o kształcie kołowym wystąpią obwodowe naprężenia ściskające charakteryzujące się jednakową wielkością. Według prof. Sałustowicza [39] wyrobisko o kształcie kołowym, z powstałą wokół jego obudowy strefą skał odprężonych, zachowa stateczność, jeżeli spełniony zostanie warunek wyrażony zależnością (6.29)

$$\sigma_r = p' \left(\frac{r_w}{R} \right)^{C_0 - 1} \leq q_0 \quad (6.29)$$

gdzie:

- σ_r - obliczone ciśnienie górotworu na obudowę,
- q_0 - podporność obudowy,
- p' - oddziaływanie strefy odprężonej na strefę nieodprężoną przy zewnętrznej granicy obszaru spękań,
- r_w - promień wyrobiska w wyłomie,
- R - granica (maksymalny zasięg) obszaru spękań względem środka wyrobiska,
- C_0 - wielkość określona przez kąt tarcia wewnętrznego skał spękanych ustalona wg zależności (6.13b).

Zasięg strefy spękań nie będzie ulegał poszerzaniu, jeżeli w przylegających do niej skałach na granicy obszaru sprężystego wielkości naprężeń spełniają wg [39] warunki określone hipotezą wytrzymałościową de Saint Venanta

$$\sigma_t \max - \sigma(\sigma_y + p') \leq R_c \quad (6.30)$$

Według [39] przy $p_y = p_x \approx p_z$ wielkości naprężeń $\sigma_t \max$ i σ_y na wewnętrznym obwodzie skał strefy nieodprężonej wyrażają się zależnościami:

$$\sigma_t \max = 2p - p' \quad (6.31)$$

$$\sigma_y = p_y = p_x = p_z = p \quad (6.32)$$

Z podanych zależności (6.30), (6.31), (6.32) można określić wzorami (6.33) i (6.33a) wymaganą wielkość ciśnienia p' strefy skał odprężonych na strefę nieodprężoną, przy którym nie zachodzi w niej dalsze niszczenie struktury skał i zostaje zahamowane jej poszerzanie się

$$p' = \frac{\sigma_{t \max} - R_c}{\varphi} - \sigma_y = \frac{(2 - \varphi)p - R_c}{\varphi + 1} \quad (6.33)$$

Podporność obudowy G_r, z uwzględnieniem potrzebnej wielkości p' (wg zależności 6.33), przy której wyrobisko zachowa stateczność, oblicza się za pomocą wzoru (6.34) otrzymanego z zależności (6.29)

$$G_r = \frac{(2 - \varphi)p - R_c}{\varphi + 1} \left(\frac{r_w}{R}\right)^{C_0 - 1} \quad (6.34)$$

W przypadku wyrobiska o kształcie owalnym - do wzoru (6.34) w miejsce wielkości r_w należy wstawić maksymalną wartość promienia określającego krzywiznę ociosów wyrobiska w wyłomie. Z zależności (6.34) wynika, że deformacyjne oddziaływanie górotworu na obudowę pod wpływem wszechstronnego przemieszczania się skał spękanych w kierunku wyrobiska jest funkcją zasięgu R strefy odprężonej. Stąd przy ograniczonej podporności obudowy (G_r > q₀) należy tak dobrać jej wykonawstwo i konstrukcję, aby spełniła ona określone wymogi w zakresie podatności uwzględniającej możliwość powstania strefy odprężonej o zasięgu R.

Podatność obudowy u_r można określić z warunku wyrażonego zależnością (6.35), której postać pokrywa się ze wzorem (6.28)

$$u_r = 1.5(R - r_w)\delta = 1.5 l_s \delta \quad (6.35)$$

gdzie:

δ - współczynnik określający wyciskanie i zwiększanie objętości skał w strefie spękań przy wywieraniu na nią nacisku obudowy q₀.

l_s - zasięg strefy skał odprężonych względem obrysu wyłomu wyrobiska (l_s = R - r_w).

Zastosowanie zależności (6.34) i (6.35) pozwala określić, drogą kolejnych przybliżeń, takie wartości G_r = q₀ i R - możliwe do uwzględnienia w konstrukcji obudowy o żądanej podporności q₀ i podatności u_r, przy których uzyskuje się wymaganą jej współpracę z górotworem i stateczność wyrobiska, z zachowaniem pełnej funkcjonalności przez cały czas jego użytkowania. Istnieje również możliwość bezpośredniego, bardziej uproszczonego sposobu wyznaczania zasięgu odprężonej strefy (l_s) skał spękanych wg zależności (6.36)

$$l_s = \frac{r_z p' - dk_c}{R_{cs} - p'} = \frac{r_z \sigma' - q_0}{R_{cs} - p'} \quad (6.36)$$

gdzie:

$$R_{cs} = C_0 q_0 > p'$$

k_c - dopuszczalne naprężenia na ściskanie materiału w konstrukcji obudowy o grubości d,

r_z - zewnętrzny promień pierścienia obudowy.

W powyższym równaniu (6.36) przyjęto równomierny rozkład naprężeń ścisających wzdłuż grubości strefy odprężonej, co daje pewien współczynnik bezpieczeństwa, gdyż w rzeczywistości największe naprężenia obwodowe występują przy zewnętrznej jej stronie.

W równaniu (6.36) pominięto wpływ własnego ciężaru skał w strefie odprężonej na wielkość występujących w niej oraz w obudowie naprężeń ścisających. Stosowanie wzoru (6.36) jest celowe wówczas, gdy spełnione są zależności:

$$|p' - q_0| > 0 \quad (6.36a)$$

oraz

$$R_{cs} = C_0 q_0 > p' \quad (6.36b)$$

Konieczność spełnienia zależności (6.36b) zmusza do zastosowania obudowy o dostatecznie dużej podporności roboczej q₀.

Wokół wykonanego wyrobiska może kształtować się również strefa skał odprężonych w dwóch różnych postaciach:

1. Obszar skał spękanych w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska.
2. Obszar skał uplastycznionych, ograniczony strefą skał nieodprężonych i zewnętrzną stroną obszaru skał spękanych.

Zasięg stref obydwu wymienionych obszarów skał odprężonych względem obrysu wyłomu wyrobiska można ustalić przy odpowiednim wykorzystaniu wzorów (6.27) oraz (6.29) i (6.34) lub (6.36).

6.4. Uzasadnienie celowości stosowania segmentowej obudowy żelbetowej w warunkach deformacyjnego ciśnienia górotworu

Analiza stateczności kapitałnych wyrobisk górniczych korytarzowych a również i komorowych w układzie wzajemnego oddziaływania deformującego się górotworu na obudowę i odkształcającej się obciążonej obudowy na otaczające ją skały - uzasadnia celowość stosowania (w warunkach ciśnienia deformacyjnego) obudów o dużej podporności.

Podane wzory (6.1) do (6.36) wskazują na możliwość przeprowadzenia obliczeń stateczności górotworu w otoczeniu danego wyrobiska, z uwzględnieniem współpracy deformujących się skał z jego obudową. W świetle przedstawionych wzorów obudowa o dużej wytrzymałości, dokładnie powiązana z obrysem wyłomu wyrobiska oraz żądanej podatności, ale charakteryzująca się w granicach tej podatności dużą podpornością - posiada przy deformacyjnym ciśnieniu górotworu następujące zalety:

1. Zmusza górotwór już w początkowej fazie jego deformacji do pracy w warunkach trójosiowego stanu naprężenia - przez co skały nieodprężone, otaczające granicę strefy skał odprężonych, mają możliwość przejmowania większych naprężeń ściskających i ścinających do chwili zniszczenia ich struktury - względem tej wielkości naprężeń jaka mogą przejmować do czasu dostatecznego nawiązania współpracy obudowy z otaczającym ją górotworem.
2. Poszerzająca się strefa skał odprężonych wywiera coraz większy nacisk na skały nieodprężone, przez co przy odpowiednio dużej podporności i podatności obudowy dochodzi do stabilizacji zasięgu strefy odprężonej i utrzymania stateczności wyrobiska.
3. Zwiększenie podporności obudowy powoduje zmniejszenie zasięgu kształtującej się w otoczeniu wyrobiska strefy skał odprężonych, co daje większą pewność zachowania jego stateczności.
4. Strefa skał odprężonych o zniszczonej strukturze pierwotnej może przejmować tym większe naprężenia ściskające, pochodzące od ciężaru warstw nadległych, im większa jest wytrzymałość konstrukcji obudowy. Stąd przy obudowie o dostatecznie dużej podporności naprężenia na granicy strefy skał nieodprężonych mogą zachowywać stałą wielkość równą wartości początkowej - obliczonej na obrysie wyłomu projektowanego wyrobiska.
5. Segmentowa obudowa żelbetowa lub inna o dużej podporności - stosowana w wyrobisku przebudowywanym, umożliwia zachowanie dalszej jego stateczności również poprzez odpowiednią jej współpracę z częściowo odprężonymi już skałami. Nowa obudowa wykonywana sukcesywnie w ślad za postępem przodku przebudowywanego wyrobiska przejmie od strony strefy skał odprężonych, przy nieznacznym jej poszerzeniu, duże obciążenie. Następuje rozparcie tej strefy między obudową i skałami nieodprężonymi, a tym samym odpowiednie ich podparcie. W ten sposób zwiększa się zakres pracy skał w strefie nieodprężonej w warunkach trójosiowego stanu naprężenia, a przy określonym układzie warstw skalnych istnieje również możliwość zmniejszenia skoncentrowanych na jej granicy naprężeń ściskających.

Produkcja segmentów żelbetowych o bardzo dużej wytrzymałości oraz technologia ich stosowania w warunkach dołowych jest dość trudna i kosztowna w praktycznej realizacji.

Według prof. B. Kurpińskiego istnieje zależność (6.37) uzasadniająca pod względem ekonomicznym stosowanie określonych konstrukcji obudów, która można wykorzystać również przy analizie praktycznej przydatności segmentowej obudowy żelbetowej

$$C = k \cdot l + r \cdot l \cdot N, \quad (6.37)$$

gdzie:

- C - całkowity koszt wykonania i utrzymania wyrobiska w danym rodzaju obudowy.
- k - koszt wykonania 1 mb wyrobiska.
- l - długość odcinka projektowanego wyrobiska, na którym wymagana jest obudowa o dużej podporności.
- r - koszt przebudowy 1 mb wyrobiska.
- N - przewidywana ilość przebudów wyrobiska w czasie jego eksploatacji.

W świetle zależności (6.37) stosowanie segmentowej obudowy żelbetowej o dużej podporności jest uzasadnione w tym przypadku, jeżeli wyeliminuje się konieczność przebudowy wyrobiska, a $C_2 < C_1$, gdzie C_2 równa się wartości C (zależność 6.37) dla przypadku stosowania segmentowej obudowy żelbetowej przy $r \cdot l \cdot N = 0$, C_1 odpowiada wielkości C (wzór 6.37), w odniesieniu do innej konstrukcji obudowy - tańszej i łatwiejszej w praktycznym stosowaniu, ale nie dającej gwarancji stateczności wyrobiska bez jego przebudowy, tzn. $r \cdot l \cdot N \gg 0$.

Zależność (6.37) nie uwzględnia dodatkowych problemów i strat związanych z przebudową wyrobiska, jak np. niekorzystne warunki bho, ograniczenie jego funkcjonalności lub całkowite okresowe wyeliminowanie z eksploatacji. Stąd w określonych warunkach górniczo-geologicznych jest w pełni uzasadnione stosowanie nowych konstrukcji obudów o dużej podporności i zadanej podatności również w tych przypadkach, jeżeli bezpośrednie koszty ich wykonawstwa znacznie przekraczają wielkość kosztów obudów dotychczasowych, charakteryzujących się jednak zbyt małą wytrzymałością w stosunku do wymagań gwarantujących pełną stateczność danego wyrobiska przez cały planowany długotrwały okres jego użytkowania.

Tablica 7.1

Parametry techniczno-wytrzymałościowe 5- i 6-segmentowej obudowy żelbetowej

Lp.	Rodzaj danych	Obudowa 5-segmentowa	Obudowa 6-segmentowa	Jednostka
1	2	3	4	5
1	Średnica wewnętrzna pierścienia obudowy	4600	4800	mm
2	Przekrój użyteczny wyrobiska w świetle obudowy: - przy szerokości podsypki podtorza 3,7 m - przy szerokości podsypki podtorza 3,4 m	12,7	15,9	m ²
		14,8	16,4	m ²
3	Ilość segmentów w jednym pierścieniu obudowy	5	6	szt.
4	Wymiary segmentu żelbetowego: - grubość segmentu - szerokość segmentu - długość maksymalna po cięciu - długość łuku zewnętrznego - długość łuku wewnętrznego - strzałka wewnętrznej strony łuku segmentu	250	250	mm
		320	320	mm
		2900	2400	mm
		3200	2752	mm
		2866	2490	mm
		439	321	mm
5	Klasa betonu	B400	B400	10 ⁵ N/m ²
6	Zbrojenie segmentu - pręty główne - stal 34GS i St3Sx - stopień zbrojenia - strzemiona - stal St3Sx	6x Ø 16	6x Ø 16	szt. x mm
		0,84	0,84	%
		30x Ø 6	22x Ø 6	szt. x mm
7	Masa jednego segmentu	600	500	kg
8	Grubość wkładki podatnej	20-25	20-25	mm

7. KONSTRUKCJA SEGMENTOWEJ OBUDOWY ŻELBETOWEJ

Przyjęte w pracy założenia stanowiły podstawę do opracowania określonych konstrukcji segmentowej obudowy żelbetowej, z których 4 przedstawiono na rysunkach:

- obudowa 5-segmentowa o średnicy wewnętrznej 4,6 m i przekroju użytecznym od 12,7 m² do 14,8 m² (tablica 7.1, rys. 7.1),
- obudowa 6-segmentowa o średnicy wewnętrznej 4,8 m i przekroju użytecznym od 15,8 m² do 16,4 m² (tablica 7.1, rys. 7.2),
- obudowa 5-segmentowa owalna o przekroju użytecznym 13 m² (rys. 7.3),
- obudowa wielosegmentowa (ilość segmentów ≥ 7) o kształcie owalnym zamkniętym przeznaczona głównie dla wyrobisk komorowych o wielkości przekroju użytecznego od 15 m² do 30 m² (rys. 7.4).

Obudowy 5- i 6-segmentowe przewidziane są do stosowania głównie w korytarzowych wyrobiskach udostępniających na dużych głębokościach przy występowaniu deformacyjnych ciśnień górotworu.

W przypadku obudowy kołowej istnieje możliwość usytuowania segmentów w pierścieniu wg dwóch podstawowych sposobów:

- w stropie obudowy znajduje się jeden segment żelbetowy (rys. 7.1, przekrój A-A),
- w stropie obudowy znajdują się dwa segmenty żelbetowe (rys. 7.1, przekrój B-B).

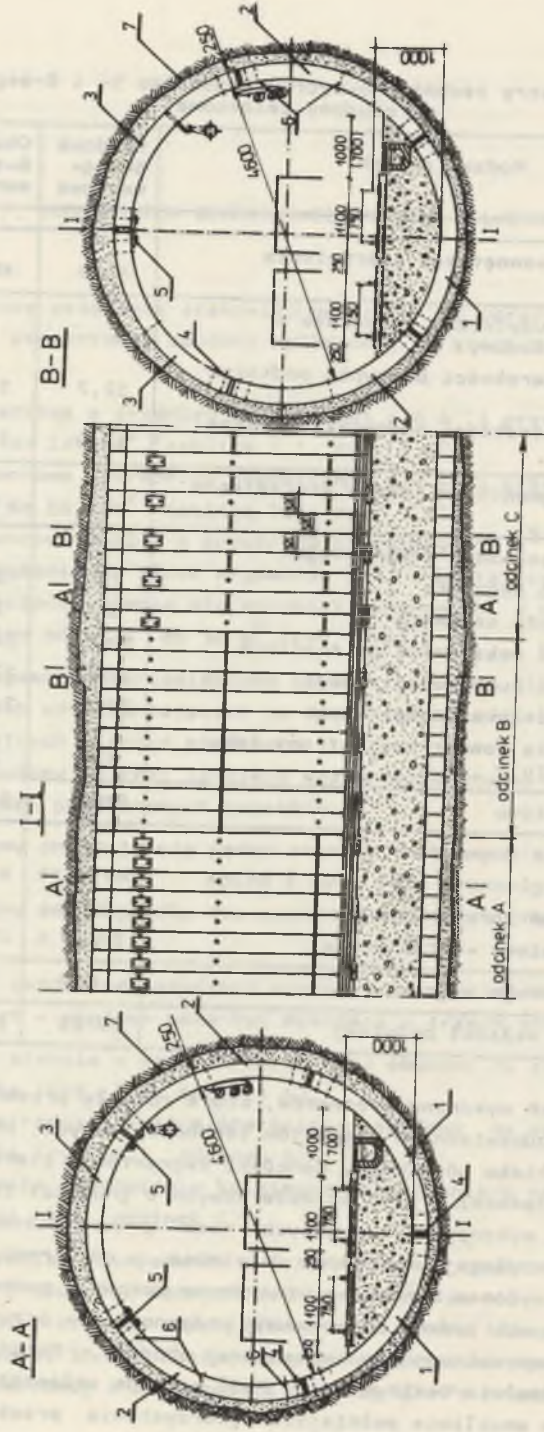
Przy wymienionych dwóch rozwiązaniach odnośnie do rozmieszczenia segmentów w pierścieniach - obudowa może być wykonana w trzech wariantach:

- jeden segment w stropie w każdym pierścieniu obudowy na całej długości odcinka wyrobiska (rys. 7.1, odcinek A),
- dwa segmenty w stropie w każdym pierścieniu obudowy na całej długości odcinka wyrobiska (rys. 7.1, odcinek B),
- przemienne ułożenie segmentów w kolejnych pierścieniach na całym odcinku wyrobiska (rys. 7.1, odcinek C).

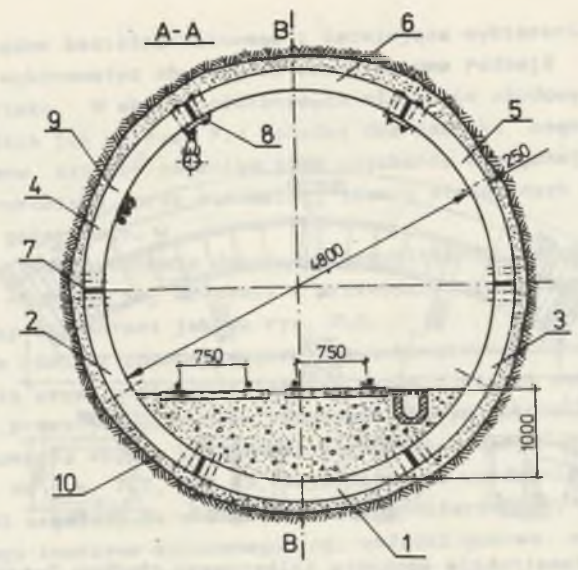
Wariant trzeci pozwala na uzyskanie dużej wyrównanej podporności obudowy na całym obwodzie i długości danego odcinka wyrobiska.

Żelbetowe segmenty obudowy zaprojektowano z betonu klasy B-400 grubości 25 cm i szerokości 32 cm. Zastosowaną konstrukcję zbrojenia w segmentach obudowy 5-segmentowej o podporności powyżej 10 MPa przedstawiono na rys. 7.5.

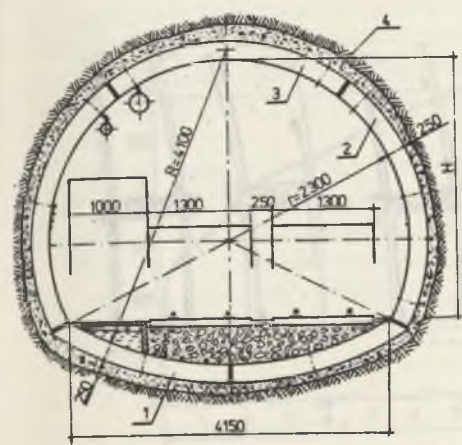
W segmentach wykonano 5 otworów, które zostały przeznaczone do zamocowania w nich odpowiednich elementów technologicznych, przy wykonywaniu obudowy w wyrobisku górniczym. Końcówki segmentów w pierścieniach obudowy oddzielano wkładkami z płyt paździerzowych o grubości 22-25 mm lub wkładkami gumowymi wykonanymi z zużytych taśm przenośnikowych. Poszczególne pierścienie przylegają wzajemnie do siebie, a od strony zewnętrznej powiązane są z wyłomem wyrobiska utwardzoną porowatą podsadzką [27], charakteryzującą się zadaną ograniczoną podatnością - przy obciążeniu zbliżonym do dopuszczalnego dla segmentowej obudowy. Konstrukcja segmentowej obudowy o kształcie owalnym (rys. 7.3) posiada spłaszczone krzywiznę łuku spągowego, co umożliwia pełniejsze wykorzystanie przekroju poprzecznego



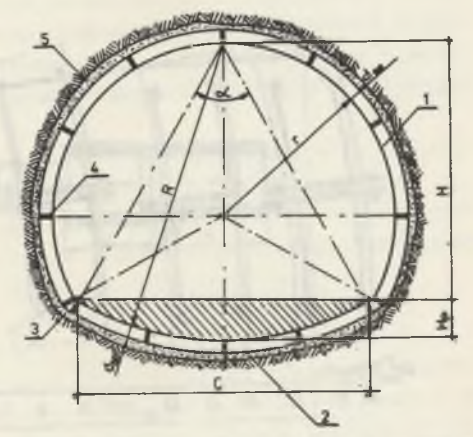
Rys. 7.1. Konstrukcja 5-segmentowej obudowy żelbetowej o kształcie kołowym
 1 - segmenty spągowe, 2 - segmenty ociosowe, 3 - segmenty stropowe, 4 - wkładki podatne, 5 - złącza śrubowe, 6 - otwory montażowe, 7 - podsadzka utwardzona



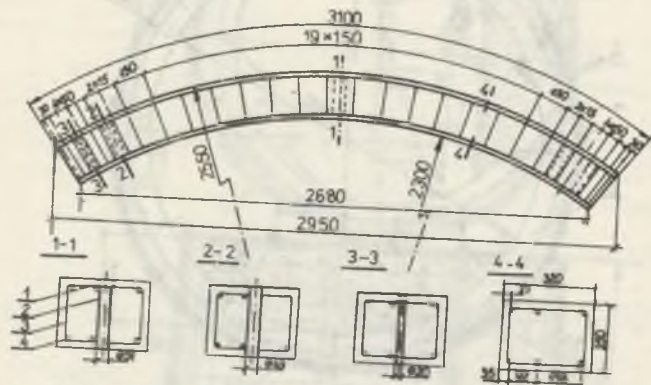
Rys. 7.2. Konstrukcja pierścienia segmentowej obudowy żelbetowej złożonego z 6 segmentów
 1 - segment spągowy, 2,3 - segmenty ociosowe dolne, 4,5 - segmenty ociosowe górne, 6 - segment stropowy, 7 - wkładki podatne, 8 - złącza śrubowe, 9 - otwory montażowe, 10 - podsadzka utwardzona



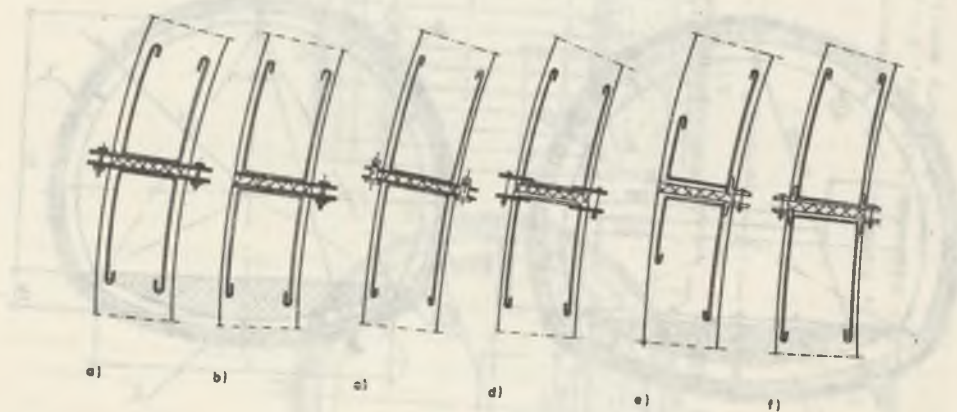
Rys. 7.3. Konstrukcja 5-segmentowej obudowy żelbetowej o kształcie owalnym
 1 - segmenty spągowe, 2 - segmenty ociosowe, 3 - segment stropowy, 4 - podsadzka utwardzona



Rys. 7.4. Konstrukcja wielosegmentowej obudowy żelbetowej o kształcie owalnym
 1 - segmenty stropowo-ociosowe, 2 - segmenty spągowe, 3 - betonit klinowy, 4 - wkładka podatna, 5 - podsadzka utwardzona



Rys. 7.5. Konstrukcja segmentu żelbetowego obudowy 5-segmentowej
 1 - nakrętka M-33, 2 - rura $\varnothing 45/3$, 3 - strzemiona $\varnothing 6$ St3Sx, 4 - pręty zbrojenia głównego $6 \times \varnothing 16 - 34$ GS



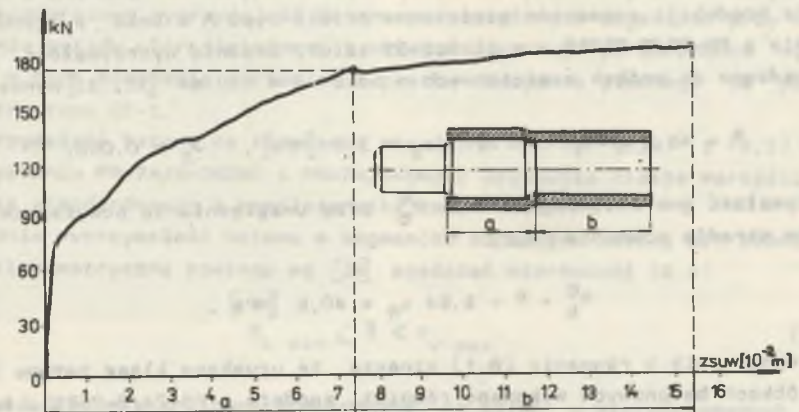
Rys. 7.6. Projektowane mechaniczne złącza końcówek segmentów w pierścieniu obudowy
 a - złącze dwustronne śrubowe, b - złącze jednostronne śrubowe, c - złącze dwustronne klinowe, d - złącze śrubowe z płaskownikami, e - złącze śrubowe jednostronne z kątownikiem, f - złącze dwustronne śrubowe z kątownikiem

wyrobiska względem kształtu kołowego i łatwiejsze wybieranie urobku. Utrudnia natomiast wykonawstwo obudowy (z uwagi na dwa rodzaje segmentów) i lokalizację ścieku. W skład podstawowych elementów obudowy wielosegmentowej o kształcie jak na rys. 7.4 wchodzi dwa rodzaje segmentów oraz dwa betonity klinowe, których zadaniem jest uzyskanie wymaganej krzywizny obudowy w sągu wyrobiska, przy minimalnej ilości stosowanych w niej segmentów o różnych gabarytach.

Dla uzyskania dostatecznie dużej i w przybliżeniu jednakowej wytrzymałości obudowy na całym jej obwodzie - przewidziano możliwość zastosowania połączeń między segmentami jak na rys. 7.6.

Analizowano również obudowę segmentową o konstrukcji charakteryzującej się możliwością uzyskiwania dostatecznie dużej i stałej podporności (rys. 7.7) w czasie pracy jej elementów podatnych. W tym zakresie rozpatrywano celowość stosowania między końcówkami segmentów ciernych elementów updatniających jak na rys. 7.7. i 8.63. Najprostszymi updatnieniami i elementami łączącymi segmenty są wkładki z płyt paździerzowych, drewnianych lub z odpowiedniego tworzywa sztucznego, np. wkładki gumowe wykonywane z zużytej taśmy przENOŚnikowej.

Celowość stosowania przedstawionych połączeń końcówek segmentów została ustalona za pomocą odpowiednich badań (rys. 8.11-8.66) określających podporność i podatność obudowy oraz charakterystyki pracy materiału wkładek podatnych.



Rys. 7.7. Charakterystyka pracy rozporcy i schemat jej konstrukcji - przewidzianej do updatnienia końcówek segmentów w pierścieniu obudowy

B. BADANIA LABORATORYJNE SEGMENTOWEJ OBUDOWY ŻELBETOWEJ

B.1. Badania wytrzymałościowe betonu i stali zbrojeniowej

Segmenty żelbetowe produkowano w Zakładzie Prefabrykacji Górniczej "PREFBET" w Rybniku w urządzeniach wykonanych wg projektu opracowanego w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni.

Zaprojektowany beton klasy B-400 wykonywany był z czterech składników, których udział wagowy na 1 m³ masy betonowej wynosił

$$c : p : k : w = 450 : 750 : 1170 : 160,$$

gdzie:

c - cement portlandzki 450,

p - piasek kwarcowy 0-3 mm,

k - kruszywo łamane bazaltowe; 200 kg o granulacji 2+10 mm, 970 kg o granulacji 10+20 mm,

w - woda.

Celem sprawdzenia zaprojektowanej wytrzymałości betonu pobrano z niego w czasie produkcji segmentów sześciennie próbki typu A o boku a = 200 mm, zgodnie z PN-75/B-06250 - w ilości 35 sztuk. Średnia wytrzymałość betonu sprowadzona do próbek sześciennych o boku a = 150 mm [32, 33] wynosiła

$$R = 46,2 \text{ [MPa]} \quad \text{przy} \quad s_R = 3,9 \text{ [MPa]}, \quad \sigma_R = 0,098.$$

Wytrzymałość gwarantowaną betonu R_b^G przy uwzględnieniu powyższych parametrów określa równanie (8.1)

$$R_b^G = R - 1,64 s_R = 40,8 \text{ [MPa]}. \quad (8.1)$$

Otrzymany wynik z równania (8.1) oznacza, że uzyskano klasę betonu B-400. Na próbkach betonowych wykonano również, zgodnie z PN-74/B-06261, badania ultradźwiękowe oraz wg PN-74/B-06262 - badania sklerometryczne młotkiem Schmidta. Wyniki badań umożliwiły opracowanie równań (8.2) i (8.3), określających wytrzymałość betonu na ściskanie. Równanie (8.2) pozwala ustalić zależność wytrzymałości betonu od prędkości przejścia fali ultradźwiękowej [30, 32]

$$R_v = 44,4 v^2 - 378 v + 84,6 \text{ [MPa]}. \quad (8.2)$$

przy

$$\eta_v = 0,75 \quad \text{a} \quad \lambda_v = 5,1\%, \quad (8.2)$$

gdzie:

v - prędkość przejścia fali ultradźwiękowej w km/s,

η_v - paraboliczny współczynnik korelacji pomiędzy prędkością fali ultradźwiękowej v i wytrzymałością betonu R_v ,

λ_v - średnie odchylenie kwadratowe - prędkości fali ultradźwiękowej.

Zależność wytrzymałości betonu na ściskanie od liczby odbicia młotkiem Schmidta typu N określa równanie (8.3) [30, 32].

$$R_L = 0,026 L^2 - 0,92 L + 37,6 \text{ [MPa]} \quad (8.3)$$

przy

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

gdzie:

L - liczba odbicia określona młotkiem Schmidta,

η_L - paraboliczny współczynnik korelacji między wielkością liczby odbicia L i wytrzymałością betonu R_L ,

λ_L - średnie odchylenie kwadratowe wielkości liczby odbicia L.

Podane równania (8.2) i (8.3) określają dostatecznie dokładnie wytrzymałość betonu na ściskanie i mogą zostać wykorzystane przy określaniu jej wielkości w wyprodukowanych segmentach żelbetowych przeznaczonych do praktycznego stosowania.

Przed badaniem danego pierścienia segmentowej obudowy żelbetowej określano każdorazowo wytrzymałość betonu poszczególnych segmentów przy wykorzystaniu metody ultradźwiękowej i sklerometrycznej po uprzednim wyznaczeniu w nich położenia strzemion i prętów zbrojenia głównego za pomocą ferometru typu 2E-1.

Wytrzymałość betonu na ściskanie określono wzorami (8.2) i (8.3) przy wykorzystaniu PN-74/B-06261 i PN-74/B-06262 uzyskując niskie wartości odchylenia standardowego i współczynnika zmienności.

Średnia wytrzymałość betonu w segmencie określona metodą ultradźwiękową i sklerometryczną powinna wg [32] spełniać nierówność (8.4)

$$R_{L \min} \leq R \leq R_{v \max}. \quad (8.4)$$

Drogę badań laboratoryjnych stwierdzono, że beton w wyprodukowanych segmentach żelbetowych posiadał średnią wytrzymałość na ściskanie R zawartą w przedziale $42,4 \text{ MPa} < R < 43,3 \text{ MPa}$. W czasie produkcji segmentów żelbetowych pobrano również próbki stali zbrojeniowej $\varnothing 16 \text{ mm}$ - stal 34 GS i St 35x oraz $\varnothing 6 \text{ mm}$ - stal St35x.

Pobrane próbki przebadano i określono granicę ich plastyczności oraz wytrzymałości na rozciąganie, jak również podstawowe parametry w zakresie ich odkształceń - tablica 8.1.

Tablica 8.1

Zestawienie wielkości charakteryzujących wytrzymałość i odkształcalność stali stosowanych do zbrojenia segmentów

Nr próbki	d_o mm	l_o mm	d_u mm	Z %	A_5 %	Fe kN	R_e MPa	F_m kN	R_m MPa	Uwagi
1	6,0	30	3,0	75	-	5,0	177	9,0	318	stal
2	6,0	30	3,0	75	43,33	5,0	177	8,75	309	St 3Sx
3	6,0	30	3,0	75	-	5,0	194	9,0	318	
4	6,0	30	3,2	71,5	40,66	5,0	177	9,0	318	
1	10	50	6,8	53,8	21,0	36,0	458	63,5	808	stal 34 GS
2	10	50	6,8	53,8	18,8	40,0	509	62,5	796	próbki z pręta
3	10	60	6,8	53,8	20,0	37,0	471	63,25	805	\varnothing 16 mm

Objaśnienia oznaczeń:

- d_o - średnica badanej próbki,
- l_o - długość badanej próbki,
- d_u - średnica szyjki w miejscu zerwania,
- Z - przewężenie względne,
- A_5 - wydłużenie względne,
- Fe - siła na granicy plastyczności,
- R_e - granica plastyczności,
- F_m - siła na granicy wytrzymałości,
- R_m - granica wytrzymałości.

Uzyskane wyniki wykazały, że granica plastyczności prętów \varnothing 6 mm, używanych na strzemiona, jest niższa od obliczeniowej wartości normowej, która wynosi 210 MPa.

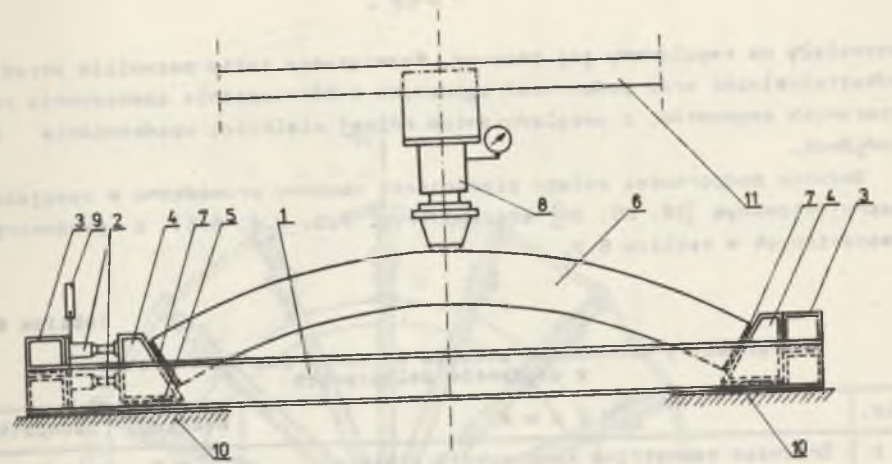
Wytrzymałość i odkształcalność prętów zbrojenia głównego (zarówno stali 34 GS, jak i St3Sx) mieści się w granicach normy.

8.2. Konstrukcja stoisk do badań segmentowej obudowy żelbetonowej

Charakterystykę pracy segmentów pojedynczych i wykonanych z nich pierścieni z uwzględnieniem ich podporności i podatności określano w dwóch specjalnie skonstruowanych stoiskach badawczych:

- urządzenie oraz stoisko do badań segmentów indywidualnych (rys. 8.1, 8.2),
- stoisko do badań pierścieni układanych z segmentów żelbetonowych (rys. 8.3).

Badania segmentów i pierścieni prowadzono w skali naturalnej 1:1. Rozwiązanie takie pozwoliło uzyskać wyniki badań odzwierciedlające rzeczywistą pracę obudowy. Pojedyncze segmenty badano głównie za pomocą urządzenia przedstawionego na rys. 8.1.



Rys. 8.1. Urządzenie do badań segmentów indywidualnych
1 - rama stalowa, 2 - siłowniki oporowe, 3 - opory boczne, 4 - podstawy segmentu, 5 - rolki, 6 - badany segment, 7 - wkładki podatne, 8 - siłownik obciążający segment, 9 - manometry do pomiaru rozporu poziomego, 10 - spąg stoiska (rys. 8.2), 11 - strop stoiska (rys. 8.2)



Rys. 8.2. Stoisko do badań segmentów indywidualnych

Przygotowany do badań segment 6 układano na podporach 4 umieszczonych w ramie nośnej 1. Podpory 4 oparte na wałkach stalowych 5 ulegały w czasie badań segmentu 6 rozpięciu o ramę nośną 1. Badania prowadzono z segmentami upodatkowanymi wkładkami 7 wykonanymi z płyt paździerzowych o różnej grubości. Przy jednym końcu ramy nośnej zamocowano siłowniki hydrauliczne 2, pozwalające określić wartość siły wewnętrznej, statycznie niewyznaczonej - stanowiącej rozpor poziome badanego segmentu. Rozpor kształtował się pod wpływem siły zewnętrznej wywieranej miejscowo na środkową górną stronę segmentu za pomocą siłownika hydraulicznego 8. Siłownik 8 był rozpięty o strop stoiska przeznaczonego do badania obudów zmechanizowanych (rys. 8.2), w którym umieszczano badany segment usytuowany w przystosowanym do jego badań urządzeniu (rys. 8.1).

W czasie badań pracy danego segmentu boczne siłowniki hydrauliczne 2 umożliwiały zachowanie stałego położenia rozpartej o nie podpory 4 lub

zezwałały na regulowany jej przesuw. Rozwiązanie takie pozwoliło określić odkształcalność oraz podporność zginanych i równocześnie samoczynnie rozpieryanych segmentów, z uwzględnieniem różnej wielkości upodatkowania ich końcówek.

Badania podporności całego pierścienia obudowy prowadzono w specjalnie zaprojektowanym [28, 29, 30] stoisku (rys. 8.3, 8.4, 8.5) o parametrach zestawionych w tabelicy 8.2.

Tablica 8.2

Parametry techniczne stoiska do badań pierścieni obudowy z segmentów żelbetowych

Lp.	N a z w a	Wielkość	Jednostka
1	Średnica zewnętrzna konstrukcji stoiska	8,2	m
2	Wysokość konstrukcji stoiska	0,9	m
3	Maksymalna średnica zewnętrzna badanych obudów	6,0	m
4	Minimalna średnica zewnętrzna badanych obudów	2,0	m
5	Maksymalna wysokość badanych obudów	0,5	m
6	Ilość siłowników hydraulicznych	16	szt.
7	Maksymalna siła nacisku od jednego siłownika hydraulicznego	800	kN
8	Skok siłownika hydraulicznego	0,30	m
9	Ciążar całkowity stoiska	60	kN

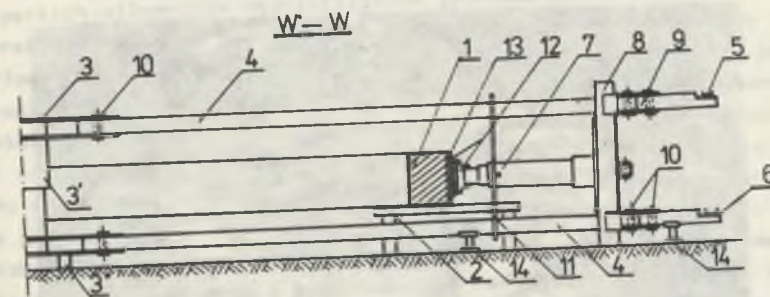
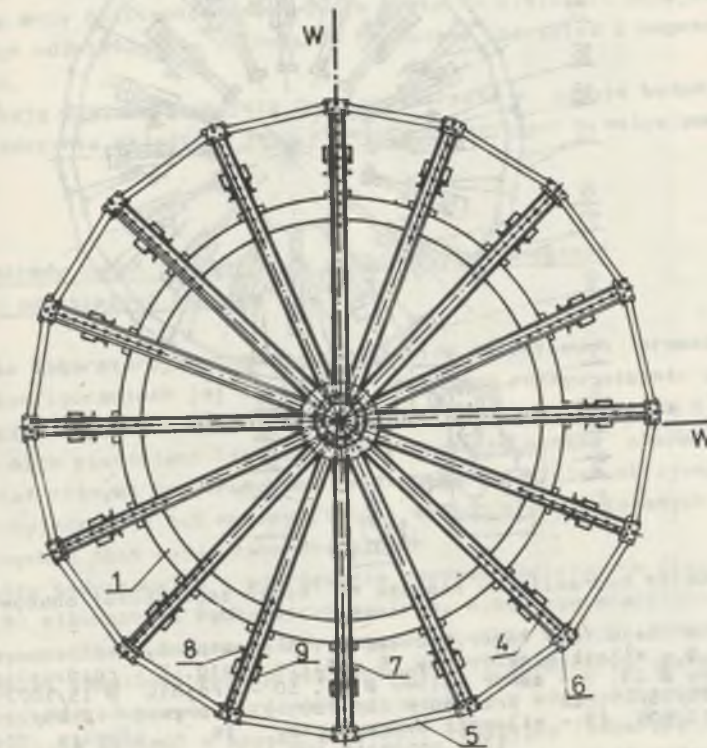
Głównymi elementami stoiska są:

- siłowniki hydrauliczne 7 usytuowane radialnie na obwodzie urządzenia w ilości 16 sztuk, obciążające badany pierścień obudowy 1,
- ciągna stalowe 4 przenoszące siły rozciągające przekazywane przez siłowniki 7 za pośrednictwem słupków oporowych 8 i przesuwnych jarzm oporowych 9,
- tarcze węzłowe 3 łączące ciągna 4 we wspólny węzeł w środku stoiska oraz stężenia obwodowe 5, usztywniające ciągna 4, przy zewnętrznej stronie stoiska.

Układ hydrauliczny stoiska przedstawiono na rys. 8.4, a ogólny jego widok na rys. 8.5. Siłowniki hydrauliczne 15 (dwustronnego działania (rys. 8.4) są wyposażone w kulowe zawory odcinające i manometry do pomiaru wielkości ciśnienia hydraulicznego. Siłowniki działają na pierścień obudowy za pomocą głowic dociskowych poprzez płyty paździerzowe.

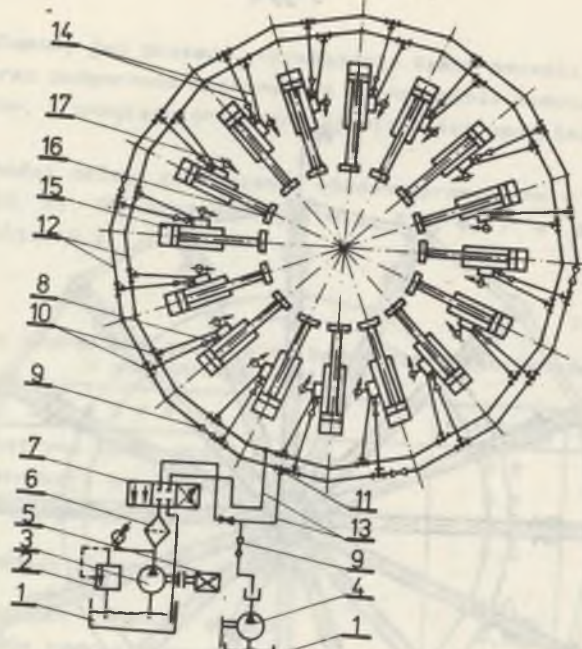
Do głównych zalet przedstawionej konstrukcji stoiska należy zaliczyć:

- możliwość badania obudów kołowych o różnych gabarytach średnic, od minimalnej wielkości 2000 mm do maksymalnej 6000 mm; przy zastosowaniu dodatkowego osprzętu można prowadzić badania obudów o dowolnych kształtach,



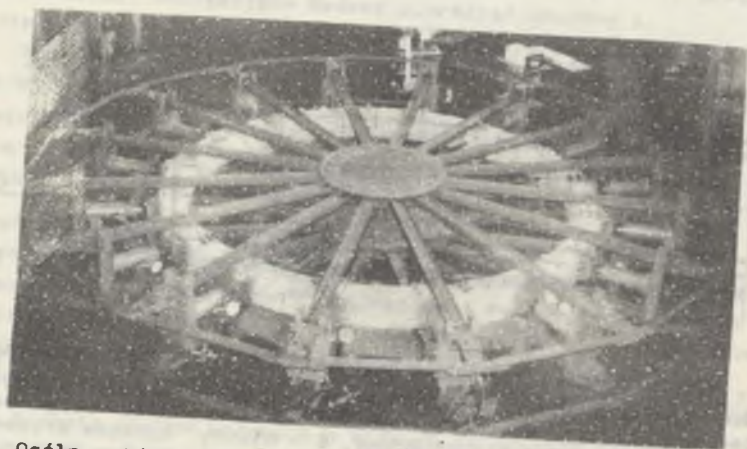
Rys. 8.3. Urządzenie do badań pierścieni z segmentów żelbetowych

1 - badany pierścień obudowy, 2 - podstawy stalowe, 3 - tarcze węzłowe, 3' - teleskopowe połączenie tarcz węzłowych, 3'' - słupki podporowe, 4 - ciągna stalowe, 5 - stężenia obwodowe, 6 - blachy łączące stężenia obwodowe, 7 - siłowniki hydrauliczne, 8 - słupki oporowe, 9 - jarzma oporowe, 10 - sworznie stalowe, 11 - blachy podporowe siłowników, 12 - płyty dociskowe, 13 - płyty paździerzowe, 14 - śruby regulacyjne do poziomowania ciągieł



Rys. 8.4. 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, 8 - zawór kulowy \varnothing 10, 9 - zawór kulowy \varnothing 25, 10 - trójnik \varnothing 15/10/25, 11 - trójnik \varnothing 25/25/25, 12 - przewód \varnothing 25/1700, 13 - przewód \varnothing 25/2200, 14 - przewód \varnothing 10/600, 15 - siłownik hydrauliczny, 16 - głowica dociskowa, 17 - manometr 400 at



Rys. 8.5. Ogólny widok stoiska do badań pierścieni obudowy z segmentów żelbetowych

- układ hydrauliczny pozwala obciążać obudowę w dowolny sposób i w każdym kierunku przy możliwości dokonywania pomiarów wielkości akcyjnego i reakcyjnego oddziaływania siłowników na badany pierścień z segmentów żelbetowych,
- konstrukcję stoiska zajmującą dużą przestrzeń w czasie badań można po ich zakończeniu składać, a jego elementy magazynować w małym pomieszczeniu.

8.3. Metody badań oraz sposoby pomiarów przemieszczeń i odkształceń obudowy

Badania laboratoryjne obudowy z segmentów żelbetowych prowadzono przy różnych konfiguracjach jej obciążenia oraz przy różnym stopniu upodatnienia poszczególnych zestawów segmentów indywidualnych (tablica 8.4) i ułożonych z nich pierścieni (tablica 8.3). Segmenty badane charakteryzowały się również różnymi konstrukcjami zabetonowanego w nich zbrojenia stalowego, rzutującego na ich wytrzymałość i sposób pracy ustalanych w czasie prowadzonych z nimi badań laboratoryjnych.

Segmenty indywidualne i pierścienie obudowy obciążano w stoiskach (rys. 8.1 - 8.5) siłownikami hydraulicznymi (rys. 8.6) wywierającymi akcyjny i reakcyjny nacisk na badane układy segmentów. Taki sposób prowadzenia badań pozwalał symulować współpracę segmentów z górotworem zastąpionym siłownikami oddziałującymi w różnych miejscach i w różnym zakresie na badaną konstrukcję obudowy w sposób akcyjny i reakcyjny (odporowy). Każdy pierścień w pierwszym etapie badań poddawano równomiernemu obciążeniu o minimalnej wielkości 0,031 MPa celem zapewnienia dokładnego jego przylegania do wszystkich siłowników hydraulicznych zabudowanych w stoisku.

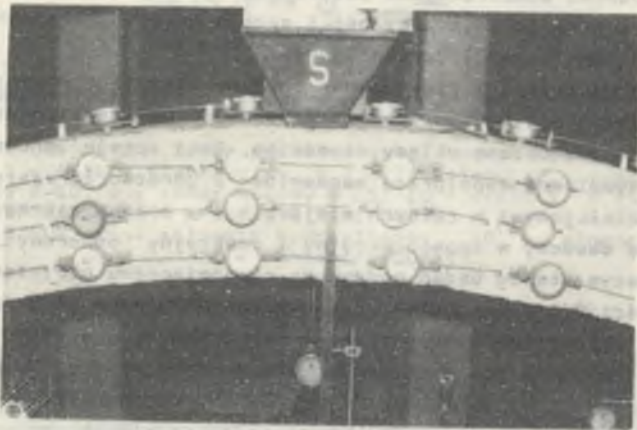
W praktyce dokładne powiązanie wykonywanych pierścieni obudowy z obrysem wyłomu wyrobiska zapewnia utwardzana podsadzka. Wyniki badań pozwoliły określić zalety i wady pracy segmentów indywidualnych i wykonanych z nich pierścieni oraz stanowiły podstawę do opracowania wzorów, umożliwiających projektowanie określonych konstrukcji obudów segmentów dostosowanych do ustalonych warunków górniczo-geologicznych i przewidywanego ciśnienia górotworu.

W czasie realizacji poszczególnych badań wykonywano szczegółowe pomiary odkształceń obwodowych i przemieszczeń radialnych obudowy, stosując następujące urządzenia pomiarowe:

- mechaniczne czujniki zegarowe o dokładności odczytu dokonanego pomiaru 0,01 mm, przy zakresie ich działania 10 mm; w przypadku pomiarów odkształceń obwodowych czujniki mocowano do segmentów w odpowiednich uchwytach, a przemieszczenia radialne mierzono czujnikami zamocowanymi w dostosowanych do tego typu badań statywach (rys. 8.7).



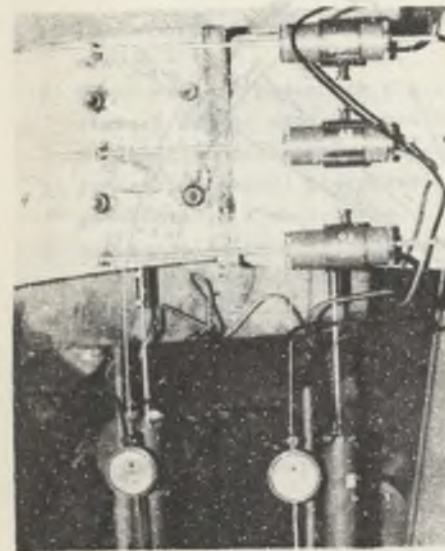
Rys. 8.6. Siłownik hydrauliczny obciążający badany pierścień obudowy aktywnie lub reakcyjnie wielkością wykazywaną za pomocą manometru



Rys. 8.7. Pomiary czujnikami zegarowymi odkształceń obwodowych i radialnych badanych segmentów indywidualnych

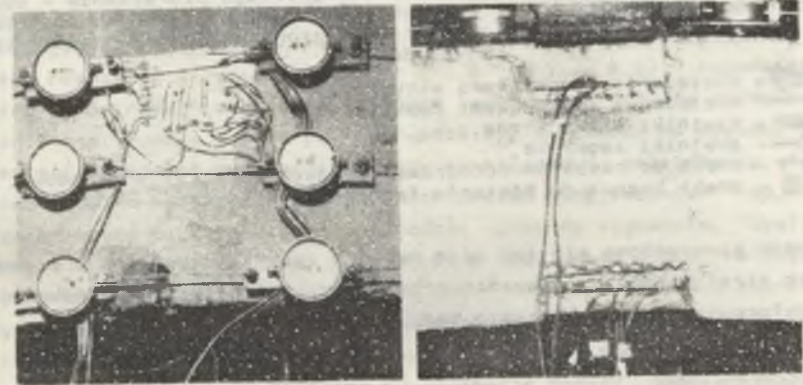
- czujniki elektryczne oporowe do pomiarów odkształceń obwodowych i radialnych (rys. 8.8); zakres działania czujników ± 20 mm i ± 100 mm, przy dokładności odczytu 0,01 i 0,05 mm,
- tensometry oporowe do pomiarów odkształceń obwodowych betonu i prętów stalowych (rys. 8.9),
- pomiary fotogrametryczne odkształceń obwodowych i radialnych (rys. 8.10) badanych pierścieni obudowy z zastosowaniem kamery typu UMK-10 1318 prod. NRD.

Pomiary odkształceń badanej obudowy były dokonywane po każdym zwiększeniu ciśnienia hydrołu w siłownikach hydraulicznych o 25 at. Wskazania czujników zegarowych odczytywano bezpośrednio i rejestrowano w specjalnie przygotowanych tablicach. Pomiary dokonywane czujnikami elektrycznymi zdejmowano za pomocą cyfrowego miernika przemieszczeń i rejestrowano drukarką automatyczną prod. NRD. Tensometry oporowe podłączano do mostków tensometrycznych TSA-63 prod. CSSR. Pomiary fotogrametryczne sprowadzały się do wykonywania zdjęć na kliszach fotograficznych badanego pierścienia obudowy - po każdym kolejnym etapie zwiększonego jego obciążenia, aż do uzyskania wielkości granicznej. Odkształcenia radialne i obwodowe odczytywano za pomocą stereokomparatora 1318.

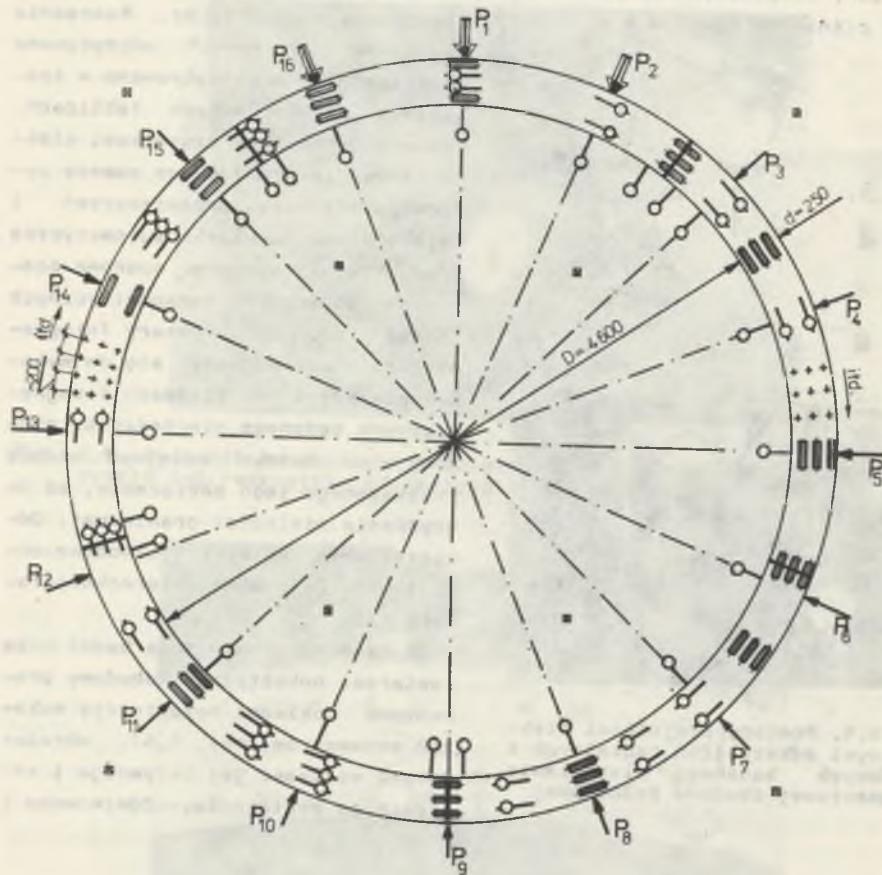


Rys. 8.8. Pomiary czujnikami elektrycznymi odkształceń radialnych i obwodowych badanego pierścienia segmentowej obudowy żelbetowej

W czasie prowadzenia badań poza pomiarami odkształceń obudowy prowadzono dokładną rejestrację wskazań manometrów (rys. 8.6), obrazujących wielkość jej aktywnego i reakcyjnego obciążenia. Zdejmowano i



Rys. 8.9. Pomiary za pomocą tensometrów oporowych odkształceń betonu i prętów stalowych obciążanych segmentów indywidualnych i w pierścieniu obudowy



Rys. 8.10. Przygotowany do badań układ 5-segmentowego pierścienia - obrazujący rozmieszczenia segmentów, siłowników hydraulicznych oraz czujników zegarowych i znaków mierniczych do pomiarów fotogrametrycznych odkształceń obudowy

- - obciążenie siłownikami akcyjnymi,
- ⇐ - obciążenie siłownikami reakcyjnymi,
- - czujniki elektryczne,
- ⊙ - czujniki zegarowe,
- + + - znaki do pomiarów fotogrametrycznych odkształceń obudowy,
- ⊠ - znaki bazowe do pomiarów fotogrametrycznych

rejestrowano szczególnie miejsca oraz wymiary rys i szczelin, a również ściskanych stref betonu w otoczeniu przekrojów o największym wyężeniu materiału-deformujących się w czasie badań segmentów.

8.4. Badania pierścieni 5-segmentowej obudowy żelbetowej

Podstawowe rodzaje badań pierścieni segmentowej obudowy żelbetowej podano w tabelicy 8.3. Zasadniczym ich celem było ustalenie następujących parametrów:

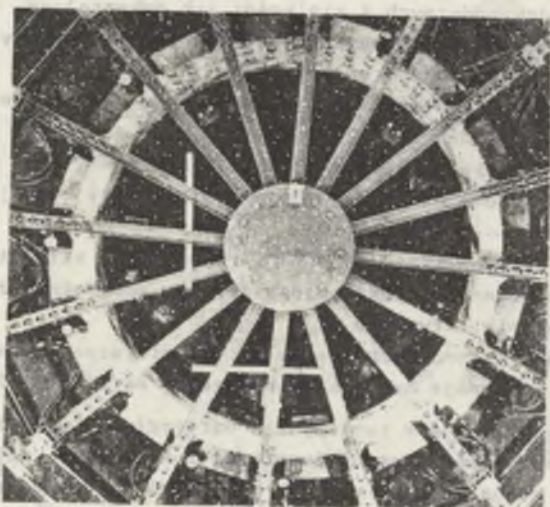
- 1) podporność pierścieni obudowy przy różnych konfiguracjach ich obciążenia,
- 2) praca wkładek podatnych i wielkości ich odkształceń w poszczególnych etapach danego sposobu obciążenia pierścienia obudowy - zakończonych wielkością obciążenia granicznego,
- 3) zakres podatności pierścienia obudowy przy określonym sposobie jego upodatkienia i obciążenia,
- 4) dopuszczalne odkształcenia radialne pierścieni, przy których zaprojektowana podporność miejscowo obciążonej obudowy zostaje w pełni zachowana,
- 5) wielkość, rozkład i zasięg odporu reakcyjnego siłowników na tej części obudowy pierścienia, która pozostaje poza zasięgiem działającego na obudowę obciążenia akcyjnego,
- 6) sposób pracy betonu i zbrojenia w tych miejscach segmentów żelbetowych, w których występuje największe wyężenie materiału obudowy.

Badania 1-3 zestawione w tabelicy 8.3 dotyczyły pracy pierścienia obudowy obciążonego akcyjnie trzema siłownikami z wypadkową działającą w środku segmentu i z różną ilością wkładek podatnych między końcówkami segmentów.

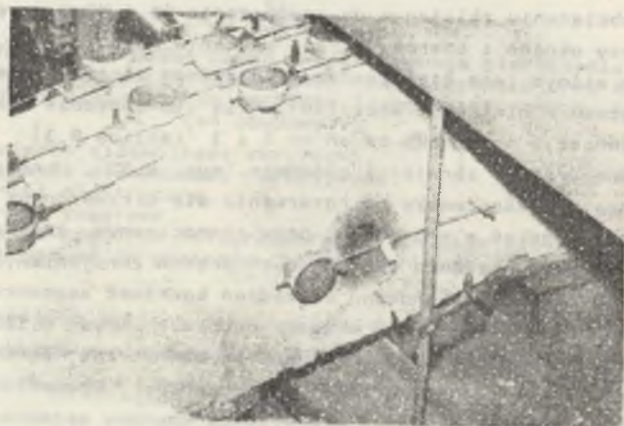
W badanych pierścieniach z wkładkami pojedynczymi (rys. 8.11) pierwsze rysy występowały przy obciążeniu 0,313 MPa w środkowej części segmentu obciążonego akcyjnie - w części jego obudowy objętej kątem środkowym 45° (rys. 8.11a).

Przy obciążeniu zbliżonym do granicznego (1,4 MPa) występowały każdorazowo rysy ukośne i szeroka strefa spękań w betonie (rys. 8.11b) z równoczesnym silnym jego miażdżeniem w ściskanej strefie segmentu (powyżej występujących w nim rys i szczelin). Przy tym sposobie obciążenia obserwowano również w przypadku badań nr 2 i 3 (tabelica 8.3) rozerwanie się prętów wewnętrznych zbrojenia głównego (rys. 8.12). Utrata nośności pierścienia następowoła zawsze po rozerwaniu się strzemion na odcinku objętym przez strefę spękań w segmencie, przy równoczesnym zmiżdżeniu nad nią betonu i dużym wyoboczeniu się głównych prętów zbrojeniowych (rys. 8.11c). W czasie badań nie stwierdzono uszkodzeń końcówek segmentów. Występowały natomiast duże odkształcenia wkładek podatnych (rys. 8.11d) na skutek intensywnego miejscowego ich ściskania (po wewnętrznej stronie pierścienia) przy końcówkach aktywnie obciążanego segmentu. Prowadzone pomiary odkształceń i obciążeń badanego pierścienia obudowy sposobem fotogrametrycznym i mechanicznym były podstawą do uzyskania danych, umożliwiającących wykonanie następujących wykresów:

- wykres akcyjnych i reakcyjnych wielkości obciążeń obudowy (rys. 8.13),
- wykres przemieszczeń radialnych poszczególnych segmentów w pierścieniu obudowy (rys. 8.14),
- wykres odkształceń wkładek podatnych (rys. 8.15),
- wykres charakterystyki pracy obudowy.



Rys. 8.11. Pierścień obudowy przygotowany do badań (badanie nr 1 - tablica 8.3)

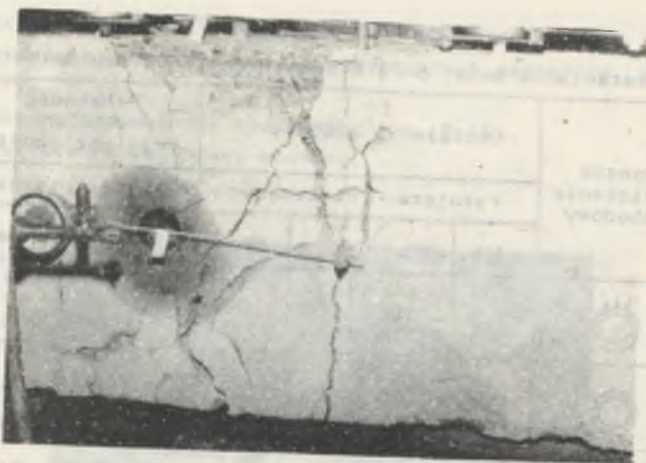


Rys. 8.11a. Rysy w akcyjnie obciążonym segmencie trzema siłownikami, P1, P2, P16 (rys. 8.13) z wypadkową w środku segmentu przy wielkości wywieranego nacisku $p = 0,8 \text{ MPa}$

Tablica 8.3

Zestawienie badań 5- i 6-segmentowej obudowy żelbetowej

Lp.	Sposób obciążenia obudowy	Obciążenie obudowy				Podatność obudowy przy obciążeniu		Grubość wkładki podatn.
		rysujące		niszczące		rysujące	niszczące	
		MN	MPa	MN	MPa	mm	mm	
1		0,3	0,312	1,37	1,420	23,25	108,00	22
2		0,3	0,312	1,00	1,020	18,00	85,00	44
3		0,3	0,312	0,93	0,938	15,00	100,00	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				>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				>11,1	>2,18	-	24,50	22
14				>11,2	>2,18	-	31,00	44
15				>11,2	>2,18	-	50,00	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



Rys. 8.11b. Rysy i spękania w segmencie obciążonym akcyjnie wielkością graniczną $p = 1,4 \text{ MPa}$ (badanie nr 1 - tablica 8.3)



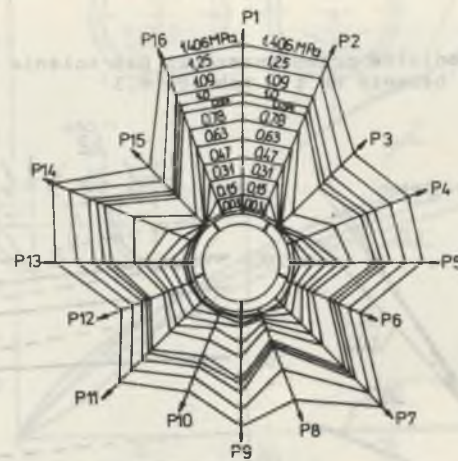
Rys. 8.11c. Zniszczony segment w pierścieniu obudowy po przekroczeniu granicznej wielkości jego obciążenia (badanie nr 1 - tablica 8.3)



Rys. 8.11d. Odkształcone wkładki podatne przy końcówce akcyjnie obciążonego segmentu wielkością graniczną (badanie nr 1, 2, 3 - tablica 8.3)

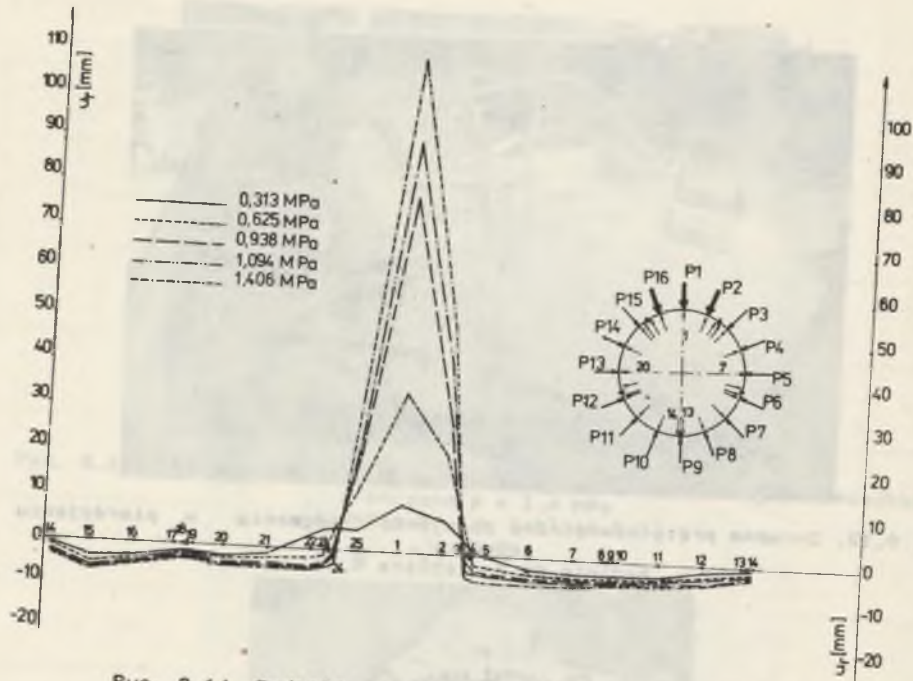


Rys. 8.12. Zerwane pręty wewnętrzne zbrojenia segmentu w pierścieniu obudowy (badanie nr 2, tablica 8.3)

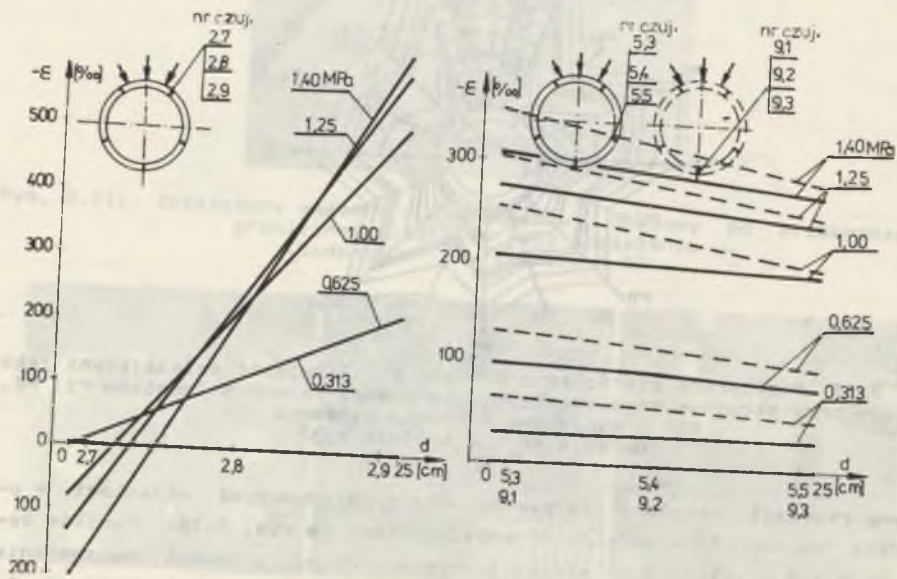


Rys. 8.13. Współpraca pierścienia obudowy z siłownikami działającymi jako reakcje przy akcyjnym jego obciążeniu za pomocą trzech siłowników P1, P2, P16 z wypadkową w środku segmentu (badanie nr 1 - tablica 8.3)

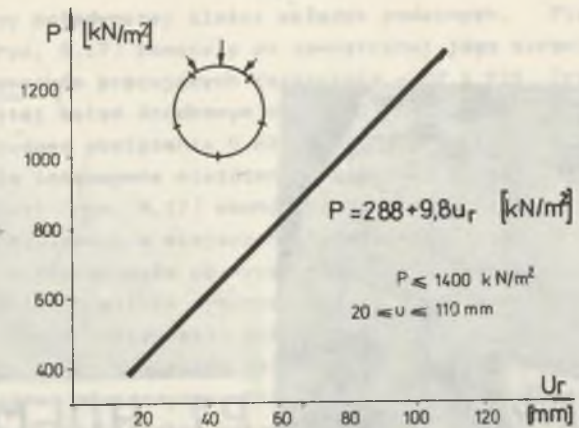
Krzywą regresji, ustaloną dla pierścienia z pojedynczymi wkładkami w układzie "podporność - podatność" przedstawiono na rys. 8.16. Wyników badań nr 2 i 3 (tablica 8.3) szczególnie nie podano, z uwagi na znacznie mniejszą podporność pierścienia obudowy obciążonego jak w badaniu nr 1, ale w większym stopniu upodatnionego.



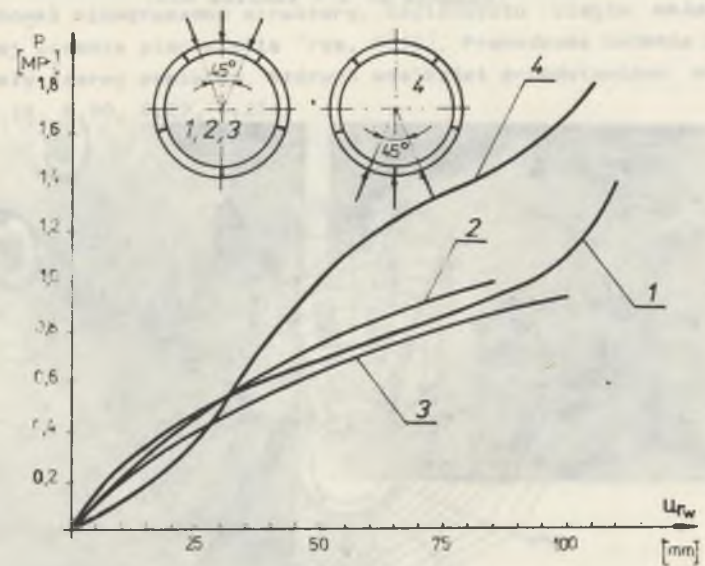
Rys. 8.14. Radialne przemieszczenia pierścienia obudowy (badanie nr 1 - tablica 8.3)



Rys. 8.15. Odkształcenia wkładek podatnych w pierścieniu (badanie nr 1 - tablica 8.3)



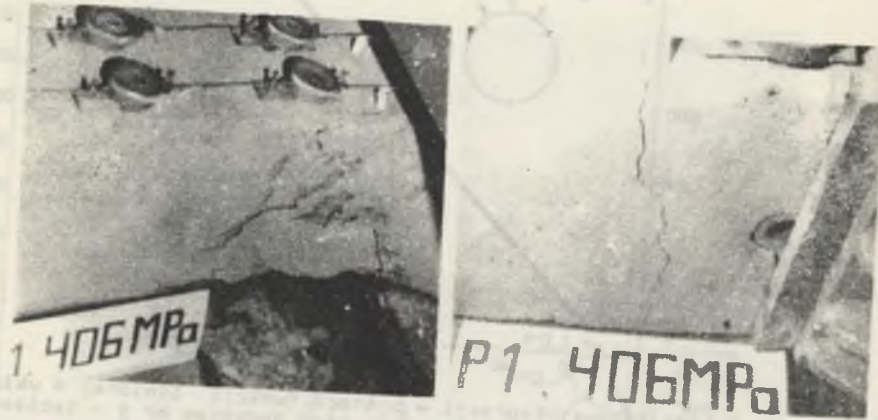
Rys. 8.16. Wykres krzywej regresji w postaci funkcji liniowej w układzie podporność-podatność dla pierścienia objętego badaniem nr 1 - tablica 8.3 (u_r - przemieszczenia radialne obudowy pod wypadkową zewnętrzną jej obciążenia)



Rys. 8.16a. Charakterystyka pracy pierścienia obudowy ustalonej za pomocą badań nr 1, 2, 3, 4 - tablica 8.3

Charakterystykę podporności i podatności pierścienia obudowy obciążonych akcyjnie trzema siłownikami z wypadkową w środku segmentu i upodatkowanych jedną, dwiema i czterema wkładkami przedstawiono na rys.8.16a.

Badania pierścienia obudowy obciążonych trzema siłownikami P8, P9, P10 (rys. 8.19) z wypadkową na połączeniu segmentów (badanie nr 4, tablica 8.3)



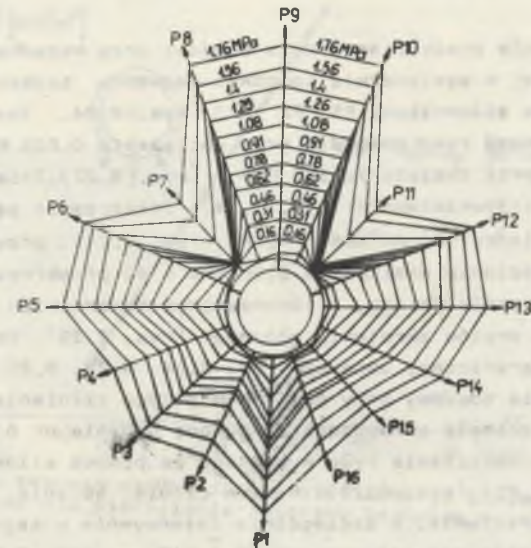
Pys. 8.17. Rysy, szczeliny i miażdżenie betonu w segmentach aktywnie obciążonych trzema siłownikami ($P \approx 1,4 \text{ MPa}$) z wypadkowa na połączeniu dwóch segmentów wg rys. 8.19 (badanie nr 4 - tablica 8.3)



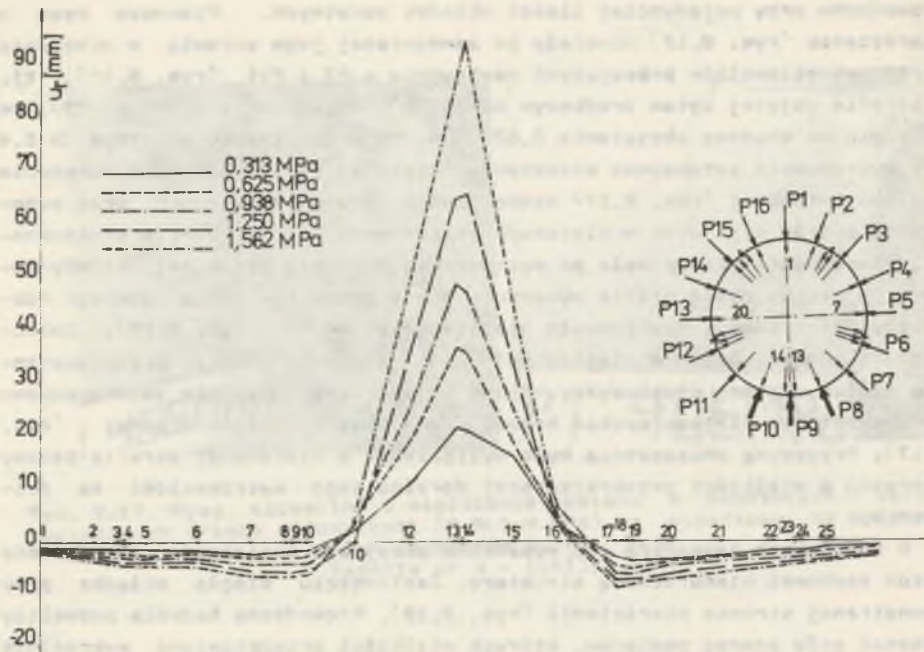
Pys. 8.18. Zniszczony segment przy siłowniku P11 i odkształcona wkładka pod siłownikiem P9 (rys. 8.19), po przekroczeniu granicznej wielkości obciążenia pierścienia obudowy (badanie nr 4 - tablica 8.3)

prowadzono przy pojedynczej ilości wkładek podatnych. Pierwsze rysy w pierścieniu (rys. 8.17) powstały po zewnętrznej jego stronie w otoczeniu skrajnych siłowników pracujących reakcyjnie - P7 i P11 (rys. 8.19), tj. w strefie objętej kątem środkowym około 90° (względem siłownika P9) po wywarciu na obudowę obciążenia $0,625 \text{ MPa}$. Przy obciążeniu aktywnym $> 1,4 \text{ MPa}$ występowało intensywne miażdżenie ściskanej strefy betonu i odrywanie otuliny betonowej (rys. 8.17) wewnętrznego zbrojenia segmentu oraz wyboczenie prętów stalowych w miejscach miażdżonego betonu. Utrata stateczności pierścienia następowała po wyczerpaniu nośności ściskanej strefy betonu, w wyniku czego silnie wybaczące się pręty zbrojenia głównego rozrywały strzemiąca i następowało niszczenie segmentu (rys. 8.18). Zmiądzony i spękany beton w miejscu deformacji segmentu uległ przemieszczeniu wzdłuż ukośnej płaszczyzny. Przed jego zniszczeniem nie zaobserwowano (w wymienionym miejscu spęknięcie betonu) powstania szczeliny ukośnej (rys. 8.17). Przyczyną zniszczenia było wystąpienie w miażdżonej strefie betonu naprężeń o wielkości przekraczającej doraźną jego wytrzymałość na ściskanie.

W końcówkach segmentów pod wypadkową aktywnego obciążenia pierścienia beton zachował nienaruszoną strukturę. Zaciśnięciu uległa wkładka przy zewnętrznej stronie pierścienia (rys. 8.18). Prowadzone badania pozwoliły wykonać cały szereg pomiarów, których wielkości przedstawiono wykreślenie na rys. 8.19, 8.20, 8.21, 8.21a.



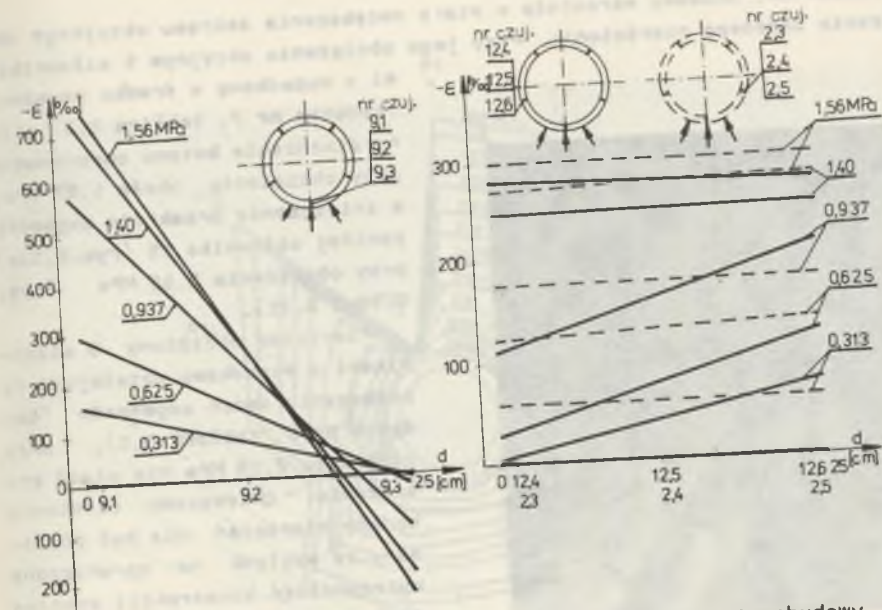
Pys. 8.19. Współpraca pierścienia obudowy z siłownikami działającymi jako reakcje przy aktywnym jego obciążeniu za pomocą trzech siłowników P8, P9, P10 z wypadkowa na połączeniu dwóch segmentów (badanie nr 4 - tablica 8.3)



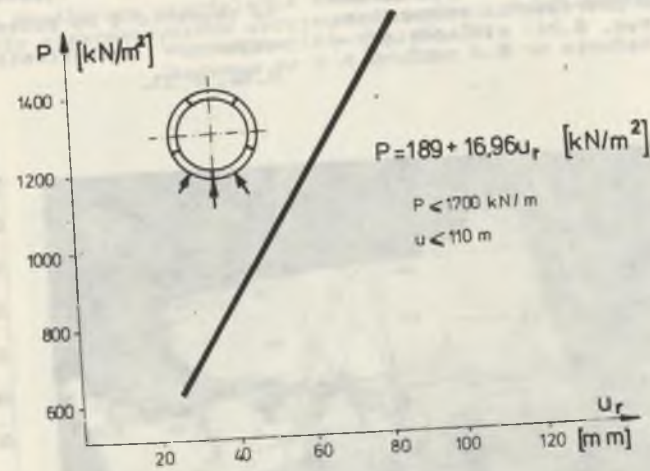
Rys. 8.20. Radialne przemieszczenia pierścienia obudowy (badanie nr 4 - tablica 8.3)

Celem stwierdzenia pracy pierścienia obudowy przy wypadkowej jego obciążenia działającej w sąsiedztwie końcówki segmentu badano obudowę przy obciążeniu akcyjnym siłownikami P1, P2 i P3 (rys. 8.24, badanie nr 5, tablica 8.3). Pierwsze rysy powstały przy obciążeniu 0,625 MPa, a silne miażdżenie betonu przy obciążeniu 1,5 MPa - (rys. 8.22). Zniszczeniu uległ segment obciążony siłownikiem P3 (rys. 8.24). Zniszczenie segmentu wystąpiło w przekroju między siłownikami P4, P5 (rys. 8.24), przy aktywnie obciążonym łuku pierścienia wielkością 1,56 MPa - po przekroczeniu wytrzymałości ściskanej strefy betonu, z równoczesnym rozerwaniem strzemion i silnym wybozczeniem prętów zbrojenia głównego (rys. 8.23). Otrzymane wyniki badań w formie graficznej obrazują rys. 8.24, 8.25, 8.26.

Praca pierścienia obudowy przy działaniu dużego ciśnienia od strony ociosów wyrobiska została sprawdzona za pomocą badania nr 6 (tablica 8.3), gdzie aktywne jego obciążenie było wywierane za pomocą siłowników P4, P5, P6 oraz P12, P13 i P14 (rys. 8.29). Rysy w czasie badania wystąpiły na całym obwodzie pierścienia, a szczególnie intensywnie w segmentach spagowych (obciążonych aktywnie siłownikami P6 i P12) - (rys. 8.29) w otoczeniu siłowników P7 i P11 (rys. 8.27). W przedłużeniu szczelin (rys. 8.27) wystąpiły strefy miażdżonego betonu. Utrata podporności pierścienia nastąpiła po aktywnym obciążeniu łuków ociosowych wielkością 1,845 MPa.



Rys. 8.21. Odształcenia wkładek podatnych pierścienia obudowy (badanie nr 4 - tablica 8.3)



Rys. 8.21a. Wykres krzywej regresji w postaci funkcji liniowej w układzie podporność-podatność dla pierścienia objętego badaniem nr 4 - tablica 8.3

Zniszczeniu uległy: beton, strzemiona i pręty zbrojenia głównego (rys. 8.28). Etapy obciążania pierścienia w przeprowadzonym badaniu obrazuje rys. 8.29, a odkształcenia radialne pierścienia oraz zaciskanie wkładek podatnych przedstawiono na rys. 8.29a i 8.29b.

Podporność obudowy wzrastała w miarę zwiększania zakresu akcyjnego obciążenia badanego pierścienia. Przy jego obciążeniu akcyjnym 5 siłownikami z wypadkową w środku segmentu (badanie nr 7, tablica 8.3) silne miażdżenie betonu obserwowano przy obciążeniu około 1,87 MPa, a zniszczenie przekroju segmentu poniżej siłownika 15 (rys. 8.33a), przy obciążeniu 2,18 MPa (rys. 8.30 i 8.31).

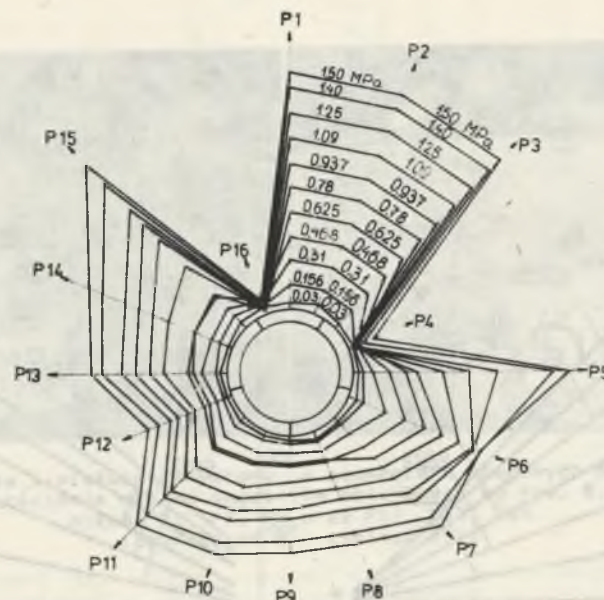


Rys. 8.22. Niszczenie przekroju pierścienia obudowy w niesymetrycznie obciążonym łuku pierścienia siłownikami P1, P2, P3 (rys. 8.24) wielkością $p = 1,5$ MPa (badanie nr 5 - tabl. 8.3)

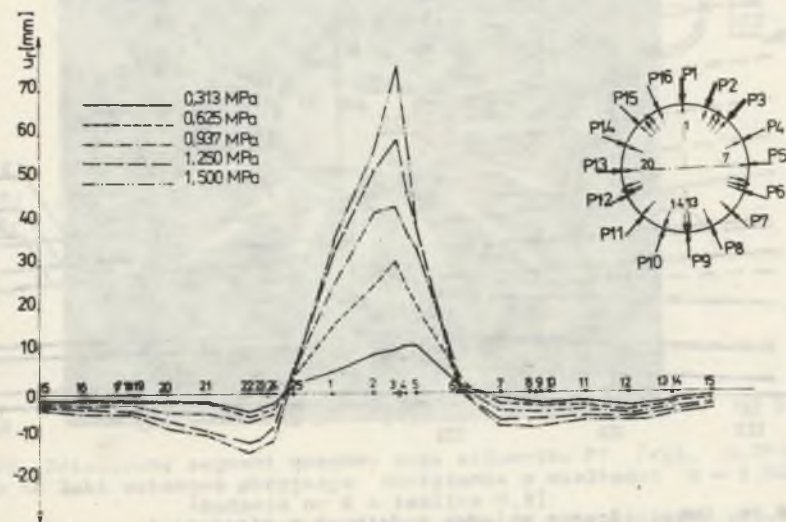
Pierścień obciążony 5 siłownikami z wypadkową działającą na połączeniu dwóch segmentów (badanie nr 8, tablica 8.3), przy ciśnieniu 2,18 MPa nie uległ zniszczeniu. Większemu ciśnieniu badany pierścień nie był poddawany ze względu na ograniczoną wytrzymałość konstrukcji stoiska do badań. Niektóre wyniki badań pierścieni obciążonych aktywnie 5 siłownikami z wypadkową w środku segmentu i na połączeniu dwóch segmentów przedstawiono na rys. 8.32, 8.33.



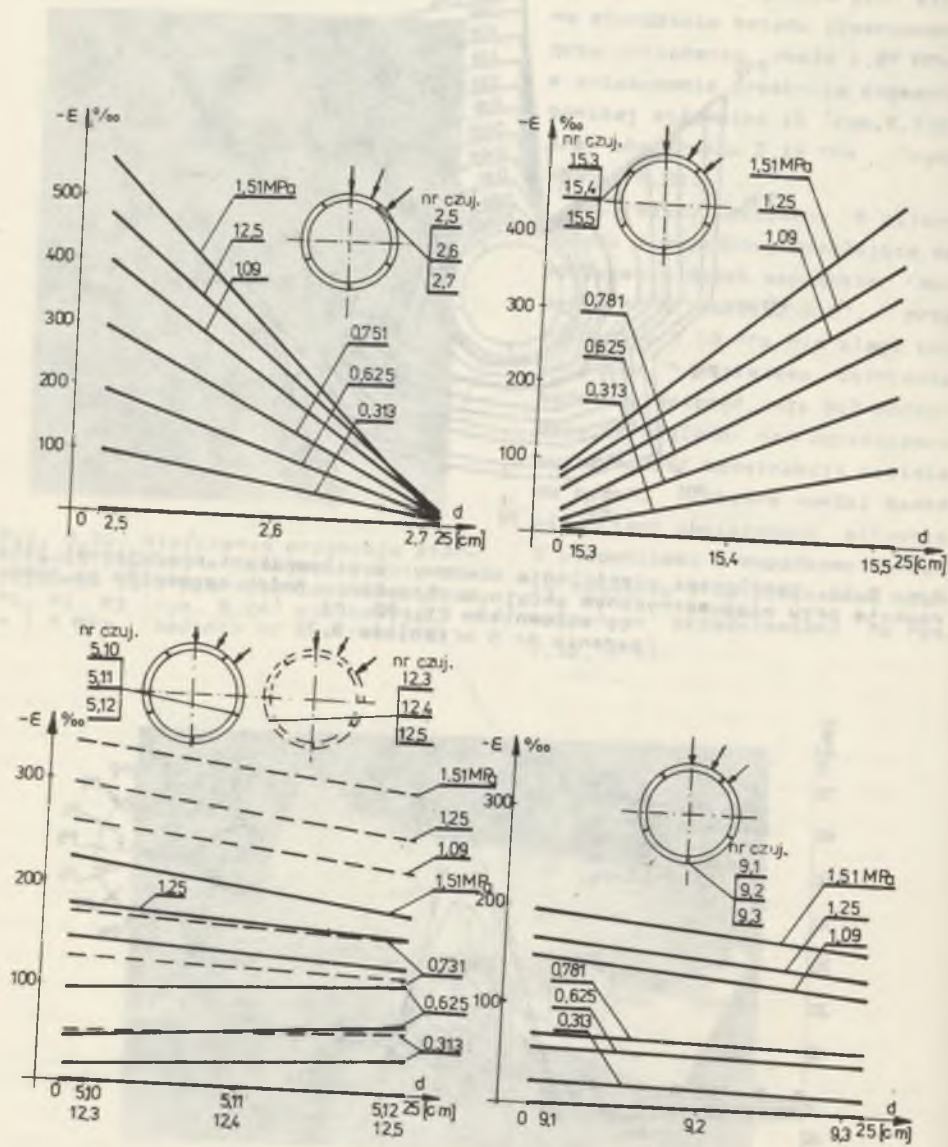
Rys. 8.23. Zniszczony przekrój obudowy w niesymetrycznie obciążonym segmencie siłownikiem P3 (rys. 8.24), przy wielkości akcyjnego obciążenia pierścienia $p = 1,6$ MPa (badanie nr 5 - tablica 8.3)



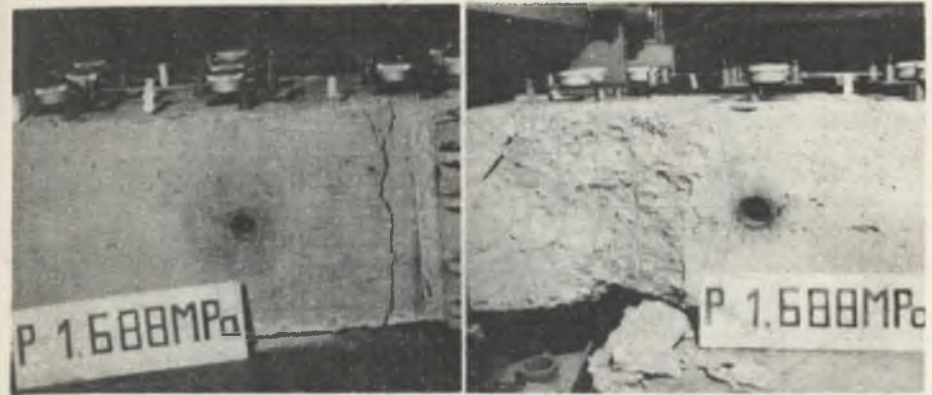
Rys. 8.24. Współpraca pierścienia obudowy z siłownikami pracującymi jako reakcje przy niesymetrycznym akcyjnym obciążeniu dwóch segmentów za pomocą siłowników P1, P2, P3 (badanie nr 5 - tablica 8.3)



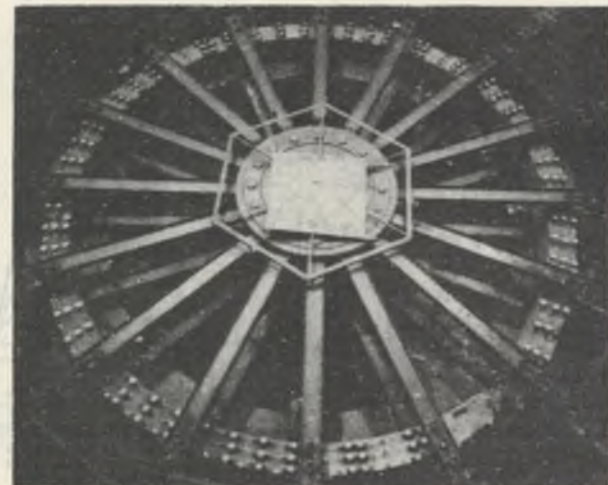
Rys. 8.25. Radialne przemieszczenia pierścienia obudowy przy niesymetrycznym obciążeniu dwóch jego segmentów, jak na rys. 8.24



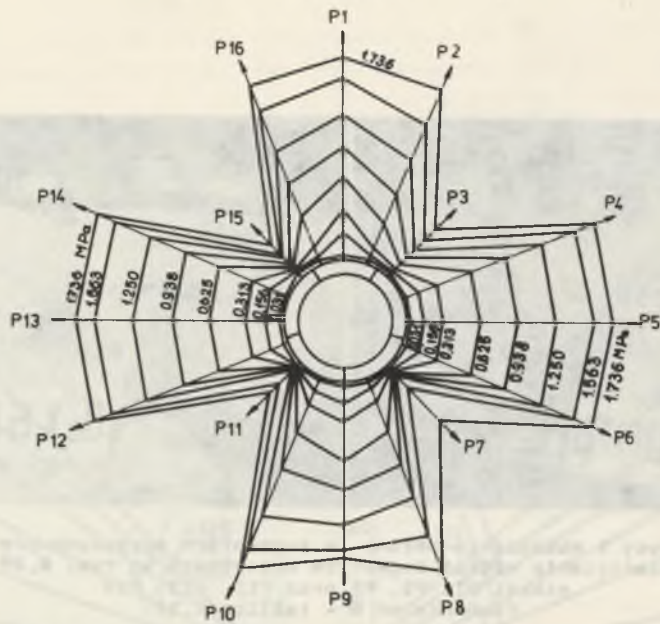
Rys. 8.26. Odkształcenia wkładek podatnych w pierścieniu obudowy przy niesymetrycznym obciążeniu segmentów (badanie nr 5 - tablica 8.3)



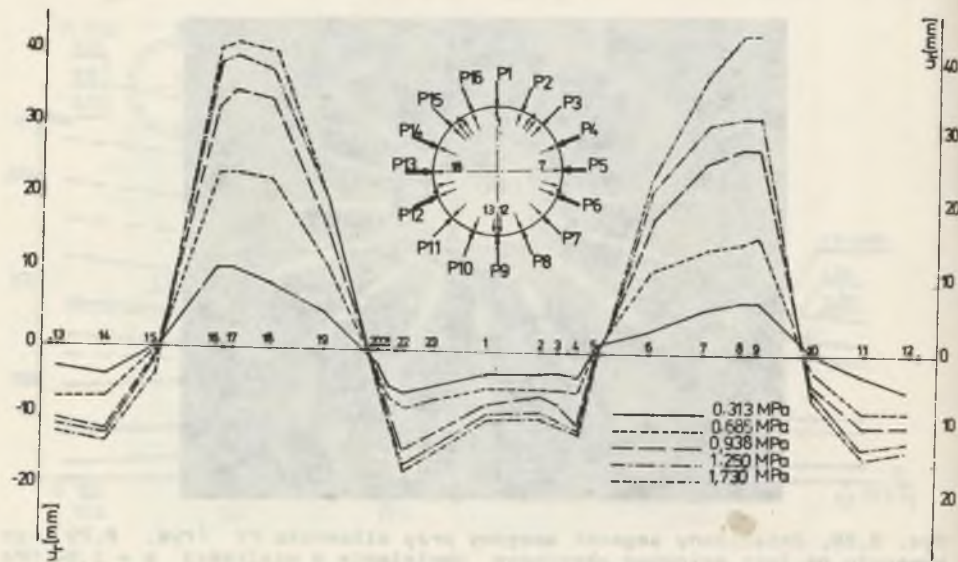
Rys. 8.27. Rysy i miażdżenie betonu w segmentach spęgowych przy akcyjnym obciążeniu pierścienia wzdłuż segmentów ociosowych wg rys. 8.29 - siłownikami P1, P5, P6 oraz P12, P13, P14 (badanie nr 6 - tablica 8.3)



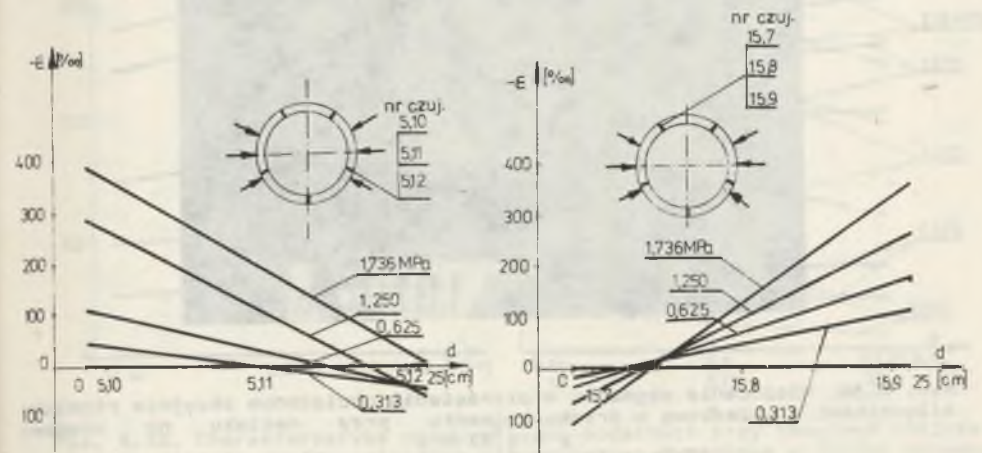
Rys. 8.28. Zniszczony segment spęgowy przy siłowniku P7 (rys. 8.29) po wywarciu na łuki ociosowe akcyjnego obciążenia o wielkości $p = 1,84$ MPa (badanie nr 6 - tablica 8.3)



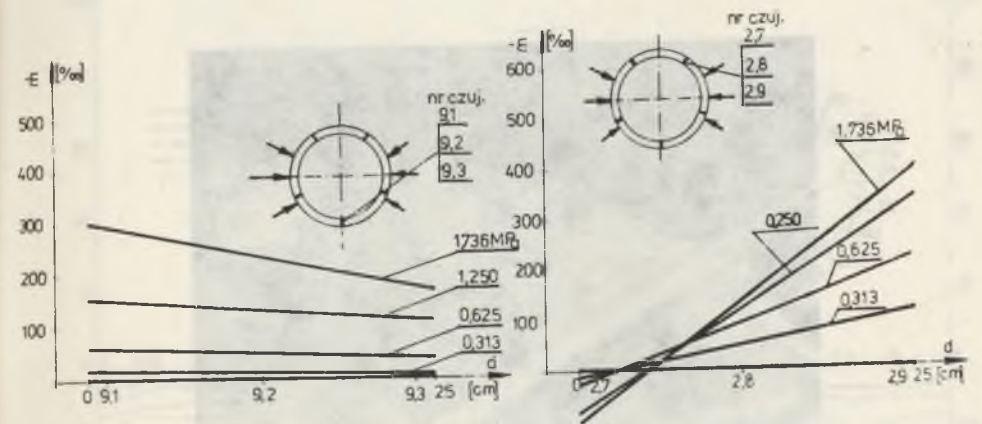
Rys. 8.29. Współpraca pierścienia obudowy z siłownikami działającymi jako reakcje, przy akcyjnym obciążeniu łuków bocznych pierścienia siłownikami P4, P5, P6 oraz P12, P13, P14 (badanie nr 6 - tablica 8.3)



Rys. 8.29a. Radialne przemieszczenia pierścienia obudowy przy akcyjnym obciążeniu łuków ociosowych, jak na rys. 8.29



Rys. 8.29b. Odkształcenia wkładek podatnych w pierścieniu obudowy, przy akcyjnym obciążeniu łuków ociosowych (badanie nr 6 - tablica 8.3)

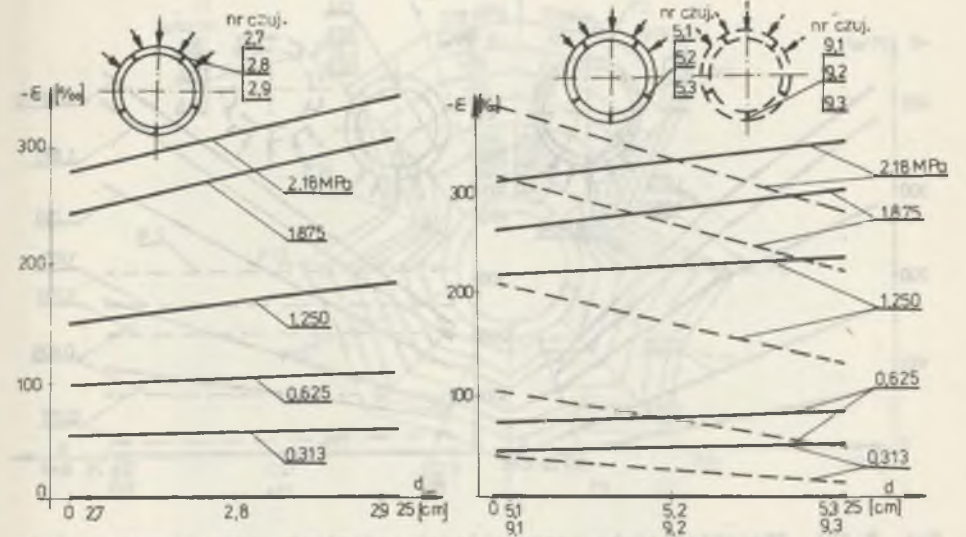




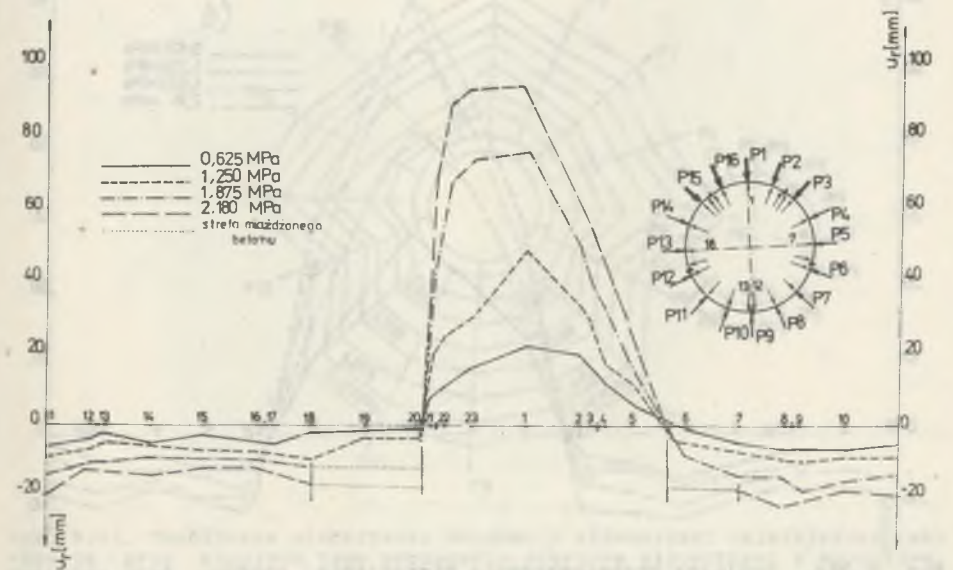
Rys. 8.30. Niszczony segment w pierścieniu obciążonym akcyjnie pięcioma siłownikami z wypadkową w środku segmentu przy nacisku na obudowę $p = 1,87 \text{ MPa}$ (badanie nr 7 - tablica 8.3)



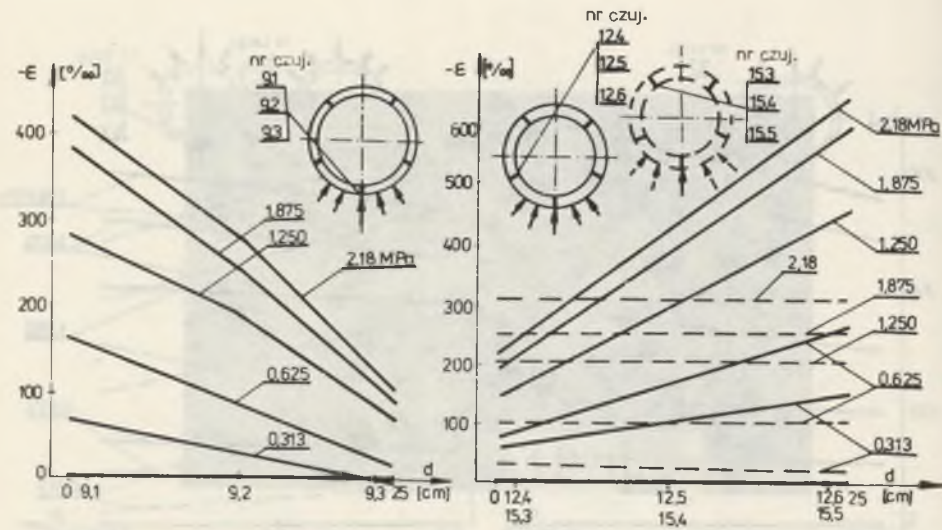
Rys. 8.31. Zniszczony segment (rys. 8.30) przy siłowniku P14 (rys. 8.33) po wywarceniu na badany pierścień obciążenia granicznego $p = 2,2 \text{ MPa}$



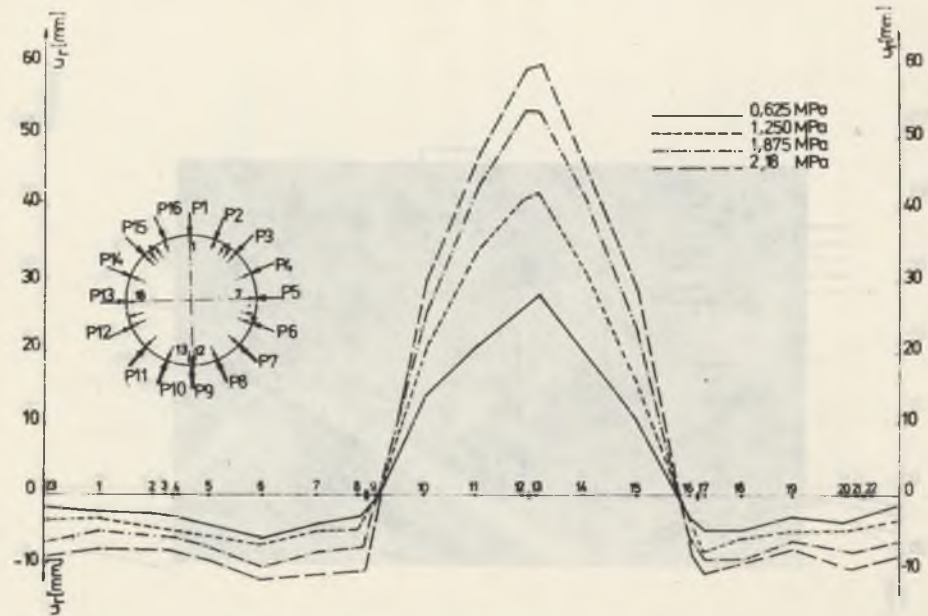
Rys. 8.32. Charakterystyka pracy wkładek podatnych przy akcyjnym obciążeniu pierścienia obudowy pięcioma siłownikami z wypadkową w środku segmentu (rys. 8.33a)



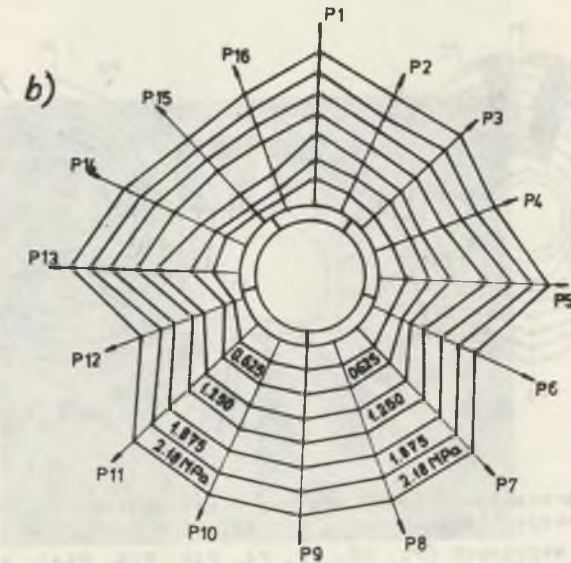
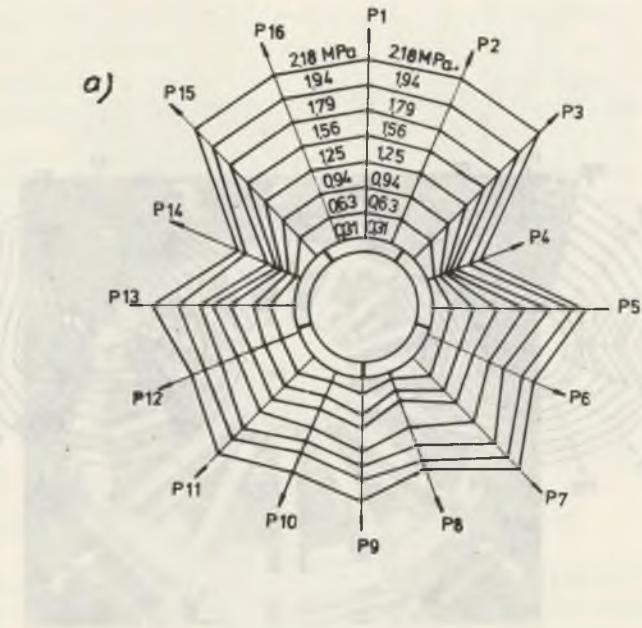
Rys. 8.32a. Radialne przemieszczenia pierścienia obudowy jego obciążeniu pięcioma siłownikami (rys. 8.33a) z wypadkową w środku segmentu



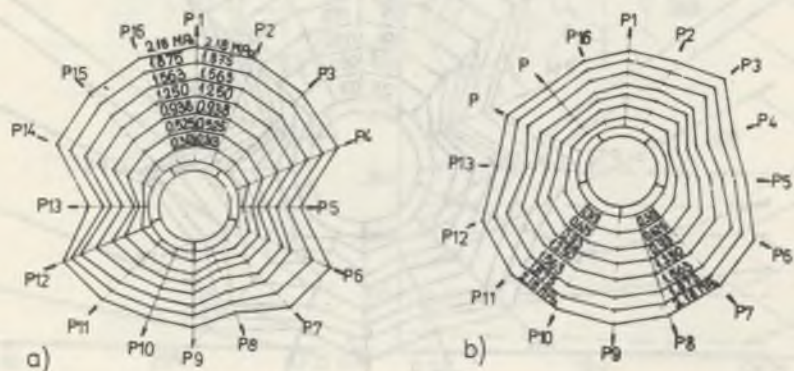
Rys. 8.32b. Charakterystyka pracy wkładek podatnych przy akcyjnym obciążeniu pierścienia obudowy pięcioma siłownikami z wypadkową na połączeniu dwóch segmentów.
(badanie nr 8 - tablica 8.3, rys. 8.33b)



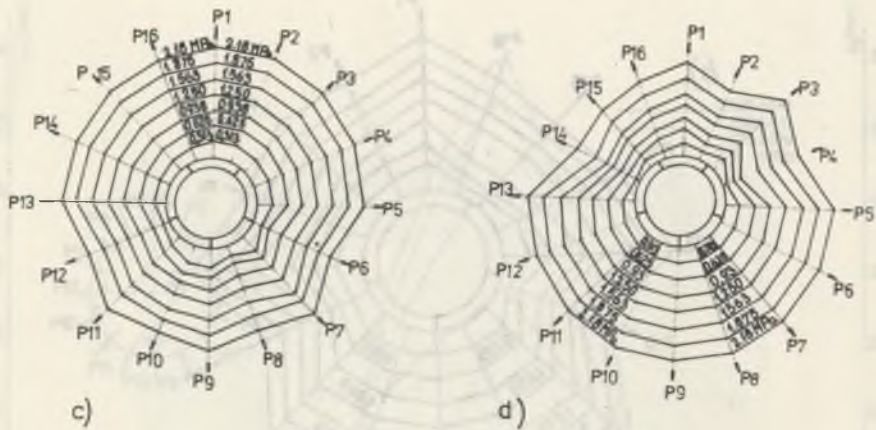
Rys. 8.32c. Radialne przemieszczenia pierścienia obudowy przy akcyjnym jego obciążeniu pięcioma siłownikami (rys. 8.33b) z wypadkową na połączeniu dwóch segmentów



Rys. 8.33. Współpraca pierścienia obudowy z siłownikami działającymi jako reakcje przy akcyjnym jego obciążeniu pięcioma siłownikami z wypadkową:
a - w środku segmentu, b - na połączeniu dwóch segmentów
(badania nr 7 i 8 - tablica 8.3)

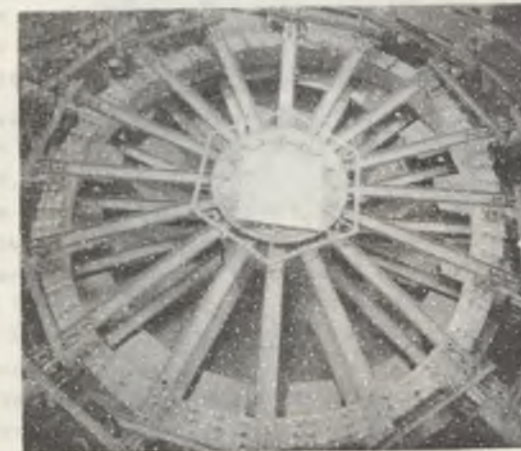
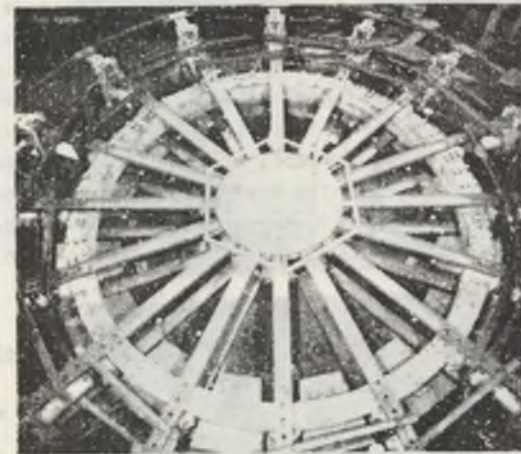


Rys. 8.33. Współpraca pierścienia obudowy z siłownikami działającymi jako reakcje (badania nr 9, 10, 11, 12 - tablica 8.3)



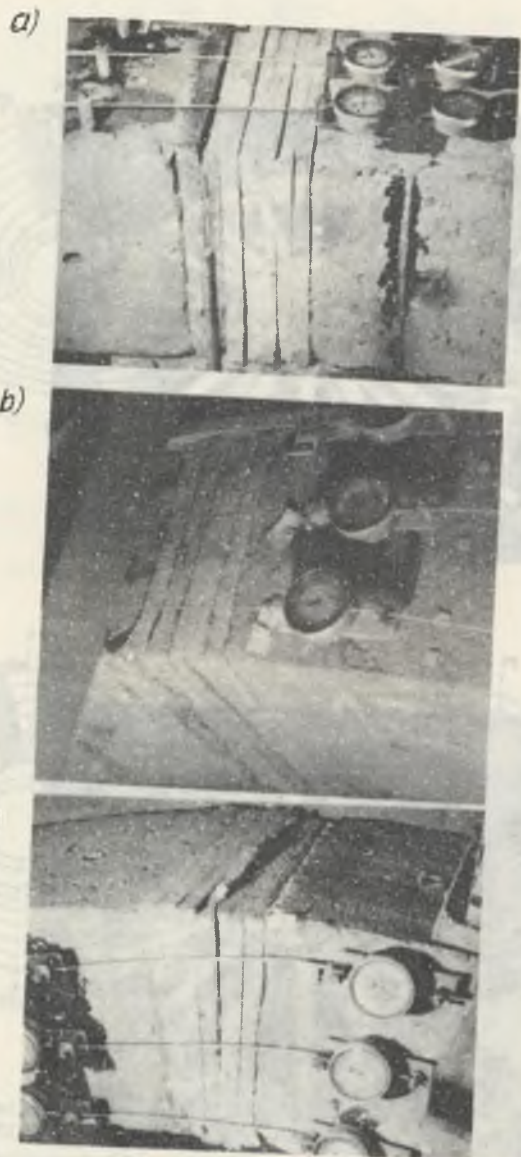
Rys. 8.34. Współpraca pierścienia obudowy z siłownikami działającymi jako reakcje (badania nr 9, 10, 11, 12 - tablica 8.3)

a - 7 siłowników akcyjnych (P1, P2, P3, P4, P16, P15, P14) z wypadkową w środku segmentu, b - 7 siłowników akcyjnych (P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12) z wypadkową na połączeniu dwóch segmentów, c - 9 siłowników pracujących akcyjnie (P1, P2, P3, P4, P5, P16, P15, P14, P13) z wypadkową w środku segmentu, d - 9 siłowników pracujących akcyjnie (P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13) z wypadkową na połączeniu dwóch segmentów



Rys. 8.35. Pierścienie obudowy obciążone równomiernie wielkością $p = 2,18 \text{ MPa}$ (badania nr 14 i 15 - tablica 8.3)

a - 2 wkładki między końcówkami segmentów o grubości 44 mm, b - 7 wkładek o sumarycznej grubości 154 mm



Rys. 8.36. Praca wkładek podatnych o grubości 154 mm w pierścieniu obudowy obciążonym w sposób równomierny
 a - wkładki ściskane równomiernie ($p = 1,8$ MPa), b - wkładki ściskane przy zewnętrznej stronie pierścienia ($p = 2,2$ MPa), c - wkładki ściskane przy wewnętrznej stronie pierścienia ($p = 2,2$ MPa)

Dla uzyskania pełnego obrazu pracy pierścienia 5-segmentowej obudowy żelbetowej przeprowadzono badania, zwiększając ilość akcyjnie działających na niego siłowników do 7 i 9 z wypadkową w środku i na połączeniu segmentów (badanie nr 9, 10, 11, 12 - tablica 8.3). Współpracę pierścienia obudowy z poszczególnymi siłownikami hydraulicznymi przedstawiono na rys. 34a, b, c i d.

W końcowym etapie badań 5-segmentowych pierścieni wywierano na nie równomierne obciążenie akcyjne wszystkimi siłownikami przy stosowaniu w poszczególnych badaniach) różnej ilości wkładek (rys. 8.35) między końcówkami segmentów (badanie nr 13, 14, 15 - tablica 8.3)

We wszystkich badanych pierścieniach obciążonych w sposób równomierny maksymalną wielkością 2,2 MPa nie zaobserwowano żadnych uszkodzeń segmentów. Odkształcenia wkładek podatnych o grubości 154 mm (rys. 8.35b) przy akcyjnym obciążeniu pierścienia obudowy wszystkimi siłownikami ($p = 1,8$ MPa i $p = 2,2$ MPa) obrazują rys. 8.36a, b, c.

8.5. Badania pierścieni 6-segmentowej obudowy żelbetowej

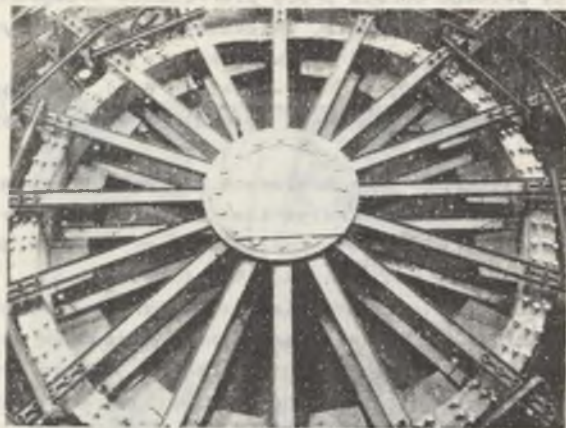
Konstrukcję 6-segmentowej obudowy żelbetowej dostosowano dla wyrobisk korytarzowych, w których użyteczna wielkość ich przekroju poprzecznego nie może być mniejsza od określonej przez odrzwia ŁP-10. Podporność i podatność pierścieni złożonych z 6 segmentów sprawdzano dla dwóch przypadków niekorzystnego ich obciążenia akcyjnego 3 siłownikami hydraulicznymi:

- badania przy obciążeniu pierścienia siłownikami P16, P1, P2 z wypadkową działającą w środku segmentu (rys. 8.41a),
- badania przy obciążeniu pierścienia siłownikami P12, P13, P14 z wypadkową działającą na połączeniu dwóch segmentów (rys. 8.41b).

Celem badań było stwierdzenie wpływu wzrostu średnicy pierścienia i ilości budujących go segmentów na podporność obudowy; wyniki badań zestawiono w tablicy 8.3 (badania nr 16 i 17).

W pierwszym rodzaju badań rysy wystąpiły w akcyjnie obciążonym segmencie po wywarceniu na niego nacisku o wielkości $\approx 0,3$ MPa. Przy obciążeniu $\approx 1,35$ MPa pierścień ulegał zniszczeniu na skutek miażdżenia ściskanej strefy betonu (rys. 8.37), która w końcowej fazie była ścinana w płaszczyźnie pod kątem około 45° względem wypadkowej sił zewnętrznych z równoczesnym wyboczeniem się prętów zbrojenia głównego i rozerwaniem strzemion (rys. 8.38). Uległ również zerwaniu środkowy pręt zbrojenia głównego. Końcówki niszczonego segmentu i pracujące pod nimi wkładki przy granicznym jego obciążeniu przedstawiono na rys. 8.38a.

W przypadku badań drugiego rodzaju - pierwsze rysy występowały w otoczeniu siłownika P16 (rys. 8.41b) przy obciążeniu akcyjnym pierścienia wynoszącym około 0,7 MPa. Wzrost obciążenia powodował miażdżenie ściskanej strefy betonu i wyboczenie głównych prętów zbrojenia (rys. 8.39).



Rys. 8.37. Pierścień z sześciu segmentów w czasie badań - obciążony (jak na rys. 8.41a) trzema siłownikami P1, P2, P16 wielkością graniczną z wypadkową w środku segmentu (badanie nr 16 - tablica 8.3)

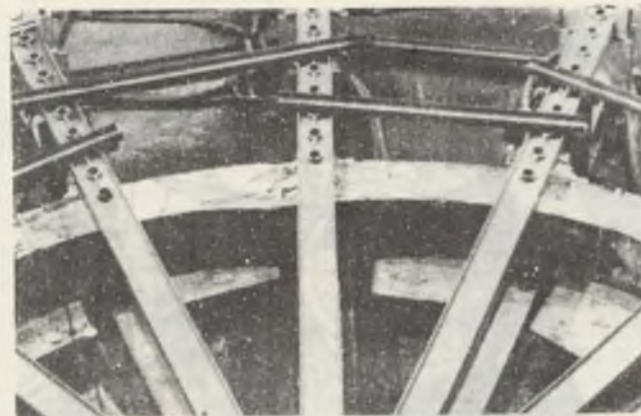
Przy obciążeniu badanej obudowy wielkością wynoszącą $\approx 1,81$ MPa nastąpiło uszkodzenie pierścienia i utrata jego podporności w miejscu połączenia segmentów (rys. 8.40) w otoczeniu siłownika P10 (rys. 8.41b).

Zjawisko niszczenia końcówek segmentów przebiegało w następujący sposób:

- przy wewnętrznej stronie aktywnie obciążanego segmentu wystąpiła koncentracja naprężeń ściskających w betonie, które spowodowały podłużne w nim pęknięcia i rozerwanie strzemion,



Rys. 8.38. Zniszczony segment (pod siłownikiem P1 - rys. 8.41a) w pierścieniu obudowy obciążonym aktywnie trzema siłownikami z wypadkową w środku segmentu (badanie nr 16 - tablica 8.3)



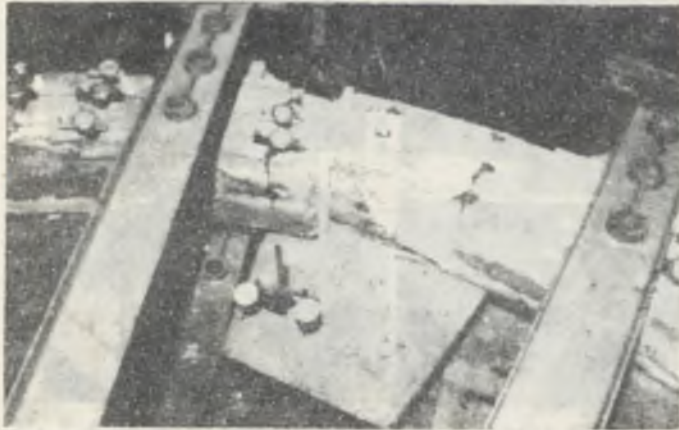
Rys. 8.38a. Końcówki niszczonego segmentu z wkładkami podatnymi przy granicznym jego obciążeniu siłownikami P1, P2 i P16 z wypadkową w środku segmentu (badanie nr 16 - tablica 8.3)

- rozparta końcówka segmentu utraciła dotychczasowe duże podparcie i gwałtownie przemieściła się na zewnątrz pierścienia obudowy, rozrywając wkładkę podatną i odrywając beton po zewnętrznej stronie końcówki drugiego segmentu.

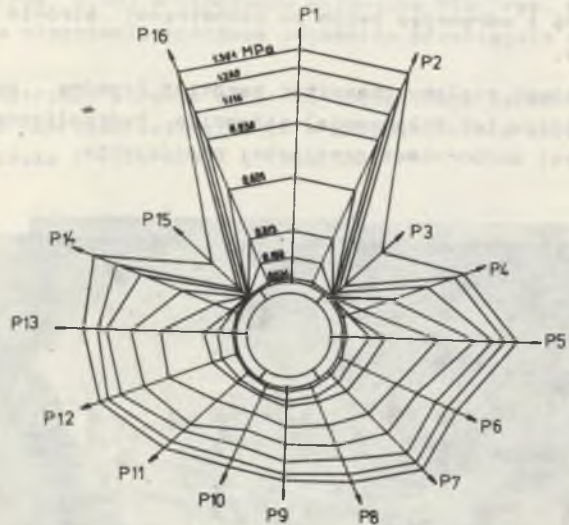
Zniszczenie końcówek miałooby charakter bardziej łagodny przy działaniu odporowym (w miejscu ich połączenia) siłownika hydraulicznego i wystąpiłoby przy większej podporności granicznej pierścienia.



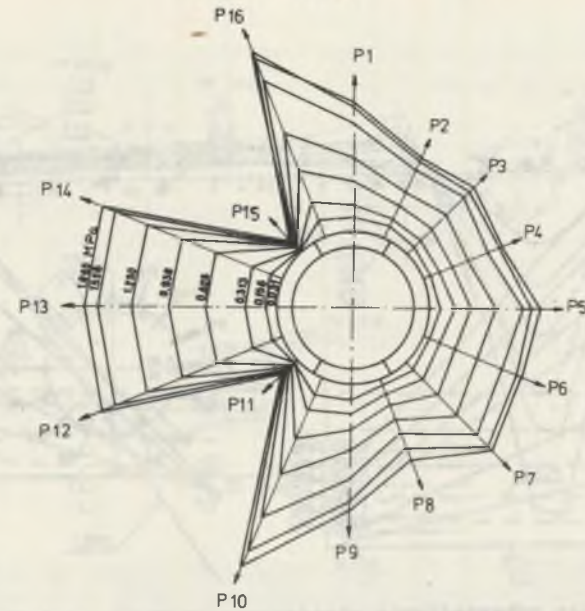
Rys. 39. Miążdżenie betonu w segmencie przy siłowniku P15 (rys. 41b) w aktywnie obciążonym pierścieniu trzema siłownikami z wypadkową na połączeniu dwóch segmentów $p = 1,8$ MPa (badanie nr 17 - tablica 8.3)



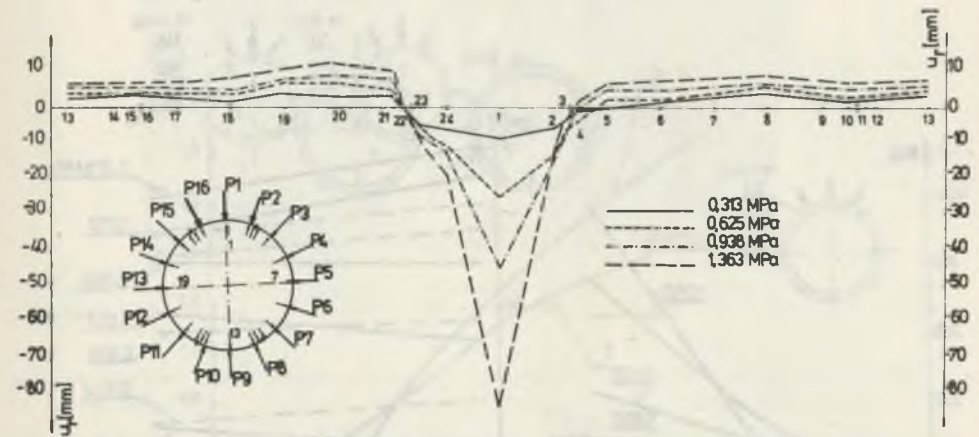
Rys. 8.40. Zniszczone końcówki segmentów przy siłowniku P10 (rys. 41b) w akcyjnie obciążonym pierścieniu obudowy sześciosegmentowej trzema siłownikami z wypadkową na połączeniu dwóch segmentów $p = 1,85 \text{ MPa}$



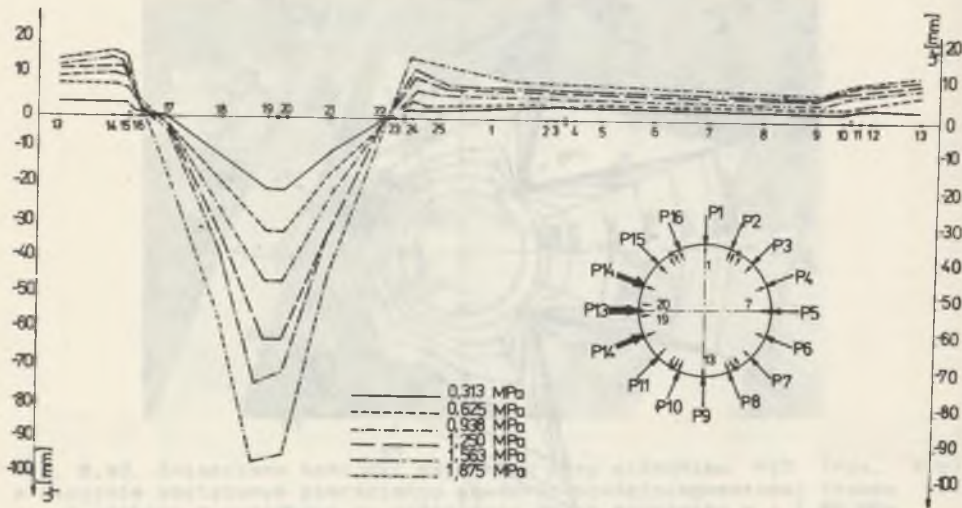
Rys. 8.41a Współpraca pierścienia obudowy sześciosegmentowej z siłownikami działającymi jako reakcje przy akcyjnym jego obciążeniu trzema siłownikami z wypadkową w środku segmentu (badanie nr 16 - tablica 8.3)



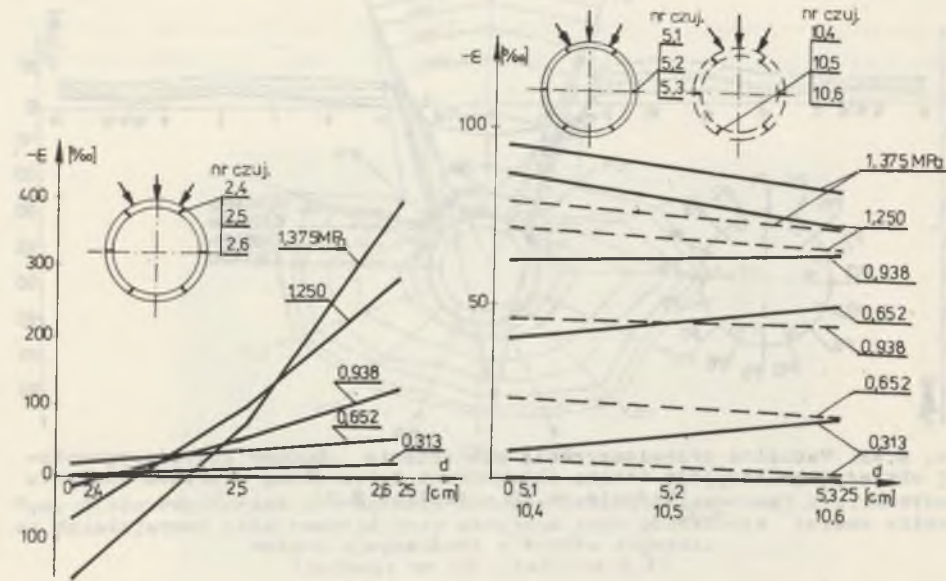
Rys. 8.41b. Współpraca pierścienia obudowy sześciosegmentowej z siłownikami działającymi jako reakcje przy akcyjnym jego obciążeniu trzema siłownikami z wypadkową na połączeniu dwóch segmentów (badanie nr 17 - tablica 8.3)



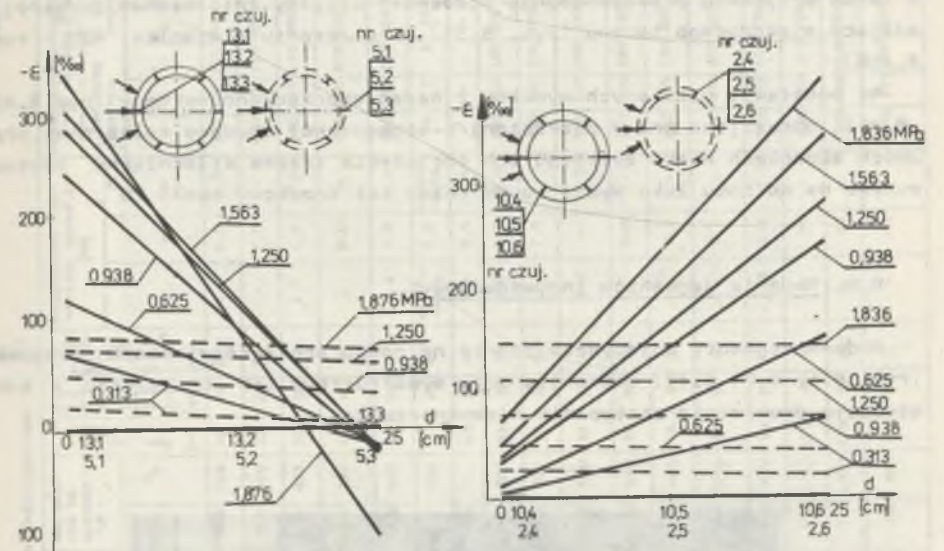
Rys. 8.42. Radialne przemieszczenia pierścienia obudowy sześciosegmentowej obciążonego akcyjnie trzema siłownikami z wypadkową w środku segmentu (badanie nr 16 - tablica 8.3)



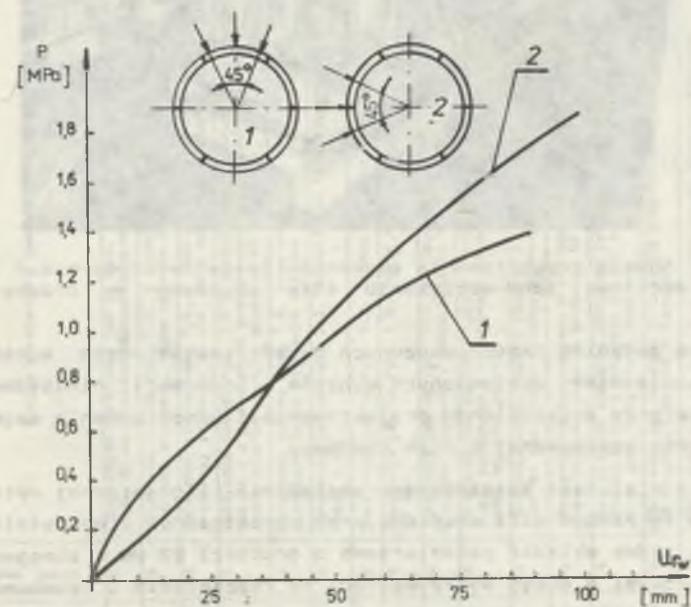
Rys. 8.43. Radialne odkształcenia pierścienia obudowy sześciosegmentowej obciążonego akcyjnie trzema siłownikami z wypadkową na połączeniu dwóch segmentów (badanie nr 17 - tablica 8.3)



Rys. 8.44. Odkształcenia wkładek podatnych w pierścieniu obudowy sześciosegmentowej obciążonym akcyjnie trzema siłownikami z wypadkową w środku segmentu (badanie nr 16 - tablica 8.3)



Rys. 8.45. Odkształcenia wkładek podatnych w pierścieniu obudowy sześciosegmentowej obciążonym akcyjnie trzema siłownikami z wypadkową na połączeniu dwóch segmentów (badanie nr 17 - tablica 8.3)



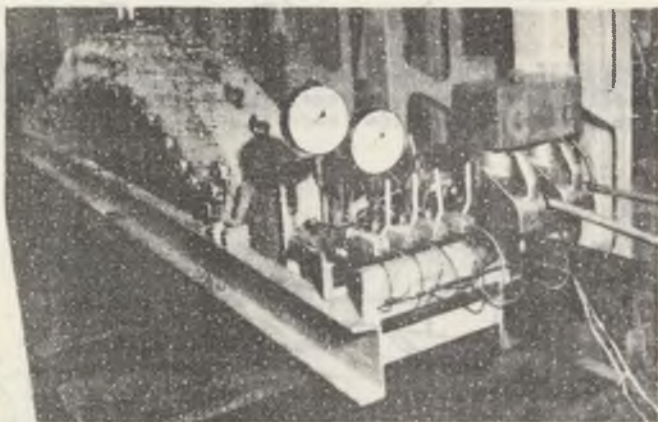
Rys. 8.46. Charakterystyka pracy sześciosegmentowej obudowy żelbetowej ustalona za pomocą badań nr 16 i 17 (tablica 8.3)

W takim przypadku prawdopodobnie wcześniej uległby zniszczeniu przekrój w miejscu miazdżonego betonu (rys. 8.39), w otoczeniu siłownika P15 (rys. 8.41b).

Na podstawie uzyskanych wyników z badań sporządzono wykresy (rys. 8.41-8.46), obrazujące pracę pierścieni 6-segmentowej obudowy żelbetowej, przy dwóch sposobach niekorzystnego ich obciążenia trzema siłownikami usytuowanymi na odcinku łuku wyznaczonym przez kąt środkowy około 70°.

8.6. Badania segmentów indywidualnych

Badane segmenty pojedyncze oparte na podporach z regulowanym przesuwem (rys. 8.1, 8.2, 8.47) stanowiły przy symetrycznym ich obciążeniu - konstrukcje dwukrotnie statycznie niewyznaczalne.



Rys. 8.47. Sposób przygotowania segmentów żelbetowych do badań indywidualnych przy akcyjnym ich obciążeniu siłą skupioną w środku segmentu

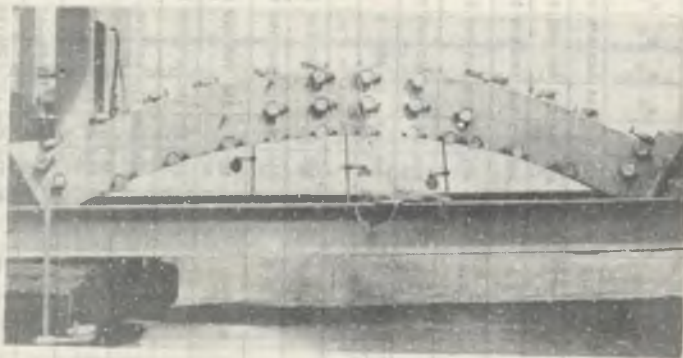
Podstawowym zadaniem przeprowadzonych badań (zestawionych w tablicy 8.4) było uzyskanie niżej wymienionych wyników i informacji niezbędnych do wykorzystania przy doskonaleniu projektowania i konstruowania segmentów żelbetowych oraz wykonywanej z nich obudowy:

- ustalenie wielkości bezpiecznego obciążenia i granicznej wytrzymałości segmentu zginanego siłą skupioną przy ograniczonym upodatkowaniu jego końcówek jedną wkładką paździerzowa o grubości 22 mm i zbrojonego prętami stalowymi o dużej wytrzymałości na rozciąganie i ściskanie; sumaryczny przekrój głównych prętów zbrojenia odpowiada maksymalnej wielkości uzasadnionej pod względem technicznym i ekonomicznym (badania nr 1 i 8 - tablica 8.4), (rys. 8.1, 8.2, 8.47, 8.48),

Tablica 8.4

Rodzaje i wyniki badań segmentów indywidualnych

Nr badania	Typ obudowy	Rodzaj zbrojenia i upodatkowanie segmentu	Obciążenie rysownicze [kN]		Obciążenie ni-szczące [kN]		Grub. strefy [mm]	Grub. strefy [mm]	Grub. strefy [mm]	Grub. strefy [mm]	Maksymalne wartości szczelin [mm]			Maksymalne odkształcenia wkładki [mm]								
			P _p	P _b	P _p	P _b					L	S	P	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	E ₉
1	5	konstrukcja symetryczna jak na rys. 7.5, jedna wkładka podatna grub. 22 mm przy końcówkach segmentu	100	174	700	790	36	30	26	2,0	2,0	2,0	387	262	188	360	275	215				
2	5	Zbrojenie jak na rys. 7.5, z rozciągniętymi prętami dolnymi w środku segmentu, jedna wkładka podatna grub. 22 mm	30	35	690	810	43	36	34	-	7,0	-	450	390	216	460	385	212				
3	5	Zbrojenie jak na rys. 7.5, z rozciągniętymi prętami dolnymi w strefie środkowej segmentu na odc. 1200 mm, jedna wkładka podatna	100	68	470	453	32	20	-	1,7	1,9	1,8	300	273	240	290	270	258				
4	5	Zbrojenie jak na rys. 7.5, z rozciągniętymi prętami dolnymi jak w bad. 3 i z przeciętymi prętami dolnymi w środku segmentu, jedna wkładka podatna grubość 22 mm	20	23	660	797	42	40	33	-	8,0	-	425	350	270	415	355	275				
5	5	Zbrojenie jak na rys. 7.5, przy największym zagęszczeniu w środku segmentu do 30 cm, jedna wkładka podatna grubość 22 mm	150	127	560	542	34	25	-	2,4	3,0	2,6	320	260	230	310	265	235				
6	5	Zbrojenie jak na rys. 7.5, niewielkimi wkładkami podatnymi grubości 5 mm	210	230	790	812	20	45	43	włoko- maty	3,0	włoko- maty	9	7	5	10	6	6				
7	5	Zbrojenie jak na rys. 7.5, czyste zginanie	50	-	110	-	55	20	-	2,5	3,5	1,5	-	-	-	-	-	-				
8	6	Zbrojenie jak na rys. 7.5, jedna wkładka podatna grubość 22 mm	200	197	720	765	35	30	26	2,5	2,0	2,0	380	250	180	390	240	175				
9	6	Zbrojenie jak na rys. 7.5, z rozciągniętymi prętami dolnymi w środku segmentu, jedna wkładka podatna grub. 22 mm	24	33	700	890	39	40	27	-	7,5	-	430	360	210	440	395	208				
10	6	Zbrojenie jak na rys. 7.5, z rozciągniętymi prętami dolnymi w dwóch miejscach w odległości 25 cm od środka segmentu, jedna wkładka podatna	50	51	580	750	35	35	-	9,0	-	1,5	390	310	230	350	280	250				
11	6	Zbrojenie nośne: pręty gładkie 6 x Ø 16 mm; Stal St 35k, jedna wkładka podatna grubość 22 mm	100	105	800	982	52	40	35	-	9,0	-	515	370	195	527	359	182				
12	6	Zbrojenie konstrukcyjne: pręty gładkie 6 x Ø 8 mm, stal St 35k, jedna wkładka podatna grubość 22 mm	40	45	750	980	46	45	36	-	8,0	-	450	275	130	460	270	120				
13	6	Dwie wkładki segmentu zbrojonego jak na rys. 7.5 przedzielone wkładką podatną grubości 22 mm; jedna wkładka podatna grubość 22 mm przy końcówkach segmentu	-	-	780	1144	58	52	40	-	3,5	-	610	470	330	605	475	335				
14	6	Zbrojenie jak na rys. 7.5, jedna wkładka podatna grubość 22 mm przy końcówkach segmentu	100	77	500	574	54	25	-	2,5	1,5	2,0	125	112	103	126	111	104				
15	6	Zbrojenie jak na rys. 7.5, z rozciągniętymi prętami dolnymi w środku segmentu, jedna wkładka podatna grubość 88 mm	5	7	680	1163	120	48	40	-	22	-	236	204	170	220	194	162				
16	6	Zbrojenie nośne: pręty gładkie 6 x Ø 16 mm, stal St 35k, jedna wkładka podatna grubość 88 mm	100	97	700	1113	119	25	21	-	23	-	189	168	146	193	172	139				
17	6	Zbrojenie jak na rys. 7.5, z rozciągniętymi prętami dolnymi i wątkami wyważonymi szczelnie w środku segmentu o wysokości 100 mm, jedna wkładka podatna grub. 22 mm i wysokość 100 mm usytuowana jak na rys. 8.48.	-	-	400	615	48	30	-	-	21	-	345	200	240	320	250	200				



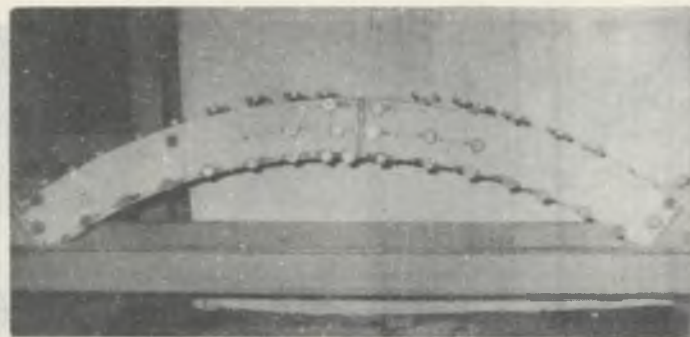
Rys. 8.47a. Segment żelbetowy z pełnym zbrojeniem przygotowany do badań określających charakterystykę jego pracy przy zginaniu i równoczesnym rozpięciu



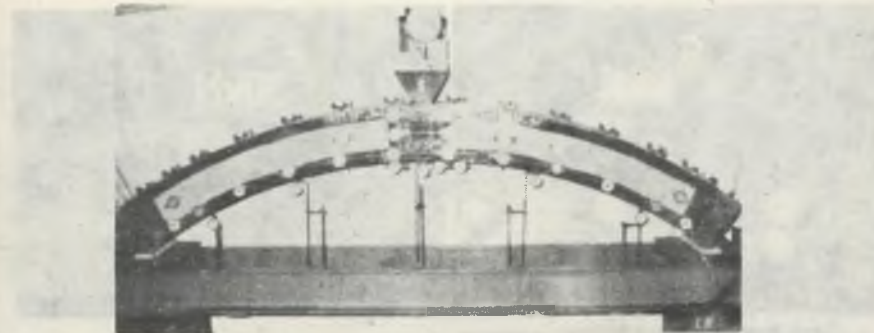
Rys. 8.47b. Segment z przeciętymi prętami dolnymi, przygotowany do badań określających wpływ zbrojenia na pracę zginanego i równocześnie rozpiętego segmentu



Rys. 8.47c. Badania określające pracę segmentów przy różnym upodatkowaniu ich końcówek - większą lub mniejszą ilością (grubością) wkładek podatnych (na zdjęciu 4 wkładki o sumarycznej grubości 88 mm)

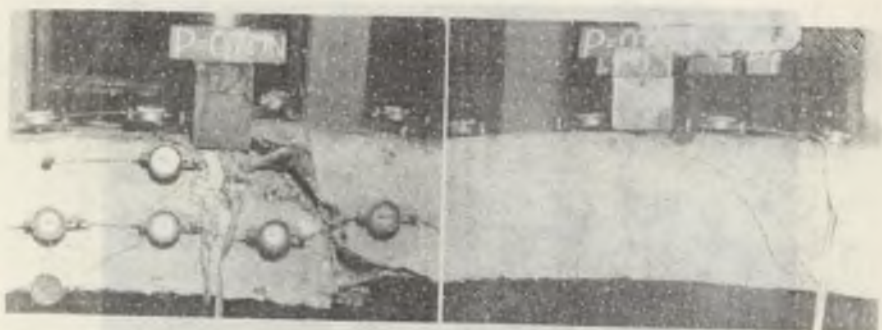


Rys. 8.47d. Dwa segmenty połówkowe przedzielone wkładką podatną - przygotowane do badań określających charakterystykę ich pracy przy zginaniu i rozpięciu

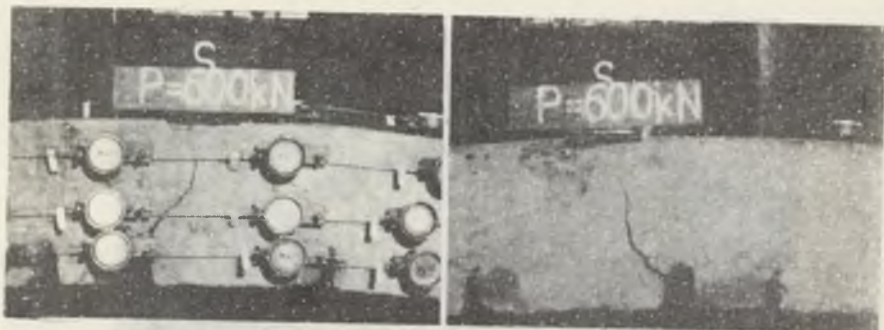


Rys. 47e. Segment przygotowany do badań określających charakterystykę jego pracy przy czystym zginaniu

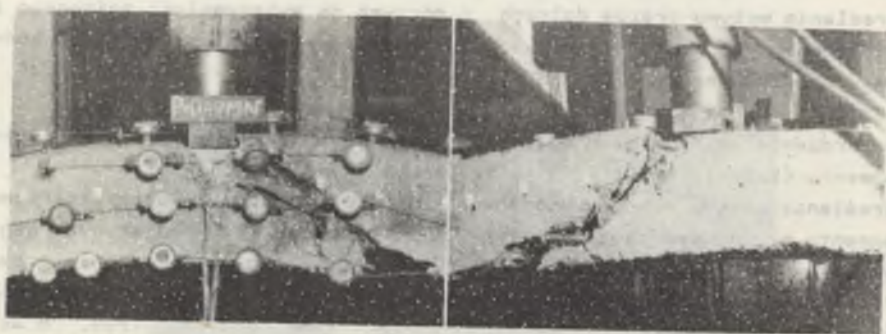
- określenie wpływu prętów dolnych i górnych na wytrzymałość zginanego i rozpiętego segmentu w warunkach ograniczonych przemieszczeń jego końcówek (badania nr 2, 4, 10, 12, 15 - tablica 8.4), (rys. 8.47b, 8.49, 8.53),
- stwierdzenie zależności między zagęszczeniem strzemion a wytrzymałością segmentu (badania nr 3, 4, 5 - tablica 8.4), (rys. 8.50, 8.51),
- określenie wpływu prętów zbrojeniowych na parametry wytrzymałościowe segmentu przez porównanie wytrzymałości zginanych i rozpiętych segmentów zawierających zbrojenie o dużej wytrzymałości, zbrojenie bez prętów dolnych oraz zbrojenie konstrukcyjne wykonane z cienkich prętów stalowych (badania nr 1, 2, 8, 11, 12, 15 - tablica 8.4), (rys. 8.48, 8.49, 8.52, 8.53),



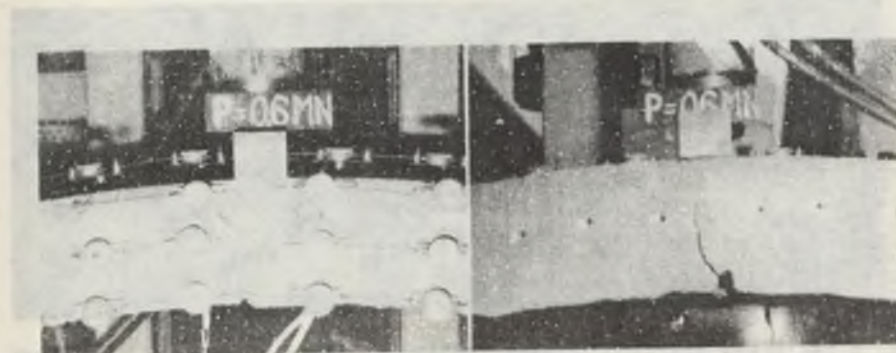
Rys. 8.48. Szczeliny i strefa ściskana w środkowej części segmentu o pełnym zbrojeniu (6 prętów ze stali 34GS, \varnothing 16 mm), obciążonego graniczną wielkością siły skupionej (badanie nr 1, tablica 8.4)



Rys. 8.49. Szczeliny i strefa ściskana w środkowej części segmentu, przy granicznym jego obciążeniu, z wyłączoną w nim pracą dolnych prętów zbrojenia nośnego (badanie nr 2, 4, 9, 10, 15)



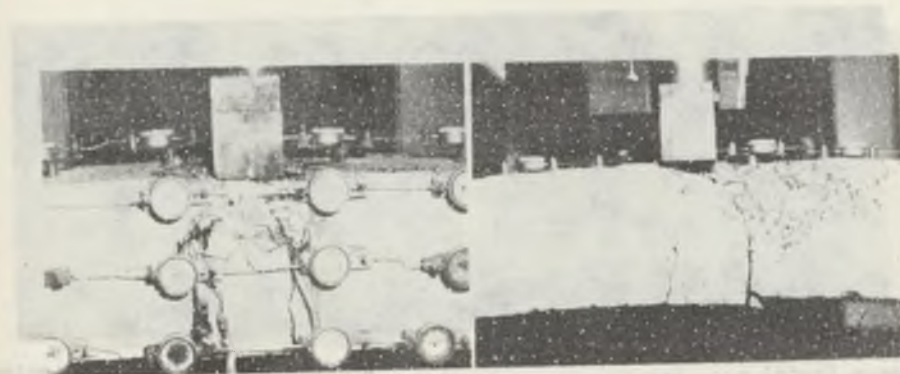
Rys. 8.50. Szczeliny i strefa ściskana w środkowej części segmentu, z wyłączoną w nim pracą strzemion na odcinku 1000 mm - po jego obciążeniu graniczną siłą skupioną (badanie nr 3)



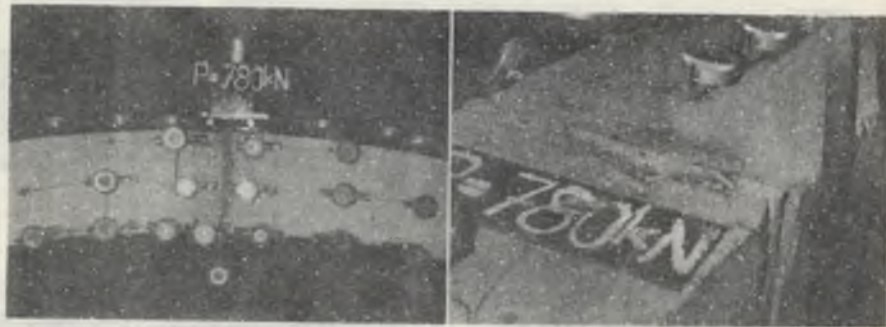
Rys. 8.51. Szczeliny i strefa ściskana w środkowej części segmentu ze zbrojeniem o zmniejszonym zagęszczeniu strzemion i z przeciętymi prętami dolnymi, przy granicznym jego obciążeniu siłą skupioną (badanie nr 4)



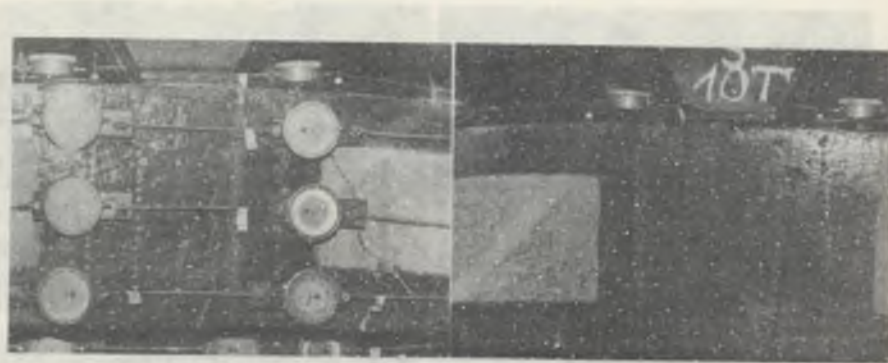
Rys. 8.52. Szczeliny i strefa ściskana w środkowej części segmentu o zbrojeniu z gładkich prętów stalowych (6 prętów stalowych St 3Sx \varnothing 16 mm) obciążonego graniczną siłą skupioną (badanie nr 11)



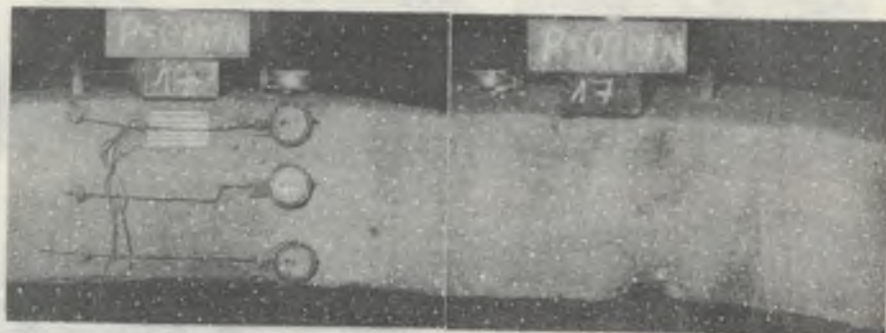
Rys. 8.53. Szczeliny i strefa ściskana w środkowej części segmentu o zbrojeniu konstrukcyjnym (6 prętów St 3Sx \varnothing 8 mm) obciążonego graniczną siłą skupioną, $P = 0,75$ MN (badanie nr 12)



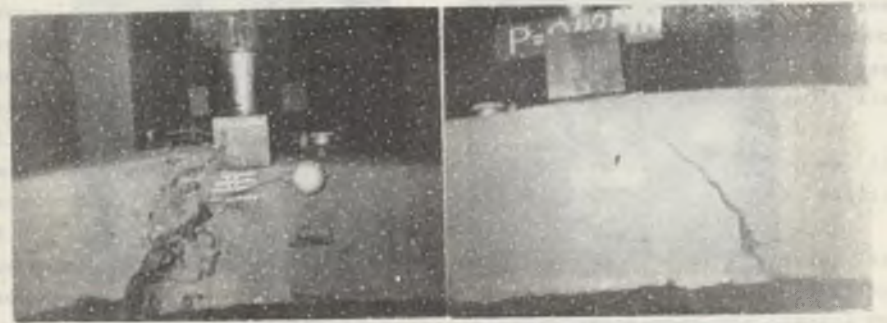
Rys. 8.54. Praca środkowej części segmentu składającego się z dwóch równych elementów łukowych oddzielonych wkładką podatną - obciążonego siłą skupioną o wielkości przekraczającej graniczne obciążenie segmentu z pełnym zbrojeniem nośnym (badanie nr 13)



Rys. 8.55. Szczeliny w środkowej części segmentu przy swobodnym odkształcaniu się jego końcówek w kierunku poziomym (badanie nr 7)



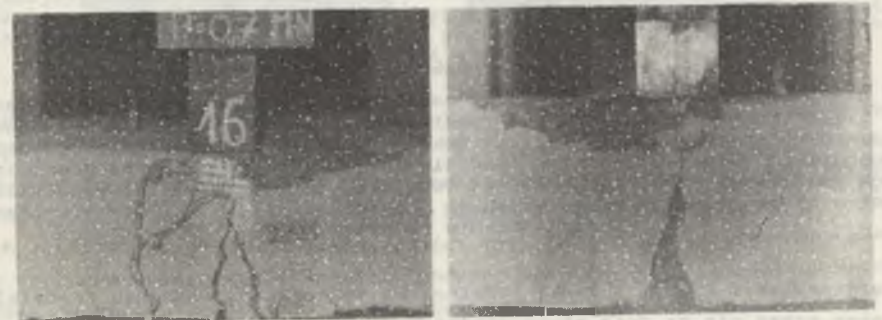
Rys. 8.56. Szczeliny i strefa ściskana w segmencie z pełnym zbrojeniem nośnym (34GS) przy granicznym obciążeniu segmentu i całkowitym ograniczeniu przemieszczania się jego końcówek w kierunku pionowym i poziomym (badanie nr 6)



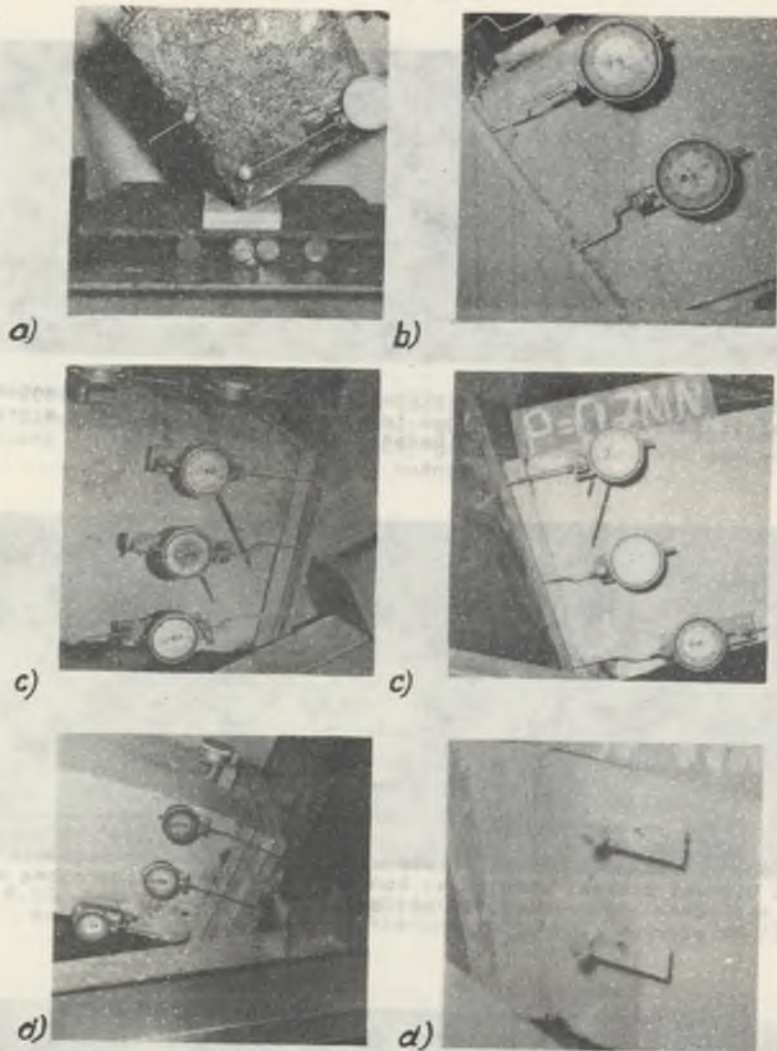
Rys. 8.57. Szczeliny i strefa ściskana segmentu (z pełnym zbrojeniem nośnym ze stali 34GS) przy zwiększonym jego upodatnieniu wkładką o grubości 88 mm (badanie nr 14)



Rys. 8.58. Szczeliny i strefa ściskana w środkowej części segmentu z przeciętymi dolnymi prętami zbrojenia; końcówki segmentu upodatnione wkładką o grubości 88 mm (badanie nr 15)



Rys. 8.59. Szczeliny i strefa ściskana segmentu zbrojonego prętami gładkimi ze stali St 35x upodatnionego wkładką o grubości 88 mm (badanie nr 16)

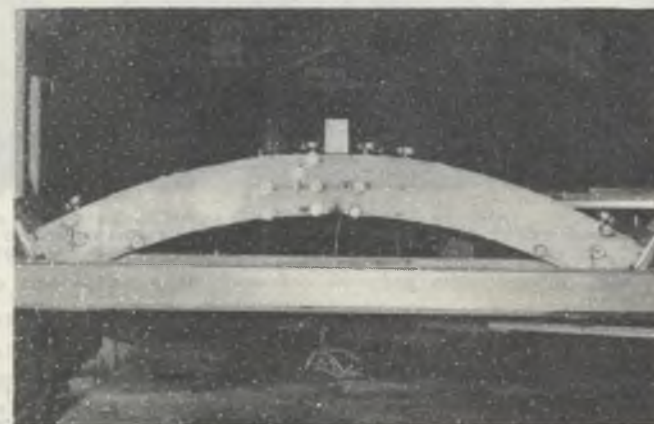


Rys. 8.60. Końcówki badanych segmentów

a) nieograniczony przesuw końcówki segmentu w kierunku poziomym (badanie nr 7), b) końcówka segmentu bez możliwości przesuwu w kierunku pionowym i poziomym (badanie nr 6), c) końcówka segmentu upodatnionego wkładkami o grubości 22 mm przed badaniem (badanie nr 1-5 i 8-13) i przy granicznym jego obciążeniu (badanie nr 1), d) końcówka segmentu upodatnionego wkładkami o grubości 88 mm przed badaniem (badania nr 14-16) i przy granicznym jego obciążeniu (badanie nr 16)

- stwierdzenie wpływu wkładki podatnej na podporność segmentu rozdzielonego przez nią na dwie równe części pod przyłożoną do niego siłę zewnętrzną (badanie nr 13 - tablica 8.4), (rys. 8.47d, 8.54),

- określenie wytrzymałości segmentów na zginanie, uzbrojonych prętami stalowymi St 34GS o górnej sumarycznej wielkości ich przekroju poprzecznego, tj. 6 prętów $\varnothing 16$ mm - przy swobodnym przemieszczaniu się jego końcówek w kierunku poziomym (badanie nr 7, tablica 8.4), (rys. 8.47e, 8.55),
- wpływ podatności wkładek stosowanych pod końcówkami segmentów na ich podporność przy różnej konstrukcji zbrojenia (badania nr 1-17, tablica 8.4), (rys. 8.47 - 8.59),
- ustalenie pracy końcówek segmentu z uwzględnieniem doboru takiej ich konstrukcji, przy której nie stanowią najsłabszego jego ogniwa i po wywarciu na niego obciążenia równego wielkości granicznej nie ulegają zmniejszeniu (badania nr 1-17, tablica 8.4), (rys. 8.60a ÷ 8.60d),
- wpływ grubości segmentu i wysokości wkładek podatnych na jego podporność i podatność (badanie nr 17, tablica 8.4), (rys. 8.61).

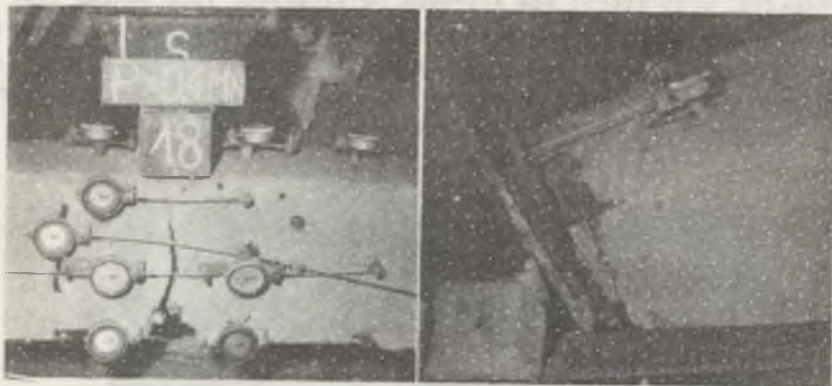


Rys. 8.61. Segment z przeciętymi prętami dolnymi przygotowany do badań obrazujących wpływ grubości betonu (100 mm powyżej wytworzonej wstępnie szczeliny) na podporność zginanego segmentu (rozpięrającego się w czasie zginania), usytuowanego na podporach poprzez wkładki podatne o wymiarach: grubość x szerokość x wysokość = 22x320x100 mm (badanie nr 17)

Badania segmentów indywidualnych stanowią podstawę do ustalenia sposobu projektowania segmentowej obudowy żelbetowej za pomocą opracowanej metody empiryczno-analitycznej. W tym celu ustalano wielkości sił wewnętrznych oraz miejsce ich działania w każdym badanym segmencie, a wśród nich wielkość reakcji H w górnej części środka rozpiętości segmentu - zewnętrznej rozporem oraz wartości reakcji podporowych przy jego końcówkach. Szczegółowo określano grubość ściskanej strefy betonu, występujące w tej strefie odkształcenia i naprężenia ściskające w betonie i w prętach stalowych, maksymalne odkształcenia i naprężenia rozciągające w dolnych prętach sta-

lowych (rys. 8.9) oraz odkształcenia i naprężenia we wkładkach podatnych, usytuowanych na podporach pod końcówkami każdego badanego segmentu (rys. 8.60).

Uogólnione wyniki badań (rys. 8.47 - 8.61), pozwalające na rozwiązanie postawionego zadania, zestawiono w tablicy 8.4. Wyniki szczegółowe opracowano w odrębnych tablicach, których nie załączono do pracy z uwagi na bardzo szeroki ich zakres. Wykorzystano je przy dokumentowaniu najważniejszych spostrzeżeń dokonanych w czasie badań.



Rys. 8.61a. Środkowa część i końcówka segmentu (przedstawionego na rys. 8.61), przy granicznym jego obciążeniu (badanie nr 17)

Spostrzeżenia te stanowiły podstawę do opracowania następujących stwierdzeń, określających stopień realizacji postawionego zadania:

1. Podporność zginanych, dokładnie podpartych segmentów o danej grubości w głównej mierze zależy od klasy betonu, tj. granicznej jego wytrzymałości na ściekanie. Wytrzymałość konstrukcji zbrojenia wpływa na ograniczenie wielkości rys i szczelin w zginanym segmencie, nie ma natomiast większego wpływu na graniczną podporność prawidłowo rozpartego segmentu.
2. Zmniejszenie grubości i krzywizny segmentu wpływa bardzo istotnie na zmniejszenie jego podporności granicznej (badanie nr 17, tablica 8.4). Wzrost podatności wkładek pod końcówkami segmentu powoduje ograniczenie jego wytrzymałości na zginanie, przy czym o podporności badanego segmentu decyduje w większym stopniu (względem segmentów mało upodatnionych) wytrzymałość konstrukcji zbrojenia.
3. W przypadku małej podatności wkładek pod końcówkami segmentów - zastosowane w nim zbrojenie charakteryzujące się dużą sztywnością i wytrzymałością prętów głównych na rozciąganie - może być przyczyną zmniejszenia ich granicznej podporności w stosunku do segmentów o podobnych gabarytach wykonanych ze zbrojeniem konstrukcyjnym.

4. W segmentach nieupodatnionych (badanie nr 6, tablica 8.4), (rys. 8.56) rodzaj zbrojenia nie ma zasadniczego wpływu na wielkość granicznego obciążenia segmentu.
5. W czasie badań stwierdzono (badanie nr 11, tablica 8.4), że największa podporność posiadają segmenty ze zbrojeniem nośnym (6 prętów) z prętów stalowych gładkich $\varnothing 16$ mm wykonanych ze stali St 3Sx, charakteryzującej się dużą odkształcalnością.
6. Wzrost wytrzymałości strzemion poprzez ich zagęszczenie wpływa korzystnie na wytrzymałość segmentu.
7. Uzbrojone końcówki segmentu, przy dostatecznym zagęszczeniu strzemion, nie stanowią o wytrzymałości całej jego konstrukcji. Segment zginany wielkością obciążenia granicznego ulega zniszczeniu w otoczeniu wypadkowej działających na niego sił zewnętrznych.
8. Prawidłowo podparte segmenty ze zbrojeniem konstrukcyjnym, posiadające możliwość dokładnego rozparcia przy niedużej strzałce ugięcia, mają nie mniejszą podporność niż podporność segmentów ze zbrojeniem nośnym. Jednak po zniszczeniu struktury betonu w strefie ściskanej tracą całkowicie podporność i ciągliwość konstrukcji, w związku z czym nie mogą być stosowane do wykonawstwa obudowy w wyrobiskach górniczych. Segmenty ze zbrojeniem nośnym (pręty ze stali St 3Sx) po przekroczeniu ich granicznego obciążenia ulegają dużym gwałtownym odkształceniom, ale zachowują ciągliwość prętów zbrojenia głównego i możliwość przejmowania w dalszym ciągu określonego obciążenia od strony zdeformowanych skał. Można w tym przypadku przeprowadzić w sposób bezpieczny wymianę zniszczonego pierścienia obudowy lub wykonać odpowiednie jego wzmocnienie.

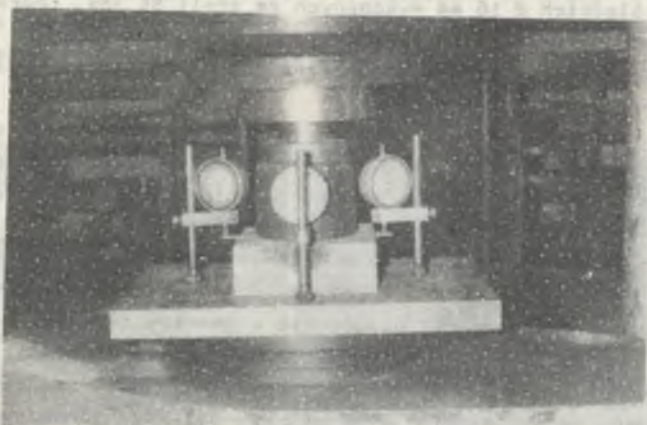
8.7. Badania materiałów i elementów upodatniających segmentową obudowę żelbetową

Obudowa stosowana w warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu musi charakteryzować się dostatecznie dużą podpornością i zadaną podatnością. W przypadku segmentowej obudowy żelbetowej odpowiednią jej podatność w granicach 8-20 cm uzyskiwano w czasie badań za pomocą dwóch podstawowych grup elementów upodatniających:

- 1) upodatnienia pracujące na zasadzie zgniotu,
- 2) upodatnienia pracujące na zasadzie tarcia i odkształceń plastycznych.

Upodatnienia grupy pierwszej można stosować między końcówkami segmentów układanych w pierścieniu obudowy oraz po zewnętrznej jej stronie jako materiał podsadzkowy. Celem doboru odpowiednich wkładek podatnych między końcówki segmentów - przeprowadzono badania ściśliwości i podporności (rys. 8.62) następujących ogólnodostępnych materiałów:

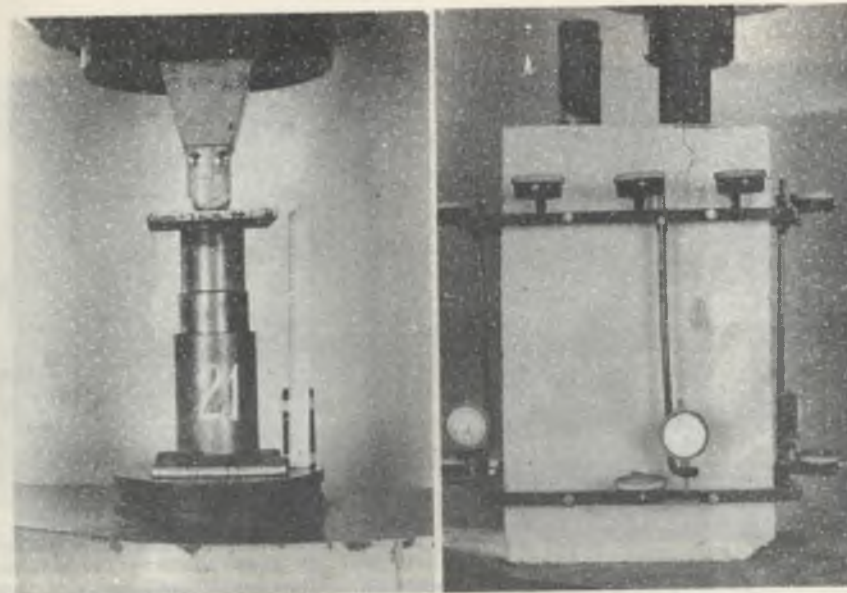
- drewna impregnowanego,
- płyt paździerzowych,
- sotaru (z żywicy poliuretanowej),
- płyt gumowych z przenośników taśmowych (taśmy zużyte).



Rys. 8.62. Badania ścisłości wkładek podatnych, przewidywanych do stosowania między końcówkami segmentów

Wszystkie przebadane materiały charakteryzują się wzrostem podporności i modułu sprężystości wykonanych z nich wkładek w miarę ich zaciskania. Do praktycznego stosowania przyjęto wkładki wykonywane z płyt paździerzowych o grubości $h = 22 \text{ mm}$ i średniej wartości modułu sprężystości $E_w = 50 \text{ MPa}$ lub wkładki gumowe z przenośników taśmowych - szczególnie zalecane dla końcówek segmentów układanych w zawodnionym spągu wyrobiska. Wkładki te wykazują korzystniejszą charakterystykę pracy w stosunku do drewna i sotaru. Idealna wkładka podatna powinna charakteryzować się minimalną ścisłością do chwili obciążenia obudowy wielkością dla niej dopuszczalną i stałą podpornością, przy dostatecznie dużej ścisłości po wywarceniu przez górotwór na obudowę ciśnienia odpowiadającego jej podporności roboczej.

Charakterystykę najbardziej zbliżoną do wymaganej posiadają upodatnienia w postaci rozpór (rys. 8.63) skonstruowanych z cylindrów oraz tłoków stalowych i pracujących na zasadzie tarcia i odkształceń plastycznych [28]. Skomplikowana konstrukcja takich upodatnień i mała ich przydatność dla przypadku równomiernego ciśnienia górotworu ogranicza praktyczne ich stosowanie. Podstawowe znaczenie badań (rys. 8.63) polega na wykazaniu potrzeby i kierunku poszukiwania upodatnień o konstrukcji umożliwiającej zachowanie stałej dużej podporności obudowy oraz wymaganej jej podatności. Określoną podatnością i podpornością może charakteryzować się również podszadzka stosowana między obudową a obrysem wyłomu wyrobiska. W [27] przebadano cały szereg materiałów, które przewidywano wykorzystać przy wykonawstwie podszadzki w trudnych warunkach dołowych.



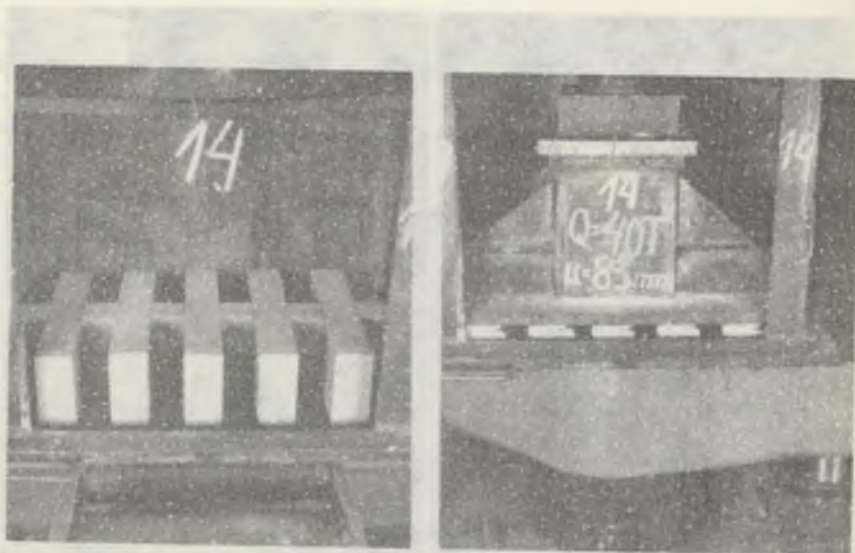
Rys. 8.63. Badania podporności i podatności ciernego upodatnienia końcówki segmentu

W praktyce zastosowano podszadkę utwardzaną wykonywaną z kompozycji materiałów decydujących o szybkim jej wiązaniu - dobranych za pomocą badań wg [27], w których ustalono następującą recepturę:

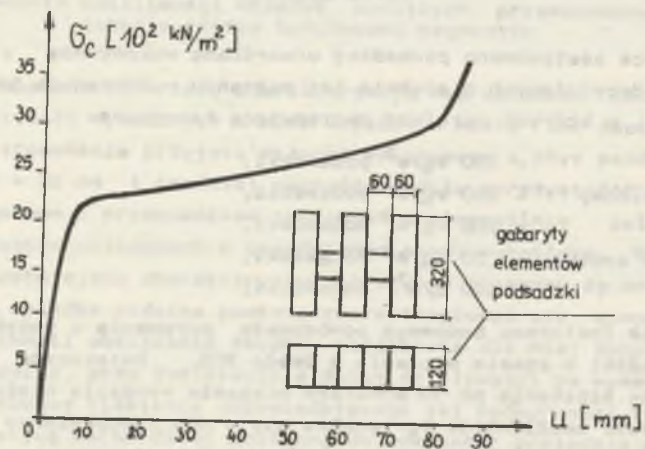
gips	- 350 kg/m ³	podszadzki,
pył dymnicowy	- 350 kg/m ³	podszadzki,
piasek	- 300 kg/m ³	podszadzki,
fosforan sodowy	- 10 kg/m ³	podszadzki,
woda	- 450 l/m ³	podszadzki.

Zastosowanie fosforanu sodowego powodowało porowatość i zwiększenie objętości podszadzki w czasie wiązania o około 30%. Ostateczna wytrzymałość podszadzki na ścislenie po 30 minutach wiązania wynosiła około $35 \cdot 10^2 \text{ kN/m}^2$. Jej porowatość umożliwiała wgniatanie się w nią i odprężenie górotworu w miejscach największego obciążenia obudowy.

Spśród badań przeprowadzonych w [28] na uwagę zasługuje podszadzka wykonywana z porowatych płyt produkowanych z żywicy poliuretanowej w Instytucie Ciężkiej Syntezy Organicznej w Blachowni Śląskiej. Badania (rys. 8.64) obrazują podszadkę charakteryzującą się wymaganą regulowaną ścisłością i podpornością. Podporność i podatność podszadzki można ustalić na drodze doboru wysokości, szerokości i zagęszczenia płytek (stanowiących główny lub jedyny jej składnik) wykonanych z płyt produkowanych z żywicy poliuretanowej. Charakterystykę pracy podszadzki przedstawiono na rys. 8.65. Rys. 8.65 obrazuje dużą zaletę podszadzki w zakresie możliwości uzyskiwa-



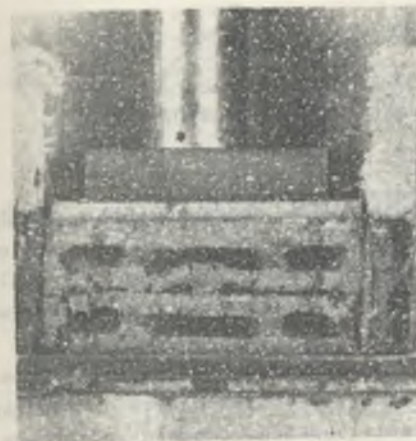
Rys. 8.64. Badania podporności i podatności podsadzki wykonanej z prefabrykatów z żywicy poliuretanowej



Rys. 8.65. Charakterystyka pracy podsadzki z żywicy poliuretanowej

nia za jej pośrednictwem prawidłowej współpracy obudowy z górotworem. Niestety, duże koszty materiałowe i ograniczone możliwości produkcji płyt z żywicy poliuretanowej uniemożliwiają upowszechnienie ich stosowania jako materiału podsadzkowego.

Badania wskazują na kierunek poszukiwań odpowiedniego materiału podsadzkowego o charakterystyce pracy zbliżonej do przedstawionej na rys. 8.65. Dotychczas materiału takiego nie znaleziono, mimo realizacji dalszych badań w tym zakresie jak na rys. 8.66 i rys. 8.67.



Rys. 8.66. Badania podporności i podatności prefabrykatu żużłobetonowego typu SM-185 klasy 50 z bocznym ograniczeniem jego deformacji



Rys. 8.67. Badania podporności i podatności trzywarstwowego prefabrykatu klinowego wykonanego z betonu klasy 100

Przeprowadzone wg [28] liczne badania prefabrykatów (wykonanych z materiałów kruchych), o konstrukcji pozwalającej na kierowany sposób ich niszczenia (rys. 8.66) i (rys. 8.67), wykazały możliwość regulowania podatności wykonanej z nich podsadzki, jednak bez utrzymania wymaganej dostatecznie dużej jej podporności w czasie niszczenia struktury budującego ją materiału.

9. BADANIA NA MODELACH STATECZNOŚCI SKAŁ W OTOCZENIU UDOSTĘPNIAJĄCYCH WYROBISK KORYTARZOWYCH

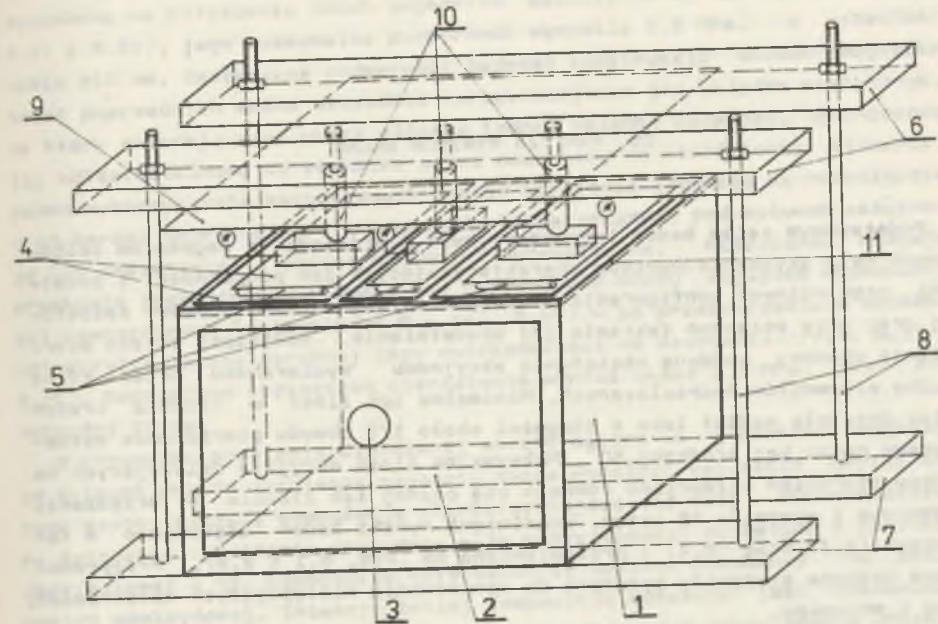
Współczynniki n , ψ_1 , ψ_2 i φ występujące we wzorach (6.3), (6.4), (6.4a), (6.4b) i (6.4c) (rozdział 6) wymagały odpowiedniego określenia ich wartości za pomocą badań laboratoryjnych na modelach (rys. 6.2, 6.3, 6.5). Badania przeprowadzono przy zachowaniu zasad podobieństwa modelowego wg [35].

W przeprowadzonych badaniach istotnym zagadnieniem był sposób równomiernego obciążenia w kierunku pionowym, skał odwzorowanych w stoisku badawczym (rys. 9.1). Równomierne obciążenie badanego modelu górotworu, tak nad wyrobiskiem jak i w jego otoczeniu, uzyskano dzięki odpowiedniemu rozpięciu trzech siłowników hydraulicznych (10), których podstawy działały na badany model poprzez trzy niezależne podwójne metalowe płyty dociskowe (4) z umieszczonymi między nimi układami rolek stalowych (5). Wielkości współczynników n , ψ_1 , ψ_2 i φ ustalono za pomocą badań przeprowadzonych na modelach z różnymi rodzajami i układami warstw skalnych (o nachyleniu zbliżonym do poziomego) oraz przy przyjęciu określonych wariantów w zakresie kształtów i gabarytów przekrojów poprzecznych odwzorowywanych wyrobisk (rys. 6.2, 6.3, 6.3a).

Obciążanie badanych modeli powodowało występowanie naprężeń pierwotnych i dodatkowych (rys. 6.1) w otoczeniu zamodelowanych wyrobisk. Wielkość naprężeń mierzono za pomocą odpowiednio wyskalowanych czujników skonstruowanych w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni na bazie tensometrów oporowych. Za pomocą badań stwierdzono, że wielkość naprężeń dodatkowych ($G_c \text{ dod}$) w otoczeniu wyrobiska jest nieduża w przypadku występowania nad nim układu warstw sztywnych, charakteryzujących się małą odkształcalnością. Warstwy takie przejmują ciężar nadległego nad nim słupa skał na szerokości wyrobiska i przekazują na warstwy niższe wzdłuż drogi o znacznym zasięgu względem jego ociosów.

W przypadku prowadzonych badań na modelach zjawisko takie zostało stwierdzone przy obciążeniu zamodelowanego górotworu (z wykonanym w nim wyrobiskiem) poprzez płytę stalową. Dokonane spostrzeżenie było podstawą do ustalenia zależności (6.2), określającej ciężar skał równoważony przez naprężenia dodatkowe ($G_c \text{ dod}$) w otoczeniu ociosów wyrobiska.

Wyniki uzyskiwane z pomiarów naprężeń, przy obciążeniu zamodelowanych skał trzema niezależnie względem siebie pracującymi siłownikami, pozwoliły określać zasięg naprężeń dodatkowych ($G_c \text{ dod}$) na drodze s (rys. 6.1) oraz wyznaczyć wielkości współczynników: n , ψ_1 , ψ_2 , φ . Zastosowanie wymienionych współczynników podano w punkcie 6 pracy.



Rys. 9.1. Stoisko do badań stateczności zamodelowanych skał w otoczeniu wyrobisk korytarzowych

1 - skrzynia stoiska, 2 - model górotworu, 3 - wyrobisko, 4 - stalowe płyty dociskowe, 5 - układ rolek między płytami stalowymi, 6 - belki oporowe górne, 7 - belki oporowe dolne, 8 - ciągną łączące, 9 - stalowa płyta oporowa, 10 - podnośniki hydrauliczne z manometrami, 11 - podkładka gumowa

W ramach przeprowadzonych eksperymentów na modelach wykonano również badania zamodelowanych skał w warunkach jednoosiowego, płaskiego i trójkierunkowego stanu naprężenia. Badania w układzie trójkierunkowego i płaskiego stanu naprężenia przeprowadzono w urządzeniu przedstawionym na rys. 6.5. Badany model obciążano w kierunku pionowym (σ_1) za pomocą prasy hydraulicznej. Zabudowany w urządzeniu siłownik hydrauliczny umożliwiał regulowanie wielkości ściskających naprężeń poziomych σ_2 i σ_3 . Miarą niszczenia struktury zamodelowanej skały w płaskim i trójkierunkowym stanie naprężenia była wielkość jej odkształceń.

Badania pozwoliły określić zalety obudowy o dużej podporności, której konstrukcja już przy początkowej deformacji górotworu powinna zmuszać w maksymalnym stopniu otaczające ją skały do pracy w warunkach trójosiowego stanu naprężenia.

10. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Podstawowym celem badań laboratoryjnych pierścieni z segmentów żelbetowych było uzyskanie wyników charakteryzujących ich podporność i podatność, przy różnych konfiguracjach obciążenia segmentowej obudowy żelbetowej oraz przy zmiennym zakresie jej upodatkowania. Badaniami objęto pierścienie obudowy, poddane obciążeniu akcyjnemu wywieranemu przez różną liczbę siłowników hydraulicznych. Minimalna ich ilość w liczbie trzech sztuk działała wzdłuż łuku o długości około 1/7 obwodu pierścienia wyznaczonego przez kąt środkowy 50° . Maksymalna ilość akcyjnie działających na badany pierścień siłowników równała się pełnej ich liczbie w urządzeniu badawczym i wynosiła 16 sztuk. Uogólnione wyniki badań zestawiono w tablicach (8.3) oraz (8.4) i przedstawiono na rys. 8.1 i 8.67. Przeprowadzone badania stanowiły podstawę do opracowania następujących spostrzeżeń, uwag i wniosków.

Najmniej podporność 5-segmentowego pierścienia stwierdzono przy akcyjnym jego obciążeniu 3 siłownikami, z wypadkową w środku segmentu. Wielkość graniczna podporności obudowy wynosiła 1,4 MPa, a maksymalna jej podatność 115 mm - przy ściśliwości wkładek podatnych pod końcówkami akcyjnie obciążonego segmentu 12/22 mm (badanie nr 1, tablica 8.3, rys. 8.11 i 8.16). Dopuszczalne obciążenie pierścienia wynosi nie więcej niż 1 MPa, przy jego podatności około 100 mm. Stosowanie między końcówkami segmentów wkładek o grubości powodującej większą podatność pierścienia obudowy wpływa na zmniejszenie jego podporności. Zwiększenie podatności wkładek powoduje (przy takim samym obciążeniu pierścienia jak przy wkładkach o mniejszej podatności) wzrost naprężeń rozciągających w dolnych prętach zbrojenia, większą głębokość szczelin w betonie, mniejszą wielkość rozporu w środku segmentu i zmniejszenie oporu bocznych siłowników hydraulicznych. We wszystkich przypadkach granicznego obciążenia pierścienia 3 siłownikami (badanie nr 1, 2, 3 - tablica 8.3) zniszczeniu ulegał segment w środku jego rozpiętości, tj. pod wypadkową siłą zewnętrzną (siłownik nr 1 - rys. 8.13). W niszczonej części występowało zmiężdżenie betonu w strefie ściskanej (przy małej podatności wkładek ≤ 12 mm) lub zrywanie prętów stalowych i zmiężdżenie betonu (przy dużej podatności wkładek > 12 mm, badanie nr 2, 3 - tablica 8.3), (rys. 8.12). Do projektowania pierścienia obudowy pod względem wytrzymałościowym, przy akcyjnym obciążeniu części jego obwodu, można wykorzystać wzory podane w rozdziale 11. Prawidłowość wyników, uzyskanych za pomocą wymienionych wzorów, została potwierdzona przeprowadzonymi badaniami. Przy obciążeniu pierścienia 3 siłownikami, z

wypadkową na połączeniu dwóch segmentów (badania nr 4, tablica 8.3) (rys. 8.17 i 8.21), jego maksymalna podporność wynosiła 1,8 MPa, a podatność około 110 mm. Zwiększoną podporność badanej konstrukcji obudowy względem badań poprzednich można uzasadnić korzystniejszym jej układem statycznym, na który składa się: praca głównie jednej wkładki podatnej, ograniczona jej odkształcalność na zewnątrz przez dociskany do pierścienia siłownik, pełne wykorzystanie zewnętrznych prętów zbrojenia głównego na rozciąganie oraz bardzo dobre rozparcie segmentów (spłaszczonych pod wpływem akcyjnego ich obciążenia) o boczne siłowniki hydrauliczne. Niszczeniu ulegają przekroje segmentów usytuowane pod kątem około 40° względem wypadkowej siły zewnętrznych (siłownik nr 9 - rys. 8.19) - po przekroczeniu w ściskanej strefie betonu doraźnej jego wytrzymałości na ściskanie (rys. 8.17 i 8.18). Bezpieczne obciążenie pierścienia wynosi około 1,3 MPa, przy podatności 90 mm.

W przypadku powstania zmiężdżonej strefy betonu o głębokości większej od dolnych prętów zbrojenia segmentu można wypełnić wszystkie ubytki betonu szybko wiążącą kompozycją charakteryzującą się dużą wytrzymałością na ściskanie i ścinanie oraz dużą siłą przyczepności do betonu i do stali zbrojeniowej - np. kompozycją materiałów ze spoiwem wykonanym na bazie żywicy epoksydowej. Iniekcję takiej kompozycji wskazane jest zastosować również w spękanej strefie betonu (pod wypadkową siłą zewnętrzną działającą wzdłuż rozpiętości segmentu), jeżeli głębokość szczelin przekroczy 0,7 grubości segmentu.

Z badań wynika, że wytworzone głębokie szczeliny radialne od wewnętrznej strony pierścienia - przy dalszym jego obciążeniu - zacieśniają się (przy zewnętrznej ich stronie), a tym samym wtłoczony do nich i związany materiałem ulega ściskaniu, przez co wzrośnie wytrzymałość uszkodzonej konstrukcji segmentu.

Przy konfiguracji obciążenia pierścienia, w której wypadkowa siła zewnętrznych działa na połączeniu segmentów - podporność obudowy zanieważa się wraz ze wzrostem jej podatności.

Kolejnymi badaniami z akcyjnym obciążeniem łuku pierścienia trzema siłownikami z wypadkową siłą zewnętrzną działającą między końcówką segmentu i jego przekrojem środkowym ustalono, że podporność obudowy jest większa od stwierdzonej podporności przy wypadkowej w środku segmentu i mniejsza od ustalonej dla wypadkowej umiejscowionej na połączeniu dwóch segmentów (badania nr 5, 6 - tablica 8.3), (rys. 8.22 i 8.29). Większą wytrzymałość graniczną pierścienia obudowy względem wytrzymałości ustalonej przy wypadkowej w środku segmentu uzasadniają lepsze rozparcie obciążonych segmentów o siłowniki hydrauliczne i kształtowanie się większego rozporu pod wypadkową siłą zewnętrzną akcyjnego obciążenia badanej obudowy. W praktyce prawidłowość rozparcia zginanych segmentów należy zapewnić za pomocą podsadzki dokładnie wypełniającej wszystkie pustki między obudową a otaczającymi ją skałami.

W miarę zwiększania długości łuku, na którym występuje akcyjne oddziaływanie wzrastającej liczby siłowników - podporność obudowy zwiększa się a jej podatność w kierunku wypadkowej sił zewnętrznych maleje (badania nr 7÷15, tablica 8.3), (rys. 8.30 ÷ 8.36). Pierścień obudowy obciążony równomiernie na całym obwodzie uzyskuje podporność maksymalną.

Przy równomiernym obciążeniu całego pierścienia w kierunku radialnym, o jego granicznej podporności decyduje głównie wytrzymałość betonu. Podatność obudowy można regulować grubością, ilością i ściśliwością wkładek, stosowanych między końcówkami segmentów. Wielkość podatności i ilość segmentów w pierścieniu obudowy nie ma wpływu na graniczną jego podporność (badania nr 14 i 15 - tablica 8.3). Obudowę można projektować pod względem wytrzymałościowym wg wzorów stosowanych przy obliczaniu wielkości naprężeń ściskających w cienkościennych naczyniach cylindrycznych.

Prowadzone w czasie badań dokładne pomiary akcyjnego i reakcyjnego oddziaływania siłowników hydraulicznych potwierdziły korzyści wynikające z dokładnego powiązania konstrukcji obudowy z obrysem wyłomu wyrobiska. Ważnym elementem zasługującym w tym względzie na podkreślenie jest wykazanie (badania nr 5÷12, tablica 8.3), (rys. 8.13, 8.19, 8.24, 8.29, 8.33, 8.34) wielkości oddziaływania reakcyjnego siłowników na obudowę, którą to wielkość w warunkach dołowych - przy niekorzystnym miejscowym, akcyjnym obciążeniu obudowy wzdłuż łuku pierścienia o mniejszej lub większej rozpiętości - powinny przejąć (poprzez podsadzkę) otaczające wyrobisko skały. Wszystkie miejsca niedokładnego powiązania obudowy z obrysem wyłomu wyrobiska zmniejszają jej podporność. Stąd w czasie praktycznego stosowania obudowy żelbetowej duża uwagę poświęcono dokładnemu wypełnieniu wszelkich pustek między obudową a górotworem za pomocą utwardzonej podsadzki [27]. Wytrzymałość strukturalną podsadzki dostosowano do stwierdzonych maksymalnych reakcji siłowników hydraulicznych, przy niekorzystnym jednokierunkowym obciążeniu badanego pierścienia obudowy.

Charakterystyka pracy badanych pierścieni obudowy złożonych z 6 segmentów (badania nr 16 i 17, tablica 8.3), (rys. 8.37 ÷ 8.46) wskazuje na zmniejszającą się podporność obudowy wielosegmentowej, przy niekorzystnym jej obciążeniu trzema siłownikami z wypadkową w środku segmentu i zastosowaniu identycznych wkładek podatnych w pierścieniu jak w obudowie 5-segmentowej. Stwierdzenie takie uzasadnia mniejsza strzałka segmentu i wiążący się z nią mniejszy moment odporowy równoważący wraz z rozciąganiem prętami zbrojenia głównego - maksymalny moment zginający w środku segmentu wywołany akcyjnym jego obciążeniem.

W przypadku wypadkowej sił zewnętrznych umiejscowionej na połączeniu dwóch segmentów o granicznej wielkości obciążenia 6-segmentowej obudowy decydowała praca ich końcówek. Był to jedyny rodzaj badań, gdzie niszczeniu ulegały końcówki segmentu (rys. 8.40) na skutek ich wyciskania w kierunku małej reakcji siłowników bocznych. We wszystkich pozostałych badaniach występowała pełna stateczność pierścieni w miejscach połączeń seg-

mentów poprzez wkładki podatne - co dało podstawę do wyeliminowania potrzeby stosowania odpowiednich złączy mechanicznych o dużej wytrzymałości (rys. 7.6), przy praktycznej zabudowie segmentów w warunkach dołowych. Również w przypadku obciążenia 6-segmentowego pierścienia w warunkach dołowych w sposób podany na rys. 8.41b, (badanie nr 17, tablica 8.3) końcówki segmentów nie ulegną zniszczeniu, gdyż odpór górotworu poprzez wykonaną podsadzkę utwardzaną przeciwstawi się ich odkształcaniu w kierunku obrysu wyłomu wyrobiska.

Spośród wyników uzyskanych z przeprowadzonych badań z segmentami indywidualnymi na podkreślenie zasługują następujące stwierdzenia:

- Podporność zginanych, dokładnie podpartych na końcach segmentów - w głównej mierze zależy od klasy betonu, tj. od granicznej jego wytrzymałości na ściskanie. Wzrost wytrzymałości konstrukcji zbrojenia ogranicza wielkość rys i szczelin w zginanym segmencie, nie ma natomiast większego wpływu na wielkość granicznego obciążenia rozpartego segmentu (badania nr 1, 2, 4, 6, 10, 15 - tablica 8.4) (rys. 8.47a, 8.47b, 8.48, 8.49). Taką pracę konstrukcji segmentu można uzasadnić występowaniem w nim dużego rozporu pod skupioną siłą zewnętrzną. Działanie rozporu na określonym ramieniu względem podpór segmentu powoduje zrównoważenie w nim (do chwili występowania w betonie naprężeń mniejszych od doraźnej jego wytrzymałości na ściskanie) maksymalnego momentu zginającego. Przy małej podatności wkładek pod końcówkami segmentów - określonej ściśliwością płyty paździerzowej o grubości 22 mm - sztywne i wytrzymałe pręty zbrojenia głównego mogą zmniejszać podporność zginanego i rozpieranego łuku żelbetowego w odniesieniu do podobnego łuku ale o słabszej konstrukcji jego zbrojenia. Występujące naprężenia rozciągające w mocnych i sztywnych prętach zbrojenia powodują tworzenie się głębokich szczelin ukośnych oraz szerokiej strefy spękań w segmencie (badanie nr 1, tablica 8.4), (rys. 8.48), przez co zwiększa się również długość i zmniejsza wysokość strefy ściskanego betonu, a tym samym maleje graniczne wielkość rozporu i podporność segmentu.
- Znaczny wzrost podatności wkładek pod końcówkami segmentów jest przyczyną zmniejszenia granicznej jego podporności. Szczytowa podporność segmentu zależy w tym przypadku od wytrzymałości prętów zbrojenia głównego na rozciąganie (badanie nr 6, 7, 14, 15, 16, tablica 8.4), (rys. 8.56 ÷ 8.59).
- Największą podporność posiadają segmenty ze zbrojeniem wykonanym z prętów stalowych $\varnothing 16$, stal St 3Sx. Pręty ze stali St 3Sx charakteryzują się dużą odkształcalnością, w związku z czym ograniczają zasięg szczelin ukośnych. Spękanie segmentu spowodowane jest do jednej szczeliny w miejscu maksymalnej wartości momentu zginającego, co sprzyja występowaniu nad nią wysokiej strefy ściskanego betonu, a tym samym dużego rozporu przy granicznym obciążeniu segmentu (badanie nr 11, tablica 8.4), (rys. 8.52).

- Podporność segmentu wzrasta wraz ze zmniejszaniem odległości między strzemiionami (badania nr 3 i 5, tablica 8.4), (rys. 8.50). Zagęszczenie strzemiion wpływa na ograniczenie długości strefy zwiększonych naprężeń w prętach rozciąganych, a tym samym zmniejsza zasięg szczelin ukośnych w splekanym segmencie i zmusza pręty rozciągane do bardziej prawidłowej współpracy ze ściśkaną strefą betonu. Strzemiiona należy łączyć z prętami zbrojenia głównego drutem wiązadełkowym, a nie za pomocą spawów. Badania wykazały niekorzystny wpływ spoin (spawów) zarówno na wytrzymałość strzemiion, jak i prętów stalowych. Przedstawiony w rozdziale 11 sposób obliczania zbrojenia uwzględnia również właściwy dobór i rozkład strzemiion wzdłuż obwodu segmentu.
- Segmenty o zbrojeniu konstrukcyjnym przy dobrym ich rozparciu charakteryzują się nie mniejszą podpornością od segmentów o zbrojeniu nośnym. Nie proponuje się jednak ich stosowania, gdyż w przypadku zniszczenia struktury betonu w strefie ściśkanej - segmenty tracą całkowicie podporność i ciągłość konstrukcji.
- Segmenty o małej grubości (≤ 10 cm) nie nadają się do wykonawstwa samodzielnej obudowy (w warunkach ciśnień deformacyjnych), z uwagi na znacznie mniejszą ich podporność w stosunku do segmentów o większej grubości (> 20 cm). Charakteryzują się ograniczoną możliwością rozparcia przy zginaniu, z uwagi na cienką strefę ściśkanego betonu nad powstałą szczeliną (badanie nr 17, tablica 8.4), (rys. 8.61). W miejscu zmiężdżonego betonu segment ulega ścięciu, co powoduje całkowitą utratę stateczności obudowy.

W praktyce zaleca się stosować segmenty o grubości > 15 cm wykonane z betonu o $R_c > 4 \cdot 10^7$ N/m² zbrojone gładkimi prętami stalowymi $\varnothing 12+16$ mm, stal typu St 3Sx. Odległość między prętami zbrojenia głównego wzdłuż szerokości segmentu należy zachować nie większą niż 0,2 m; zagęszczenie strzemiion powinno sprowadzać się do wzajemnej ich odległości $l_g = 0,15$ m, a przy końcówkach segmentów $l_g = 5+10$ cm na odcinkach o długości nie mniejszej od 0,5 m. Taka konstrukcja prefabrykatów żelbetowych nadaje wykonanej z nich obudowie dużą podporność, a w przypadku jej niszczenia umożliwia bezpieczne przeciwdziałanie zaciskaniu wyrobiska.

Celem określenia maksymalnych wielkości naprężeń w skałach otaczających udostępniające wyrobiska korytarzowe i komorowe przeprowadzono odpowiednie badania na modelach obrazujących pracę obciążonego górotworu w otoczeniu wyrobisk o kształcie kołowym i prostokątnym przy różnych wytrzymałościach i określonych układach warstw skalnych.

Wykorzystanie wyników badań omówiono w rozdziale 6 pracy przy przedstawianiu wzorów określających działanie deformacyjnego ciśnienia górotworu na obudowę podziemnych wyrobisk kapitalnych, z uwzględnieniem sposobu zachowania ich stateczności poprzez zmuszanie otaczających je skał do pracy w warunkach trójkierunkowego stanu naprężenia.

Przeprowadzone badania (rys. 6.5) potwierdziły również znaczny wzrost wytrzymałości zamodelowanych skał na ściskanie w trójkierunkowym stanie naprężenia w stosunku do płaskiego, a zwłaszcza jednokierunkowego (rys. 6.6) stanu naprężenia. W skałach sąsiadujących z wyrobiskiem może zaistnieć trójkierunkowy stan naprężenia, po wciągnięciu do współpracy z górotworem wykonanej w wyrobisku obudowy. Współpraca obudowy z górotworem powinna wystąpić już przy nieznacznym zdeformowaniu otaczających ją skał. Stąd wskazane jest, aby obudowa charakteryzowała się dokładnym przyleganiem do obrysu wyłomu wyrobiska oraz dostatecznie dużą podpornością i sztywnością w granicach dopuszczalnego dla niej obciążenia. Podatność obudowy powinna ujawnić się po jej obciążeniu większym od wartości dopuszczalnej. Charakterystykę taką posiada obudowa hydrauliczna. Z rys. 8.16, 8.21a, 8.46 wynika, że segmentowa obudowa żelbetowa poddana wzrastającemu obciążeniu odkształca się w sposób ciągły. Stąd nie posiada ona charakterystyki pracy w pełni dostosowanej do wymogów ograniczających w optymalnym stopniu zaciskanie wyrobiska pod wpływem deformacyjnego ciśnienia górotworu. Były czynione próby uzyskania korzystniejszych warunków współpracy segmentowej obudowy żelbetowej z górotworem przez zastosowanie ciernych upodatnień między końcówkami segmentów (rys. 7.7 i 8.63) oraz podsadzki z układanych poza obudową prefabrykatów o stałej podporności w czasie ich zaciskania (rys. 8.64, 8.65). Przebadane upodatnienia cierne i materiały podsadzkowe (rys. 8.63, 8.64 i 8.65) nie nadają się do szerszego stosowania w warunkach dołowych. W rezultacie przy praktycznym wykonawstwie segmentowej obudowy żelbetowej, zdecydowano się na zastosowanie segmentów o konstrukcji charakteryzującej się dużą wytrzymałością na ściskanie i zginanie - regulowanej grubością, rozpiętością, krzywizną, klasą betonu i konstrukcją zbrojenia segmentu.

W pierścieniu między końcówkami segmentów układano wkładki podatne z płyt paździerzowych o grubości 22 mm, a po zewnętrznej jego stronie utwardzaną podsadzkę wykonywaną z szybkowiążącego materiału, zwiększającego objętość w procesie wiązania. Wytypowanie płyt paździerzowych na wkładki podatne podyktowane zostało najlepszą charakterystyką ich pracy w zakresie ściśliwości i podporności spośród takich najbardziej dostępnych i poddanych badaniom materiałów, jak: drewno, taśma gumowa, sotar z żywicy poliuretanowej i inne.

Zależność podporności obudowy od jej podatności (z wkładkami z płyt paździerzowych) dla przypadków niekorzystnego obciążenia badanego pierścienia trzema siłownikami hydraulicznymi wyrażono graficznie na rys. 8.16, 8.21, 8.46, za pomocą funkcji liniowych uzyskanych przy wykorzystaniu równań regresji matematycznej. Wykresy (rys. 8.16, 8.21a, 8.46) wykonane na podstawie wyników badań wskazują na zadowalającą, ale nie optymalną, charakterystykę pracy segmentowej obudowy żelbetowej, z uwagi na wymaganą jej współpracę z deformującym się górotworem. Stąd istnieje konieczność prowadzenia dalszych prac projektowych i badawczych, celem uży-

skania konstrukcji obudowy o dużej podporności i zadanej podatności, ale maksymalnie zbliżonej swoją charakterystyką pracy do charakterystyki idealnej, tj. takiej, przy której obudowa do chwili wywarcia na nią naciśku dopuszczalnego (około 100 T/m^2) pracuje jak konstrukcja nieupodatniona, a po jej przekroczeniu odkształca się z zachowaniem stałej jej podporności.

11. OBLICZANIE PARAMETRÓW TECHNICZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH SEGMENTOWEJ OBUDOWY ŻELBETOWEJ

Przeprowadzone badania laboratoryjne segmentowej obudowy żelbetowej w skali 1:1 oraz próbne jej zastosowanie w warunkach dołowych pozwoliły opracować sposoby projektowania gabarytów oraz konstrukcji zbrojenia segmentów, zarówno pod względem wytrzymałościowym, jak i technologicznym. Ustalona zatem w pracy metoda projektowania obudowy wykorzystuje wyniki otrzymane z badań laboratoryjnych (przy różnych konfiguracjach obciążenia badanych pierścieni) oraz doświadczenia dołowe uzyskane w czasie praktycznego stosowania obudowy i późniejszych pomiarów jej odkształceń wrażliwych pod wpływem zwiększającego się oddziaływania na nią ciśnienia górotworu. W pracy zastosowano wstępne i sprawdzające obliczenia wytrzymałości segmentowej obudowy żelbetowej.

Przyjęcie dwóch etapów jej projektowania ma na celu uproszczenie pracochłonnych obliczeń sprawdzających podporność całego pierścienia obudowy. Za pomocą obliczeń wstępnych określa się następujące wielkości:

- promień wewnętrzny i ilość segmentów w pierścieniu obudowy,
- grubość, szerokość i długość segmentów,
- przekrój prętów zbrojenia głównego w segmentach obudowy.

Całość obliczeń wstępnych można przeprowadzić przy wykorzystaniu elektronicznej techniki obliczeniowej.

Obliczenia sprawdzające podporność całego pierścienia obudowy przeprowadza się z uwzględnieniem sprężystego oporu górotworu, przy wykorzystaniu programu BUD-57 [1] przystosowanego do maszyn cyfrowych. Przyjęty sposób obliczeń segmentowej obudowy żelbetowej w pełni zapewnia (co wykazały wyniki badań) przejmowanie przez nią przewidywanej w projekcie wielkości deformacyjnego ciśnienia górotworu.

11.1. Obliczenia wstępne segmentowej obudowy żelbetowej

11.1.1. Ustalanie promienia i ilości segmentów w pierścieniu obudowy

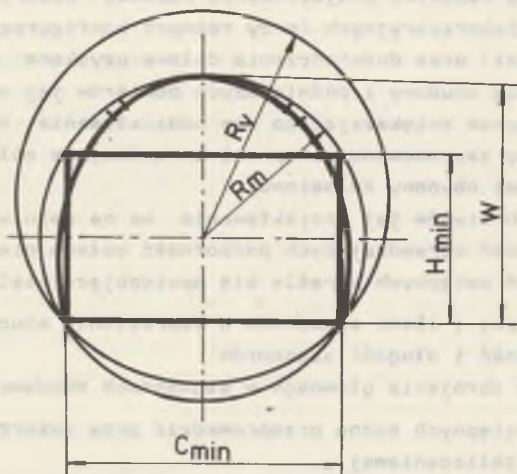
Promień wewnętrzny pierścienia segmentowej obudowy żelbetowej ustala się z wymaganej użytecznej wielkości przekroju poprzecznego wyrobiska określonej metodą minimalnych obrysów - F_U^m (rys. 11.1) wg wzoru (11.1) oraz wymogami wentylacyjnymi - F_U^v wg zależności (11.2):

$$F_U^m = H_{min} \cdot C_{min} \quad (11.1)$$

$$F_U^v = v_{dop} \cdot \dot{V} \quad (11.2)$$

gdzie:

- H_{min} - minimalna wysokość wyrobiska,
- C_{min} - minimalna szerokość wyrobiska,
- v_{dop} - dopuszczalna prędkość przepływu powietrza przez projektowane wyrobisko,
- \dot{V} - wymagana wielkość natężenia przepływu powietrza przez projektowane wyrobisko.



Rys. 11.1. Przekrój użyteczny wyrobiska z segmentową obudową żelbetową, ustalony w oparciu o metodę minimalnych obrysów i kryterium wentylacyjne

Celem uproszczenia wyznaczania promienia wewnętrznego R opracowano nomogram (rys. 11.2) sporządzony na podstawie wzoru (11.3)

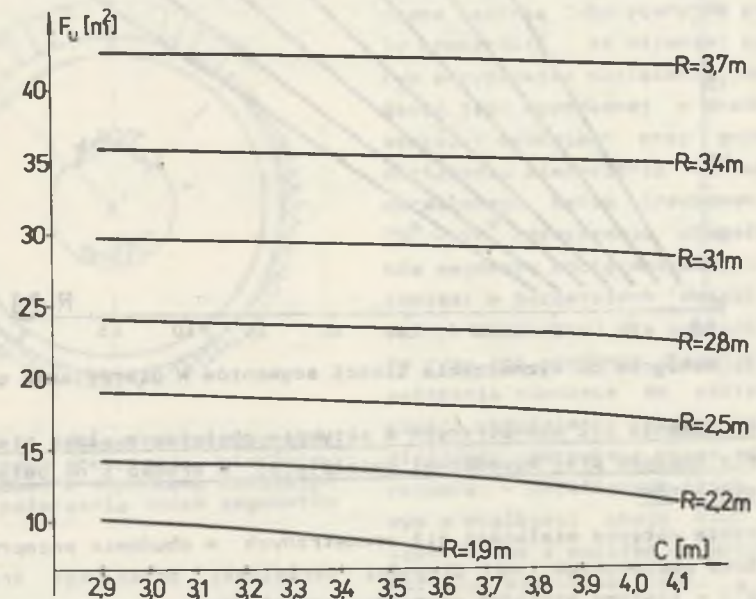
$$F_U = \pi R^2 - R^2 \arcsin \frac{C_{min}}{2R} + \frac{C_{min}}{2} \sqrt{R^2 + \frac{C_{min}^2}{4}} \quad (11.3)$$

gdzie: F_U - przekrój użyteczny wg wzorów (11.1, 11.2).
Do obliczeń przyjmuje się większą wartość promienia R wyznaczoną z nomogramu dla dwóch wielkości przekroju użytecznego F_U^m i F_U^v .

W przypadku zadanej wielkości przekroju poprzecznego wyrobiska wymiarami znormalizowanych stalowych odrzwi obudowy, promień wewnętrzny pierścienia R - można wyznaczyć wzorem (11.4)

$$R = \frac{C_{min}}{2 \sin(2 \arctg \frac{C_{min}}{2W})} \quad (11.4)$$

gdzie: W - wysokość wyrobiska w obudowie z odrzwi stalowych.



Rys. 11.2. Nomogram do wyznaczania promienia R pierścienia segmentowej obudowy żelbetowej, w zależności od szerokości podtorza i wymaganej wielkości przekroju użytecznego wyrobiska

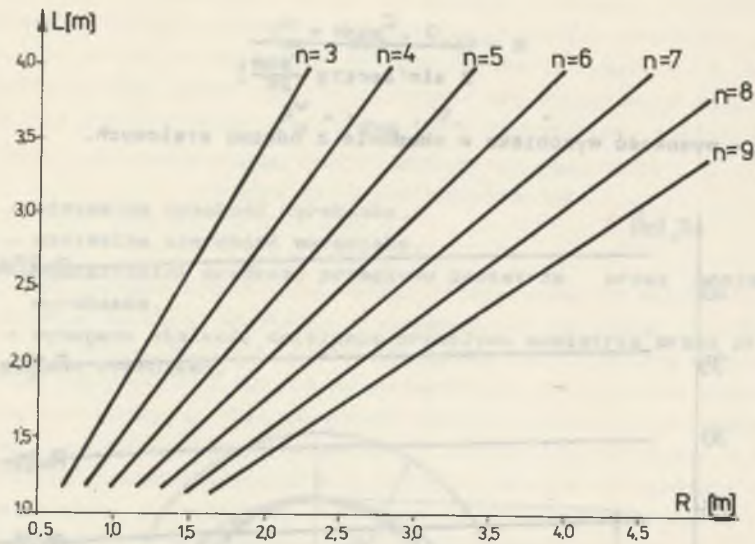
Ilość segmentów w pierścieniu obudowy o ustalonej średnicy określa się wzorem (11.5), który uwzględnia dopuszczalną długość cięciwy segmentów (L_{dop}) pod kątem możliwości ich transportu (od miejsca składowania do przodku wyrobiska) i zdolności manewrowej manipulatora układającego je w pierścienie obudowy

$$n = \left[\frac{180}{\arcsin \frac{L_{dop}}{2R}} + 1 \right] \quad (11.5)$$

gdzie:

- n - ilość segmentów,
- [] - entier.

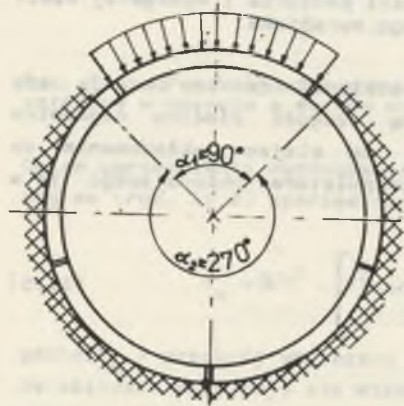
Przy wyznaczaniu ilości segmentów wchodzących w skład pierścienia obudowy można posłużyć się nomogramem przedstawionym na rys. 11.3, wykonanym na podstawie wzoru (11.5).



Rys. 11.3. Nomogram do wyznaczania ilości segmentów w pierścieniu obudowy

11.1.2. Obliczanie sił wewnętrznych w aktywnie obciążonym łuku pierścienia obudowy przy wypadkowej działającej w środku i na połączeniu segmentów

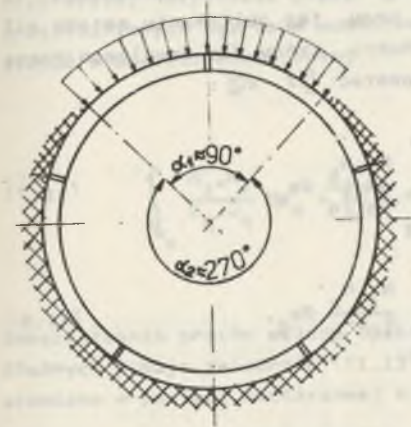
Obliczenia wstępne wielkości sił wewnętrznych w obudowie przeprowadza się dla łuku obciążonego na długości określonej przez kąt środkowy $2 \cdot (35^\circ \div 45^\circ)$ - liczony względem promienia przechodzącego przez wypadkowa



Rys. 11.4. Schemat aktywnego niekorzystnego obciążenia pierścienia obudowy z wypadkową działającą w środku segmentu

największego obciążenia pierścienia obudowy. Podane sposoby obliczeń dotyczą położenia wypadkowej sił zewnętrznych obudowy w środku segmentu (rys. 11.4) oraz w miejscu połączenia dwóch segmentów poprzez podatną wkładkę (rys. 11.5). Odkształcalność obciążonego aktywnie łuku obudowy określono na podstawie wyników przeprowadzonych badań. Za ich pomocą, między innymi stwierdzono, że przy miejscowym obciążeniu pierścienia obudowy oraz dobrym podparciu zewnętrznej jego strony ulega on spłaszczeniu wzdłuż łuku opartego na cięciwie o maksymalnej długości określonej przez kąt środkowy około 90° . Kąt ten obejmuje w przybliżeniu symetrycznie wypadkową aktywnego ob-

ciążenia pierścienia, którego wielkość i zasięg wpływają na podporność całej konstrukcji obudowy. W obliczeniach tych przyjęto zatem minimalną i praktycznie możliwą do pominięcia odkształcalność segmentów na pozostałym obwodzie pierścienia obudowy, pozostającym poza obciążeniem aktywnym, działającym na łuku określonym kątem środkowym $\alpha_1 < 90^\circ$ przy założeniu, że



Rys. 11.5. Schemat aktywnego niekorzystnego obciążenia pierścienia obudowy z wypadkową działającą na połączeniu dwóch segmentów

obudowa jest dokładnie powiązana z obrysem wyłomu wyrobiska. Przeprowadzone badania laboratoryjne pozwoliły stwierdzić, że najmniej korzystnym przypadkiem obciążenia jest działanie jego wypadkowej w środku segmentu. W badaniach przy granicznym obciążeniu pierścienia wzdłuż łuku określonego kątem środkowym około $70^\circ - 90^\circ$ zniszczeniu ulegały jedynie segmenty obciążone aktywnie, natomiast w pozostałych (dzięki dobremu ich rozparciu) nie wystąpiły żadne rysy ani spękania. Przyjęte zatem założenie odnośnie do usztywnienia części pierścienia (wzdłuż łuku obciążonego reakcyjnie przez odpór górotworu) - określonego kątem środkowym o wielkości około 270° - jest uzasadnione i możliwe do przyjęcia w wstępnym etapie obliczeń.

Obliczanie sił wewnętrznych w segmentach przeprowadza się przy wykorzystaniu macierzowej metody sił MMS [37, 40]. Układ równań kanonicznych macierzowej metody sił MMS ma postać wzoru (11.6)

$$\delta \cdot X + \Delta p = 0 \quad (11.6)$$

$$\delta = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & & \delta_{nn} \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \Delta p = \begin{bmatrix} \Delta_{1p} \\ \Delta_{2p} \\ \vdots \\ \Delta_{np} \end{bmatrix}$$

δ_{ik} ($i, k = 1, 2, \dots, n$) - elementy macierzy przemieszczeń od sił jednostkowych $x_k = 1$ na odpowiadających im kierunkach sił x_i .

x_i ($i=1, 2, \dots, n$) - elementy macierzy niewiadomych wielkości sił nadliczbowych.

Δ_{ip} ($i = 1, 2, \dots, n$) - elementy macierzy przemieszczeń od obciążeń zewnętrznych na kierunkach odpowiadających siłom X_i w układzie podstawowym.

Obliczenia przeprowadza się po dyskretyzacji projektowanego obiektu w układ prętów prostych łączących się w węzłach (rys. 11.8) i przyjęciu prawidłowego uwarunkowanego układu podstawowego z siłami nadliczbowymi X . Wielkości przemieszczeń danej konstrukcji przy jej obliczaniu metodą sił wyznacza się, wykorzystując wzór całkowy Mohra, który dla dowolnego pręta "q" rozpatrywanego układu dyskretnego ma postać [37, 40]:

$$\delta_{ik} = \int_{s_q} \frac{M_i \cdot M_k}{E_q \cdot J_q} ds_q + \int_{s_q} \frac{N_i \cdot N_k}{E_q \cdot A_q} ds_q \quad (11.7)$$

$$\Delta_{ip} = \int_{s_q} \frac{M_i \cdot M_p}{E_q \cdot J_q} ds_q + \int_{s_q} \frac{N_i \cdot N_p}{E_q \cdot A_q} ds_q \quad (11.8)$$

gdzie:

$M_i, M_k, M_p, N_i, N_k, N_p$ - momenty zginające i siły normalne powodowane działaniem sił jednostkowych $X_i = 1$ lub $X_k = 1$ albo obciążeniem zewnętrznym o symbolu P,

E_q - moduł sprężystości podłużnej rozpatrywanego pręta q,

J_q - moment bezwładności poprzecznego przekroju pręta q,

A_q - pole powierzchni przekroju poprzecznego pręta q,

s_q - droga całkowania wzdłuż pręta q.

We wzorach (11.7) i (11.8) pominięto mały wpływ sił poprzecznych na wielkość przemieszczeń poszczególnych przekrojów w odkształcanym łuku pierścienia. Całkę (11.9) rozwiązuje się w sposób numeryczny, wykorzystując wzór Simpsona (11.10)

$$\int_{s_q} \frac{M_i \cdot M_k(p)}{E_q \cdot J_q} ds_q \quad (11.9)$$

$$\int_a^b f(s) \cdot ds = \frac{1}{6} (f^A + 4f^C + f^B), \quad (11.10)$$

gdzie:

l - długość pręta q (rys. 11.8) ograniczonego punktami a, b,

f^A, f^B - wartość funkcji podcałkowych w punktach a i b,

$f^C = f(\frac{a+b}{2})$ - wartość funkcji w połowie pręta q.

Z podanych równań otrzymuje się kolejne zależności

$$\int_{s_q} \frac{M_i \cdot M_k}{E_q \cdot J_q} ds_q = \frac{1}{6} \left(\frac{M_{qi}^A \cdot M_{qk}^A}{E_q \cdot J_q} + 4 \frac{M_{qi}^C \cdot M_{qk}^C}{E_q \cdot J_q} + \frac{M_{qi}^B \cdot M_{qk}^B}{E_q \cdot J_q} \right) \quad (11.11)$$

Przy stałej sztywności pręta q na całej jego długości i przy przyjęciu prostoliniowych wykresów momentów zginających wzór (11.11) można przedstawić w postaci macierzowej

$$\int_{s_q} \frac{M_i \cdot M_k}{E_q \cdot J_q} ds_q = [M_{qi}^A \cdot M_{qk}^B] \cdot \begin{bmatrix} \frac{l_q}{3E_q \cdot J_q} & \frac{l_q}{6E_q \cdot J_q} \\ \frac{l_q}{6E_q \cdot J_q} & \frac{l_q}{3E_q \cdot J_q} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M_{qk}^A \\ M_{qk}^B \end{bmatrix} \quad (11.12)$$

Odkształcenia prętów układu dyskretnego występujące pod wpływem sił podłużnych ujmują zależność (11.13), w której odpowiednie wyrażenia przedstawiono w postaci macierzowej w sposób podobny jak w równaniu (11.12)

$$\int_{s_q} \frac{N_i \cdot N_k}{E_q \cdot A_q} ds_q = \frac{N_{qi}^A \cdot N_{qk}^A}{E_q \cdot A_q} \cdot l_q = [N_{qi}] \cdot \left[\frac{l_q}{E_q \cdot A_q} \right] \cdot [N_{qk}] \quad (11.13)$$

Przy uwzględnieniu wszystkich prętów układu dyskretnego wzory na macierz przemieszczeń $\delta, \Delta p$ przybierają postać:

$$\delta = \sum (A_1^M)^T \cdot F^M \cdot A_1^M + \sum (A_1^N)^T \cdot F^N \cdot A_1^N = \sum A_1^T \cdot F \cdot A_1 \quad (11.14)$$

$$\Delta p = \sum (A_1^N)^T \cdot F^M \cdot A_0^M \cdot P + \sum (A_1^N)^T \cdot F^N \cdot A_0^N \cdot P = \sum A_1^T \cdot F \cdot A_0 \cdot P \quad (11.15)$$

gdzie: \sum - oznacza sumowanie przemieszczeń we wszystkich prętach układu podstawowego.

Wstawiając wielkości wyrażone zależnościami (11.4 i 11.15) do wzoru (11.6) z pominięciem znaku sumy otrzymuje się zależność (11.16), z której oblicza się siły nadliczbowe X wg wzoru (11.17)

$$A_1^T \cdot F \cdot A_1 \cdot X + A_1^T \cdot F \cdot A_0 \cdot P = 0, \quad (11.16)$$

$$X = -(A_1^T \cdot F \cdot A_1)^{-1} \cdot A_1^T \cdot F \cdot A_0 \cdot P \quad (11.17)$$

Poszczególne macierze oznaczają:

- A_1 - macierz, której kolumny składają się z momentów zginających i sił podłużnych w układzie podstawowym - wynikających z działania przyjętych sił jednostkowych w miejscach wielkości nadliczbowych X [30].
- A_1^T - transponowana macierz A_1 .
- A_0 - macierz, której kolumny składają się z momentów zginających i sił podłużnych wywołanych jednostkowymi siłami obciążeń zewnętrznych z macierzy P .
- F - macierz podatności obliczanego układu.
- P - macierz obciążenia zewnętrznego.
- X - macierz sił nadliczbowych.

Siły przywęzłowe S , tj. momenty i siły normalne oblicza się wzorem (11.18)

$$S = A_0 \cdot P + A_1 \cdot X. \quad (11.18)$$

Po wstawieniu do wzoru (11.18) wyrażenia na macierz X z zależności (11.17), siły przywęzłowe S oblicza się z zależności (11.19) oraz (11.20)

$$S = [A_0 - A_1(A_1^T \cdot F \cdot A_1)^{-1} \cdot A_1^T \cdot F \cdot A_0] P. \quad (11.19)$$

$$B = A_0 - A_1(A_1^T \cdot F \cdot A_1)^{-1} \cdot A_1^T \cdot F \cdot A_0. \quad (11.20)$$

$S = B \cdot P$

Sprawdzeniem prawidłowości uzyskanych wyników z przeprowadzonych obliczeń jest otrzymanie przy ich stosowaniu znanych wielkości przemieszczeń łuku w kierunku działania sił nadliczbowych układu podstawowego

$$A_1^T \cdot F \cdot S = 0. \quad (11.21)$$

Wielkość przemieszczeń węzłów w kierunku działania sił zewnętrznych P określa się zależnością (11.22)

$$D = B^T \cdot F \cdot B \cdot P, \quad (11.22)$$

gdzie B^T - transponowana macierz B .

Obliczanie segmentów żelbetowych, z uwzględnieniem pracy wkładek podatnych traktowanych jako pręty sprężyste, wymaga po każdorazowym przeprowadzeniu przedstawionych obliczeń sprawdzenia wielkości występującego w nich mimośrod. w celu wyeliminowania naprężeń rozciągających, które w miejscu połączenia segmentów nie mogą być przyjmowane.

Mimośród na wkładce określa się wzorem (11.23)

$$e_w = \frac{M}{N}. \quad (11.23)$$

Przy spełnieniu zależności $e_w \leq \frac{d}{6}$ obliczenia należy uznać za wystarczające. natomiast w przypadku wyjścia mimośrodu poza granicę rdzenia (za-
leżność 11.24) należy je kontynuować, przy zmianie wymiarów wysokości wkładki (wzdłuż grubości segmentu) uwzględniającej jedynie jej strefę ści-
skaną równą d' określoną wzorem (11.25)

$$\frac{d}{6} < e_w < \frac{d}{2}. \quad (11.24)$$

$$d' = 3 \left(\frac{d}{2} - e_w \right). \quad (11.25)$$

Przyjęcie nowej wielkości d' powoduje zmiany w macierzy F (gdzie $J_w = \frac{bd'^4}{12}$,
 $A_w = bd$) oraz w wielkościach współrzędnych macierzy A_1 i A_0 .

W przypadku gdy wielkość mimośrodu spełnia zależność (11.26), należy
zwiększyć szerokość ściskanej wkładki $d' = \frac{d}{2}$ i po wprowadzeniu odpowiednich
zmian wielkości w macierzach A_0, A_1, F - obliczenia powtórzyć

$$e_w \geq \frac{d}{2}. \quad (11.26)$$

Jeżeli w czasie prowadzenia obliczeń uwzględniających różne malejące war-
tości d' , wielkość mimośrodu zawsze wyraża się zależnością (11.26), na-
leży zwiększyć grubość segmentu i ponownie przeprowadzić całość przedsta-
wionych obliczeń wg zależności (11.6 - 11.26). W obliczeniach uwzględnia
się również wielkość naprężeń dociskowych występujących w końcówce seg-
mentu pod wkładką podatną, których wartość nie powinna przekroczyć obli-
czeniowych naprężeń dla betonu wg zależności podanych w punkcie 11.1.5.

11.1.3. Obliczanie zbrojenia głównego

Obliczanie zbrojenia głównego segmentów żelbetowych przeprowadza się
metodą stanów granicznych wg normy PN-76/B-03264 na mimośrodowe ścis-
kanie, rozpatrując dwa charakterystyczne przypadki:

- przypadek dużego mimośrodu

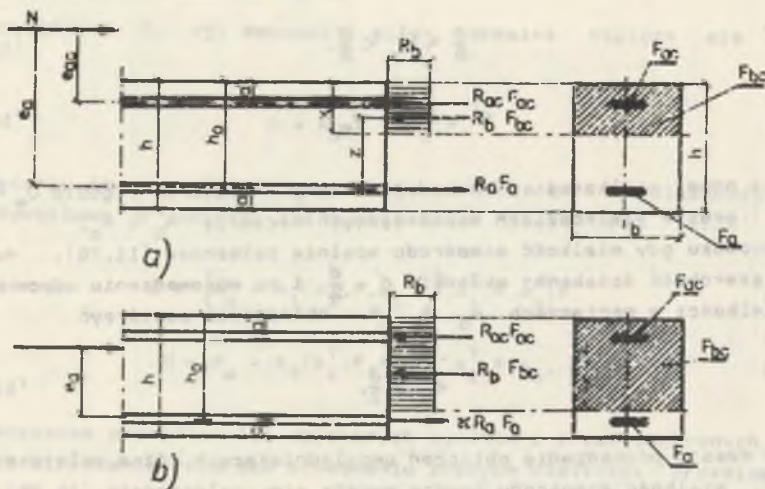
$$\xi \leq \xi_{gr} \quad (\text{rys. 11.6a})$$

- przypadek małego mimośrodu

$$\xi > \xi_{gr} \quad (\text{rys. 11.6b})$$

gdzie:

- ξ - względna wysokość strefy ściskanej (stosunek $\xi \cdot h_0$ równa $\frac{N}{R_b \cdot b \cdot h_0}$)
- N - siła podłużna,
- R_b - wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie,
- b - długość jednostkowa obudowy (1 mb)
- h_0 - wysokość obliczeniowa przekroju obudowy
- ξ_{gr} - graniczna wartość względnej wysokości strefy ściskanej przekroju - zależna od wytrzymałości betonu i stali i dobierana wg PN-76/B-03264 z tablicy 11.1.



Kys. 11.6. Schematy statyczne do obliczenia wielkości przekroju poprzecznego zbrojenia mimośrodowo ściskanego przekroju żelbetowego

W dalszym ciągu pracy grubość segmentowej obudowy żelbetowej d oznaczono wielkością h, traktując ją jako wysokość przekroju prostokątnego o wymiarach h x 1. Dla przypadku przekroju żelbetowego o kształcie prostokątnym zbrojonego symetrycznie (rys. 11.6) odpowiednie wielkości F_a i F_{ac} oraz R_a i R_{ac} wymienione w tablicy 11.1 są sobie równe. Obliczenia wielkości pola przekroju zbrojenia dla przyjętej wcześniej klasy betonu, wytrzymałości stali i grubości obudowy przeprowadza się wg wzorów podanych w tablicy 11.1 opracowanych na podstawie [26, 33, 34].

Odpowiedni dobór trzech bardzo istotnych parametrów wytrzymałościowych projektowanej obudowy należy tak przeprowadzić, aby obliczona wielkość pola przekroju zbrojenia była optymalna (ekonomiczna). Wielkość ta wg [33, 34] określona jest stopniem zbrojenia przekroju betonowego w procentach i wynosi $\mu = 0,7 \pm 1,5\%$. Stopień zbrojenia przekroju oblicza się wzorem (11.27)

$$\mu = \frac{F_a}{b \cdot h_0} \cdot 100\% \quad (11.27)$$

Tablica 11.1

Wzory do obliczenia zbrojenia symetrycznego przekroju betonowego o kształcie prostokątnym		Oznaczenie
Wzory obliczeniowe		
<p>Duży mimośród $\xi < \xi_{gr}$</p> $1' \quad \frac{2e'}{h} < \xi < \xi_{gr}$ $F_a = F_{ac} = \frac{N(e - z)}{R_a(h_0 - e')}$	(1)	<p>ξ - względna wysokość strefy ściskanej</p> <p>ξ_{gr} - graniczna wartość względnej wysokości strefy ściskanej z tablicy 17, wg PN-76/B-03264</p> <p>F_a - powierzchnia przekroju zbrojenia rozciąganego</p> <p>F_{ac} - powierzchnia przekroju zbrojenia ściskanego</p> <p>N - siła podłużna obliczeniowa</p> <p>M - moment zginający obliczeniowy</p> <p>R_b - wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie</p> <p>R_a - wytrzymałość obliczeniowa stali na rozciąganie</p> <p>R_{ac} - wytrzymałość obliczeniowa stali na ściskanie</p> <p>e - mimośród siły podłużnej N otrzymany z obliczeń statycznych</p> <p>e_n - mimośród niezamierzony (przypadkowy)</p> <p>e_a - mimośród siły podłużnej N od środka ciężkości zbrojenia rozciąganego</p> <p>e_{ac} - mimośród siły podłużnej N od środka ciężkości zbrojenia ściskanego</p> <p>z - odległość środka ciężkości strefy ściskanej od środka ciężkości zbrojenia rozciąganego</p> <p>h_0 - wysokość obliczeniowa przekroju obudowy</p> <p>h - wysokość całkowita przekroju (grubość obudowy)</p> <p>x - wysokość strefy ściskanej betonu</p> <p>b - szerokość przekroju betonu (b = 1)</p> <p>a - odległość środka ciężkości zbrojenia F_a od krawędzi rozciąganego lub mniej ściskanej</p> <p>a' - odległość środka ciężkości zbrojenia F_{ac} od krawędzi ściskanej lub mniej rozciąganego</p>
<p>Miły mimośród $\xi > \xi_{gr}$</p> $2' \quad \xi > \xi_{gr}$ $F_a = F_{ac} = \frac{N \cdot e_{ac}}{R_a(h_0 - a')}$	(2)	
<p>Wzory pomocnicze do wzoru (1)</p> $F_a = F_{ac} = \frac{N \cdot e_{ac} \cdot R_b \cdot x \cdot (h_0 - \frac{x}{2})}{R_{ac}(h_0 - a')}$ <p>Wzory pomocnicze do wzoru (2)</p> $e_{ac} = \frac{h}{2} - a' - e_n \cdot e_n' \quad e_n = \frac{M}{N} \cdot e_n' = 1 \text{ cm}$ $h_0 = h - a, \quad z = h_0 - 0,5 \cdot x, \quad x = \frac{N}{R_b \cdot b} \cdot b = 1 \text{ m}$ <p>$\xi = \frac{x}{h_0}$ z tablicy 17 wg PN-76/B-03264</p> <p>Wzory pomocnicze do wzoru (3)</p> $x = a' + \sqrt{a'^2 + \frac{2N(h_0 - a' - e_n)}{R_b \cdot b}}, \quad e_n = e + \frac{h}{2} - a$	(3)	

gdzie:

- F_a - obliczone pole przekroju zbrojenia wg zależności podanej w tabeli 11.1,
- b - szerokość jednostkowa obudowy, $b = 1$ m,
- h_0 - wysokość (grubość) obliczeniowa przekroju obudowy $h_0 = h - a$,
- a - odległość środka ciężkości zbrojenia F_a względem bliższej krawędzi betonu.

Przyjęte wymagania odnośnie do stopnia zbrojenia przekroju betonu uwzględniają minimalizację kosztów i łatwość wykonania konstrukcji zbrojenia przy produkcji segmentów. W przypadku przekroczenia wielkości stopnia zbrojenia głównego należy przeprowadzić odpowiednie zmiany w przyjętych wcześniej parametrach wytrzymałościowych segmentów, jak: grubość obudowy, klasa betonu oraz konstrukcja zbrojenia i powtórzyć odpowiednie obliczenia statyczne.

11.1.4. Wyznaczanie szerokości i długości segmentów

Po obliczeniu grubości segmentu można określić jego szerokość decydującą o szerokości całego pierścienia obudowy. Podstawą do jej wyznaczenia jest dopuszczalna wielkość udźwigu manipulatora, przy której zachowuje on pełną stateczność w czasie układania segmentów w warunkach dołowych - w pierścieniu obudowy

$$s_0 = \frac{Q \cdot n}{2 \cdot d \cdot (R - \frac{d}{2}) \cdot \delta_b} \quad (11.28)$$

gdzie:

- s_0 - szerokość segmentu (pierścienia) obudowy,
- d - grubość segmentu (wysokość h),
- Q - dopuszczalny udźwig manipulatora,
- δ_b - ciężar objętościowy betonu,
- n - ilość segmentów w pierścieniu obudowy obliczona wg wzoru (11.5).

Długość segmentu żelbetowego mierzona po cięciwie zewnętrznego jego łuku oblicza się wzorem (11.29)

$$L = 2(R + d) \sin \frac{180}{n} \leq L_{dop} \quad (11.29)$$

gdzie:

- L - długość segmentu,
- L_{dop} - dopuszczalna długość segmentów podyktowana względami technicznymi w zakresie transportu i technologii ich układania w pierścieniu obudowy.

Jeżeli zależność (11.29) nie jest spełniona, wówczas należy zwiększyć liczbę segmentów w pierścieniu obudowy.

11.1.5. Sprawdzenie wytrzymałości na docisk końcówek segmentów w pierścieniu obudowy

W miejscach połączenia poszczególnych segmentów w pierścieniu obudowy poprzez wkładkę podatną sprawdza się wielkość występujących w niej naprężeń ściskających, które nie powinny [34] przekroczyć wartości obliczeniowej wytrzymałości betonu na docisk

$$\sigma_0 = \frac{2N}{F_d} \leq R_d \quad (11.30)$$

gdzie:

- N - siła podłużna przy końcówce segmentu,
- F_d - powierzchnia docisku,

$$F_d = \begin{cases} b \cdot d_w & \text{dla } e_w \leq \frac{d_w}{6} \\ 3(\frac{d_w}{2} - e_w) \cdot b & \text{dla } e_w > \frac{d_w}{6} \end{cases}$$

- R_d - obliczeniowa wytrzymałość betonu na docisk,

$$R_d = W_d \cdot R_b; \quad W_d = 4 - 5 \sqrt{\frac{F_d}{F_r}} + 2 \frac{F_d}{F_r} \leq W_{max}$$

- W_{max} - współczynnik przyjmowany wg PN-76/B-03264 z tab. 2.1,
- F_r - powierzchnia rozdziału,
- R_b - wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie,
- e_w - mimośród na wkładce,
- d_w - długość wkładki na kierunku grubości obudowy,
- b - szerokość pierścienia obudowy.

Jeżeli zależność (11.30) nie jest spełniona, wówczas należy końcówkę segmentu odpowiednio zabroić. Zastosowane w betonie zbrojenie zgodnie z zasadami podanymi w PN-76/B-03264 daje wzrost nośności przekroju, która można wyrazić za pomocą wzoru (11.31)

$$\Delta N = 0.5 \mu_1 \cdot W_d \cdot (\sqrt{\mu_d} - 0.07) R_d \cdot F_d \quad (11.31)$$

gdzie:

- μ_1 - stosunek wytrzymałości stali do betonu, $\mu_1 = \frac{R_a}{R_d}$,
- μ_d - stopień podstawowego zbrojenia poprzecznego strefy docisku umieszczonego w kierunku większego boku wymiaru powierzchni rozdziału,
- $\mu_d = \frac{F_a}{F_r}$

Wielkość uzyskanego przyrostu nośności strefy docisku przy końcówce segmentu pod wpływem jej zazbrojenia powinna spełniać zależność (11.32)

$$\Delta N \leq 0.75 \cdot R_d \cdot F_d \quad (11.32)$$

Wymaganą całkowitą nośność uzbrojonej końcówki segmentu na docisk określa wzór (11.33)

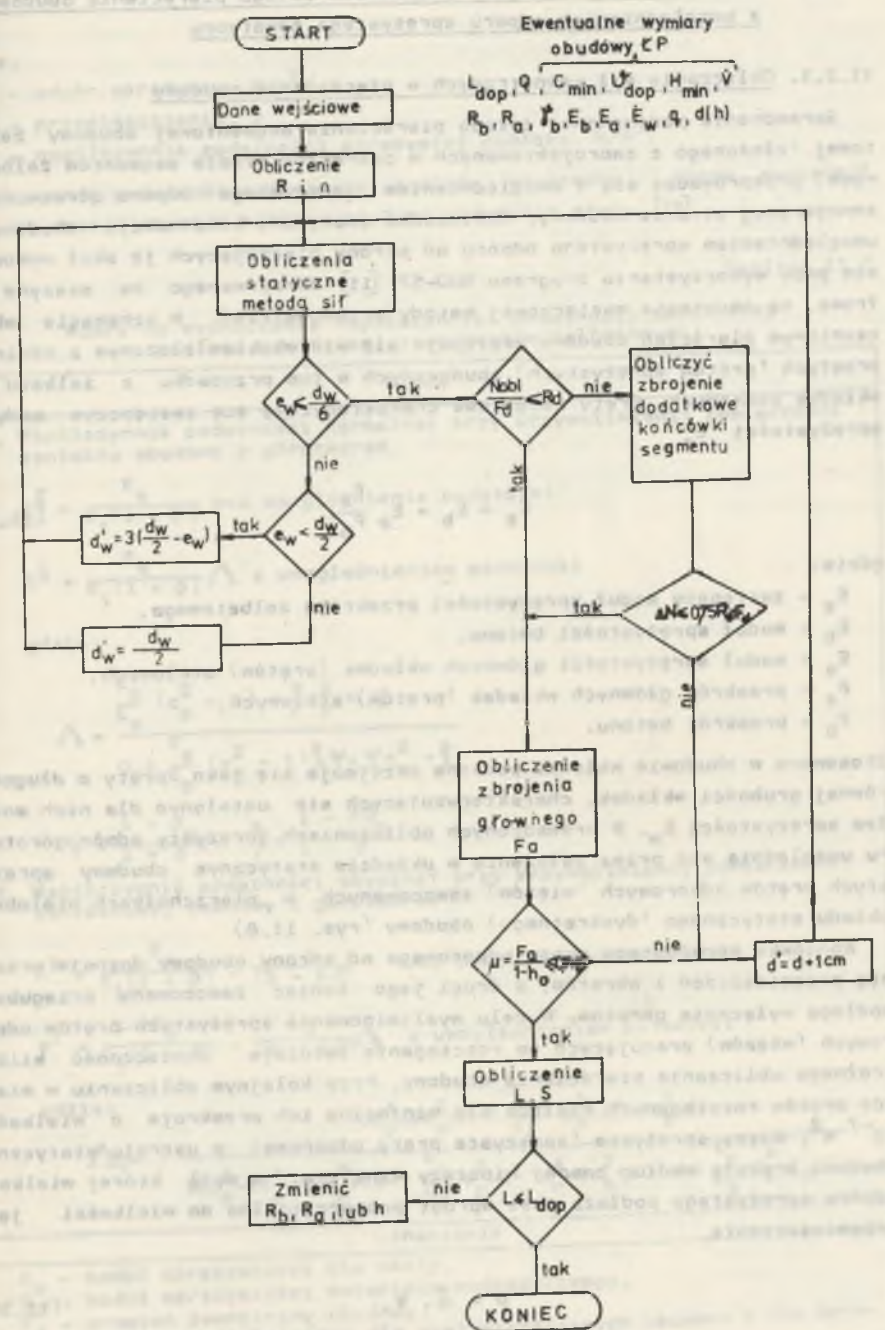
$$N \leq R_d \cdot F_d + \Delta N \quad (11.33)$$

Jeżeli zależności (11.32) i (11.33) nie są w dalszym ciągu spełnione, wówczas należy zwiększyć wytrzymałość betonu lub gabaryty obudowy, względnie obydwa wymienione parametry.

11.1.6. Algorytm obliczeń wstępnych

Obliczenia wstępne segmentowej obudowy żelbetowej wskazane jest przeprowadzać za pomocą maszyny cyfrowej, przy wykorzystaniu algorytmu przedstawionego na rys. 11.7. Dla danych wyjściowych charakteryzujących gabaryty projektowanego wyrobiska korytarzowego, parametry wytrzymałościowe materiału obudowy i wielkość jej obciążenia od strony górotworu - przeprowadza się obliczenia statyczne wielkości sił wewnętrznych w łukach obudowy macierzową metodą sił. Wyniki uzyskane z obliczeń można uznać za prawidłowe i ostateczne, jeżeli w przekroju wkładki podatnej wystąpią jedynie naprężenia ściskające. W przypadku, gdy wielkość mimośrodowo-wypadkowej naprężeń ściskających na wkładce wychodzi z granicy rdzenia, wówczas należy zmienić obliczeniową wysokość wkładki i ponownie przeprowadzić obliczenia wielkości sił wewnętrznych. Występowanie naprężeń ściskających w wkładkach podatnych wymaga sprawdzenia wielkości naprężeń na docisk w betonie przy końcówce segmentu. W przypadku przekroczenia naprężeń obliczeniowych betonu na docisk należy dodatkowo dobrać końcówkę segmentu zgodnie ze wzorami podanymi w punkcie 11.1.5. Obliczenie zbrojenia głównego przekroju żelbetowego przeprowadza się wzorami podanymi w tabelicy 11.1. Obliczona wielkość zbrojenia powinna spełniać kryterium optymalności wyrażone procentem zbrojenia przekroju - równym od 0,7÷1,5%.

Przedstawione obliczenia umożliwiają dobór grubości obudowy i konstrukcji jej zbrojenia, przy których spełnione są wstępnie założone dla niej wymogi wytrzymałościowe. W dalszym ciągu należy sprawdzić podporność całego pierścienia obudowy wykonanego z wstępnie obliczonych i zaprojektowanych segmentów żelbetowych.



Rys. 11.7. Algorytm obliczeń wstępnych segmentowej obudowy żelbetowej

11.2. Obliczenia sprawdzające podporność całego pierścienia obudowy z uwzględnieniem odporu sprężystego górotworu

11.2.1. Obliczanie sił wewnętrznych w pierścieniu obudowy

Sprawdzenie podporności całego pierścienia segmentowej obudowy żelbetowej (złożonego z zaprojektowanych w pierwszym etapie segmentów żelbetowych) przeprowadza się z uwzględnieniem sprężystego odporu górotworu po zewnętrznej stronie obudowy. Obliczenia statyczne konstrukcji obudowy z uwzględnieniem sprężystego odporu od strony otaczających ją skał wykonuje się przy wykorzystaniu programu BUD-57 [11] opracowanego na maszynę cyfrową, na podstawie macierzowej metody przemieszczeń. W schemacie obliczeniowym pierścień obudowy zastępuje się wielobokiem złożonym z odcinków prostych (prętów sprężystych) zbudowanych w tym przypadku z żelbetu i z wkładek podatnych. Pręty żelbetowe charakteryzują się zastępczym modułem sprężystości E_z

$$E_z = E_b + E_a \frac{F_a}{F_b} \quad (11.34)$$

gdzie:

- E_z - zastępczy moduł sprężystości przekroju żelbetowego,
- E_b - moduł sprężystości betonu,
- E_a - moduł sprężystości głównych wkładek (prętów) stalowych,
- F_a - przekrój głównych wkładek (prętów) stalowych,
- F_b - przekrój betonu.

Stosowane w obudowie wkładki podatne przyjmuje się jako pręty o długości równej grubości wkładek, charakteryzujących się ustalonym dla nich modułem sprężystości E_w . W prowadzonych obliczeniach sprężysty odpór górotworu uwzględnia się przez założenie w układzie statycznym obudowy sprężystych prętów odporowych (więzów) zamocowanych w wierzchołkach wieloboku układu statycznego (dyskretnego) obudowy (rys. 11.8)

Końcówka sprężystego pręta odporowego od strony obudowy doznaje wraz z nią przemieszczeń i obrotów, a drugi jego koniec zamocowany przegubowo podlega wyłącznie obrotom. W celu wyeliminowania sprężystych prętów odporowych (więzów) pracujących na rozciąganie istnieje konieczność kilkukrotnego obliczania pierścienia obudowy. Przy kolejnym obliczaniu w miejsce prętów rozciąganych zakłada się minimalne ich przekroje o wielkości 10^{-7} m^2 . Więzy sprężyste (sprężyste pręty odporowe) w ustroju statycznym obudowy pracują według znanej hipotezy Winklera, w myśl której wielkość odporu sprężystego podłoża jest wprost proporcjonalna do wielkości jego przemieszczenia

$$p = \delta \cdot k \quad (11.35)$$

gdzie:

- p - odpór sprężysty, N/m^2 ,
- δ - przemieszczenie, m
- k - współczynnik podatności sprężystej podłoża, N/m^3 .

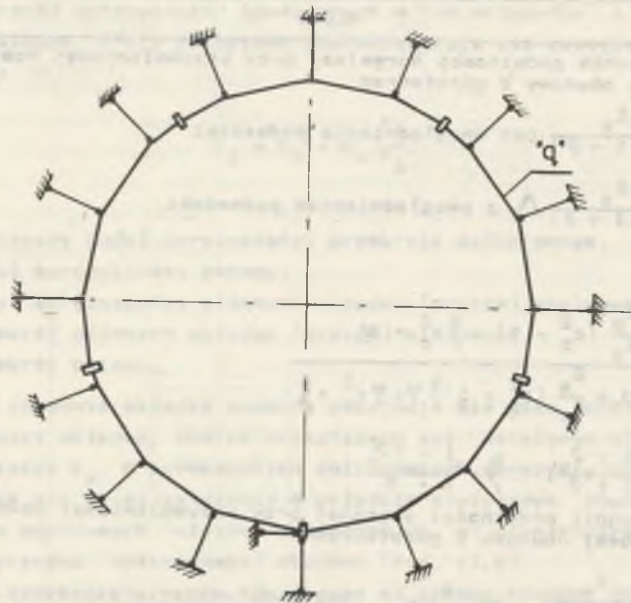
Współczynnik podatności sprężystej podłoża górotworu można wyznaczyć wzorami zestawionymi w tabelicy 11.2 na podstawie pracy [12].

Tabela 11.2

Wzory do wyznaczania współczynnika podatności sprężystej podłoża pierścieni z segmentów żelbetowych

Wzory	
1. Współczynnik podatności normalnej przy krzywoliniowej powierzchni kontaktu obudowy z górotworem	
K^{δ}	$= \frac{E_s}{R_1(1+\nu)}$ bez uwzględnienia podsadzki
K^{δ}	$= \frac{E_s}{R_1(1+\nu)} \Delta$ z uwzględnieniem podsadzki
gdzie:	
Δ	$= \frac{\frac{E_p}{E_s}(c_p^2 - 1) + \xi c_p^2 + \psi}{0,4 \frac{E_s}{E_p}(c_p^2 - 1) \xi \psi + \psi c_p^2 + \xi}$
ψ	$= \frac{1 + \nu_p}{1 - \nu_p}; \quad \xi = \frac{1 - 2\nu_p}{1 - \nu_p}$
2. Współczynnik podatności stycznej przy krzywoliniowej powierzchni kontaktowej obudowy z górotworem	
K^{ξ}	$= \frac{E_s}{R_1(1+\nu)} \cdot \frac{3}{(5-6\nu)}$ bez uwzględnienia podsadzki
K^{ξ}	$= \frac{E_s}{R_1(1+\nu)} \cdot \frac{3}{(5-6\nu)} \Delta$ z uwzględnieniem podsadzki
gdzie:	
Δ_{ξ}	$= 7 \frac{5c_p^4 - 6c_p^2 + 4 + 2 \frac{E_p}{E_s}(c_p^2 - 1) 4c_p^2 + 1}{36c_p^6 + 4c_p^4 - 45c_p^2 + 26 + 2 \frac{E_s}{E_p} c_p^2 - 1 \cdot c_p^4 + 8c_p^2 + 10 + 16 \frac{E_p}{E_s} c_p^4 / c_p^2 - 1}$
Liczbnice	
E_s	- moduł sprężystości dla skały,
E_p	- moduł sprężystości materiału podsadzki,
R_1	- promień zewnętrzny obudowy,
ν_p	- współczynnik Poissona dla skał otaczających obudowę i dla materiału podsadzki,
R_p	- promień wewnętrzny podsadzki,
c_p	- stosunek promieni zewnętrznych podsadzki i obudowy: $c_p = \frac{R_p}{R_1}$

Statische obliczanie sił wewnętrznych i przemieszczeń w węzłach prętów sprężystych - za pomocą programu BUD-57 - przeprowadza się przy uwzględnieniu normalnego usytuowania sprężystych prętów odporowych w stosunku do obudowy. Istnieje również możliwość obliczenia sił wewnętrznych w pierścieniu obudowy, przy uwzględnieniu stycznie usytuowanych sprężystych prętów odporowych po uprzednim ustaleniu wielkości reakcyjnego oddziaływania górotworu na obudowę w kierunku radialnym. Wprowadzenie do obliczeń stycznie usytuowanych odporowych prętów sprężystych powoduje uzyskanie korzystniejszych warunków współpracy obudowy z górotworem. Ich pominięcie zwiększa współczynnik bezpieczeństwa pracy obudowy w warunkach rzeczywistych i upraszcza sposób prowadzenia obliczeń.



Rys. 11.8. Schemat układu statycznego (dyskretnego) pierścienia segmentowej obudowy żelbetowej przy normalnym działaniu więzów sprężystych (prętów odporowych)

Uzyskane wydruki wg programu BUD-57 zawierają następujące wielkości odnoszące się do początkowego i końcowego przekroju każdego pręta sprężystego w przyjętym układzie statycznym pierścienia obudowy wg rys. 11.8:

- przemieszczenie pionowe i poziome, v, u
- kąty obrotu, φ
- siły normalne, N
- siły poprzeczne, O
- momenty zginające, M .

Zakres i wielkość odporu skał na obwodzie pierścienia obudowy przy danym sposobie jego obciążenia określa się (przy wykorzystaniu programu BUD-57 [11] - metodą kolejnych przybliżeń. Wyniki prowadzonych obliczeń należy uznać za ostateczne po uzyskaniu w każdym odporowym przecie sprężystym siły ściskającej. Również wszystkie wkładki podatne w pierścieniu na całej ich powierzchni powinny pracować na ściskanie, który to warunek sprawdza się obliczeniami podanymi w punkcie 11.1.2.

11.2.2. Sprawdzenie nośności przekroju obudowy na mimośrodowe ściskanie

Obliczone na maszynie cyfrowej siły wewnętrzne stanowią podstawę do sprawdzenia podporności pierścienia obudowy. Obliczenia sprawdzające przeprowadza się dla przekrojów, w których występuje duże mimośrodowe ściskanie materiału obudowy. Przy ustalaniu nośności przekroju żelbetowego wysokość strefy ściskanej x betonu oblicza się za pomocą wzoru (11.36), przy założeniu występowania w prętach zbrojenia głównego naprężeń rozciągających o wielkości R_a i przyjęciu współczynnika ich wykorzystania $\eta_a = 1$

$$x = (h_0 - e_a) + \sqrt{(h_0 - e_a)^2 + \frac{R_a \cdot F_a \cdot e_a \pm R_{ac} \cdot F_{ac} \cdot e_{ac}}{R_b \cdot b}} \quad (11.36)$$

gdzie oznaczenia $h_0, e_a, e_{ac}, F_a, F_{ac}, R_a, R_{ac}, R_b, b$ - podano w tabelicy 11.3.

Znak \pm w drugim członie wzoru (11.36) zależy od miejsca przyłożenia siły N , tj. dla przypadku $e_a > h_0 - a$ obowiązuje znak "-", natomiast przy $e_a < h_0 - a$ stosuje się znak "+". Nośność przekroju żelbetowego segmentu wyznacza się, wykorzystując wzory zestawione w tabelicy 11.3. Obliczona jego nośność w miejscu największego wyętwienia materiału obudowy powinna spełniać nierówność (11.37)

$$N^n \geq N, \quad (11.37)$$

gdzie:

- N^n - nośność przekroju żelbetowego wyznaczona wzorami (1-4), tabela 11.3.
- N - obliczona siła podłużna w rozpatrywanym przekroju.

Spełnienie nierówności (11.37) oznacza, że konstrukcja obudowy przeniesie projektowaną wielkość obciążenia bez przekroczenia naprężeń obliczeniowych gwarantujących określony stopień bezpieczeństwa. W przypadku, gdy nierówność (11.37) nie jest spełniona, istnieje konieczność zmiany parametrów wytrzymałościowych obliczonej obudowy, tj. jej grubości, wytrzymałości betonu oraz konstrukcji i wytrzymałości zbrojenia stalowego.

Tablica 11.1

Wzory do obliczenia nośności N^n w przekroju segmentu żelbetowego

Wzory	Oznaczenia
<p>1. gdy: $2a' < x < x_{gr} = \xi_{gr} \cdot h_0 \rightarrow$ duży mimośród</p> <p>dla $x = (h_0 - e_0) + \sqrt{(h_0 - e_0)^2 + \frac{R_{ac} \cdot F_{ac} \cdot a' \cdot a''}{R_b \cdot b}}$ (1')</p> <p>jest $N^n = \frac{R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - \frac{x}{2}) + R_{ac} \cdot F_{ac} \cdot (h_0 - a')}{a - e_0}$ (1)</p>	<p>ξ - względna wysokość strefy ściskanej</p> <p>ξ_{gr} - graniczna wartość względnej wysokości strefy ściskanej; przyjmuje się wg PN-76/R-03264, tablica 17.</p> <p>F_a - powierzchnia przekroju zbrojenia rozciąganego.</p> <p>F_{ac} - powierzchnia przekroju zbrojenia ściskanego.</p> <p>N - siła podłużna obliczeniowa.</p> <p>M - moment zginający obliczeniowy.</p> <p>R_b - wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie.</p> <p>R_a - wytrzymałość obliczeniowa stali na rozciąganie.</p> <p>R_{ac} - wytrzymałość obliczeniowa stali na ściskanie.</p> <p>a_{sc} - mimośród siły podłużnej N od środka ciężkości zbrojenia ściskanego.</p> <p>a_{rs} - mimośród siły podłużnej N od środka ciężkości zbrojenia rozciąganego.</p> <p>a_n - mimośród siły podłużnej N otrzymany z obliczeń statycznych.</p> <p>a_n - mimośród niezamierzony (przypadkowy)</p> <p>h_0 - wysokość obliczeniowa przekroju obudowy.</p> <p>h - wysokość całkowita przekroju (grubość obudowy).</p> <p>x - wysokość strefy ściskanej betonu.</p> <p>b - szerokość przekroju betonu, $b=1$ m.</p> <p>a - odległość środka ciężkości zbrojenia F_a od krawędzi rozciąganego lub mniej ściskanej.</p> <p>a' - odległość środka ciężkości zbrojenia F_{ac} od krawędzi ściskanej lub mniej rozciąganego.</p>
<p>2. gdy: $x < 2a' \rightarrow$ duży mimośród</p> <p>jest $N^n = \frac{F_a \cdot R_a \cdot (h_0 - a')}{a_{sc}}$ (2)</p>	
<p>3. gdy: $x > x_{gr} = \xi_{gr} \cdot h_0$ mały mimośród</p> <p>dla $x = h_0 - e_0 - \beta \sqrt{(h_0 - e_0 - \beta)^2 - 2h_0 \cdot \beta \cdot \frac{R_a \cdot F_a \cdot a' \cdot a''}{R_b \cdot b \cdot h_0}}$ (3')</p> <p>gdzie $\beta = \frac{2e}{1 - \xi_{gr}} = \frac{R_a \cdot F_a}{R_b \cdot b \cdot h_0}$</p> <p>jest $N^n = R_b \cdot b \cdot x + R_{ac} \cdot F_{ac} - R_a \cdot F_a$ (3)</p> <p>lub $N^n = \frac{R_b \cdot b \cdot x \cdot (\frac{x}{2} - a') - R_a \cdot F_a \cdot (h_0 - a')}{h_0 - a' - e_0}$ (4)</p> <p>gdzie $\beta_a = \frac{(1 + \frac{R_{ac}}{R_a})(1 - \beta)}{1 - \xi_{gr}} = \frac{R_{ac}}{R_a}$</p> <p>Zależności pomocnicze</p> <p>$e_0 = e + \frac{h}{2} - a$</p> <p>$e_{sc} = e - \frac{h}{2} + a'$</p> <p>gdy $e_0 > h_0 - a'$ we wzorach (1) i (3) uwzględnić znak "-"</p> <p>gdy $e_0 < h_0 - a'$ we wzorach (1) i (3) uwzględnić znak "+"</p> <p>$e = e_0 + e_n$; $e_0 = \frac{h}{2}$; $e_n = 1$ cm</p> <p>$h_0 = h - a$</p> <p>$\xi = \frac{x}{h_0}$</p>	

11.2.3. Obliczanie strzemion zbrojenia głównego

Zagęszczenie i przekrój strzemion przyjmuje się w pierwszej kolejności na podstawie warunków konstrukcyjnych zbrojenia wg [33, 34], w których należy przestrzegać następujących zasad:

- średnica strzemion $d_s \geq 3,0$ mm i $d_s \geq 0,2$ średnicy wkładek głównych praktycznie na podstawie badań dla obudowy segmentowej wielkość średnicy d_s powinna być równa 6-10 mm,
- odległość między strzemionami s , w miejscach, gdzie mogą wystąpić rysy ukośne (tzn. gdy wg [33, 34] zachodzi warunek $0_0 \leq 0,75 R_{zb} \cdot b \cdot h_0$) powinna wynosić

$$s \leq 0,33 h \quad \text{oraz} \quad s \leq 30 \text{ cm.} \quad (11.38)$$

- w odcinkach przypodporowych zagęszczenie strzemion również określa się wg zależności (11.38). Minimalna długość odcinków przypodporowych l_p (ze zmniejszoną odległością między strzemionami) liczona od końcówek segmentów wyraża się zależnością (11.38a)

$$l_p \geq \frac{1}{6} l. \quad (11.38a)$$

Poszczególne symbole w podanych zależnościach oznaczają:

- h - grubość segmentu,
- l - długość zewnętrznej strony obwodu segmentu,
- R_{zb} - wytrzymałość obliczeniowa betonu na rozciąganie,
- 0_0 - siła poprzeczna w rozpatrywanym przekroju segmentu.

- na pozostałych odcinkach segmentu wzajemna odległość między strzemionami powinna mieścić się w granicach określonych zależnościami (11.38b)

$$s \leq 0,75 h \quad \text{oraz} \quad s \leq 50 \text{ cm} \quad (11.38b)$$

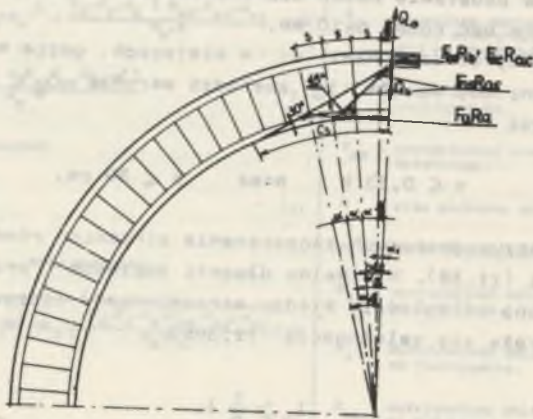
W miejscach zagęszczenia strzemion intensywność zbrojenia nimi segmentu powinna spełniać warunek wyrażony zależnością (11.39)

$$\frac{R_{as} \cdot F_{as}}{b \cdot s} \geq 300 \text{ kN/m}^2. \quad (11.39)$$

gdzie:

- R_{as} - wytrzymałość obliczeniowa stali strzemion $R_{as} = 0,8 R_a$,
- F_{as} - sumaryczny przekrój strzemion znajdujących się w jednej poprzecznej płaszczyźnie segmentu,
- b - szerokość segmentu
- s - odległość między strzemionami.

Dla poczynionych założeń co do rozstawu i średnicy strzemion sprawdza się nośność przekroju obudowy w miejscu występowania szczelin ukośnych (w środkowej części segmentu), przyjmując na podstawie badań ich długość c_s i układ w pierwszym przypadku pod kątem 45° , a w drugim 30° (rys. 11.9).



Rys. 11.9. Schemat obrazujący wymiarowanie strzemion wiążących zbrojenie głównego segmentu

Warunek równowagi przekroju segmentu w miejscu największego wycięcia pierścienia obudowy określa się za pomocą wzoru (11.39a)

$$Q_0 = \sum_{i=1}^{i=n} F_{as} \cdot R_{as} \cdot \cos \alpha_i + Q_b - F_a \cdot R_a \cdot \sin \alpha_i \quad (11.39a)$$

gdzie:

- $\alpha_i (i=1 \dots n)$ - kąty środkowe położenia poszczególnych strzemion na przecięciu rysą ukośną (rys. 11.9),
- Q_b - siła przenoszona przez beton (przy kształtowaniu się szczeliny ukośnej), której wartość określa się zależnością (11.40) lub dla zwiększenia bezpieczeństwa pracy strzemion można przyjąć tej wielkość równa zero

$$Q_b = \frac{0,15 R_b \cdot b \cdot h^2}{c_s} \quad (11.40)$$

- $F_a \cdot R_a \cdot \sin \alpha_i$ - rzuty siły rozciągającej w głównych pretach zbrojenio-wych na oś pionową,
- c_s - długość rysy ukośnej mierzona po wewnętrznym łuku obudo-wy,
- Q_0 - siła poprzeczna w obliczanym przekroju segmentu.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły również przyjąć jako podstawę do obliczenia minimalnego zagęszczenia strzemion w segmencie γ warunek wymaga-nej wytrzymałości betonu na ściskanie G_{cb} , z uwzględnieniem tych prze-krojów segmentu, w których występuje największe wycięcie jego materiału. Odległość s_x między strzemionami można obliczyć wg niżej podanych za-leżności:

$$G_{cb} - \vartheta (\sigma_z + \sigma_y) \leq R_b,$$

$$\sigma_z = \frac{2R_{as} \cdot F_s}{F_b} = \frac{2R_{as} \cdot F_s}{b \cdot s_x} \quad (11.41)$$

$$\sigma_y = \frac{R_{as} \cdot F_s}{F_b} = \frac{R_{as} \cdot F_s}{a \cdot s_x}$$

$$s_x = \frac{\vartheta \cdot R_{as} \cdot F_s \cdot (2a+b)}{(G_{cb} - R_b) \cdot a \cdot b} \iff R_b < G_{cb} \quad (11.42)$$

gdzie:

- G_{cb} - wymagana minimalna wytrzymałość betonu na ściskanie,
- R_b - obliczeniowa wytrzymałość betonu na ściskanie,
- b - szerokość segmentu,
- a - grubość ściskanej strefy betonu przyjęta na podstawie badań,
- R_{as} - wytrzymałość obliczeniowa stali strzemion na rozciąganie,
- F_s - przekrój poprzeczny pręta strzemiona,
- ϑ - współczynnik Poissona dla betonu.

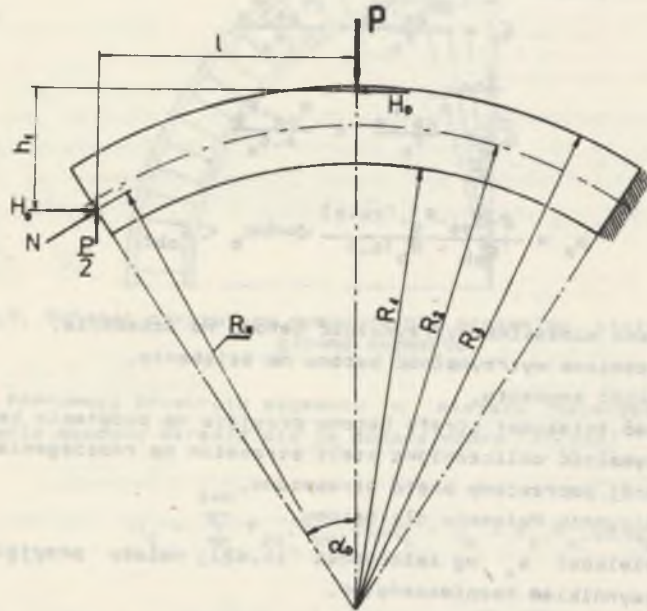
Obliczoną wielkość s_x wg zależności (11.42) należy przyjąć z odpo-wiednim współczynnikiem bezpieczeństwa.

11.3. Obliczanie podporności obudowy przy bezpośrednim wykorzystaniu wyników uzyskanych z badań segmentów indywidualnych i wykonanych z nich pierścieni

Podporność zaprojektowanych segmentów żelbetowych przed wprowadzeniem ich do produkcji przemysłowej powinna być każdorazowo sprawdzana odpo-wiednimi badaniami na wykonanych (według projektu) egzemplarzach prototy-powych.

Z przeprowadzonych w pracy badań wynika, że obciążony na części obvodu pierścien z segmentów żelbetowych uzyskuje najmniejszą podporność przy wypadkowej sił zewnętrznych, działającej w środku segmentu. Stąd naj-prostszy sposób badań, możliwy do sprawdzania danej konstrukcji segmentów pod względem wytrzymałościowym, może być prowadzony jak na rysunkach 8.1.

8.2, 8.47. Podporność segmentu odpowiednio posadowionego poprzez wkładki podatne na podporach stalowych (w sposób umożliwiający w czasie badań samoczynne jego rozpięcie) określa się akcyjnym na niego działaniem siły skupionej P (rys. 11.10). Segment obciążony siłą skupioną w środku jego rozpiętości jest konstrukcją dwukrotnie statycznie niewyznaczalną. Badania obciążonego miejscowo segmentu pozwalają wyznaczyć w nim wszystkie siły wewnętrzne.



Rys. 11.10. Układ sił wewnętrznych w zginanym i rozpiętym segmencie siłą skupioną P

Na rys. 11.10 przedstawiono następujące wielkości niezbędne do określenia wytrzymałości segmentu:

- H_0 - rozpór poziomy w środku rozpiętości segmentu,
- N_0 - reakcje pionowe na podporach segmentu,
- N_0 - wypadkowa normalna sił wewnętrznych na wkładkach podatnych segmentu,
- P - siła skupiona obciążająca akcyjnie segment w środku jego rozpiętości,
- l - odległość między siłą N_0 i obciążeniem segmentu siłą skupioną P ,
- h_1 - ramię działania rozporu H względem siły N_0 .

Ustalenie wymienionych wielkości pozwala wyznaczyć naprężenia rozciągające σ_{rp} w dolnych prętach zbrojenia segmentu wg zależności

$$\sigma_{rp} = \frac{M}{F_p \cdot h_p} \leq \sigma_r \quad (11.43)$$

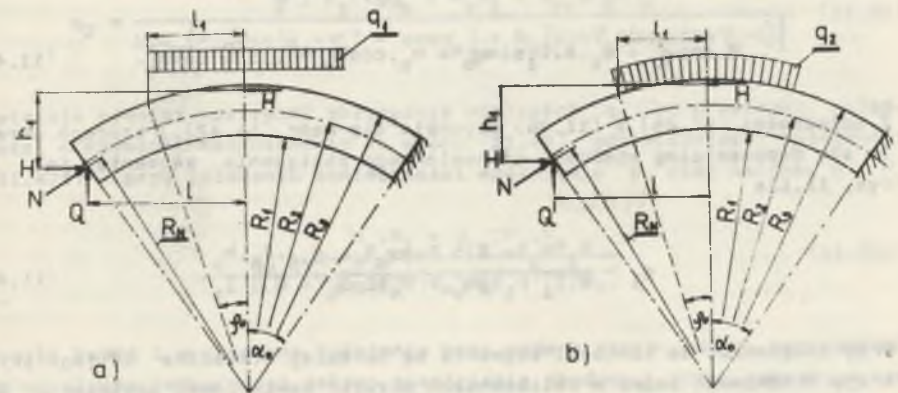
gdzie:

$$M = \frac{P}{2} l - H_0 h_1, \quad (11.44)$$

- h_p - odległość między górnymi i dolnymi prętami zbrojenia stalowego,
- F_p - sumaryczny przekrój dolnych lub górnych prętów stalowych,
- σ_r - naprężenia zbliżone do granicy plastyczności materiału prętów stalowych.

Przedstawione na rys. 11.10 wartości H_0 i N_0 należy wyznaczyć (za pomocą badań) przy obciążeniu segmentu wielkością P , maksymalnie zbliżoną do wartości granicznej. Określone wartości poszczególnych parametrów można wykorzystać do opracowania wzorów umożliwiających obliczanie podporności segmentu (i całych pierścieni obudowy) przy różnych konfiguracjach (sposobach) jego obciążenia.

Spśród wzorów określających podporność danego segmentu najbardziej uogólnioną postać posiadają te zależności, które uwzględniają równomierne i symetryczne jego obciążenie na całej długości lub na części łuku segmentu. Łuk segmentowy z wypadkową sił zewnętrznych działającą w środku jego rozpiętości charakteryzuje się również (jak to już zaznaczono) najmniejszą podpornością. Stąd w pracy przedstawiono sposób obliczania segmentów obciążonych wg schematu podanego na rys. 11.11.



Rys. 11.11. Układ sił wewnętrznych w łuku pierścienia z segmentów żelbetowych obciążonego w sposób równomierny i symetryczny względem środka rozpiętości segmentu

a) obciążenie prostopadłe do cięciwy łuku segmentu, b) radialne obciążenie segmentu

Podane wzory (11.45 - 11.51) uwzględniają następujące założenia:

- przy granicznym, równomiernym obciążeniu segmentu, położenie wypadkowych sił wewnętrznych (rozpor H i wypadkowa N) oraz naprężenia w prętach zbrojeniowych (G_{rp}) i wielkość wypadkowej N oraz rozporu H nie będą mniej korzystne od odpowiadających im wielkości (N_0 i H_0) ustalonych w czasie badania pracy segmentu obciążonego graniczną wielkością siły skupionej P.

Uwzględnienie przy projektowaniu obudowy przyjętych założeń pozwala mieć pewność, że obliczona podporność jednego segmentu (lub łuku złożonego z segmentu środkowego i z segmentów łączących się z nim przez wkładki podatne (rys. 11.13) równomiernie obciążonego na określonej jego długości $2l_1$ (rys. 11.11) nie będzie mniejsza od jego podporności rzeczywistej.

Podstawowymi zależnościami, z których wyprowadza się wzory na obliczenie podporności segmentów są równania równowagi momentów zginających. Równania momentów przyjmują postać zależną od sposobu obciążenia segmentu.

Przy równomiernym (miejscowym) obciążeniu segmentu o szerokości b w kierunku prostopadłym do jego cięciwy (jak na rys. 11.11a), równanie równowagi momentów zginających wyraża się zależnością (11.45)

$$H \cdot h_1 + M = q_1 \cdot b \cdot l_1 \left(R_N \sin \alpha_0 - \frac{l_1}{2} \right). \quad (11.45)$$

W zależności (11.45) występuje obliczeniowa wartość rozporu H, którą zgodnie z podanym poprzednio założeniem konieczności zachowania stałej wielkości siły podłużnej N_0 ustalonej w czasie badań zginanego segmentu siłą skupioną P (rys. 11.10) oblicza się z równania (11.46)

$$H \cdot \cos \alpha_0 + q_1 \cdot b \cdot l_1 \cdot \sin \alpha_0 = H_0 \cdot \cos \alpha_0 + 0,5 \frac{P}{2} \sin \alpha_0. \quad (11.46)$$

Z zależności (11.45) i (11.46) uzyskuje się wzór (11.47), z którego określa się dopuszczalną wielkość równomiernego obciążenia segmentu jak na rys. 11.11a

$$q_1 = \frac{h_1 (H_0 + 0,5 P \operatorname{tg} \alpha_0) + G_{rp} \cdot F_p \cdot h_p}{b \cdot l_1 (h_1 \operatorname{tg} \alpha_0 + R_N \sin \alpha_0 - 0,5 l_1)}. \quad (11.47)$$

Przy założeniu, że końcówki segmentu są bardziej stateczne od jego przekroju środkowego można w obliczeniach przyjąć konieczność spełnienia warunku $H = H_0$ i wówczas zależność typu (11.47) ustala się bezpośrednio ze wzoru (11.45)

$$q_1 = \frac{H_0 \cdot h_1 + G_{rp} \cdot F_p \cdot h_p}{b \cdot l_1 (R_N \cdot \sin \alpha_0 - 0,5 l_1)} \quad (11.47a)$$

W przypadku równomiernego obciążenia segmentu w kierunku radialnym (jak na rys. 11.11b) równanie równowagi momentów zginających wyraża się zależnością (11.48)

$$H \cdot h_1 + M \approx q_2 \cdot b \cdot R_N^2 \int_0^{\varphi_0} \sin(\alpha_0 - \varphi) d\varphi = q_2 \cdot b \cdot R_N^2 [\cos(\alpha_0 - \varphi_0) - \cos \alpha_0], \quad (11.48)$$

Obliczeniową wartość rozporu H uzyskuje się z równania (11.49) uwzględniającego założoną konieczność zachowania ustalonej w czasie badań wielkości siły podłużnej N

$$H \cos \alpha_0 + Q_1 \sin \alpha_0 - Q_2 \cos \alpha_0 = H_0 \cos \alpha_0 + \frac{P}{2} \sin \alpha_0, \quad (11.49)$$

$$Q_1 \approx q_2 \cdot b \cdot R_N \cdot \int_0^{\varphi_0} \cos \varphi \cdot d\varphi = q_2 \cdot b \cdot R_N \sin \varphi_0, \quad (11.50a)$$

$$Q_2 \approx q_2 \cdot b \cdot R_N \cdot \int_0^{\varphi_0} \sin \varphi d\varphi = q_2 \cdot b \cdot R_N (1 - \cos \varphi_0). \quad (11.50b)$$

Z równań (11.49) i (11.50) otrzymuje się wzór określający dopuszczalne obciążenie segmentu w kierunku radialnym jak na rys. 11.11b

$$q_2 = \frac{\frac{P}{2} \cdot h_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 + H_0 h_1 + G_{rp} \cdot F_p \cdot h_p}{b \cdot R_N \left[R_N [\cos(\alpha_0 - \varphi_0) - \cos \alpha_0] + h_1 [\sin \varphi_0 \operatorname{tg} \alpha_0 + \cos \varphi_0 - 1] \right]} \quad (11.51)$$

Istnieje również możliwość obliczania wielkości q_2 wg prostszej zależności otrzymanej bezpośrednio ze wzoru (11.48), odpowiadającej zależności (11.47a) - przy założeniu konieczności spełnienia w niej warunku $H = H_0$

$$q_2 = \frac{H_0 \cdot h_1 + G_{rp} \cdot F_p \cdot h_p}{b \cdot R_N^2 [\cos(\alpha_0 - \varphi_0) - \cos \alpha_0]} \quad (11.51a)$$

Wyniki badań i wymienione założenia oraz podane wzory można wykorzystać do ustalania podporności całego pierścienia obudowy, przy niekorzystnym lokalnym ale równomiernym jego obciążeniu. Przyjęcie takie jest możliwe pod warunkiem, że niezbędne wyniki badań odnośnie do najmniej korzystnego położenia i wielkości sił wewnętrznych zostaną uzyskane z łuku obciążonego graniczną wielkością siły skupionej P, którego rozpiętość jest nie mniejsza od określonej kątem środkowym $70^\circ - 90^\circ$. W przypadku segmentów o mniejszej rozpiętości od 70° należy badać łuk złożony z pełnego segmentu

i z dwóch segmentów mniejszych (rys. 11.13) o sumarycznej rozpiętości odpowiadającej katowi środkowemu α_0 około 90° . Końcówki segmentów należy usytuować na wkładkach podatnych.

Z przeprowadzonych w pracy badań wynika, że wzory (11.47) i (11.51) pozwalają obliczyć najmniejszą podporność pierścienia obudowy jaka ma miejsce przy równomiernym obciążeniu części jego łuku z wypadkową działającą w środku segmentu. Każdy inny schemat obciążenia obudowy w sposób równomierny z jego wypadkową przesuniętą względem środka segmentu umożliwia uzyskanie większej podporności całego pierścienia; stąd obliczenia wg wzorów (11.47) i (11.51) należy przyjąć za najbardziej niekorzystne dla ustalonej podporności konstrukcji segmentowej obudowy żelbetowej. Za ich pomocą oraz na podstawie badań drogą kolejnych przybliżeń i prób można dobrać taką konstrukcję segmentów, z których wykonana obudowa o obliczonej podporności q_1 lub q_2 sprosta działaniu na nią przewidywanej wielkości deformacyjnego ciśnienia górotworu.

Wyniki przeprowadzonych badań, określające graniczną podporność rozpięającego się segmentu w czasie jego zginania siłą skupioną P oraz badania podporności całego pierścienia obudowy, umożliwiają również przeprowadzenie innego sposobu obliczeń podporności segmentowej obudowy żelbetowej. Istnieje w tym przypadku potrzeba, dla przyjętego równomiernego i symetrycznego obciążenia segmentu wzdłuż cięciwy $2l_1$ (rys. 11.11) - obliczenia maksymalnej wartości występującego w nim rozporu H .

Na podstawie badań można przyjąć, że w przypadku akcyjnego obciążenia części łuku pierścienia obudowy - kształtujący się rozpor H (pod wypadkową tegoż obciążenia) występuje na wysokości nie mniejszej od $\frac{1}{6}$ grubości segmentów - powyżej osi przechodzącej przez środek ich grubości. Przekrój pod wypadkową akcyjnego obciążenia pierścienia jest miejscem występowania maksymalnego momentu zginającego (rys. 11.13). Z badań wynika również, że rozpor H utrzymuje zginany segment w równowadze, działając na ramieniu h_1 ograniczonym wymienionym rozpor H oraz maksymalną wielkością wypadkowej sił podłużnych i poprzecznych, występującą w pewnej od niego odległości i poniżej osi przechodzącej przez środek grubości obudowy. Stąd można przyjąć, że dolna część ramienia h_x rozporu H jest ograniczona określonym punktem nie wychodzącym powyżej środka grubości segmentu. Przyjęcie takie (rys. 11.13), uzasadnione wynikami badań, upoważnia do obliczenia wielkości H_{max} względem dowolnego punktu osi przechodzącej przez środek grubości segmentów (łuk o promieniu R_2) usytuowanych w pierścieniu obudowy.

Wyznaczenie wielkości rozporu H_{max} w poszczególnych przedziałach łuku obudowy określonych kątami φ_1 i α za pomocą zależności (11.52) i (11.53) lub (11.54) i (11.55) pozwala mieć pewność, że rzeczywista jego wielkość, przy obciążeniu obudowy jak na rys. 11.11 i 11.12, nie będzie większa.

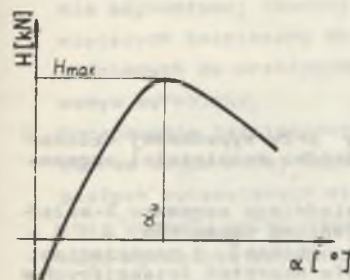
$$H = \frac{0,5 q_1 \cdot b \cdot R_2^2 \sin^2 \varphi_1 - G_{rp} \cdot F_p \cdot h_p}{R_2 (1 - \cos \varphi_1) + \frac{d}{6}}; \quad 0 < \varphi_1 \leq \varphi_0 \quad (11.52)$$

$$H = \frac{0,5 q_1 \cdot b \cdot R_2^2 \sin^2 \alpha \sin^2 \varphi_0 - G_{rp} \cdot F_p \cdot h_p}{R_2 (1 - \cos \alpha) + \frac{d}{6}}; \quad \varphi_0 < \alpha \leq \alpha_0 \quad (11.53)$$

$$H = \frac{q_2 \cdot b \cdot R_2^2 \int_0^{\varphi_1} \sin^2 \varphi d\varphi - G_{rp} \cdot F_p \cdot h_p}{R_2 (1 - \cos \varphi) + \frac{d}{6}} \quad (11.54)$$

$$H = \frac{q_2 \cdot b \cdot R_2^2 \cdot \varphi_0 \cdot \sin^2 \left(\alpha - \frac{\varphi_0}{2} \right) - G_{rp} \cdot F_p \cdot h_p}{R_2 (1 - \cos \alpha) + \frac{d}{6}}; \quad \varphi_0 < \alpha \leq \alpha_0 \quad (11.55)$$

Ze wzorów (11.52 - 11.55) wielkość H_{max} wyznacza się wykreślnie wg rys. 11.12 lub przez podstawienie do nich wielkości ustalonej z warunku zerowania się pierwszej pochodnej wg zależności (11.56)



$$\frac{dH}{d\alpha} = 0 \quad (11.56)$$

Po ustaleniu wielkości H_{max} w miejscu określonym kątem α_u dla założonej (wymaganej) podporności obudowy q_1 lub q_2 należy sprawdzić wielkość naprężeń ściskających w segmencie w przekroju o największym wyciężeniu betonu (tj. pod wypadkową sił zewnętrznych q_1 lub q_2) wg wzoru (11.57)

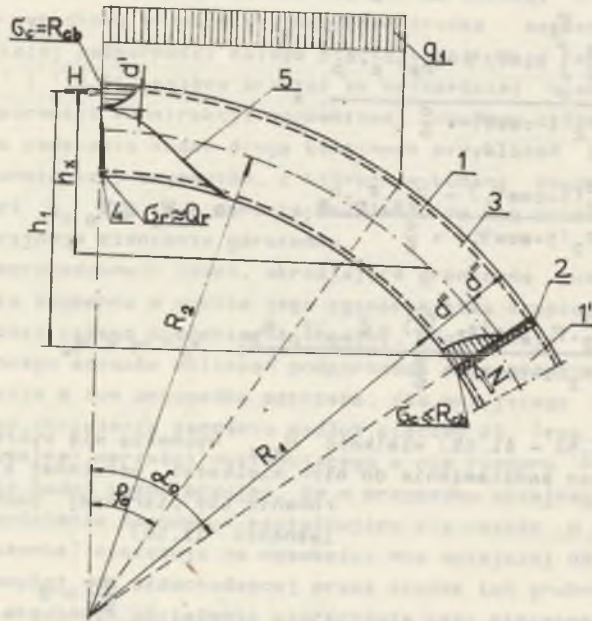
Rys. 11.12. Graficzny sposób wyznaczania maksymalnej wielkości rozporu H za pomocą wzorów (11.50 - 11.53)

$$\sigma_{cb} = \frac{2 H_{max}}{d' \cdot b} \leq R_{cb} \quad (11.57)$$

gdzie:

- R_{cb} - doraźna wytrzymałość betonu na ściskanie,
- d' - ustalona za pomocą badań szerokość strefy ściskanej betonu przy granicznym obciążeniu segmentu siłą skupioną P lub kilkoma siłownikami w pierścieniu z wypadkową w środku segmentu.

Jeżeli zależność (11.57) nie jest spełniona, wówczas należy zastosować do produkcji segmentów beton o większej wytrzymałości, wzmocnić ich zbrojenie, zmienić konstrukcję segmentowej obudowy żelbetowej lub dokonać zmiany wszystkich wymienionych parametrów w takim stopniu, aby całkowicie spełnić wymóg wyrażony wzorem (11.57).



Rys. 11.13. Prace segmentu w pierścieniu obudowy przy wypadkowej działającej na niego sił zewnętrznych usytuowanej w środku rozpiętości segmentu

1 - segment aktywnie obciążony, 1' - końcówka sąsiedniego segmentu, 2 - wkładka podatna z płyty paździerowej, 3 - pręty zbrojeniowe segmentów, 4 i 5 - strefa spękań w segmencie (szczelina środkowa i ukośna) z naprężeniami rozciągającymi w prętach zbrojeniowych, d' - strefa naprężeń ściskających w środku rozpiętości segmentu, d'' - strefa naprężeń ściskających przy końcówce segmentu, d''' - strefa przy końcówce segmentu wolna od naprężeń ściskających, φ_0 - kąt zasięgu aktywnego obciążenia segmentu, α_0 - połowa kąta środkowego łuku segmentu

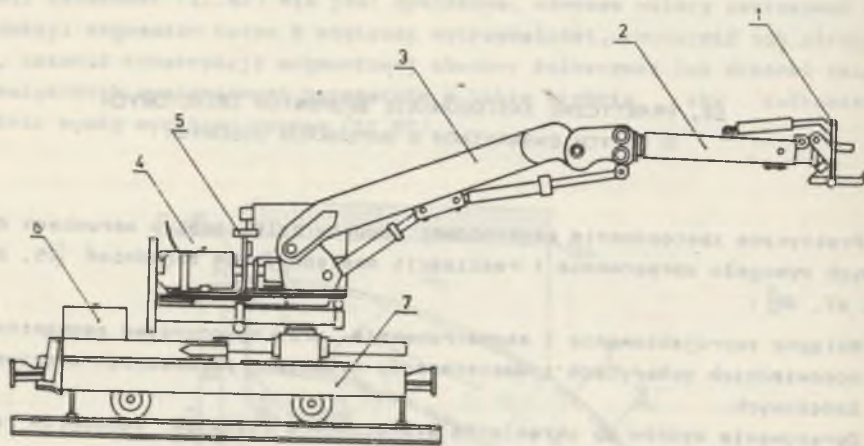
12. PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE SEGMENTÓW ŻELBETOWYCH O DUŻYCH GABARYTACH W WARUNKACH DOŁOWYCH

Praktyczne zastosowanie segmentowej obudowy żelbetowej w warunkach dołowych wymagało opracowania i realizacji następujących zagadnień [25, 29, 46, 47, 48]:

1. Wstępne zaprojektowanie i skonstruowanie oraz wykonawstwo segmentów o odpowiednich gabarytach i dostatecznie wysokich parametrach wytrzymałościowych.
2. Opracowanie wzorów do określania stateczności ciężkich segmentów żelbetowych w czasie ich układania w pełne pierścienie obudowy.
3. Skonstruowanie manipulatora (rys. 12.1) niezbędnego do wykonywania obudowy z ciężkich segmentów żelbetowych oraz nadzór przy jego wykonawstwie i odbiorze technicznym.
4. Opracowanie sposobu układania segmentów w pierścieniu obudowy oraz sprawdzenie praktycznej użyteczności manipulatora i wyszkolenia załogi przodkowej w specjalnym stoisku technologicznym (rys. 12.2) - o gabarytach odpowiadających udostępniającym wyrobiskom korytarzowym.
5. Przygotowanie odcinka wyrobiska przed miejscem początkującym stosowanie segmentowej obudowy żelbetowej celem zapewnienia warunków umożliwiających bezpieczną eksploatację manipulatora i innych urządzeń przewidzianych do praktycznego wykorzystania w przebudowywanym lub wykonywanym wyrobisku.
6. Opracowanie bezpiecznego wykonawstwa i prawidłowej współpracy z górotworem segmentowej obudowy żelbetowej w wyrobisku zlokalizowanym w skałach wykazujących ciśnienie deformacyjne a szczególnie w sąsiedztwie przodku przebudowywanego lub wykonywanego przekopu, względnie innego wyrobiska podziemnego o znaczeniu kapitalnym.

Stateczność segmentów przy ich układaniu w pełne pierścienie obudowy można określić za pomocą wzorów podanych w [43], przystosowanych do obudowy 5-segmentowej. Podobne wzory można opracować dla dowolnej konstrukcji segmentów i wykonywanej z nich obudowy. Wymaganą stateczność zabudowywanym segmentom zapewnia się za pomocą odpowiednich urządzeń technologicznych (rys. 12.4).

Do układania ciężkich segmentów żelbetowych w pierścieniu obudowy wykorzystywano manipulator hydrauliczny wykonany w austriackiej firmie PENZ, dla którego opracowano w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni założenia techniczne i konstrukcję chwytaka segmentów. No-



Rys. 12.1. Schemat konstrukcji manipulatora hydraulicznego do układania segmentów w pierścieniu obudowy

1 - uchwyt płytowo-szworziowy, 2 - ramię przednie wysuwne, 3 - ramię tylne podnoszące, 4 - stanowisko operatora, 5 - tablica rozdzielaczy hydraulicznych, 6 - przeciwwaga, 7 - rama podwozia



Rys. 12.2. Stoisko technologiczne do sprawdzania praktycznej przydatności opracowanych sposobów układania segmentów żelbetowych w pierścieniu obudowy

we rozwiązanie chwytaka pozwala na ujmowanie dowolnej konstrukcji segmentów - niezależnie od położenia w nich środka ciężkości. Dotychczasowe manipulatory, np. produkcji czechosłowackiej [1] i szwedzkiej firmy HIAB [20], mogły układać segmenty o wymaganym w nich położeniu środka ciężko-

ści, co bardzo utrudniało dostosowywanie ich gabarytów do wymagań wytrzymałościowych obudowy i wielkości wyrobisk.

Tablica 12.1

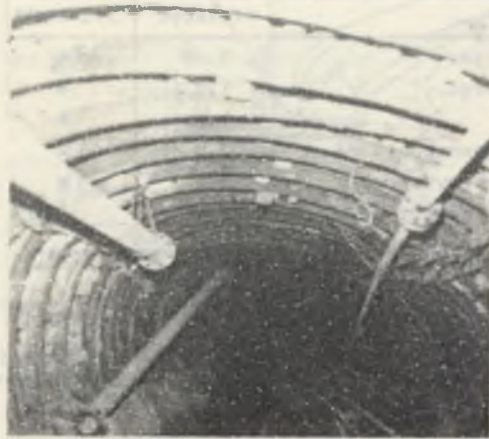
Parametry techniczne manipulatora hydraulicznego

Lp.	N a z w a	Wielkość	Jednostka
1	Długość manipulatora złożonego	3,45	m
2	Wysokość manipulatora złożonego	1,7	m
3	Szerokość manipulatora	1,1	m
4	Długość pierwszego ramienia manipulatora	2,5	m
5	Długość drugiego ramienia bez wysuwu	2,1	m
6	Długość drugiego ramienia po wysunięciu	2,7	m
7	Maksymalny zasięg ramion dźwigu od pionowej osi obrotu	5,7	m
8	Maksymalna wysokość podnoszenia przez dźwig manipulatora, liczona od główki szyny	6,8	m
9	Dopuszczalny udźwig manipulatora	12	kN
10	Kąt obrotu dźwigu manipulatora	360	stopnie
11	Kąt obrotu końcówki dźwigu manipulatora wokół osi ramienia drugiego	360	stopnie
12	Prędkość jazdy manipulatora	50	m/min.
13	Prześwit toru	750	mm
14	Rozstaw osi kół szynowych	1,5	mm
15	Ciężar całkowity manipulatora	50	kN

Manipulator (rys. 12.1) przeznaczony jest do układania segmentów w przodku wyrobiska, jak również podnoszenia, przekładania i przesuwania różnych elementów o dopuszczalnym ciężarze do 12 kN. Może być dostosowany również do ładowania urobku i wiercenia otworów strzałowych. Ważną jego zaletą jest łatwość transportu wyrobiskami korzyżarzowymi do miejsca pracy, bez konieczności uprzedniego demontażu. Podstawowe dane techniczne manipulatora zestawiono w tablicy 12.1. Szczegółowo opracowaną technologię układania ciężkich segmentów żelbetowych w pełne pierścienie obudowy podano w [25, 29]. Przed praktycznym jej zastosowaniem w warunkach dołowych sprawdzono ją w powierzchniowym stoisku technologicznym [29], przedstawionym na rys. 12.2. Badania technologiczne umożliwiły udoskonalenie wykonawstwa obudowy w warunkach dołowych i przeszkolenie wyznaczonej do praktycznego jej stosowania załogi przodkowej.

Celem sprawdzenia praktycznej przydatności opracowanych rozwiązań technologicznych i zachowania się segmentowej obudowy żelbetowej w warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu zastosowano ją w KWK "Borynia" w 40-metrowym odcinku przebudowanego przekopu polowego I wschodniego na poziomie 713 m. Przekop ten wykonany był uprzednio w obudowie łP-7, która uległa silnym deformacjom (rys. 12.3).

W podanym odcinku przekopu sprawdzono sposoby układania segmentów w 3 wariantach:



Rys. 12.3. Zdeformowana obudowa z odrzwi stalowych w przekopie połowym I wschodnim w KWK "Borynia"

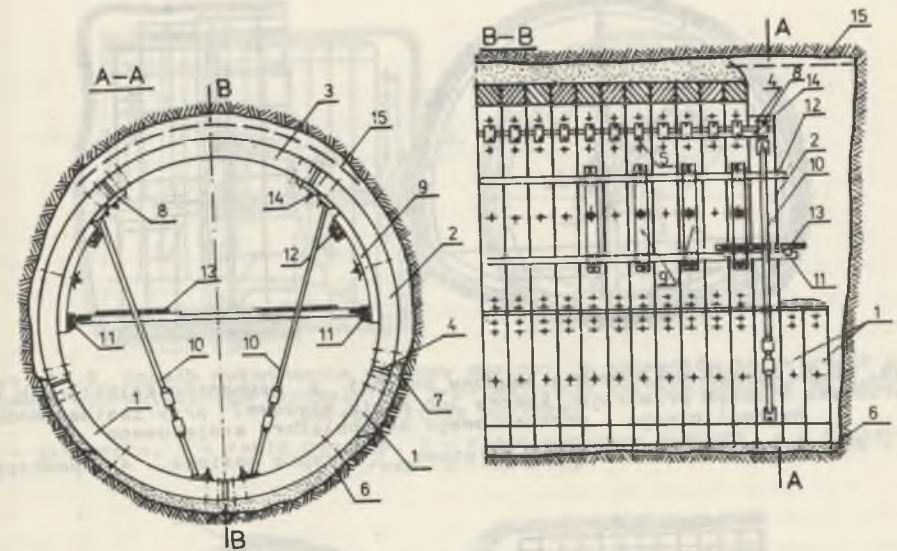
1. Usytuowanie w pierścieniu obudowy dwóch segmentów spągowych, dwóch ociosowych i jednego stropowego.
2. Wykonanie pierścienia z jednego segmentu spągowego, dwóch ociosowych i dwóch stropowych.
3. Przemienne stosowanie pierścieni przy układaniu w nich segmentów wg rozwiązania 1 lub 2, co gwarantuje przy różnych kierunkach aktywnego ciśnienia górotworu dostatecznie dużą i jednakową podporność obudowy na całym obwodzie i długości wyrobiska.

Sposób wykonywania obudowy wg wariantu 1 przedstawiono na rys. 12.4. Wykonawstwo obudo-

wy wymagało stosowania odpowiednich elementów technologicznych (rys. 12.4) zapewniających stateczność układanych w danym pierścieniu segmentów. Obudowę wykonywano odcinkami o długości 1 m w bezpośrednim sąsiedztwie przodku przebudowywanego przekopu. Każdemu odcinkowi obudowy zapewniono dokładne przyleganie do obrysu wyłomu wyrobiska poprzez ekspansywną podsadzkę wykonywaną z szybkowiążącego materiału.

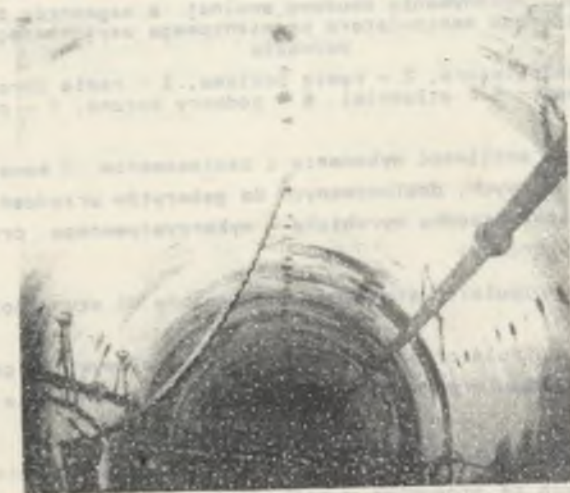
Rozwiązanie takie wyeliminowało kominowanie słabych i odprężonych skał oraz w dużym stopniu ograniczyło dalsze reologiczne odkształcanie górotworu, co wpłynęło na uzyskanie wymaganej stateczności przebudowywanego odcinka przekopu. Zastosowaną obudowę segmentową w przekopie połowym I wschodnim przedstawiono na rys. 12.5. Na podstawie doświadczeń nabytych przy wykonawstwie segmentowej obudowy żelbetowej w KWK "Borynia" - opracowano dalsze rozwiązania technologiczno-organizacyjne, pozwalające na uzyskiwanie dość dużych postępów, przy wykonywaniu wyrobiska z zastosowaną w nim obudową z segmentów żelbetowych. Postępy miesięczne w granicach 100 m i więcej są możliwe do uzyskania przy pełnej mechanizacji podstawowych operacji w przodku wyrobiska.

Celem zastosowania możliwie najprostszego, łatwego w produkcji i w praktycznej obsłudze urządzenia do wykonawstwa obudowy segmentowej opracowano założenia konstrukcyjne nowych manipulatorów - pracujących na zasadzie promieniowego układania segmentów.

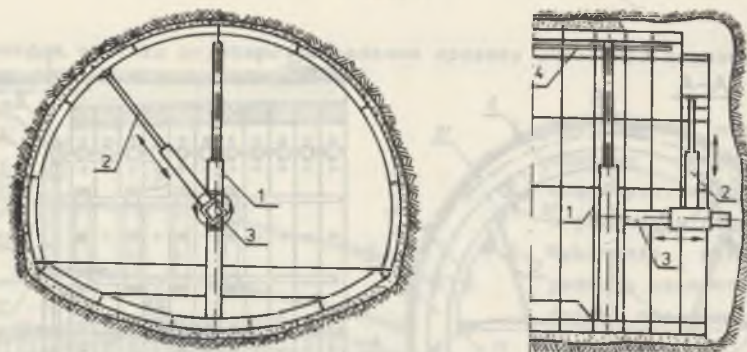


Rys. 12.4. Wykonawstwo segmentowej obudowy żelbetowej złożonej z jednakowych pierścieni przy jednym segmentcie stropowym

- 1 - segmenty spągowe, 2 - segmenty ociosowe, 3 - segment stropowy, 4 - wkładki podatne, 5 - złącza śrubowe, 6 - podłoże z utwardzonej podsadzki, 7 - podsadzka utwardzona, 8 - płaskownik stalowy, 9 - krążyny stalowe, 10 - rozpory stalowe, 11 - dźwigary stalowe dolne, 12 - dźwigary stalowe górne, 13 - pomost roboczy, 14 - płaskownik poziomy, 15 - obudowa tymczasowa

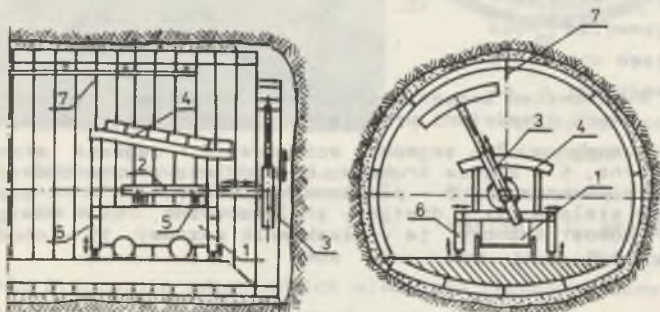


Rys. 12.5. Segmentowa obudowa żelbetowa wykonywana w przebudowywanym odcinku przekopu na poz. 713 m w KWK "Borynia"



Rys. 12.6. Sposób wykonywania obudowy owalnej z segmentów żelbetowych w wyrobisku o dużym przekroju (komory lub wloty szybowe) przy zastosowaniu hydraulicznego - promieniowego manipulatora stojakowego

1 - stojak rozporowy, 2 - ramię obrotowe, 3 - ramię poziome, 4 - podciąg



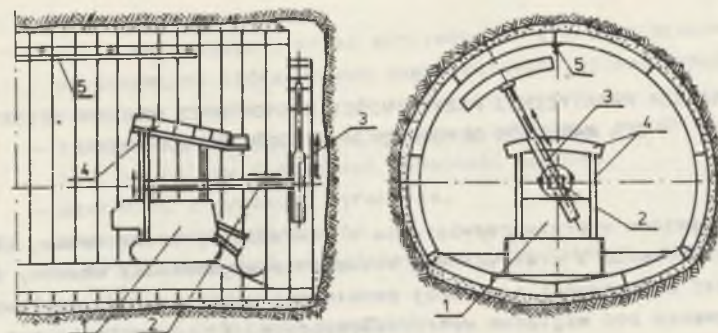
Rys. 12.7. Sposób wykonywania obudowy owalnej z segmentów żelbetowych za pomocą hydraulicznego manipulatora promieniowego usytuowanego na własnym podwoziu

1 - podwozie manipulatora, 2 - ramię poziome, 3 - ramię obrotowe wysuwne, 4 - segment, 5 - siłowniki, 6 - podpory boczne, 7 - podciąg

Przewiduje się możliwość wykonania i zastosowania 3 konstrukcji manipulatorów promieniowych, dostosowanych do gabarytów urządzeń wchodzących w skład wyposażenia przodku wyrobiska - wykorzystywanego przy urabianiu skał i ładowaniu urobku:

1. Promieniowy manipulator stojakowy podwieszany do szyny pod stropem obudowy.
2. Promieniowy manipulator na własnym podwoziu kołowym lub gąsienicowym.
3. Promieniowy manipulator usytuowany na ładowarce bocznie sypiącej lub łapowej.

Usytuowanie i podstawowe zasady pracy wymienionych manipulatorów w wyrobiskach górniczych ze stosowaną w nich obudową z segmentów żelbetowych przedstawiono na rys. 12.6, 12.7, 12.8.



Rys. 12.8. Sposób wykonywania obudowy owalnej z segmentów żelbetowych za pomocą hydraulicznego manipulatora promieniowego zainstalowanego na ładowarce bocznie sypiącej

1 - ładowarka, 2 - ramię poziome, 3 - ramię obrotowe wysuwne, 4 - segmenty z ramą, 5 - podciąg

13. ANALIZA PRAKTYCZNEJ PRZYDATNOŚCI SEGMENTOWEJ OBUDOWY ŻELBETOWEJ DLA WARUNKÓW DEFORMACYJNYCH CIŚNIEŃ GÓROTWORU

Przedstawione w pracy rozwiązania w zakresie projektowania, konstruowania, wykonywania i praktycznego stosowania segmentowej obudowy żelbetowej o dużej podporności i zadanej podatności wskazują na możliwość jej przystosowania pod względem wytrzymałościowym i technologicznym do każdych warunków górniczo-geologicznych.

Obudowa z segmentów żelbetowych w szczególności nadaje się dla tych wszystkich przypadków, w których deformacyjne ciśnienie górotworu ujawnia się bezpośrednio za przodkiem wykonywanego lub przebudowywanego wyrobiska, względnie w niedużej odległości od przodku i w krótkim czasie od chwili wybrania skał na długości jednego lub kilku zabiorów. Uzyskiwanie dużej podporności obudowy, dokładne jej powiązanie z obrysem wyłomu wyrobiska bezpośrednio po jej wykonaniu, szeroka tolerancja w zakresie długości zabioru przy minimalnej jego wielkości 35±40 cm oraz możliwość przejmowania przez nią akcyjnego ciśnienia górotworu z dowolnego kierunku z równoczesnym wszechstronnym jej rozparciem o obrys wyłomu wyrobiska - czynią segmentową obudowę żelbetową przydatną dla najtrudniejszych warunków górniczo-geologicznych.

Teoretyczne uzasadnienie stosowania segmentowej obudowy żelbetowej jako konstrukcji skutecznie zapobiegającej zaciskaniu wyrobiska podano w 6 rozdziale pracy. Istnieje również możliwość sprawdzenia jej przydatności dla warunków deformacyjnego ciśnienia górotworu za pomocą wzorów Don-UGJ, które w pracy wg [51] podaje się dla trzech przypadków:

1. Ciśnienie górotworu na obudowę podatną wykonywaną w bezpośrednim sąsiedztwie przodku drążonego wyrobiska - określane za pomocą wzorów (13.1) i (13.2):

$$q_z = \frac{\gamma \cdot H - R \cdot 1_n \left(\frac{u_z}{0,1a} + 1 \right)}{10 \left(\frac{R}{R_0} \right)^2}, \quad (13.1)$$

$$q_x = \frac{0,85 \gamma \cdot H - R \cdot 1_n \left(\frac{u_x}{0,07h} + 1 \right)}{15 \left(\frac{R}{R_0} \right)^2}, \quad (13.2)$$

gdzie:

- q_z, q_x - obciążenie obudowy przez górotwór w kierunku pionowym i poziomym, na które należy zaprojektować jej podporność roboczą.
- u_z, u_x - założone przemieszczenia stropu i ociosów wyrobiska, do których należy dostosować podatność obudowy.
- a, h - szerokość i wysokość wyrobiska.
- $R_0 = 30 \text{ MPa}$ - umowna wytrzymałość skał.
- R - wytrzymałość skał na ściskanie w jednoosiowym stanie naprężenia.
- H - głębokość założenia wyrobiska.
- γ - ciężar objętościowy skał.

2. Ciśnienie skał na obudowę nieupodatnioną, stosowaną w sąsiedztwie przodku wykonywanego wyrobiska - ustalane za pomocą wzorów (13.3) i (13.4) otrzymanych z zależności (13.1) i (13.2)

$$q_z = 0,1 \gamma \cdot H \cdot \left(\frac{R_0}{R} \right)^2, \quad (13.3)$$

$$q_x = 0,057 \gamma \cdot H \cdot \left(\frac{R_0}{R} \right)^2. \quad (13.4)$$

3. Ciśnienie górotworu na obudowę ostateczną stosowaną w pewnej odległości od przodku - po czasie t_0 , liczoną od chwili wykonania wyrobiska w miejscu jej zabudowy:

$$q_z(t_0) = \frac{R_0^2}{10R} \left\{ \frac{\gamma \cdot H}{R} - \ln \left[1 + 0,1 \sqrt{t_0} \exp \left(\frac{\gamma \cdot H - 10 \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 \cdot q_t}{R} \right) - 1 \right] \right\}, \quad (13.5)$$

$$q_x(t_0) = \frac{R_0^2}{15R} \left\{ \frac{0,85 \gamma \cdot H}{R} - \ln \left[1 + 0,08 \sqrt{t_0} \exp \left(\frac{0,85 \gamma \cdot H - 15 \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 \cdot q_t}{R} \right) - 1 \right] \right\} \quad (13.6)$$

gdzie:

- t_0 - okres czasu, jaki upłynął między wybraniem skały i zastosowaniem obudowy ostatecznej w danym miejscu wykonanego wyrobiska.
- q_t - podporność obudowy wstępnej.

Podporność obudowy wstępnej q_t - przenosząca ciężar odprężonego górotworu q powinna spełniać nierówność (13.7)

$$q_t \geq q,$$

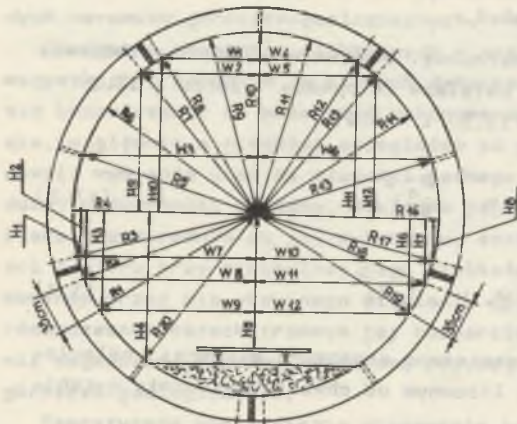
gdzie:

$$q = 8 \gamma \cdot \sqrt[3]{a_1 \cdot u}, \quad (13.8)$$

$$a_1 = \frac{H}{2} \quad - \text{połowa szerokości wyrobiska,}$$

$$u = 0,1 \left(e^{\frac{\delta \cdot H}{R}} - 1 \right) a \quad - \text{przemieszczenie stropu wyrobiska bez oddziaływania obudowy.}$$

Dla konstrukcji segmentowej obudowy żelbetowej wykonywanej w bezpośrednim sąsiedztwie przodku wyrobiska podstawowe znaczenie przy określe- niu wymaganej jej podporności i podatności mają wzory (13.1) i (13.2). Z przeprowadzonych za ich pomocą obliczeń wynika, że na głębokościach po- niżej 800 m obudowy udostępniających wyrobisk korytarzowych wykonywanych



Rys. 13.1. Kierunki i miejsca pomiarów odkształceń pierścieni segmentowej obudowy żelbetowej wykonanej w KWK "Borynia"

w skałach o doraźnej wytrzymałości na ściskanie $R_c \leq 30 \text{ MPa}$ powinny charakteryzować się podpornością nie mniejszą od 0,8 MPa i podatnością $\geq 0,1 \text{ m}$.

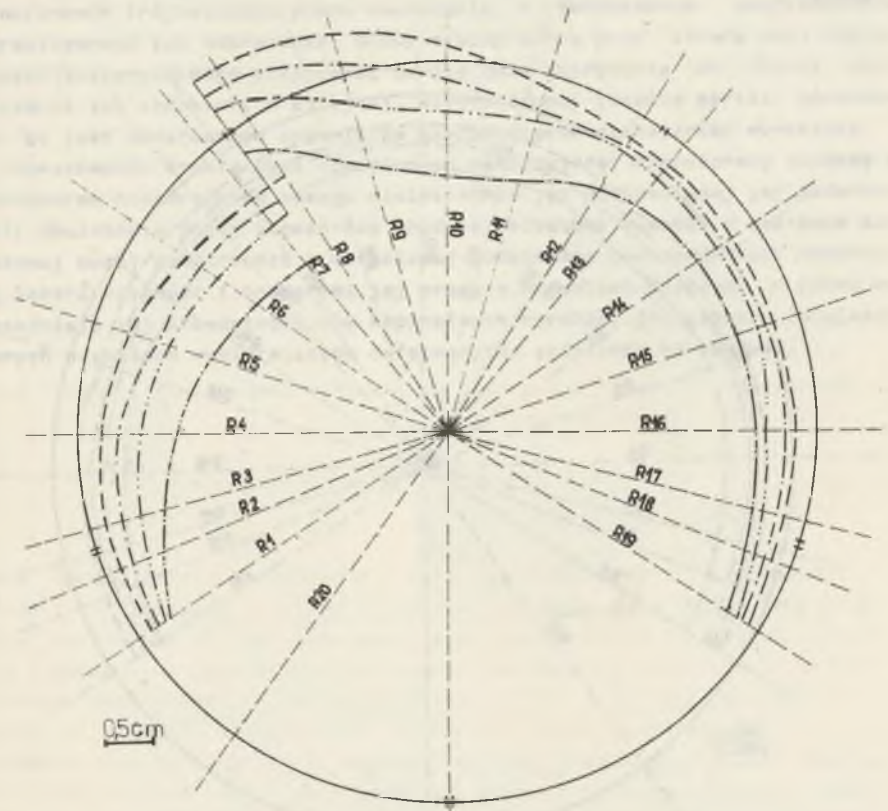
Wymienione wymogi w zakresie podatności i podporności spełnia segmentowa obudowa żelbetowa, co potwierdzają przeprowadzone badania laboratoryjne i pomiary dołowe.

Przeprowadzone pomiary (rys. 13.1) oraz obserwacje dołowe odkształceń obudowy w przekro- pie połowym i wschodnim w KWK "Borynia" stanowią podstawę do przedstawienia następujących spostrzeżeń, uzupełniających wyniki badań laboratoryjnych segmentowej obudowy żelbetowej:

- wielkość pomierzonych odkształceń pierścieni obudowy wskazuje (przy wykorzystaniu danych z badań laboratoryjnych), że wywierane na nie maksymalne ciśnienie od strony górotworu wynosi w granicach 0,5-0,7 MPa. Przy tym obciążeniu pierścienie obudowy odkształciły się do wnętrza wyrobiska około 20-30 mm, podczas gdy sąsiadujące z obudową segmentową odrzwia stalowe (po dokonanej przebudowie wyrobiska) uległy deformacjom od kilkunastu do kilkudziesięciu cm, co będzie wymagało stosowania kolejnej ich przebudowy lub przybierki spągu,
- celem stwierdzenia współpracy obudowy segmentowej z górotworem przy różnych materiałach podsadzkowych - miejscowo na odcinku przebudowywanego przekopu - wykonano również podsadzkę z drobnogranulowanej skały urobionej w przodku wyrobiska. W czasie dokonywania w tym miejscu pomiarów odkształceń pierścienia obudowy stwierdzono kształtowanie się ich wielkości w sposób przedstawiony na rys. 13.2.

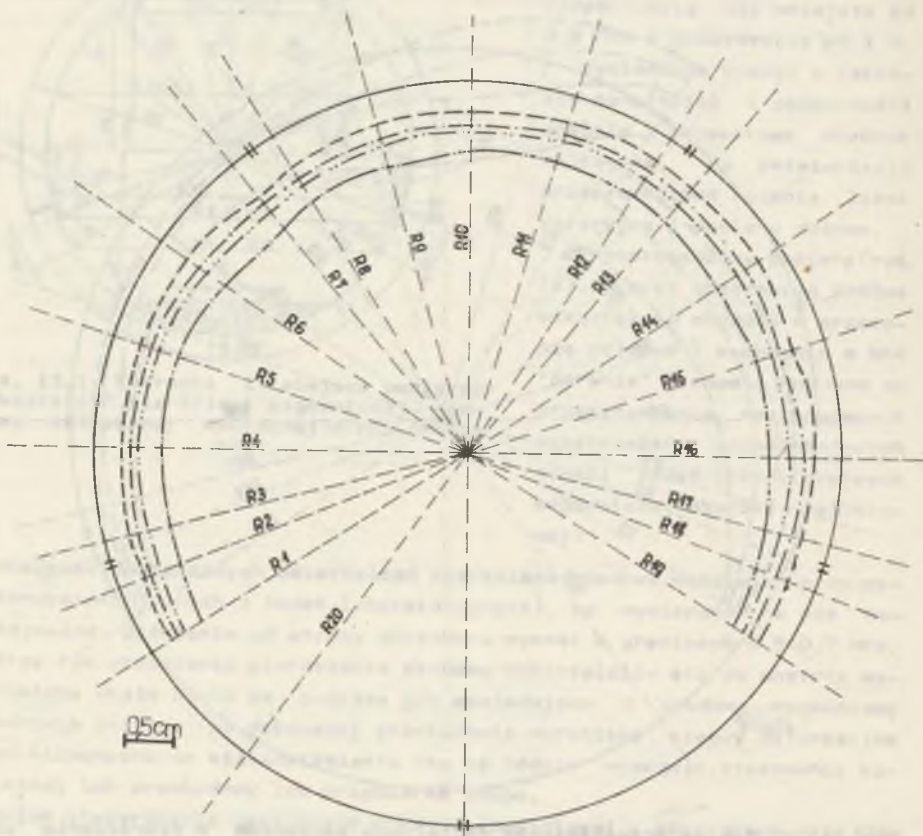
Z przebiegu przedstawionych na rys. 13.2 odkształceń wynika, że w początkowej fazie oddziaływania górotworu na obudowę, nieco większe ciśnienie wystąpiło od strony lewego odciosu, co spowodowało jednostronne wypchnięcie łuku stropowego w kierunku niezbyt dokładnie wykonanej podsadzki kamiennej. Podany sposób przemieszczeń segmentów obudowy pozwala wysu- nąć następujące wnioski:

1. Istnieje konieczność wykonania między zewnętrzną stroną obudowy a obrzeżem wyłomu wyrobiska szczelnej podsadzki z materiału wiążącego. Szczel- na podsadzka sprzyja szybkiemu rozparciu obudowy o obrys wyłomu wyrobiska (przy niedużych jej odkształceniach) w przypadku wywierania na nią nie- równomiernego ciśnienia od strony górotworu, umożliwia w dalszym ciągu jej dość równomierną z nim współpracę, co obrazują pomierzone odkształce- nia obudowy, przedstawione na rys. (13.3).



Rys. 13.2. Wykres przemieszczeń radialnych segmentów w pierścieniu otoczo- nym podsadzką kamienną i nierównomiernie obciążonym od strony góro- tworu (pomiar 0 - dn. 4.05.78, pomiar I - 2.05.79, pomiar II - 10.11.79, pomiar III - 15.10.80, pomiar IV - dn. 22.10.81)

2. W konstrukcji obudowy segmentowej przy wywarciu na jeden z segmentów zwiększonego nacisku od strony górotworu istnieje możliwość przemieszczenia segmentu nieobciążonego (sąsiadującego z segmentem obciążonym) w kierunku niezbyt dokładnie wykonanej podsadzki (rys. 13.2). Przy przemieszczeniu takim nie występuje w materiale obudowy koncentracja naprężeń oraz jego zniszczenie na skutek zginania bardziej obciążonego segmentu, gdyż moment zginający do chwili rozparcia się obudowy o podsadzkę jest nieduży w stosunku do wytrzymałości segmentu żelbetowego. W przypadku wzajemnego przemieszczenia się segmentów wystąpi jedynie pewne zmniejszenie powierzchni ich połączenia przy nieznacznym obniżeniu podporności obudowy. Stąd wyłania się dodatkowa zaleta konstrukcji obudowy segmentowej, wskazująca na możliwość samoczynnego jej dostosowania się - w pewnym zakresie - do gabarytów obrysu wyłomu wyrobiska i łączącej ją z nim podsadzki.



Rys. 13.3. Wykres przemieszczeń radialnych segmentów w pierścieniu otoczonym podsadzką utwardzoną dokładnie wypełniającą przestrzeń między obudową i obrysem wyłomu wyrobiska (pomiar 0 - dn. 4.05.78, pomiar I - dn. 2.05.79, pomiar II - 10.11.79, pomiar III - dn. 15.10.80, pomiar IV - dn. 22.10.81)

W odcinkach przekopu ze stalową obudową odrzwiową (sąsiadujących z odcinkiem z wykonaną w nim segmentową obudową żelbetową) stwierdzono znaczne wyciskanie spągu. Pomiaru poziomu szyn wzdłuż wyrobiska z obudową segmentową wykazują stałe ich położenie. Powyższe stwierdzenie świadczy o możliwości opanowania wyciskania spągu na drodze stosowania dostatecznie wytrzymałej obudowy zamkniętej, która ma możliwość przejmowania dużego ciśnienia górotworu w każdym kierunku.

Z porównania małej odkształcalności pierścieni z segmentów żelbetowych z dużymi odkształceniami odrzwi stalowych wynika, że w tych samych warunkach dużego ciśnienia górotworu wyrobisko w obudowie odrzwiowej ulega w krótkim czasie o wiele większym deformacjom.

Główną zaletą segmentowej obudowy żelbetowej jest prawidłowa jej współpraca z górotworem, przy której otaczające ją skały są zmuszone do pracy w warunkach trójosiowego stanu naprężenia, z równoczesnym umożliwieniem ograniczonego ich odprężenia. Skały nieodprężone poza strefą skał odprężonych (spękanych) mogą przejmować bardzo duże naprężenia do chwili zniszczenia ich struktury w kolejnej, nieodprężonej jeszcze partii górotworu, co jest podstawowym czynnikiem gwarantującym stateczność wyrobiska.

Powstawanie strefy skał odprężonych nawiązującej współpracę obudowy z górotworem nieodprężonym wymaga wielokrotnie już podkreślonej jej podatności. Spełnienie przez segmentową obudowę żelbetową wymogów w zakresie założonej dużej podporności i określonej podatności potwierdzonych badaniami laboratoryjnymi i pomiarami jej pracy w warunkach dołowych w pełni uzasadniają jej przydatność dla kapitalnych wyrobisk górniczych - lokalizowanych w skałach wywierających deformacyjne ciśnienie na obudowę.

14. PROPOZYCJE WIELOSEGMENTOWYCH I STALOWYCH KONSTRUKCJI OBUDÓW O WYSOKIEJ PODPORNOŚCI

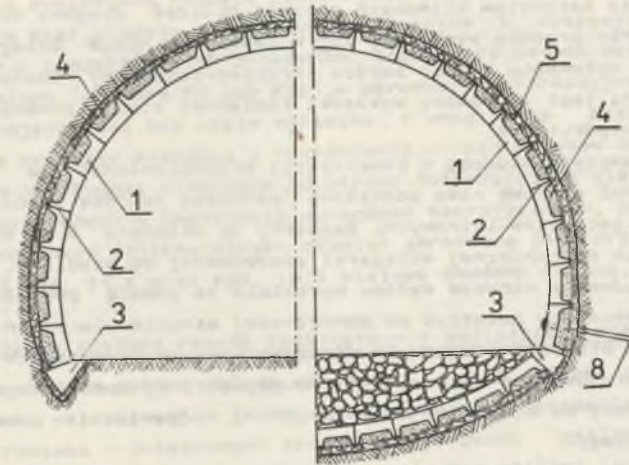
Konstrukcje segmentowych obudów żelbetowych są dość dobrze dostosowane dla podziemnych wyrobisk kapitalnych, wykonywanych w górotworze wywierającym deformacyjne ciśnienie na obudowę. Powszeczne ich stosowanie w trudnych warunkach górniczo-geologicznych wymaga dysponowania dużą ilością segmentów żelbetowych i odpowiednią liczbą manipulatorów do praktycznego wykonawstwa obudowy. Ograniczona możliwość produkcji segmentów i niezbędnych do ich zabudowy urządzeń oraz trudności stosowania obudowy segmentowej w niektórych sytuacjach górniczo-geologicznych zmuszają do poszukiwania i opracowania również innych konstrukcji obudów o dużej podporności. Konstrukcje takie mogą być drogie ale dość łatwe w praktycznym wykonawstwie i zapewniające pełną stateczność danego odcinka wyrobiska zlokalizowanego w skałach wywierających wzmożone deformacyjne ciśnienie na wykonaną w nim obudowę. W tym zakresie przewiduje się opracowanie i przebadanie w Instytucie dwóch podstawowych konstrukcji obudów:

- obudowa wielosegmentowa w układzie zamkniętym i otwartym - wykonywana z lekkich prefabrykatów o małych gabarytach jako konstrukcja ostateczna lub zespolona z odrzwiami stalowymi,
- wzmocnione konstrukcje z odrzwi stalowych - zespolonych w układ stawiący tzw. stalową obudowę ramową.

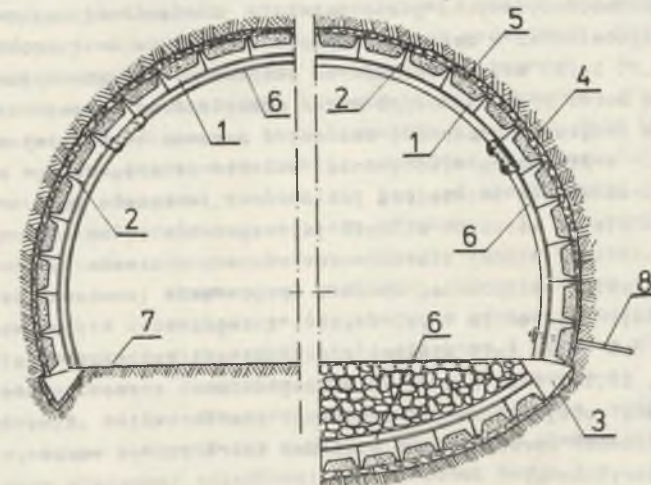
14.1. Obudowa wielosegmentowa

Obudowę wielosegmentową (rys. 14.1) przewiduje się stosować w nowo drążonych wyrobiskach. Segmenty posiadają wymiary: długość 1 m, szerokość 0,4 m, grubość od 8-15 cm i są zbrojone siatką stalową lub prętami stalowymi o średnicy nie większej od 12 mm. Projektuje się je wykonywać z betonu klasy B 1000 ($R_b^G = 100 \text{ MPa}$) uzyskiwanej drogą jego prasowania. Ciężar jednego segmentu wynosi 500-1500 N. Poszczególne segmenty w obudowie przedzielone są wkładkami podatnymi wykonanymi z zużytej taśmy przenośnikowej. W środku każdego segmentu wykonany jest otwór z utwierdzoną w nim nakrętką - wykorzystywany do montażu obudowy i podwieszania zawiesi wyposażenia wyrobiska oraz do wtłaczania spoiwa stabilizującego podszadkę kamienną.

W szczególnie trudnych warunkach geologicznych, przy spodziewanym dużym ciśnieniu górotworu, wskazane jest stosowanie wielosegmentowej obudo-



Rys. 14.1. Obudowa wielosegmentowa w układzie otwartym i zamkniętym przy spągu wyrobiska (oznaczenia rys. 14.2)



Rys. 14.2. Obudowa wielosegmentowa w układzie otwartym i zamkniętym - zespolona z odrzwiami stalowymi

1 - segmenty, 2 - wkładki między segmentami, 3 - betonity klinowe, 4 i 5 - podsadzka utwardzona, 6 - łuki odrzwi stalowych, 7 - spód wyrobiska, 8 - kotwie wiążące segmenty z ociosami u spodu wyrobiska

wy w układzie otwartym lub zamkniętym zespolonej z odrzwiami stalowymi (rys. 14.2). Rozwiązanie obudowy segmentowo-stalowej wskazane jest stosować na odcinkach wyrobisk przebudowywanych, gdzie w pełni zostało stwierdzone występowanie dużego ciśnienia górotworu. Odrzvia obudowy są posadzone na betonitach klinowych przy zachowaniu wzajemnej ich odległości 0,5-1,0 m. Betonity klinowe stanowią również podstawę segmentów, a w przypadku stosowania obudowy w układzie zamkniętym umożliwiają zmianę jej promienia w spłaszczonej sklepieniu spagowym.

Zastosowanie betonitów klinowych pozwala układać spągowy łuk sklepienia obudowy przy przodku wyrobiska lub w pewnej od niego odległości, po uprzednim jej wykonaniu w jego części stropowo-ociosowej. Obudowa z górotworem związana jest za pomocą wykładki kamiennej stabilizowanej betonem lub spoiwem anhydrytowym.

Przy wykonawstwie obudowy o konstrukcji przedstawionej na rys. 14.1, można zastosować stalową ramę montażową (pełniącą zadanie szablonu) przesuwaną wzdłuż betonitów klinowych. Segmenty są układane p.zy wykorzystaniu ręcznej lub mechanicznej wciągarki zamocowanej do szablonu. Do czasu powiązania obudowy z obrysem wyłomu wyrobiska za pomocą podsadzki należy poszczególne segmenty połączyć po wewnętrznej stronie pierścienia, zamocowanym w ich otworach środkowych płaskownikiem. W wyrobiskach przebudowywanych z zastosowaniem obudowy stalowo-segmentowej montaż segmentów może być prowadzony na wcześniej ustawionych i odpowiednio usztywnionych odrzwiach stalowych.

Przedstawione rozwiązania konstrukcji obudowy wielosegmentowej otwartej z odrzwiami stalowymi mogą znaleźć zastosowanie szczególnie w tych wyrobiskach przebudowywanych, gdzie istnieje konieczność zachowania pełnej ich funkcjonalności w zakresie transportu materiałów i urobku. Obudowę (rys. 14.1, 14.2) można powiązać ze skałami na obrysie wyłomu wyrobiska za pomocą kotwi przechodzących przez pozostawione w segmentach otwory. Kotwienie zwiększy podporność obudowy i zapewni lepszą jej współpracę z górotworem. W przypadku wykonywania sklepienia spągowego w pewnej odległości od przodku pod istniejącą już obudową, wskazane jest również dodatkowe podparcie na kotwiach dolnych jej segmentów celem zapewnienia stałego ich położenia i pełnej stateczności obudowy w czasie jej uzupełniania spągowym łukiem sklepienia. Obudowę spągu może stanowić sklepienie wykonane z samych segmentów (rys. 14.1b), z segmentów i łuków stalowych (rys. 14.2b) lub tylko łuki stalowe z okładzinami żelbetowymi. Przedstawione na rys. 14.1 i 14.2 obudowy wielosegmentowe stanowią wstępną koncepcję ich konstrukcji złożonych z lekkich prefabrykatów i wymagają dalszych szczegółowych opracowań pod względem teoretycznym oraz w zakresie badań laboratoryjnych.

14.2. Stalowa obudowa ramowa

Podporność obudowy z odrzwi stalowych jest najczęściej niewystarczająca dla przypadku występowania dużych deformacyjnych ciśnień górotworu. Spośród obudów z odrzwi pojedynczych największą podporność wykazuje konstrukcja z łuków stalowych o profilu I, a w drugiej kolejności z łuków o profilu V. Według rozwiązania BUDOKOP-u - Mysłowice, istnieje możliwość stosowania tzw. obudowy SB (stalowo-betonowa) lub KBS (kotwie, beton, stal) z odrzwiami pojedynczymi lub podwójnymi zamkniętymi lub otwartymi przy spągu wyrobiska.

Wszystkie wymienione rodzaje obudów przy dużym nacisku od strony otaczających je skał ulegają zbyt dużym deformacjom i wymagają stosowania kosztownych i pracochłonnych przebudów. Stosowanie betonu natryskowego na odrzwia stalowe (obudowa SB lub KBS) w warunkach deformacyjnego ciśnienia górotworu najczęściej nie zdaje egzaminu, z uwagi na niszczenie jego struktury w procesie wiązania i twardnienia - pod wpływem wcześniejszego wywieranego na obudowę ciśnienia od strony deformujących się skał.

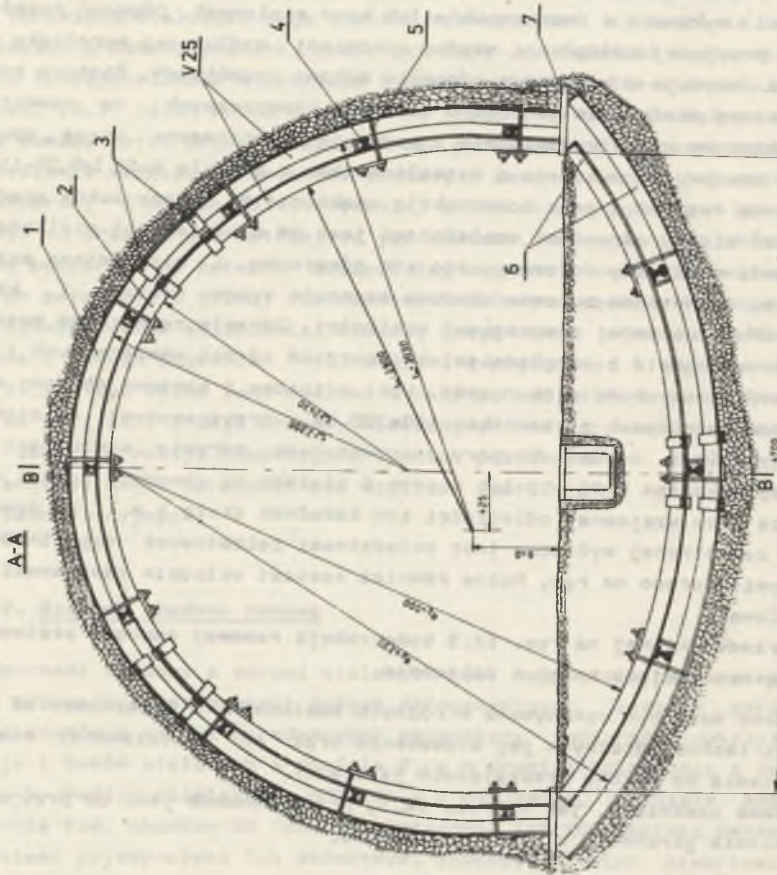
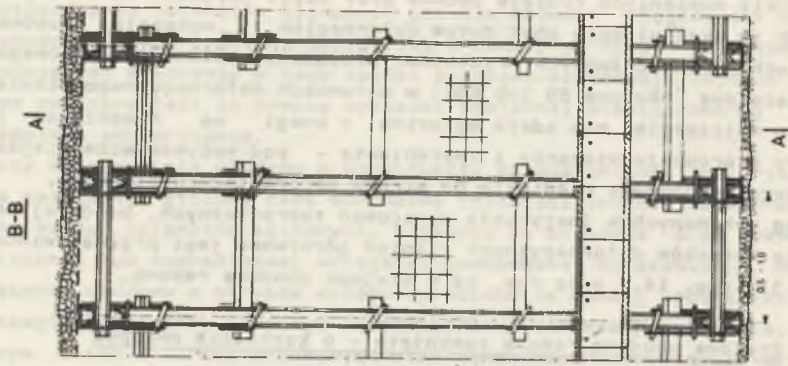
Według wykonanych w Instytucie opracowań teoretycznych, bardziej przydatną dla warunków deformacyjnych ciśnień górotworu jest przedstawiona na rys. 14.3 i rya. 14.4 oraz rys. 14.5 stalowa obudowa ramowa.

14.2.1. Stalowa obudowa ramowa zamknięta - o kształcie owalnym

Stalowa obudowa ramowa składa się (rys. 14.3) z odrzwi zewnętrznych i wewnętrznych, ustawionych w jednej płaszczyźnie prostopadłej do osi podłużnej wyrobiska - połączonych skręcanymi jarzmami stalowymi. Jarzma stalowe wiążą odrzwia obudowy i podłużne rozpory stalowe (założone między odrzwiami) wykonane z dwuteowników lub szyn stalowych. Długość rozpór zależy od przyjętej odległości między odrzwiami wzdłuż osi wyrobiska a ich wysokość decyduje o wzajemnym odstępie odrzwi podwójnych. Rozpory podłużne przenoszą obciążenie górotworu z odrzwi zewnętrznych na wewnętrzne, jak również na odrzwia sąsiednie i powodują przestrzenną pracę obudowy. Odrzwia obudowy są wykonane z kształtowników o profilu V-25 lub IG-110-140. Obudowa na rys. 14.3 jest konstrukcją zamkniętą za pomocą łuków spągowych. Odległość między odrzwiami uzależniona jest od spodziewanej wielkości ich obciążenia od strony deformującego się górotworu i nie powinna przekraczać 1 m. Wewnętrzne odrzwia obudowy stanowią typowy wymiar i kształt odrzwi tP-8 lub innej o wymaganej wielkości. Odrzwia zewnętrzne muszą być specjalnie dogięte z uwzględnieniem gabarytów odrzwi wewnętrznych i wysokości usytuowanych na nich rozpór. Łuki ociosowe i spągowe obudowy są posadowione na stopach z ceownikami 160x700 mm z przytapawianymi do nich płaskownikami (rys. 14.5a). Rozpory usztywniające odrzwia wzdłuż osi wyrobiska są wykonane z IG-110 lub z szyn i ułożone na obwodzie odrzwi w szachownicę przy wzajemnej odległości ich końcówek około 1 m. Obudowa od strony zewnętrznej wyłożona jest okładzinami żelbetowymi typu SAMSON, układanymi ażurowo na rąb. Można również zamiast okładzin zastosować siatkę stalową.

Z przedstawionej na rys. 14.3 konstrukcji ramowej obudowy stalowej wpływają następujące uwagi i zalecenia.

- Obudowa może być wykonywana w różnych odmianach, w zależności od możliwości technologicznych jej stosowania oraz od spodziewanej wielkości ciśnienia od strony otaczających ją skał.
- Obudowa zamknięta, jak na rys. 14.3, przystosowana jest do przyjmowania ciśnienia górotworu z każdego kierunku.



Rys. 14.3. Stalowa obudowa ramowa o kształcie owalnym zamkniętym
 1 - odrzwia zewnętrzne, 2 - odrzwia wewnętrzne, 3 - zamki obudowy, 4 - rozpory stalowe, 5 - jarzma, 6 - łożki spągowe, 7 - stopy podporowe

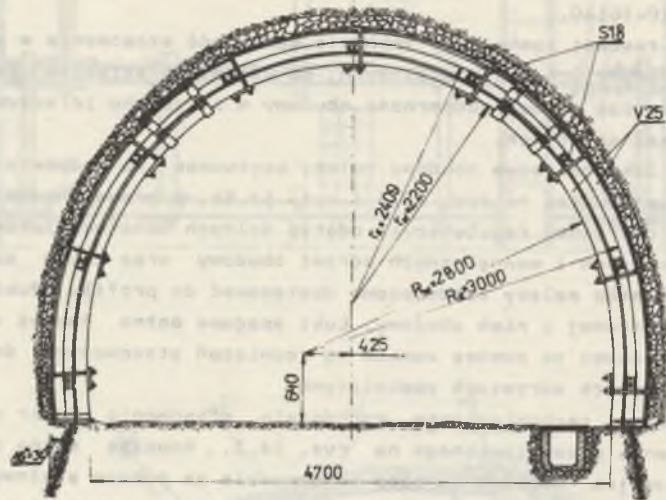
1

- Odrzwia obudowy mogą być wykonywane z łuków o różnych profilach korytkowych, stosowanych do obudowy łP lub V, względnie o profilu szynowym (wykorzystywanym w konstrukcji obudowy sztywniej łSG) lub o profilu dwuteowym IG110-IG140.
- W obudowie ramowej zamkniętej istnieje możliwość stosowania w spągu wyrobiska pojedynczych łuków stalowych, co ułatwia praktyczne jej stosowanie, ogranicza jednak podporność obudowy w przypadku intensywnego wyciskania skał spągowych.
- Przy spągu łuki ociosowe obudowy należy usytuować na odpowiednich konstrukcjach stóp, jak na rys. 14.3 i rys. 14.5a, z przyspawanymi do nich elementami oporowymi regulującymi odstęp dolnych końcówek łuków ociosowych zewnętrznych i wewnętrznych odrzwi obudowy oraz łuków spągowych. Konstrukcję stóp należy każdorazowo dostosować do profilu łuków oraz kształtu wykonanej z nich obudowy. Łuki spągowe można łączyć również z łukami ociosowymi za pomocą zamków wg rozwiązań stosowanych dotychczas przy pojedynczych odrzwiach zamkniętych.
- Jeżeli warunki technologiczne utrudniają stosowanie rozpór stalowych wg rozwiązania przedstawionego na rys. 14.3, wówczas można zbudować odrzwia podwójne, wiązane ze sobą po obwodzie za pomocą stalowych jarzm, a ocinki łuków obydwu odrzwi między poszczególnymi jarzmami należy rozprzeć za pomocą wkładek i klinów dystansowych drewnianych lub stalowych, względnie wykonanych z innego rodzaju materiału. Wzdłuż osi wyrobiska odrzwia należy usztywnić rozporami stosowanymi dotychczas przy odrzwiach pojedynczych lub za pomocą rozpór mieszanych, gdzie przynajmniej 3 powinny być wykonane wg rozwiązania jak na rys. 14.3. Ilość jarzm wiążących odrzwia podwójne nie powinna być mniejsza od 5-7 sztuk. W rozwiązaniu takim praca i podporność konstrukcji obudowy jest mniej korzystna w stosunku do rozwiązania z układem rozpór stalowych, przedstawionych na rys. 14.3.

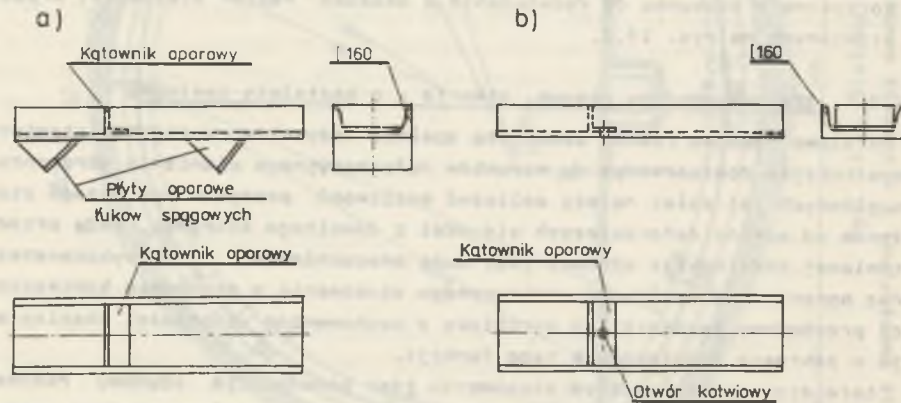
14.2.2. Stalowa obudowa ramowa, otwarta - o kształcie owalnym

Stalowa obudowa ramowa zamknięta spełnia wszystkie wymagania stawiane konstrukcjom dostosowanym do warunków deformacyjnego ciśnienia górotworu. Do głównych jej zalet należy zaliczyć możliwość przejmowania dużego ciśnienia od strony deformujących się skał z dowolnego kierunku. Wadą przedstawionej konstrukcji obudowy jest duża pracochłonność przy wykonawstwie oraz ograniczona możliwość praktycznego stosowania w przypadku konieczności przebudowy zaciśniętego wyrobiska z zachowaniem ciągłości eksploatacji w zakresie podstawowych jego funkcji.

Łatwiejsza w praktycznym stosowaniu jest konstrukcja obudowy ramowej złożonej z odrzwi podwójnych, bez łuków spągowych. Stalowa obudowa ramowa otwarta (rys. 14.4) i (rys. 14.5b) nie zabezpiecza przed wypiętrzaniem spągu wyrobiska, zapewnia jednak stateczność stropu i ociosów z możliwością dokonywania pobierki wyciskanych skał spągowych. Pobierka spągu jest



Rys. 14.4. Stalowa obudowa ramowa o kształcie owalnym



Rys. 14.5. Rozwiązania stóp stalowych dla odrzwiowej obudowy ramowej
a - obudowa o kształcie zamkniętym, b - obudowa o kształcie otwartym

zawsze mniej kłopotliwa od przebudowy całego wyrobiska, umożliwi przy tym odprężenie skał ociosowych, co zwiększa możliwość zachowania jego stateczności przez wymagany długotrwały okres eksploatacji.

Stalowa obudowa ramowa (rys. 14.4) powinna zapewnić wymaganą funkcjonalność wyrobiska (zlokalizowanego w skałach słabych z tendencją do ich deformacji i dużego ciśnienia na obudowę) bez konieczności jego przebudowy, jeżeli jej konstrukcja będzie spełniać następujące warunki:

- odrzwia obudowy powinny być wykonywane z łuków o profilu V-25, V-29 lub IG 110-140,
- gabaryty odrzwi zewnętrznych muszą być dopasowane do wymiarów i krzywizny odrzwi wewnętrznych (dostosowanych do projektowanej funkcji danego wyrobiska), z uwzględnieniem wysokości rozpór stalowych między odrzwiami,
- jako rozpory między odrzwiami zewnętrznymi i wewnętrznymi należy stosować dwuteowniki lub szyny o profilu 70-115 mm. Wzajemna odległość rozpór liczona po obwodzie odrzwi wewnętrznych nie powinna przekraczać trzech metrów, a odstęp między jarzmami (rys. 14.3 i 14.4) łączącymi końcówki rozpór z odrzwiami nie może być większy od 1-1,5 m. Każde dwie pary odrzwi powinny być łączone najmniej trzema lub czterema rozporami. Na rys. 14.4 przedstawiono konstrukcję obudowy z czterema i pięcioma rozporami. Rozpory zapewniają wymagany odstęp między odrzwiami wewnętrznymi i zewnętrznymi oraz między każdą parą odrzwi wzdłuż osi wyrobiska, powodują wzajemną przestrzenną ich współpracę przy wywieranym nacisku górotworu na obudowę i wpływają na jej podporność,
- w przypadku dużych trudności w stosowaniu rozpór stalowych, jak na rys. 14.4, można zakładać na zabudowywane odrzwia zewnętrzne rozpory konstrukcji dotychczasowej, a między odrzwiami zewnętrznymi i wewnętrznymi układać wkładki dystansowe łączone jarzmami z łukami obudowy. Istnieje również możliwość stosowania wkładek dystansowych i minimalnej ilości szynowych rozpór stalowych w granicach trzech do pięciu sztuk na każde dwie pary odrzwi stalowej obudowy ramowej.

W rozwiązaniu takim praca konstrukcji obudowy jest mniej korzystna w stosunku do rozwiązania konstrukcyjnego z rozporami stalowymi, jak na rys. 14.3 i rys. 14.4. W stalowej obudowie ramowej otwartej wskazane jest stosować stopy stalowe (rys. 14.5b) stanowiące podpory i ograniczniki przemieszczeń do wnętrza wyrobiska łuków ociosowych obudowy. Stopy należy mocować do skał spągowych za pomocą kotwi żelbetowych lub wklejanych o długości 1,5 do 2,5 m, usytuowanych pod kątem około 20° - 30° (rys. 14.4) względem pionowej osi wyrobiska. Konstrukcję stóp dla obudowy ramowej zamkniętej i otwartej przedstawiono na rys. 14.5. W praktyce stopy należy konstruować odrębnie, dostosowując je dla danych profili łuków projektowanych do zastosowania w podwójnych odrzwiach stalowej obudowy ramowej. Istotnymi elementami stóp obudowy otwartej są: płyta stalowa, kotwie i ogranicznik przemieszczeń dolnej końcówki zewnętrznego łuku ociosowego -

przy wewnętrznej jego stronie. Istnieje również możliwość posadowienia łuków ociosowych na dotychczasowych konstrukcjach stóp i ograniczenia ich przesuwu przez przykotwienie odrzwi do ociosów wyrobiska. Ilość jarzm wiążących odrzwia podwójne nie powinna być mniejsza od 5-7 sztuk.

14.2.3. Zalety i wady stalowej obudowy ramowej

Przedstawione konstrukcje stalowych obudów ramowych charakteryzują się następującymi zaletami:

1. Podporność odrzwi podwójnych jest znacznie wyższa od podporności dwóch odrzwi indywidualnych. Decyduje o tym duża sztywność konstrukcji przy zginaniu, duża swoboda i możliwość dokładnego wzajemnego rozparcia się obydwu odrzwi oraz łuku zewnętrznego o obrys wyłomu wyrobiska. Stąd o dużej ich podporności decyduje głównie wielkość występujących w nich naprężeń ściskających, których wypadkowe stanowią rozpory działające na dużym ramieniu zginania danej konstrukcji obudowy. Przy takiej pracy odrzwi wpływ wysokości rozdzielających je rozpór lub klinów ma mniej istotne znaczenie na podporność obudowy w stosunku do podobnej konstrukcji, która ulegałaby głównie zginaniu pod wpływem wywieranego na nie ciśnienia górotworu. Wielkość naprężeń zginających w odrzwiach (przy nierównomiernym ich obciążeniu) można maksymalnie ograniczyć przez wykonanie w ich otoczeniu bardzo dokładnej podsadzki. Faktyczny wpływ na podporność obudowy różnych profili łuków w odrzwiach oraz zagęszczenia i wymiarów rozdzielających je rozpór względnie klinów, jak również wzajemnego docisku łuków i rozpór lub klinów za pomocą stalowych jarzm będzie przedmiotem szczegółowych badań w laboratorium Instytutu.

2. Wykonawstwo obudowy umożliwi takie wzajemne powiązanie łuków ociosowych ze stropowymi (tak w przypadku łuków korytkowych jak i szynowych lub dwuteowych), przy którym odrzwiom nadaje się zadaną ograniczoną podatność, tzw. wstępną podatność obudowy z zachowaniem jej podporności roboczej. Rozwiązanie takie pozwala na odprężenie się skał wokół wyrobiska przy ustalonej wielkości odkształceń odrzwi w miejscu ich zamków. Odprężające się skały wywierają nacisk na obudowę i wciągają ją do pełnej współpracy ze strefą górotworu nieodprężonego. Po zaciśnięciu obudowy do dopuszczalnej wielkości przekroju poprzecznego wyrobiska należy ją usztywnić i nadać całej jej konstrukcji maksymalną podporność. Dalszy wzajemny przesuw łuków odrzwi można wyeliminować przez zastosowanie w otoczeniu ich zamków odpowiednich ograniczników. Wysoka podporność i zadaną podatność obudowy pozwalają uzyskać korzystne parametry w zakresie jej współpracy z górotworem i zachowania stateczności wyrobiska.

3. Słabym ogniwem obudowy są okładziny lub siatki stalowe, których wzmocnienie musi być przedmiotem dalszych opracowań. W miejscach stwierdzonego łamania okładzin lub intensywnego wyciskania siatki stalowej wskazane jest nałożyć na rozpory wzdłuż obwodu wyrobiska pręty stalowe, łą-

czące ze sobą na zakładkę i powiązane drutem z rozporami. Można stosować proste odcinki prętów stalowych karbowanych o średnicy nie mniejszej od 16 mm lub pręty gładkie proste względnie zginane do wymaganej krzywizny. W miejscach stwierdzonego intensywnego wyciskania skał między odrzwiami podwójnymi wskazane jest zabudować pośrednie odrzwia pojedyncze. Dalsze wzmocnienie konstrukcji obudowy można uzyskać przez zastosowanie betonu natryskowego.

4. Istnieje również możliwość wzmocnienia obudowy i zwiększenia pewności zachowania stateczności wyrobiska przez zastosowanie kotwi stalowych wiążących obudowę z otaczającymi ją skałami na całym jego obwodzie.

5. Z przedstawionych rozwiązań dotyczących stalowej obudowy ramowej wynika, że podporność jej konstrukcji można w dość znacznym stopniu regulować na bieżąco, w zależności od stwierdzonej intensywności i wielkości jej odkształceń pod wpływem wywieranego na nią ciśnienia przez otaczające ją skały. Obudowa o omówionej konstrukcji może zdawać egzamin zarówno w warunkach ciśnienia deformacyjnego, jak i dynamicznego związanego z wystąpieniem tąpnięć. Nadaje się do stosowania w wyrobiskach udostępniających wykonywanych na dużych głębokościach w skałach o współczynniku zwięzłości $f \leq 3$ oraz w otoczeniu stref uskokowych.

Podporność obudowy przedstawionej na rys. 14.3 i rys. 14.4 można ustalać przy wykorzystaniu programu BUD-57 [11] - opracowanego na podstawie obliczania konstrukcji macierzową metodą przemieszczeń.

Pełne opracowanie sposobu projektowania ramowej obudowy stalowej muszą poprzedzić szczegółowe badania laboratoryjne, do których między innymi można wykorzystać stoiska przedstawione na rys. 8.1 ÷ 8.5.

15. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione rozwiązania teoretyczne, przeprowadzone badania laboratoryjne, doświadczenia technologiczne i pomiary dołowe zastosowanej segmentowej obudowy żelbetowej pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i uwag końcowych:

1. W praktyce budownictwa podziemnego na dużych głębokościach coraz częściej stwierdza się intensywne zaciskanie udostępniających wyrobisk korytarzowych, które z racji dużej długości przecinają skały o różnych własnościach wytrzymałościowych.

2. W skałach otaczających każde wyrobisko górnicze występuje koncentracja naprężeń. Naprężenia o dużej wartości mogą przekraczać doraźną wytrzymałość skał na ścinanie i ściskanie, co w konsekwencji powoduje ich przemieszczanie w kierunku wyrobiska i tzw. deformacyjne ciśnienie na wykonaną w nim obudowę. Obudowa o podporności niedostosowanej do deformacyjnych ciśnień górotworu będzie ulegała dużym odkształceniom a cały przekrój wyrobiska intensywnemu zaciskaniu.

3. Deformacje podziemnych wyrobisk korytarzowych a również i komorowych przeznaczonych do długotrwałej eksploatacji dezorganizują ciągłość planowanej ich funkcjonalności i wymagają stosowania kosztownych, pracochłonnych i często niebezpiecznych przebudów.

4. Wyrobiska kapitalne, w których występuje deformacyjne ciśnienie górotworu na wykonaną w nich obudowę mogą zachować planowaną długotrwałą funkcjonalność bez konieczności ich przebudowy pod warunkiem stosowania w nich obudów charakteryzujących się następującymi parametrami:

- wielkość podporności i podatności obudowy należy dostosować do aktualnych warunków górniczo-geologicznych, np. wg zależności $(6.1) \div (6.36)$ oraz $(13.1) \div (13.8)$. Wskazane jest wykonywać obudowę o kształcie owalnym i bardzo dokładnie powiązać z obrysem wyłomu wyrobiska, co umożliwi jej przejmowanie ciśnienia w każdym dowolnym kierunku od strony deformującego się górotworu już przy niewielkim zasięgu powstającej strefy skał odprężonych;
- stosowana w wyrobisku konstrukcja obudowy powinna charakteryzować się uzyskiwaniem podporności roboczej w możliwie najkrótszym czasie od chwili jej wykonania,

- technologię obudowy należy tak rozwiązać aby była możliwość jej stosowania w ślad za postępem przodku, przy różnych długościach zabiorów dostosowanych do aktualnych warunków górniczo-geologicznych, a w szczególności do wielkości wyrobiska i zwięzłości otaczających skał,
- obudowa musi zapewniać zachowanie wszystkich warunków bhp, tak w czasie wykonywania jak i eksploatacji wyrobiska.

5. Spośród różnych konstrukcji obudów przystosowanych do kapitalnych wyrobisk górniczych wszystkie wymienione wymagania najlepiej spełnia segmentowa obudowa żelbetowa. W świetle przeprowadzonych badań laboratoryjnych i dołowych obudowa z segmentów (w zakresie zachowania stateczności wyrobisk w warunkach dużych ciśnień górotworu) charakteryzuje się następującymi korzystnymi parametrami:

- istnieje możliwość regulowania jej podporności przez dobór: odpowiedniej klasy betonu (przy pełnej kontroli jego jakości w czasie produkcji segmentów), konstrukcji zbrojenia i gabarytów segmentu, kołowego lub owalnego kształtu pierścienia obudowy oraz sposobu dokładnego jej powiązania z obrysem wyłomu wyrobiska,
- podatność obudowy można regulować ściślimi wkładkami stosowanymi między końcówkami segmentów oraz za pomocą materiału podsadzkowego wiążącego obudowę z wyłomem wyrobiska,
- w bardzo trudnych warunkach górniczo-geologicznych konstrukcja obudowy pozwala na jej wykonawstwo przy niewielkiej wielkości odsłoniętej w wyrobisku przestrzeni określonej minimalną długością zabioru 0,35-0,40 m,
- każdy pierścień ułożony z segmentów żelbetowych w przodku wyrobiska można dokładnie powiązać z obrysem jego wyłomu za pomocą podsadzki wykonywanej z szybko wiążącego materiału,
- duża podporność obudowy uzyskiwana bezpośrednio po jej wykonaniu i swoboda doboru rozwiązań technologicznych pozwalają na bezpieczne jej stosowanie w najtrudniejszych warunkach deformacyjnego ciśnienia górotworu.

Celowość stosowania segmentów żelbetowych jest uzasadniona szczególnie w tych przypadkach, gdzie ciśnienie deformacyjne ujawnia się w krótkim odstępie czasu liczonego względem postępu przodku wyrobiska.

6. Podstawową zaletą obudowy jest wciągnięcie jej do pełnej współpracy z górotworem już przy minimalnym zasięgu strefy skał odprężonych, które ulegają rozpięciu i wywierają - w zależności od wielkości podporności obudowy - odpowiednio duży nacisk na granicę strefy skał nieodprężonych, zmuszając je tym samym do pracy w warunkach trójkierunkowego stanu naprężenia, co ogranicza łatwość dalszego niszczenia ich struktury. Stateczność wyrobiska będzie zawsze w pełni zachowana, jeżeli odkształcalność skał w każdym miejscu przy granicy strefy skał nieodprężonych zostanie zahamowana i struktura ich nie będzie ulegała dalszemu niszczeniu.

7. W świetle przeprowadzonych w pracy badań, segmentowa obudowa żelbetowa zapewni długotrwałą funkcjonalność każdego wyrobiska wykonywanego w

złożonych warunkach naprężeniowo-deformacyjnych, jeżeli spełnione będą podstawowe wymagania przy jej projektowaniu, konstruowaniu i technologii praktycznego stosowania.

7.1. Podporność i podatność obudowy wskazane jest ustalić dla danych warunków górniczo-geologicznych za pomocą zależności podanych w 6 rozdziale pracy lub wg wzorów Don-UGJ [51]. Istnieje konieczność prowadzenia dalszych prac naukowo-badawczych stanowiących podstawę do opracowania wzorów określających wymaganą podporność i podatność obudowy dla podziemnych wyrobisk kapitalnych zapewniającej ich stateczność w różnych warunkach górniczo-geologicznych.

7.2. Konstrukcję obudowy o wymaganej podporności należy zaprojektować przy wykorzystaniu wzorów podanych w 11 rozdziale pracy.

7.3. Przy spodziewanym niekorzystnym, jednokierunkowym ciśnieniu górotworu na obudowę, jej podatność (za pomocą wkładek) należy ograniczyć do wartości kilkunastu cm, gdyż wg przeprowadzonych badań wzrost podatności ogranicza podporność obudowy. Stąd wkładki podatne nie powinny charakteryzować się większą ściśliwością od zastosowanych w czasie badań płyt paździerzowych o grubości 22 mm.

7.4. Ułożone na danej długości zabioru pierścienie obudowy należy dokładnie powiązać z obrysem wyłomu wyrobiska za pomocą utwardzanej podsadzki, wykonywanej z szybkowiążącego materiału, złożonej z kompozycji składników określonych wg [27]. Przeprowadzone badania laboratoryjne i dołowe pozwoliły stwierdzić, że segmentowa obudowa żelbetowa umożliwia samoczynne dopasowanie się do obrysu wyłomu wyrobiska w przypadku niedokładnego wykonania podsadzki. Konieczność takiego dopasowania (w przypadku niedokładnej podsadzki) ogranicza jednak pełną prawidłowość współpracy obudowy z górotworem.

7.5. Segmenty należy wykonywać z betonu możliwie najwyższej klasy, a ich zbrojenie z gładkich prętów stalowych $\varnothing 12\div 16$ mm, (stal typu St 3Sx) powiązanych strzemionami $\varnothing 6\div 8$ mm zagęszczonych do wzajemnej odległości około 100 mm. Strzemiona należy wiązać z prętami zbrojenia głównego drutem wiązadełkowym lub wykonywać je mechanicznie przez spiralne ich nawijanie. Grubość segmentów powinna wynosić 0,15-0,25 m, a ich długość i szerokość należy dostosować do możliwości transportowych w wyrobiskach górniczych oraz do udźwigu manipulatora.

7.6. W zginanym, ale dokładnie rozpartym segmencie zbrojenie z prętów stalowych o większej odkształcalności wykazuje korzystniejszą ich współpracę z betonem niż zbrojenie wykonane z prętów karbowanych o dużej wytrzymałości i znacznej sztywności.

8. W przypadku stwierdzenia zniszczenia betonu powyżej dolnych prętów zbrojenia segmentu lub powstania w nim głębokich szczelin (≥ 0.7 d), wskazane jest zastosować w uszkodzonych miejscach iniekcję z kompozycji mate-

riałów charakteryzujących się szybkim wiązaniem, wysoką wytrzymałością na ściskanie i dużą przyczepnością do betonu oraz do stali zbrojeniowej segmentu.

9. Segmentowa obudowa żelbetowa najbardziej spośród wszystkich konstrukcji obudów nadaje się do opanowania zaciskania już wykonanych wyrobisk podlegających deformacyjnemu ciśnieniu górotworu. Stąd zaleca się jej stosowanie nie tylko w wyrobiskach wykonywanych, ale również w istniejących zdeformowanych, w których zachodzi konieczność ich przebudowy.

10. Wykazana w pracy przydatność segmentowej obudowy żelbetowej dla złożonych warunków górniczo-geologicznych rzutuje na celowość jej upowszechnienia we wszystkich rodzajach kapitalnych wyrobisk podziemnych lokalizowanych w trudnych warunkach górniczo-geologicznych (przekopy, komory i wyrobiska podszybi). Przykład obudowy z segmentów żelbetowych dla wyrobisk o dużych przekrojach poprzecznych przedstawiono na rys. 12.5, 12.6, 12.7 oraz podano w pracy [45]. Jej konstrukcja i technologia stosowania będzie przedmiotem dalszych prac prowadzonych w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni.

11. Wadami segmentowej obudowy żelbetowej są dość duże koszty i pracochłonność przy wykonywaniu prefabrykatów żelbetowych, uciążliwy ich transport z zakładu produkcyjnego na teren kopalni, a następnie wyrobiskami górniczymi do miejsca ich zabudowy. Stosowanie segmentowej obudowy żelbetowej w warunkach dołowych jest skuteczne w zakresie utrzymania długotrwałej funkcjonalności wyrobisk, ale bardziej uciążliwe od wykonywanej powszechnie obudowy z odrzwi stalowych.

12. Przy prawidłowej organizacji robót przodkowych i mechanizacji realizowanych w przodku podstawowych operacji można uzyskać postępy wykonywania wyrobiska (z zastosowaniem w nim obudowy segmentowej) około 100 m/m-c. Powyższe stwierdzenie jest podstawą do przyjęcia założenia, że obudowę segmentową należy stosować w tych podziemnych kapitalnych wyrobiskach górniczych, gdzie inne konstrukcje, łatwiejsze w stosowaniu nie zdają egzaminu ze względu na duże deformacyjne ciśnienie górotworu, zwłaszcza przy jego ujawnianiu się w krótkim okresie czasu od chwili wybrania skał w przodku wyrobiska.

13. Zalety obudów z segmentów żelbetowych (wykazane za pomocą badań laboratoryjnych i dołowych) w zakresie stateczności wyrobisk lokalizowanych na dużych głębokościach i narażonych na deformacyjne ciśnienie górotworu wskazują na potrzebę dalszego doskonalenia ich konstrukcji pod względem wytrzymałościowym (przy minimalizacji ich grubości i ciężaru) oraz sposobu produkowania prefabrykatów żelbetowych, jak również rozwiązań techniczno-technologiczno-organizacyjnych przy praktycznym wykonawstwie obudowy segmentowej w warunkach dołowych.

14. W praktyce mogą wystąpić sytuacje, w których zaistnieje potrzeba natychmiastowego stosowania obudowy o dużej podporności i zadanej podatności, a brak odpowiedniej ilości segmentów lub manipulatorów, albo inne względy techniczno-technologiczne i górnicze uniemożliwiają wykonawstwo segmentowej obudowy żelbetowej. W przypadku takim można zastosować tzw. stalową obudowę ramową (rys. 14.3 i 14.4) o konstrukcji dostosowanej w dużym stopniu do deformacyjnego i dynamicznego ciśnienia górotworu.

15. W świetle przeprowadzonych badań laboratoryjnych i odcinowych - wszystkie projekty obudów dostosowywanych do warunków deformacyjnego ciśnienia górotworu w wyrobiskach korytarzowych lub komorowych muszą uwzględniać następujące parametry, jakimi powinna charakteryzować się nowa konstrukcja obudowy:

- maksymalna (technicznie i ekonomicznie uzasadniona) podporność,
- kształt owalny zamknięty, ewentualnie otwarty,
- dokładne powiązanie z obrysem wyłomu wyrobiska,
- minimalizacja przekroju poprzecznego wyrobiska w wyłomie z zachowaniem wymaganej jego wielkości w świetle obudowy,
- zadana podatność konstrukcji obudowy i minimalna odkształcalność w granicach dopuszczalnego jej obciążenia,
- możliwość wykonawstwa obudowy w bezpośrednim sąsiedztwie przodku wyrobiska i szybkie uzyskiwanie maksymalnej jej podporności,
- zachowanie pełnego bezpieczeństwa ludzi i pracy sprzętu w czasie wykonywania i późniejszej eksploatacji wyrobiska,
- łatwość stosowania obudowy oraz minimalizacja kosztów związanych z wykonawstwem i użytkowaniem wyrobiska przy wyeliminowaniu lub maksymalnym ograniczeniu ilości jego przebudów,
- prosta i bezpieczna przebudowa wyrobiska w przypadku zdeformowania jego obudowy.

Spełnienie pierwszych sześciu parametrów technicznych zapewni każdej konstrukcji obudowy korzystną współpracę z górotworem, w ramach której wystąpi w nim trójosiowy stan naprężenia, co spowoduje pełne wykorzystanie własnej wytrzymałości skał otaczających wyrobisko w przejmowaniu występujących w nich skoncentrowanych naprężeń.

LITERATURA

- [1] Benda V.: Nowe metody zvyšovania hlavných banských diel v tlacivých a nesudrzných horninách. Uhli nr 6, 1964.
- [2] Bielajew N.M.: Soprotiwlenije materialow. Nauka, Moskwa 1976.
- [3] Biancardi S.: Beton fertigteile, Betonformsteine und Spritzbeton als geschlossener ringformiger Streckenausbau im Bergbau Mitterberg. Z. Erzberg b. Metallhüttenwes., t. 20, nr 5, 1967.
- [4] Borecki M.: Podstawowe modele mechaniczne współpracy górotwór-obudowa kapitalnych wyrobisk górniczych w warunkach ciśnienia deformacyjnych. ZN Politechniki Śl., Górnictwo z. 71, 1976.
- [5] Borecki M., Chudek M.: Ocena stanu istniejących wyrobisk kapitalnych kop. "Borynia" poz. 713 m oraz wytyczne dla zapewnienia wymaganej stateczności tych wyrobisk. Budownictwo Górnicze nr 4, 1974.
- [6] Borecki M., Chudek M., Małozzewski J., Szczepaniak Z., Podgórski K.: Konstrukcja i projektowanie segmentowej obudowy żelbetowej. Projekty - Problemy. Sud. Węgl. nr 3, Katowice 1976.
- [7] Borecki M., Chudek M., Szczepaniak Z.: Projektowanie i zabezpieczanie górniczej obudowy murowej. Wyd. Śląsk, Katowice 1969.
- [8] Borecki M., Chudek M., Seweryn T., Szczepaniak Z., Świst E.: Projektowanie i wykonawstwo wyrobisk podziemnych w skałach fliszu karpackiego. Vedecka Konferencja Vysoke Skoly Ranské, Sbornik referatu. Ostrava. Zari 1975.
- [9] Borecki M., Chudek M., Szczepaniak Z.: Opyt sozdanija i primienienija kriepiej dla kapitalnych vyrabotok w słożnych gornogiołogiczeskich usłowijach w PNR. Wiesojuznaja naucznaja konfierencja "Problemy miechaniki podziemnych sooruzenij". Leningrad 1978.
- [10] Borecki M., Kwaśniewski M., Oleksy St.: Wpływ stopnia anizotropii sprężystej górotworu transversalnie izotropowego na rozkład i wielkość naprężeń wokół chodnika. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej. Konferencja nr 12, 1980.
- [11] Borowiec Z.: Analiza statyczna krępych ram płaskich przy zastosowaniu zmodyfikowanego schematu statycznego. Prace studniao-badawcze GBSiPG, Katowice 1975.
- [12] Bułyczew N.S., Amusin B.Z., Ołowianij A.C.: Rasczot kriepi kapitalnych gornych vyrabotok. Niedra, Moskwa 1974.
- [13] Chudek M., Podgórski K., Szczepaniak Z.: Współpraca obudowy szybów z górotworem w warunkach wpływów eksploatacji górniczej. VII Plenarna Sesja Naukowa Międzynarodowego Biura Mechaniki Górotworu, Katowice, czerwiec 1981 r.
- [14] Chudek M., Makiołka R.: Przyczynek do badań nad ustaleniem rzeczywistych parametrów wytrzymałościowych prefabrykowanej żelbetowej obudowy pierścieniowej. ZN Politechniki Śl., Górnictwo z. 52, 1972.
- [15] Chudek M., Rułka K.: Prefabrykowana żelbetowa obudowa pierścieniowa dla wyrobisk korytarzowych drażonych w trudnych warunkach geologicznych. Archiwum Górnictwa, t. XIX z. 2, 1974.
- [16] Chudek M., Szczepaniak Z., Urbańczyk J.: Stateczność ociosów w otoczeniu odgałęzień udostępniających wyrobisk korytarzowych. VI Szkoła Mechaniki Górotworu, Kraków 1979.

- [17] Czugał M.I., Infantiew A.N., Bujdenko P.A., Iwanow G.G.: Primienienie błocznoy kriept BK-60 w szachtnych usłowijach. Szachtnoje Stroitelstwo, 1979.
- [18] Dauszwili A.P.: Obliczanie obudów tunelowych z wykorzystaniem rachunku macierzowego. Politechnika Wrocławska, Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej, z. 27, 1978.
- [19] Duyse van H.: Essais de resistances d'anneaux constituees en panneaux de beton arme provenant de Tchecoslovaquie. Bulletin Technique - Mines No 109, 1966.
- [20] Duyse van H.: Creusement d'un bouveaux circulaire avec revetement en panneaux de beton arme au Siege de Beringen. Bulletin Technique Mines et Carrieres No 118, 1968.
- [21] Duyse van H.: Improving the resistance of circular cross-cuts lined with reinforced concrete blocks, by proper filling of the cavity between the lining and the rock. Istanbuł, Światowy Kongres Górniczy, 1978.
- [22] Duyse van H.: Creusement conventional de bouveaux circulaires avec revetement en beton. Annales des mines de Belgique, December 1978.
- [23] Dżandżgawa J.D.: Woprosy krieplenija gornych wyrabotok. Izd. Miecnerieba, 1973.
- [24] Głomb J.: Wytrzymałość i odkształcalność betonu przy ściskaniu dwukierunkowym. Inżynieria Łądowa nr 1, 1958.
- [25] Głuch P.: Metody technologiczne stosowania segmentowej obudowy żelbetowej dla wyrobisk korytarzowych o dużych przekrojach. Praca doktorska, Gliwice 1979.
- [26] Grabiec F.: Projektowanie konstrukcji betonowych i żelbetowych według metody stanów granicznych. PWN, Warszawa 1973.
- [27] IPBK10P: Zastosowanie aktywowanych pyłów dymnicowych do stabilizacji skał oraz podsadzki za obudową wyrobisk kapitalnych. Gliwice 1975 r. (Problem resortowy 125 i 115 - praca nie publikowana wykonana pod kierunkiem St. Janiczka).
- [28] IPBK10P: Geotechniczne kryteria oraz podstawy konstrukcji i technologii wykonania obudów wyrobisk kapitalnych korytarzowych. Gliwice 1974-75. (Problem resortowy 125 i 115 - praca nie publikowana wykonana pod kierunkiem Z. Szczepaniaka).
- [29] IPBK10P: Opracowanie wytycznych do projektowania i konstruowania 5-segmentowej obudowy żelbetowej o wysokiej zadanej podporności w oparciu o badania laboratoryjne oraz opracowanie dokumentacji technicznej i technologicznej tej obudowy. Gliwice 1976. (Problem resortowy 115 - praca nie publikowana wykonana pod kierunkiem Z. Szczepaniaka).
- [29] IPBK10P: Opracowanie wytycznych w zakresie projektowania i wykonywania wyrobisk oraz konstrukcji stosowanej w nich segmentowej obudowy żelbetowej w oparciu o kompleksowe badania laboratoryjne i dołowe stateczności segmentowej obudowy żelbetowej. Gliwice 1977 i 1978. (Problem resortowy 115 - praca nie publikowana wykonana pod kierunkiem Z. Szczepaniaka).
- [30] IPBK10P: Opracowanie końcowe dokumentacji technicznej w zakresie przydatności stosowania segmentowej obudowy żelbetowej w wyrobiskach górniczych na dużych głębokościach. Gliwice 1979-80. (Problem resortowy 115 - praca nie publikowana wykonana pod kierunkiem Z. Szczepaniaka).
- [31] Janas M.: Nośność graniczna łuków i sklepień, Arkady 1967.
- [32] Kozak R.: Budownictwo betonowe, t. VIII, Warszawa 1970.
- [33] Król W., Starosolski W.: Konstrukcje betonowe cz. I, Warszawa 1976.
- [34] Kukulski W. i inni: Obliczanie konstrukcji żelbetowych i sprężonych metodą stanów granicznych wg PN-76/B-03264, Arkady 1976.

- [35] Kuźniecowa G.N.: Izuczenije gornogo dawlenija na modielach. Moskwa 1959.
- [36] Ledwoń J.: Uogólnienie równań różniczkowych odkształceń pierścienia sprężystego w ośrodku liniowo-sprężystym. ZN Politechniki Śl. z. 29, s. Budownictwo, Gliwice 1961.
- [37] Pietrzak J., Rakowski G., Wrześniowski K.: Macierzowa analiza konstrukcji. PWN, Warszawa - Poznań 1979.
- [38] Philippron P., Duyse van H.: Creusement de bouveaux circulaires avec revetement en panneaux de beton arme au Siege de Zolder Avancement de 4 m/jour. Bulletin Technique Mines et Carrieres No 136, 1972.
- [39] Sałustowicz A.: Zarys mechaniki górotworu. Wyd. Śląsk, Katowice 1968.
- [40] Smirnow I. inni: Obliczanie konstrukcji za pomocą maszyn cyfrowych. Arkady, Warszawa 1972.
- [41] Strzelecki Z.: Poradnik materiałoznawstwa dla potrzeb budownictwa podziemnego kopalń. Wyd. Śląsk 1972.
- [42] Sikora W., Kidybiński A.: Ocena stateczności górotworu dla doboru obudowy wyrobisk górniczych. Przegląd Górniczy nr 5, 1978.
- [43] Szczepaniak Z., Głuch P.: Stateczność pierścieni obudowy w czasie ich układania z segmentów żelbetowych o dużym ciężarze. ZN Politechniki Śl., Górnictwo z. 85, 1977.
- [44] Szczepaniak Z., Głuch P.: Segmentowa obudowa żelbetowa dla udostępniających wyrobisk korytarzowych o dużym przekroju użytecznym stosowana w warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu. W monografii pt. "Metody i środki eksploatacji na dużych głębokościach". Wybrane zagadnienia. Politechnika Śląska, Gliwice 1982.
- [45] Szczepaniak Z., Głuch P., Pyrczek T.: Nowe rozwiązania podszybi kopalń węgla kamiennego i obudowy wyrobisk komorowych o dużym przekroju. Wybrane problemy geomechaniki i budownictwa górniczego oraz eksploatacji złóż na dużych głębokościach. Komisja Górnicza PAN, O/Katowice. Wyd. Katowice 1981.
- [46] Szczepaniak Z., Głuch P.: Przebudowa przekopu połowego I wschodniego na poz. 713 m w KWK "Borynia". Budownictwo Węglowe, Projekty-Problemy (w druku).
- [47] Szczepaniak Z.: Projektowanie komorowych obudów kamiennych o kształcie owalnym. ZN Politechniki Śl., Górnictwo z. 52, Gliwice 1972.
- [48] Szczepaniak Z.: Współpraca tunelowych obudów murowych z gruntem w świetle przeprowadzonych badań. Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna pt.: "Budownictwo podziemne w Polsce", Warszawa 1968.
- [49] Szczepaniak Z.: Stan naprężeń w narożach połączeń podziemnych wyrobisk korytarzowych. ZN Politechniki Śl., Górnictwo z. 7, Gliwice 1963.
- [50] Urbańczyk J.: Stateczność naroży połączeń poziomych wyrobisk udostępniających. Praca doktorska, Gliwice 1977.
- [51] Zasławski J.Z., Zorin A.N., Czerinik I.Ł.: Rasczoty paramietrow kriepti wyrabotok głubokich szacht. Izdatielstwo Technika, Kijew 1972.

PODPORNOŚĆ SEGMENTOWEJ OBUDOWY ŻELBETOWEJ
ORAZ JEJ WPŁYW NA STATECZNOŚĆ WYROBISK
UDOSTĘPNIAJĄCYCH NA DUŻYCH GŁĘBOKOŚCIACH

S t r e s z c z e n i e

W pracy przedstawiono sposoby zapobiegania zaciskaniu kapitalnych wyrobisk podziemnych, w których występuje deformacyjne ciśnienie górotworu na wykonaną w nich obudowę.

Opracowano konstrukcję segmentowej obudowy żelbetowej o wysokiej podporności i określonej podatności, która może skutecznie przeciwstawić się dużemu ciśnieniu wywieranemu przez odkształcające się w kierunku wyrobiska skały.

Przeprowadzono szczegółowe badania laboratoryjne segmentów indywidualnych i wykonanych z nich pierścieni w specjalnie skonstruowanych stoiskach badawczych, umożliwiających dokładne określenie podporności i podatności analizowanej obudowy przy różnych wielkościach i konfiguracjach jej obciążenia. W stoiskach badawczych oddziaływanie górotworu na obudowę zastąpiono siłownikami hydraulicznymi wywierającymi na nią działanie akcyjne i odporowe (reakcyjne).

Badania laboratoryjne zostały powiązane z wynikami pomiarów dołowych odkształceń pierścieni z segmentów żelbetowych zabudowanych w przekopie w KWK "Borynia" na poziomie 713 m w 1978 r.

Przeprowadzono również badania na modelach określających zachowanie się skał w otoczeniu wyrobisk wykonanych w zamodelowanym górotworze, równomiernie obciążonym w kierunku pionowym.

Wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych i dołowych były podstawą do opracowania wzorów umożliwiających projektowanie segmentowej obudowy żelbetowej o określonej podporności i podatności z uwzględnieniem wymaganej jej współpracy z górotworem.

Badania umożliwiły wykonanie analizy, obejmującej podstawowe wnioski i wytyczne w zakresie konstrukcji, wykonawstwa i przydatności segmentowej obudowy żelbetowej dla kapitalnych wyrobisk podziemnych, w których będzie oddziaływało na nią deformacyjne ciśnienie górotworu.

W pracy omówiono także możliwość stosowania w udostępniających wyrobiskach korytarzowych stalowej obudowy ramowej, której konstrukcja pozwala na dostosowywanie jej wymaganej dużej podporności do aktualnych niekorzystnych warunków górniczo-geologicznych.

ОПОРНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ СЕГМЕНТНОЙ КРЕПИ
И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ
ВСКРЫВАЮЩИХ ВЫРАБОТОК НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Р е з ю м е

В настоящей работе даны методы предотвращающие зажим (обжимание) капитальных подземных выработок, в которых выступает деформирующее давление горной породы на установленную крепь.

Была разработана конструкция железобетонного тубинга, обладающего высокой опорностью и определенной восприимчивостью, которая может существенно противодействовать большому давлению вызванному деформирующимися, в направлении выработки горными породами.

Были проведены подробные лабораторные исследования индивидуальных сегментов и изготовленных из них колец на специально спроектированных испытательных стендах, дающих возможность точно определить опорность и восприимчивость корпуса при различных величинах и распределении его нагрузки. В испытательных стендах влияние горной породы на корпус было заменено гидравлическими домкратами, оказывающими на него действия акции и реакции.

Лабораторные исследования были связаны с результатами подземных измерений деформаций колец и железобетонных сегментов монтированных в штреке на каменноугольной шахте "Борыня" на горизонте 713 м в 1978 г.

Одновременно были проведены исследования на моделях, определяющих поведение горных пород в окружении выработок пройденных в моделированной горной породе, равномерно нагруженной в горизонтальном направлении.

Результаты проведенных лабораторных и подземных исследований являлись основой для разработки образцов, дающих возможность проектировать железобетонные сегментные крепи с определенной опорностью и восприимчивостью, учитывая требуемое ее сотрудничество с горной породой.

Исследования дали возможность разработки анализа, охватывающего основные выводы и направления в области конструкции, строительства и пригодности железобетонного тубинга для капитальных подземных выработок, в которых на него будет действовать деформирующее давление горной породы.

В работе была рассмотрена тоже возможность применения во вскрывающих, зких выработках стальной рамной крепи, конструкция которой дает возможность приспособления ее требуемой высокой опорности к актуальным неблагоприятным горно-геологическим условиям.

STRENGTH OF SEGMENT FERROCONCRETE LINING
AND ITS INFLUENCE ON THE STABILITY
OF OPENING-OUT HEADINGS AT BIG DEPTHS

S u m m a r y

The paper presents different methods of preventing crushing of main excavations, where there is a deformative pressure of rock mass on the lining.

The construction of the segment ferroconcrete lining with high strength and with specified deformability has been worked out. This construction may effectively resist the great pressure exerted by rocks deforming themselves in the direction of an excavation.

Laboratory tests of individual segments and of rings made of them have been carried out in the specially constructed stands which enabled the exact specification of the strength and deformability of the analyzed lining when its loading has had different configuration and quantities.

In the stands operation of rock mass on the lining has been replaced by hydraulic cylinders which have exerted action and reaction operation on the lining.

Laboratory tests have been connected with the results of measurements of underground deformations of rings of ferroconcrete segments which were installed in the cross-headings in the coalmine "Borynia" at the level of 713 meters in 1978.

Tests have been also done on the models specifying the behaviour of rocks in artificial rock mass, steadily loaded in the vertical direction.

On the basis of the results of laboratory and underground tests the models which have made it possible to design segment ferroconcrete lining with specified strength and deformability have been worked out. Working out the models the required cooperation of the lining with rock mass has been taken into account.

Tests have made it possible to do the analysis which includes main conclusions and instructions in the domain of construction, execution and usefulness of segment ferroconcrete lining for main excavations, where there will be an action of deformative pressure of rock mass.

The paper also presents the possibility of the use of steel frame lining in opening out headings. The construction of these frames enables their adaptation to required high strength in the present unfavourable geological and mining conditions.

P 3351 | 82 | 121

**WYDAWNICTWA NAUKOWE I DYDAKTYCZNE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
MOŻNA NABYC W NASTĘPUJĄCYCH PLACÓWKACH:**

- 44-100 Gliwice — Księgarnia nr 096, ul. Konstytucji 14 b
44-100 Gliwice — Spółdzielnia Studencka, ul. Wrocławska 4 a
40-950 Katowice — Księgarnia nr 015, ul. Żwirki i Wigury 33
40-096 Katowice — Księgarnia nr 005, ul. 3 Maja 12
41-900 Bytom — Księgarnia nr 048, Pl. Kościuszki 10
41-500 Chorzów — Księgarnia nr 063, ul. Wolności 22
41-300 Dąbrowa Górnicza — Księgarnia nr 081, ul. ZBoWiD-u 2
47-400 Raciborz — Księgarnia nr 148, ul. Odrzańska 1
44-200 Rybnik — Księgarnia nr 162, Rynek 1
41-290 Sosnowiec — Księgarnia nr 181, ul. Zwycięstwa 7
41-800 Zabrze — Księgarnia nr 230, ul. Wolności 288
00-901 Warszawa — Ośrodek Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN —
Pałac Kultury i Nauki

Wszystkie wydawnictwa naukowe i dydaktyczne zamawiać można poprzez Składnicę Księgarską w Warszawie, ul. Mazowiecka 9.