ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1983

Seria: GÓRNICTWO z. 128 Nr kol. 778

Zenon SZCZEPANIAK

Instytut Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni
Politechniki Śląskiej

ANALITYCZNO-BADAWCZY SPOSÓB PROJEKTOWANIA SEGMENTOWEJ OBUDOWY ŻELBETOWEJ

Streszczenie. W pracy omówiono sposób projektowania segmentowej obudowy żelbetowej pod względem wytrzymałościowym. Celem uproszczenia obliczeń pierścienie obudowy jako konstrukcji wielokrotnie statycznie niewyznaczalnej przedstawiono możliwość wykorzystania wyników badań laboratoryjnych prowadzonych na segmentach indywidualnych. Przedstawione rozwiązania można wykorzystać również przy projektowaniu monolitycznej obudowy żelbetowej.

1. Wstęp

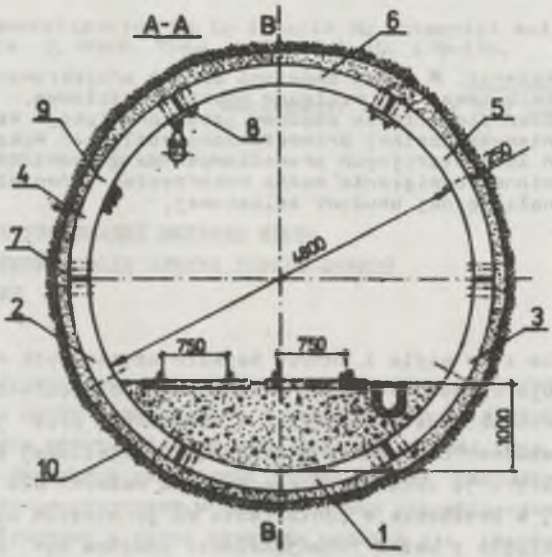
Udostępnienie złóż węgla i innych kopalin użytecznych na dużych głębokościach powoduje wzrost turdności związanych z długotrwałym utrzymaniem podziemnych wyrobisk udostępniających i komorowych przy jak najmniejszej ilości ich przebudów. Zachowanie stateczności określonej konstrukcji obudowy i otaczających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

tów żelbetowych (rys. 1), charakteryzujące się przy każdej konfiguracji ich obciążenia dużą zadaną podpornością i określoną podatnością. Stąd głównym celem pracy jest przedstawienie sposobów projektowania podporności tzw. segmentowej obudowy żelbetowej przy niekorzystnym miejscowym jej obciążeniu od strony otaczających ją skał.

W obliczeniach należy wykorzystać wielkości uzyskane z badań laboratoryjnych, przeprowadzonych bardzo prostą metodą na segmentach indywidualnych wykonanych w skali 1:1. Opracowany sposób obliczania segmentowej obudowy żelbetowej można stosować również przy projektowaniu podporności górniczej obudowy żelbetowej o konstrukcji monolitycznej.



Rys. 1. Konstrukcja pierścienia segmentowej obudowy żelbetowej, złożonego z 6 segmentów

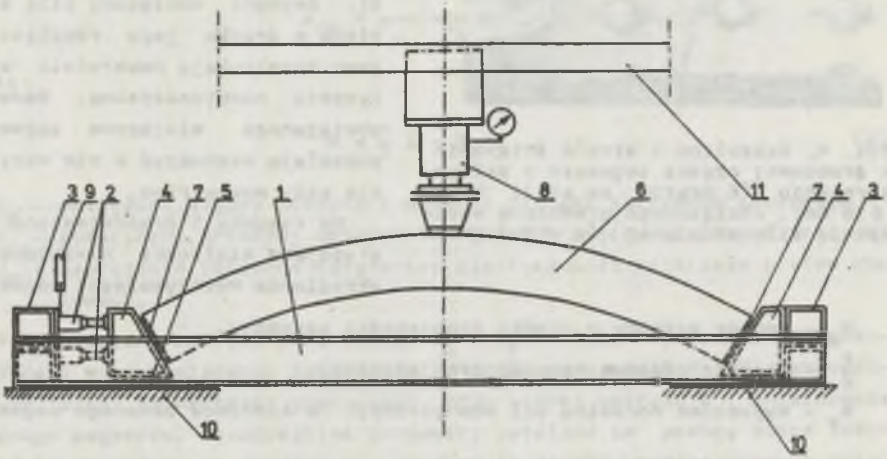
1 - segment spągowy, 2,3 - segmenty ociosowe dolne, 4,5 - segmenty ociosowe górne, 6 - segment stropowy, 7 - wkładki podatne, 8 - złącza śrubowe, 9 - otwory montażowe, 10 - podsadzka utwardzona

2. Sposoby obliczania konstrukcji segmentowej obudowy żelbetowej

Podporność zaprojektowanych wstępnie segmentów żelbetowych przed wprowadzeniem ich do produkcji przemysłowej powinna być każdorazowo sprawdzona odpowiednimi badaniami na wykonanych (według projektu) egzemplarzach prototypowych.

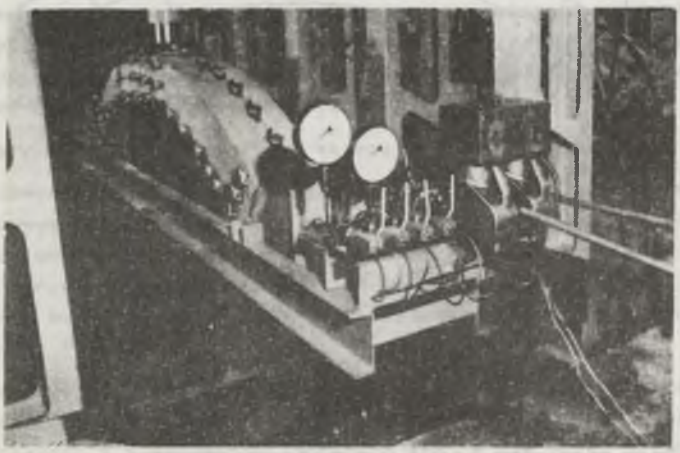
Z przeprowadzonych badań laboratoryjnych wynika, że obciążony na części obwodu pierścień z segmentów żelbetowych uzyskuje najmniejszą podporność przy wypadkowej sił zewnętrznych, działającej w środku segmentu. Stąd najprostszy sposób badań, umożliwiający sprawdzenie danej konstrukcji seg-

mentów pod względem wytrzymałościowym, może być prowadzony jak na rysunkach 2, 3 i 4.

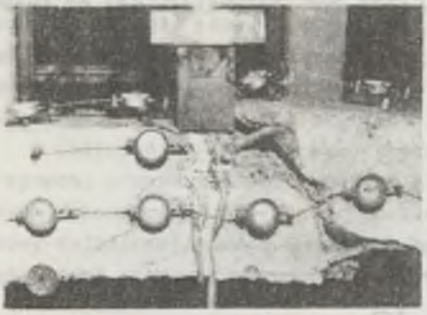


Rys. 2. Urządzenia do badań segmentów indywidualnych

1 - rama stalowa, 2 - siłowniki oporowe, 3 - opory boczne, 4 - podstawy segmentu, 5 - rolki stalowe, 6 - badane segmenty, 7 - wkładki podatne, 8 - siłownik obciążający segment, 9 - manometry do rozporu poziomego, 10 - spęg stoiska, 11 - strop stoiska



Rys. 3. Sposób przygotowania segmentów żelbetowych do badań indywidualnych przy czynnym ich obciążeniu siłą skupioną w środku segmentu



Rys. 4. Szczeliny i strefa ściskania w środkowej części segmentu o pełnym zbrojeniu (6 prętów ze stali 34GS ϕ16 mm), obciążonego graniczną wielkością siły skupionej (p = 0,7 MN)

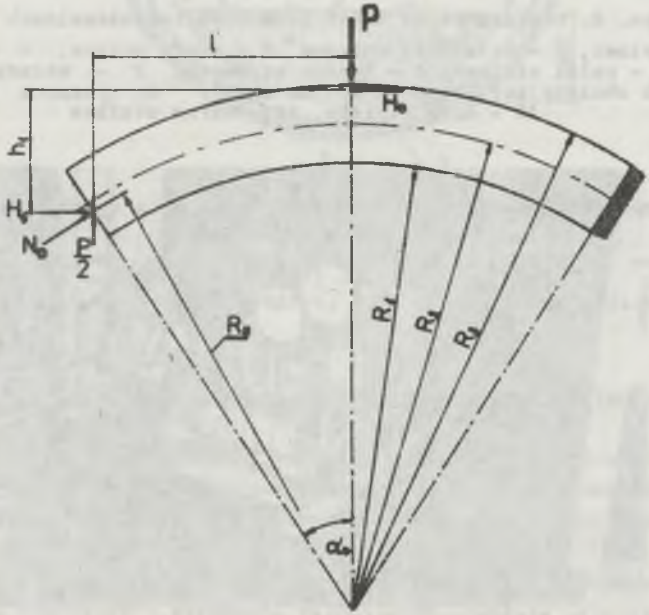
Podporność segmentu odpowiednio posadowionego poprzez wkładki podatne na podporach stalowych (w sposób umożliwiający w czasie badań samoczynne jego rozpieranie) określa się akcyjnym na niego działaniem siły skupionej P (rys. 5). Segment obciążony siłą skupioną w środku jego rozpiętości jest konstrukcją dwukrotnie statycznie niewyznaczalną. Badania obciążonego miejscowo segmentu pozwalają wyznaczyć w nim wszystkie siły wewnętrzne.

Na rysunku 5 przedstawiono następujące wielkości niezbędne do określenia wytrzymałości segmentu

H_o - rozpór poziomy w środku rozpiętości segmentu,

$\frac{P}{2}$ - reakcje pionowe na podporach segmentu,

N_o - wypadkowa normalna sił wewnętrznych na końcówce badanego segmentu



Rys. 5. Układ sił wewnętrznych w zginanym i rozpieranym segmencie siłą skupioną P

P - siła skupiona obciążająca czynnie segment w środku jego rozpiętości,

l - odległość między siłą N_o i obciążeniem segmentu siłą skupioną P,

h_1 - ramię działania oporu rozporu H względem siły N_o.

Ustalenie wymienionych wielkości pozwala wyznaczyć naprężenie rozciągające σ_{rp} w dolnych prętach zbrojenia segmentu wg zależności (1)

$$\sigma_{rp} = \frac{M}{F_p \cdot h_p} \leq Q_r \qquad (1)$$

gdzie:

$$M = \frac{P}{2} l - h_o h_1 \qquad (2)$$

h_p - odległość między górnymi i dolnymi prętami zbrojenia stalowego,

F_p - sumaryczny przekrój dolnych lub górnych prętów stalowych (rys. 8),

Q_r - naprężenia zbliżone do granicy plastyczności materiału prętów stalowych.

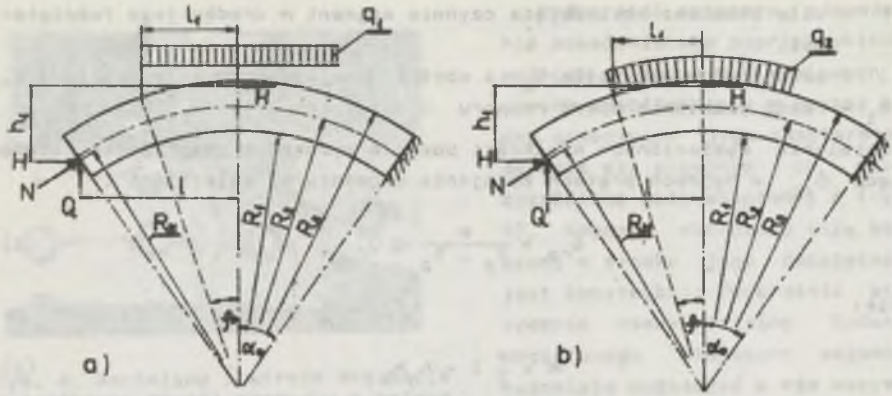
Przedstawione na rys. 5 wartości H_o i N_o należy wyznaczyć (za pomocą badań) przy obciążeniu segmentu siłą skupioną o wielkości P, maksymalnie zbliżonej do wartości granicznej, przy której następuje zniszczenie badanego segmentu. Poszczególne parametry ustalone za pomocą badań laboratoryjnych można wykorzystać do opracowania wzorów umożliwiających obliczenie podporności segmentu (i całych pierścieni obudowy) przy różnych konfiguracjach (sposobach) jego obciążenia.

Sposób wzorów określających podporność danego segmentu najbardziej uogólnioną postać posiadają te zależności, która uwzględniają równomierne i symetryczna jego obciążenia 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. 6a i 6b.

Podane wzory (3-11) uwzględniają następujące zależności:

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

Uwzględnienia 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. 8) równomiernie obciążonego na określonej jego długości $2l_1$ (rys. 6) nie będzie mniejsza od jego podporności rzeczywistej.



Rys. 6. Układ sił wewnętrznych w łuku pierścienia z segmentów żelbetowych obciążanego w sposób równomierny i symetryczny względem środka rozpiętości segmentu

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

Podstawowymi zależnościami, z których wyprowadza się wzory na obliczanie podporności segmentów, są równanie 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. 6a) równanie równowagi momentów zginających wyraża się zależnością (3)

$$H.h_1 + M = q_1.b.l_1(R_N \sin\alpha_0 - \frac{l_1}{2}). \tag{3}$$

W zależności (3) 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 siłę skupioną P (rys. 5) oblicza się z równania (4)

$$H.\cos\alpha_0 + q_1.b.l_1 \sin\alpha_0 = H_0.\cos\alpha_0 + 0,5\,\frac{P}{2}\,\sin\alpha_0 \tag{4}$$

Z zależności (3) i (4) uzyskuje się wzór (5), z którego określa się dopuszczalną wielkość równomiernego obciążenia segmentu jak na rys. 6a.

$$q_1 = \frac{h_1(H_0 + 0,5\,P tg\alpha_0) + \sigma_{rp}.F_p.h_p}{b.l_1(h_1 tg\alpha_0 + R_N \sin\alpha_0 - 0,5\,l_1)} \tag{5}$$

Przy założeniu, że końcówki segmentu są bardziej stateczne od jego przekroju środkowego, można w obliczeniach przyjąć konieczność spełnienia

warunku $H = H_o$ i wówczas zależność typu (5) ustala się bezpośrednio ze wzoru (3), który przyjmuje postać zależności 6.

$$q_1 = \frac{H_o h_1 + \sigma_{rp} \cdot F_p \cdot h_p}{b \cdot l_1 (R_N \cdot \sin\alpha_o - 0{,}5\, l_1)} \tag{6}$$

W przypadku równomiernego obciążenia segmentu w kierunku radialnym (jak na rys. 6b) równanie równowagi momentów zginających wyraża się zależnością (7)

$$H \cdot h_1 + M = q_2 \cdot b \cdot R_N^2 \int_0^{\varphi_o} \sin(\alpha_o - \rho) d = q_2 \cdot b \cdot R_N^2 \cos(\alpha_o - \rho_o) - \cos\alpha_o \tag{7}$$

Obliczeniową wartość rozporu H uzyskuje się z równania (8) uwzględniającego założoną konieczność zachowania ustalonej w czasie badań wielkości siły podłużnej N_o

$$H \cos\alpha_o + Q_1 \sin\alpha_o - Q_2 \cos\alpha_o = H_o \cos\alpha_o + \frac{P}{2} \sin\alpha_o \tag{8}$$

$$Q_1 \approx q_2 \cdot b \cdot R_N \cdot \int_0^{\varphi_o} \cos\rho \cdot d\rho = q_2 \cdot b \cdot R_N \sin\rho_o \tag{9}$$

$$Q_2 \approx q_2 \cdot b \cdot R_N \cdot \int_0^{\varphi_o} \sin\rho \cdot d\rho = q_2 \cdot b \cdot R_N (1 - \cos\rho_o). \tag{10}$$

Z równań (8), (9) i (10) otrzymuje się wzór (11) określający dopuszczalne obciążenie segmentu (w pierścieniu obudowy) w kierunku radialnym jak na rys. 6b.

$$q_2 = \frac{\frac{P}{2} \cdot h_1 \cdot tg\alpha_o + H_o h_1 + \sigma_{rp} \cdot F_p \cdot H_p}{b \cdot R_N \left\{ R_N \left[\cos(\alpha_o - \bar{\varphi}_o) - \cos\alpha_o\right] + h_1 \left[\sin\bar{\varphi}_o tg\alpha_o + \cos\bar{\varphi}_o - 1\right] \right\}} \tag{11}$$

Istnieje możliwość również obliczanie wielkości q_2 wg prostszej zależności (12), otrzymanej bezpośrednio ze wzoru (7), odpowiadającej zależności (6) - przy założeniu konieczności spełniania w niej warunku $H = H_o$

$$q_2 = \frac{H_o \cdot h_1 + \sigma_{rp} \cdot F_p \cdot h_p}{b \cdot R_N^2 \cos(\alpha_o - \bar{\varphi}_o) - \cos\alpha_o} \tag{12}$$

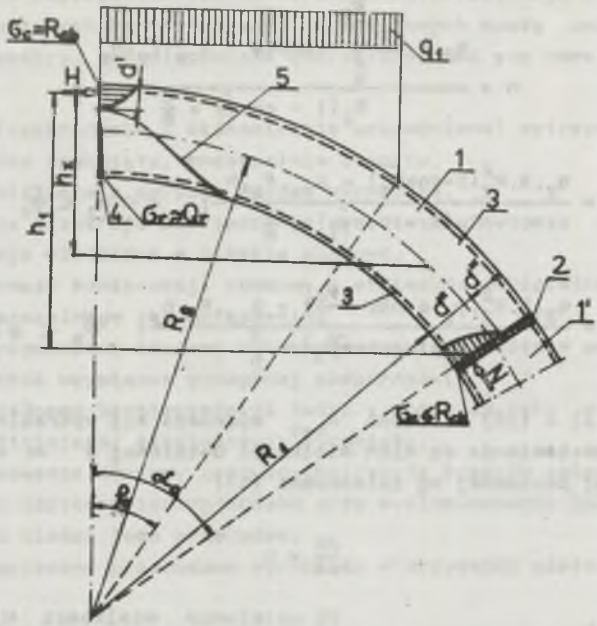
Wyniki badań i wymienione założenia oraz podane wzory można wykorzystać do ustalania podporności całego pierścienia obudowy przy niekorzystnym lokalnym, ale równomiernym jego obciążeniu. Przyjęcie takie jest możliwe pod warunkiem, że niezbędne wyniki badań odnośnie do najmniej korzystnego położenia i wielkości sił wewnętrznych zostaną uzyskane z łuku obciążonego graniczną wielkością siły skupionej P, którego rozpiętość jest nie mniejsza od określonej kątem środkowym 60° - 90°. W przypadku segmentów o mniejszej rozpiętości od 60° należy badać łuk złożony z pełnego segmentu i z dwóch segmentów mniejszych (rys. 8) o sumarycznej rozpiętości odpowiadającej kątowi środkowemu α_0 około 90°. Końcówki segmentów należy usytuować na wkładkach podatnych.

Z przeprowadzonych w pracy badań wynika, że wzory (5) i (11) 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 (5) i (11) 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 której 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 rozpierającego 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 21_1 (rys. 6a), obliczenia maksymalnej wartości występującego w nim rozporu H.

Na podstawie badań można przyjąć, że w przypadku czynnego obciążenia części łuku pierścienia obudowy, kształtujący się rozpór H (pod wypadkową tego obciążenia) występuje na wysokości nie mniejszej od $\frac{1}{6}$ grubości segmentów powyżej osi przechodzącej przez środek ich grubości. Przekrój pod wypadkową czynnego obciążenia pierścienia jest miejscem występowania maksymalnego momentu zginającego (rys. 7). Z badań wynika również, że rozpór H utrzymuje zginany segment w równowadze, działając na ramieniu ograniczonym wymienionym rozporem H oraz maksymalną wielkością wypadkowej sił podłużnych i poprzecznych, występującej 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. 7), uzasadnione wynikami badań, upoważnia do obliczania wielkości H_{max} względem dowolnego punktu osi przechodzącej przez środek

grubości segmentów (łuk o promieniu R_2) usytuowanych w pierścieniach obudowy.



Rys. 7. Praca segmentu w pierścieniu obudowy przy wypadkowej działających na niego sił zewnętrznych usytuowanej w środku rozpiętości segmentów 1 - segment miejscowo-równomiernie obciążony, 1' - końcówka sąsiedniego segmentu, 2 - wkładka podatna z płyty paździerzowej, 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_p - kąt zasięgu aktywnego obciążenia segmentu, α_o - połowa kąta środkowego łuku segmentu

Wyznaczenie wielkości rozporu H_{max} w poszczególnych przedziałach łuku obudowy określonych kątami φ_1 i α za pomocą zależności (13) i (14) lub (15) i (16) pozwala mieć pewność, że rzeczywista jego wielkość, przy czynnym miejscowym obciążeniu obudowy jak na rys. 6 i 7 nie będzie większa

$$H = \frac{0{,}5\, q_1 . b . R_2^2 \sin\varphi_1 - \sigma_{rp} . F_p . h_p}{R_2(1 - \cos\varphi_1) + \frac{d}{6}}; \quad 0 < \varphi_1 \leq \varphi_o \qquad (13)$$

$$H = \frac{0{,}5\, q_1 . b . R_2^2 \sin\alpha \sin\varphi_o - \sigma_{rp} . F_p . h_p}{R_2(1 - \cos\alpha) + \frac{d}{\delta}}; \quad \varphi_o < \alpha \leq \alpha_o \tag{14}$$

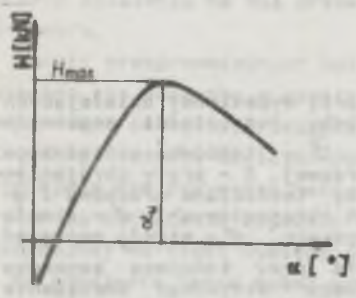
$$H = \frac{q_2 . b . R_2^2 \int_0^{\varphi_1} \sin\varphi d\varphi - \sigma_{rp} . F_p . h_p}{R_2(1 - \cos\varphi) + \frac{d}{\delta}} =$$

$$= \frac{q_2 . b . R_2^2 (1 - \cos\varphi_1) - \sigma_{rp} . F_p . h_p}{R_2(1 - \cos\varphi_1) + \frac{d}{\delta}}; \quad 0 < \varphi_1 \leq \varphi_o \tag{15}$$

$$H = \frac{q_2 . b . R_2^2 . \rho_o \sin(\alpha - \frac{\varphi_o}{2}) - \sigma_{rp} . F_p . h_p}{R_2(1 - \cos\varphi_1) + \frac{d}{\delta}}; \quad \varphi_o < \alpha \leq \alpha_o \tag{16}$$

Ze wzorów (13) - (16) wielkość H_{max} wyznacza się wykreślnie wg rys. 8 lub przez podstawienie do nich wielkości ustalonej z warunku zerowania się pierwszej pochodnej wg zależności (17)

$$\frac{dH}{d\alpha} = 0 \tag{17}$$



Rys. 8. Graficzny sposób wyznaczania maksymalnej wielkości rozporu H za pomocą wzorów (13) - (16)

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 wytężeniu betonu (tj. pod wypadkową sił zewnętrznych q_1 lub q_2) wg wzoru (18)

$$\sigma_{cb} = \frac{2\, H_{max}}{d' . b} \leq R_{cb} \tag{18}$$

Jeżeli zależność (18) 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 (18).

3. Uwagi końcowe

W świetle przeprowadzonych badań laboratoryjnych i dołowych 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) wytrzymałość,
- 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 uzyskanie wymaganej 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 danej konstrukcji obudowy korzystną współpracę z górotworem i maksymalną jej podporność, w ramach których wystąpi w nim trójosiowy stan naprężenia, co spowoduje pełne wykorzystanie własnej wytrzymałości skał otaczających wyrobisko w przejmowaniu występujących w nich skoncentrowanych naprężeń.

Z przeprowadzonych badań laboratoryjnych i dołowych wynika, że najpełniej wszystkie parametry w zakresie podporności i współpracy z górotworem spełnia segmentowa obudowa żelbetowa, którą pod względem wytrzymałościowym można projektować za pomocą podanych w pracy wzorów przy wykorzystaniu wielkości uzyskanych z prostych badań laboratoryjnych indywidualnych segmentów żelbetowych.

LITERATURA

[1] Bielajew N.M.: Sprotiwlenije materiałow. Nauka, Moskwa 1976.

[2] Borecki M.: Podstawowe modele mechaniczne współpracy górotwór-obudowa kapitalnych wyrobisk górniczych w warunkach ciśnień deformacyjnych. ZN Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 71, Gliwice 1976.

[3] Chudek M.: Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. Śląsk, Katowice 1975.

[4] Duyse von H.: Improving the resistance of circular cross-cuts lined with reinforced concrete belocks, by proper filling of the cavity between the lining and th rock. Światowy Kongres Górniczy, Istanbuł 1978.

[5] Grabiec F.: Projektowanie konstrukcji betonowych i żelbetowych według metody stanów górniczych. PWN, Warszawa 1973.

[6] Król W., Starosolski W.: Konstrukcje betonowe, cz. I. Warszawa 1976.

[7] Szczepaniak Z.: Projektowanie komorowych obudów kamiennych o kształcie owalnym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 52, Gliwice 1972.

Recenzent: dr hab. inż. Józef MAŁOSZEWSKI

Wpłynęło do Redakcji w maju 1983 r.

ЧИСЛЕННО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕГМЕНТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КРЕПЛЕНИЯ

Р е з ю м е

В работе оговорен метод проектирования сегментного железобетонного крепления с точки зрения его устойчивости. С целью облегчения расчётов кольца крепления, как конструкции многократко статически не решаемой, предетавлена возможность использования результатов лабораторных исследований проводимых на индивидуальных сегментах. Представленные решения можно также использовать для проектирования монолитического железобетонного крепления.

AN ANALYTICAL WAY OF DESIGNING A SEGMENTED FERRO-CONCRETE LINING

S u m m a r y

The paper deals with a method of designing a segmented ferro-concrete lining of a great strength. In order to simplify the calculations of a supporting ring as a repeatedly statically indeterminable structure, it has been suggested to utilize the results of laboratory tests carried out on single segments. The solution presented in this paper may be applied also when designing a monolithic ferro-concrete lining.