

Zenon Szczepaniak
Wiesław Zadęcki

OBLICZANIE OBUDOWY WYROBISK KOMOROWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM JEJ WSPÓŁPRACY Z GÓROTWOREM

Streszczenie. W pracy przedstawiono nowy sposób obliczania sklepieniowej obudowy murowej stosowanej w górniczych wyrobiskach komorowych. W obliczeniach wzięto pod uwagę wzajemne oddziaływanie górotworu na obudowę i obudowy na otaczające ją skały.

Wstęp

Wyrobiska komorowe wykonywane są najczęściej w obudowie murowej ze sklepieniem opartym na prostych murach przyociosowych. Istniejące dotychczas sposoby obliczeń górniczych sklepieniowych obudów murowych nie ujmują w pełni rzeczywistej ich współpracy z górotworem.

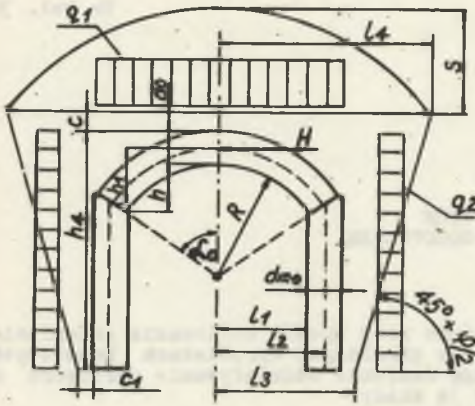
Przedstawiony nowy sposób obliczeń - współpracę taką uwzględnia, dzięki czemu obliczane wyniki nieznacznie mogą odbiegać od wielkości rzeczywistych mimo, że sam sposób obliczeń jest w dalszym ciągu sposobem przybliżonym.

Konstrukcje sklepieniowe są układami statycznie niewyznaczalnymi. Niżej opisanie opracowanie podaje między innymi przybliżony sposób obliczania statycznie niewyznaczalnych wielkości sił wewnętrznych w sklepieniu na podstawie przeprowadzonych w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni badań nad zachowaniem się i pracą sklepieniowych obudów murowych o różnych kształtach i przy różnych sposobach ich obciążenia.

2. Obliczenia wstępne

Przed przystąpieniem do właściwych obliczeń sprawdzających stateczność obudowy murowej należy uprzednio wstępnie zaprojektować jej kształt, wewnętrzne wymiary poprzeczne oraz grubość. Wstępne wymiary obudowy murowej ze sklepieniem opartym na prostych murach przyociosowych oraz jej obciążenie można ustalić za pomocą znanych zestawionych poniżej wzorów.

1. Metodą minimalnych obrysów projektuje się szerokość przekroju poprzecznego wyrobiska w świetle obudowy 2l₁ (rys. 1).



Rys. 1. Charakterystyczne parametry wielkościowe sklepieniowej obudowy murynej oraz przyjmowane do obliczeń aktywne jej obciążenia od strony górotworu

2. Dla danej szerokości wyrobiska w świetle obudowy $2l_1$ ustala się strzałkę sklepienia h według wzoru Protodiakonowa (rys. 1)

$$h = \frac{l_1}{\sqrt{f}}, \quad (1)$$

gdzie

f - współczynnik zwięzłości skał stropowych według Protodiakonowa.

Wielkość strzałki sklepienia h wyznaczona wzorem (1) powinna spełniać warunek

$$0,3 < \frac{h}{2l_1} < 0,5. \quad (2)$$

Jeżeli strzałka sklepienia wyznaczona wzorem (1) nie spełnia zależności (2), wówczas przyjmuje się wielkość strzałki sklepienia wg wzoru (3)

$$h = 0,6 l_1. \quad (3)$$

3. Oblicza się promień sklepienia w świetle obudowy R

$$R = \frac{l_1^2 + h^2}{2h}. \quad (4)$$

4. Oblicza się wstępnie grubość obudowy sklepienia d_0 wg Protodiakonowa

$$d_0 = \frac{4,4 l_1}{k_c f} \cdot \sqrt[3]{\frac{l_1}{h}}, \quad (5)$$

gdzie

k_c - dopuszczalne naprężenie ściskające dla muru obudowy.

5. Oblicza się wielkość kąta rozwarcia sklepienia

$$\sin \alpha_0 = \frac{l_1}{R}. \quad (6)$$

6. Ustala się strzałkę h_1 oraz promień R_1 osi sklepienia

$$h_1 = h + \frac{d_0}{2} - \frac{d_0}{2} \cdot \cos\alpha_0 \quad (7)$$

$$R_1 = R + \frac{d_0}{2} \quad (7')$$

7. Ustala się grubość murów prostych (wstępnie)

$$d_{m_0} = d_0 \quad \text{lub} \quad d_{m_0} = d_0 + d', \quad (8)$$

gdzie

d' - zwiększenie grubości murów prostych w stosunku do grubości sklepienia

$$d' = 0 \quad \text{lub} \quad d' \geq 13 \text{ cm.}$$

8. Metodą minimalnych obrysów ustala się wysokość przekroju poprzecznego wyrobiska w świetle obudowy i wysokość zewnętrznej strony murów prostych h'' , (rys. 2).

9. Przyjmuje się obciążenia obudowy od strony górotworu w kierunku pionowym q_1 i poziomym q_2 . Obciążenia te można obliczyć za pomocą znanych wzorów obowiązujących w mechanice górotworu i sprowadzić do obciążenia równomiernego, tj. mniej korzystnego od obciążenia wynikającego z istniejących wzorów. Przyjęciem sklepienia ciśnień wg Protodjkonowa lub Sałustowicza, wielkość q_1 i q_2 można obliczyć następująco:

$$q_1 = (s + c + d_0) \gamma_{sr}, \quad (9)$$

gdzie

s - maksymalny zasięg skał odprężonych nad obudową (strzałka sklepienia ciśnień),

c - grubość podsadzki nad kluczem sklepienia,

d_0 - przyjęta wstępnie wg wzoru (5) grubość sklepienia,

γ_{sr} - średni ciężar objętościowy skał, podsadzki i obudowy.

- Przykładowo wielkość s , przy przyjęciu sklepienia ciśnień wg Protodjkonowa i Cymbarewicza wynosi

$$s = \frac{1}{F} A, \quad (10)$$

gdzie

$$l_4 = l_1 + d_{m_0} + c_1 + (h_4 + c) \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (10')$$

l_4 - maksymalny zasięgi skał odprężonych nad obudową (w kierunku poziomym),

c_1 - grubość podsadzki na poziomie fundamentów murów prostych,

h_4 - całkowita wysokość obudowy (strona zewnętrzna),

φ - kąt tarcia wewnętrzznego odprężonych skał ociosowych.

- Wg Sałustowicza wartość s wyznacza się z zależności

$$s = b - \frac{h_4 + c}{2}, \quad (11)$$

gdzie $b = (l_1 + d_{m_0} + c_1) \cdot k \quad (11')$

$$k = \frac{m - 2}{2} \quad (11'')$$

m - odwrotność liczby Poissona dla skał karbońskich.

Wielkość q_2 można ustalić następująco:

- wg Protodiakonowa i Cymbarewicza wielkość q_2 oblicza się ze wzoru (12)

$$q_2 = \frac{1}{2} \sqrt[3]{2 \cdot (s + c) + h_4} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (12)$$

gdzie

φ - kąt tarcia wewnętrzznego odprężonych skał ociosowych.

- Wg Sałustowicza wielkość q_2 wynosi

$$q_2 = (0,25 \div 0,5) q_1. \quad (13)$$

3. Obliczanie sił wewnętrznych i grubości obudowy

Sprawdza się, czy przy danym obciążeniu q_1 i q_2 ustalone wstępnie kształt i grubość obudowy z danego rodzaju materiału, przy ustalonej wielkości przekroju poprzecznego wyrobiska, są wystarczające ze względu na wymaganą wytrzymałość obudowy. Sprawdzenie może przebiegać wg niżej podanego sposobu postępowania.

1. Wyznacza się wielkość rozporu H , tj. wypadkową siły wewnętrznej (rysunek 1) przy wstępnym założeniu jej działania w kluczowym przekroju sklepienia, w środku jego grubości, tj. w osi sklepienia.

Wartość H wyznacza się z warunku równowagi momentów względem osi sklepienia w wezłowie

$$H = \frac{q_1(1_1^2 + 1_1 \cdot d_0 \cdot \sin\alpha_0) + \frac{q_2}{2} \left[h' + d_0 \left(\frac{2}{3} + \frac{\cos\alpha_0}{2} \right) \right]^2}{h_1}, \quad (14)$$

gdzie

h' - wysokość części zewnętrznej strony sklepienia liczona od jego wezłowia do dolnej granicy rdzenia w przekroju kluczowym

$$h' = h_1 - \frac{1}{2} d_0 \left(\frac{1}{3} + \cos\alpha_0 \right).$$

2. Sprawdza się, która z dwóch poniższych zależności zachodzi w rozpatrywanym przypadku

$$A. \quad H > q_2 \left[h + \frac{h''}{2} + d_0 \left(\frac{2}{3} + \frac{\cos\alpha_0}{4} \right) \right] + \frac{q_1(1_1 + d_0 \sin\alpha_0)(dm - d_0 \sin\alpha_0)}{2h'' - d_0 \cos\alpha_0} \quad (15)$$

$$B. \quad H < q_2 \left[h' + \frac{h''}{2} + d_0 \left(\frac{2}{3} + \frac{\cos\alpha_0}{4} \right) \right] + \frac{q_1(1_1 + d_0 \sin\alpha_0)(dm - d_0 \sin\alpha_0)}{2h'' - d_0 \cos\alpha_0}, \quad (16)$$

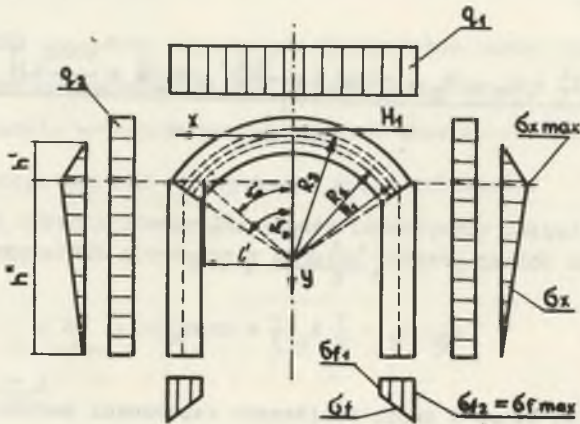
gdzie

h'' - wysokość zewnętrznej strony murów prostych $h'' = h_4 - h' - \frac{2}{3} d_0$.

3. W pracy przedstawiono sposób postępowania przy obliczaniu obudowy murowej w przypadku stwierdzenia, że zachodzi zależność (15). Stwierdzenie bowiem występowania zależności (16) jest najczęściej równoznaczne z wykluczeniem możliwości stosowania murów prostych, gdyż w większości przypadków ulegną zniszczeniu.

3.1. Obliczanie sklepienia

a. Na podstawie przeprowadzonych badań zakłada się działanie rozporu H (jako H_1) w górnej granicy rdzenia sklepienia (rys. 2).



Rys. 2. Charakterystyczne wielkościowe i układ współrzędnych dla sklepienia obudowy murowej oraz aktywne i bierne jej obciążenie od strony górotworu

Promienie łuków dolnej granicy rdzenia R_2 i górnej R_3 , w stosunku do promienia osi sklepienia R_1 pozostają w następującej zależności:

$$R_2 = R_1 - \frac{d_0}{6}, \quad R_3 = R_1 + \frac{d_0}{6}. \quad (17)$$

b. Wyznacza się wielkość rozporu H_1 (przy czym $H_1 < H$) z warunku równowagi momentów względem dolnej granicy rdzenia w węzłowie sklepienia

$$H_1 = \frac{\frac{q_1}{2}(l_1^2 + \frac{2 l_1 d_0 \cdot \sin \alpha_0}{3} - \frac{d_0^2 \sin^2 \alpha_0}{3}) + \frac{q_2}{2} \left[h' + \frac{2d_0}{3} (1 + \cos \alpha_0) \right]^2}{h' + \frac{d_0}{3} (1 + 2 \cos \alpha_0)}. \quad (18)$$

Powyższe obliczenie należy traktować jako sposób ustalenia wielkości rozporu przy przyjęciu tzw. (wprowadzonej do pracy na podstawie przeprowadzonych badań) zasady jednakowej w przybliżeniu wielkości mimośrodków w kluczu i w węzłowie sklepienia położonych po przeciwnych stronach jego osi - przy danym sposobie obciążenia obudowy (q_1 i q_2) jak na rysunkach.

c. Sprawdza się, która z dwóch poniższych zależności jest spełniona dla wyliczenia wg wzoru 18 - wielkości H_1 .

$$H_1 < q_2 \left[h' + \frac{h''}{2} + \frac{1}{3} d_o (2 + \cos \alpha_o) \right] + \frac{q_1 (1 + d_o \sin \alpha_o) (3d_{mo} - 2d_o \sin \alpha_o)}{6 h'' - 4d_o \cos \alpha_o} \quad (19')$$

$$H_1 > q_2 \left[h' + \frac{h''}{2} + \frac{1}{3} d_o (2 + \cos \alpha_o) \right] + \frac{q_1 (1 + d_o \sin \alpha_o) (3d_{mo} - 2d_o \sin \alpha_o)}{6 h'' - 4d_o \cos \alpha_o} \quad (19'')$$

c. W przypadku stwierdzenia, że zachodzi zależność wyrażona wzorem 19', należy przyjąć wyliczoną wielkość H_1 oraz jej położenie w górnej granicy rdzenia w kluczu i działanie wypadkowej sił wewnętrznych w dolnej granicy rdzenia w wezłowie - za właściwe.

c. Jeżeli zachodzi zależność wg wzoru (19''), wówczas wzdłuż wysokości obudowy oraz pod stopą fundamentu wystąpią naprężenia σ_x i σ_f wynikające z dociskania muru do skał ociosowych i spągowych.

d. Oblicza się wielkość naprężeń σ_x i σ_f przy następujących założeniach:

- mur jest dokładnie powiązany ze skałami na obrysie wyrobiska w wyłomie,
- różnica w sztywności skał spągowych i ociosowych wyraża się współczynnikiem ψ
- mur prosty do chwili powstania w nim spękań pracuje w przybliżeniu jak ścianka sztywna - co potwierdzają przeprowadzone w Instytucie badania,
- przyczyną powstawania naprężeń σ_x i σ_f jest niezrównoważona część rozporu H_1 aktywnym obciążeniem obudowy od strony górotworu w kierunku poziomym. Rozpór H_1 w tym przypadku przemieszcza się w kierunku zewnętrznej strony sklepienia (w jego kluczowym przekroju) i powoduje wystąpienie naprężeń σ_x i σ_f oraz odpowiedniej reakcji poziomej w stopie fundamentu.

W przypadku dokładnego powiązania obudowy z obrysem wyrobiska w wyłomie wartość rozporu H_1 jest stała.

- Naprężenia σ_x rozkładają się wg trójkąta wzdłuż wysokości obudowy liczonej od stopy fundamentu do dolnej granicy rdzenia w kluczu sklepienia, a $\sigma_x \max$ wypada przy wezłowie (rys. 2).
- Naprężenia σ_f rozkładają się wg trapezu lub trójkąta, przy czym $\sigma_f \max$ wypada przy zewnętrznej stronie stopy fundamentu (rys. 2).

Dokładne powiązanie obudowy z obrysem wyrobiska w wyłomie daje podstawę do obliczenia wielkości $\sigma_x \max$ oraz $\sigma_f \max$ z wystarczającą dokładnością za pomocą wzorów (20), (21)

$$\sigma_x \max = \frac{(h'' - \frac{2}{3} d_o \cos \alpha_o) [H_1 - q_2 (h' + \frac{2}{3} d_o)] - \frac{q_2 h''^2}{2} - q_1 (1_1 + d_o \sin \alpha_o) \frac{3d_{m_o} - 2d_o \sin \alpha_o}{6}}{\frac{h'}{2} (h'' - \frac{2}{3} d_o \cos \alpha_o) + \frac{h''^2}{3} + \frac{\psi d_f^3}{12h''}} \quad (20)$$

$$\sigma_f \max = \frac{\psi \sigma_x \max \cdot d_f}{2h} + \sigma f_o, \quad (21)$$

gdzie

$$\sigma f_o = \frac{q_1 (1_1 + d_{m_o}) + h'' \cdot d_{m_o} \gamma_m}{d_f} \quad (21')$$

γ_m - ciężar objętościowy muru.

e. W przypadku, gdy w spągu wyrobiska zalegają skały o małej wytrzymałości na ściskanie k'_c należy sprawdzić, czy wielkość naprężeń ściskających występujących pod stopą fundamentu spełnia warunek 22:

$$\sigma_f \max < k'_c \cdot \quad (22)$$

Jeżeli $\sigma_f \max > k'_c$, wówczas należy przyjąć taką szerokość fundamentu, aby warunek $\sigma_f \max < k'_c$ był spełniony.

W przypadku poszerzenia stopy fundamentu ponownie oblicza się wielkości $\sigma_x \max$ i $\sigma_f \max$ przy zastosowaniu wzorów (20), (21).

f. Oblicza się wielkości mimośrodków e w przekroju kluczowym i w węzłach sklepienia wg wzoru 23 z uwzględnieniem wielkości naprężeń σ_x i przy przyjęciu stałej wielkości rozporu H_1

$$e = \frac{A}{B}, \quad (23)$$

gdzie

$$A = 3q_1 l_1 (1_1 + d_0 \sin \alpha_0) + q_2 (3h' + 2d_0) \left[h' + d_0 \left(\frac{2}{3} + \cos \alpha_0 \right) \right] + \sigma_x \max h' (h' + 1, 5d_0 \cos \alpha_0) - H_1 [6h' + d_0 (1 + 3 \cos \alpha_0)] \quad (23')$$

$$B = 6 \left[H_1 (1 + \cos \alpha_0) + q_1 (1_1 + d_0) \sin \alpha_0 - 2q_2 (3h' + 2d_0 \cos \alpha_0) \right] - 3\sigma_x \max h' \cos \alpha_0 \quad (23'')$$

g. Po ustaleniu wielkości mimośrodów należy sprawdzić, czy w przekrojach pośrednich między przekrojem kluczowym i węzłowym nie występuje mimośród o większej wartości. Według przeprowadzonych badań największe wartości mimośródów mogą wystąpić w samym węzłowie lub w jego sąsiedztwie. Wielkości największych mimośródów pośrednich sprawdza się z zależności (24), tj. w miejscu występowania w sklepieniu maksymalnej bezwzględnej wielkości momentu zginającego

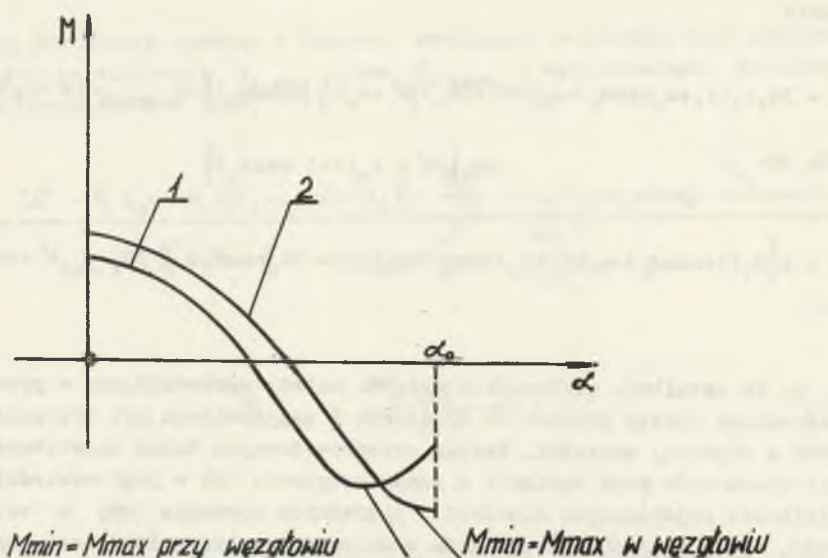
$$e_{\max} = \frac{M_{\max}}{N(M_{\max})} \quad (24)$$

Wielkość M_{\max} należy wyliczyć ze wzoru (25)

$$M(\alpha) = H_1 \left[R_2 (1 - \cos \alpha) + \frac{d_0}{6} + e \right] - \frac{q_1}{2} (R_2 \sin^2 \alpha) - \frac{q_2}{2} \left[R_2 (1 - \cos \alpha) + \frac{2}{3} d_0 \right]^2 - \frac{\sigma_x \max \left[\frac{R_2 (1 - \cos \alpha)}{6h'} \right]^3}{6h'} \quad (25)$$

Z wzoru (25) wielkość M_{\max} można wyznaczyć graficznie obliczając wartości momentów w kilku miejscach w sąsiedztwie węzłowie określonych przez kąty α w odstępach co około 5° oraz w samym węzłowie (rys. 3). Można również wyznaczyć M_{\max} na podstawie znalezienia z wzoru (25) ekstremum, tj. wyliczając M w miejscu, w którym pierwsza pochodna spełnia warunek

$$\frac{dM}{d\alpha} = 0. \quad (26)$$



Rys. 3. Wykres obrazujący przebieg momentów giących w sklepieniu

Rys. 3. obrazuje możliwość zaistnienia dwóch przypadków:

- M_{\max} wypada w miejscu określonym przez kąt $\alpha \leq \alpha'_0$
- M_{\max} wypada w węzłowi, tj. przy kącie $\alpha = \alpha_0$.

gdzie α'_0 wylicza się z $\sin \alpha'_0$

$$\sin \alpha'_0 = \frac{l'}{R_2} \quad (27)$$

l' należy odczytać z rysunku wykonanego w odpowiedniej skali (rys. 2) lub ustalić z zależności 27'

$$l' \approx (R_3 + \frac{d_0}{3}) \sin \alpha_0 - \frac{2d_0}{3 \sin \alpha_0} \cdot \quad (27')$$

Wielkość $N(M_{\max})$ występująca w wzorze (24) oblicza się z zależności 28 dla kąta α równego $\alpha(M_{\max})$

$$N(M_{\max}) = H_1 \cos \alpha + q_1 R_2 \sin^2 \alpha - q_2 \left[R_2 (1 - \cos \alpha) + \frac{2d_0}{3} \right] \cos \alpha - \frac{\sigma_{\max}}{2h} R^2 (1 - \cos \alpha)^2 \cos \alpha. \quad (28)$$

Wzory (25) i (28) są ważne dla $0 \leq \alpha \leq \alpha'_0$.

Jeżeli e_{\max} wg wzoru (25) wypada dla $\alpha > \alpha'_0$, wówczas jako aktualne e_{\max} należy przyjąć większą wartość spośród dwóch następujących wielkości mimośrodków: e (w węzłowiu, tj. przy α'_0) lub $e(\alpha'_0)$, gdzie $e(\alpha'_0)$ ustala się z zależności (24), natomiast e z wzoru (23).

h. Po ustaleniu wielkości e_{\max} należy sprawdzić wg wzoru (29) czy grubość sklepienia jest wystarczająca

$$d = 2\left(\frac{2N(e_{\max})}{3k_c} + e_{\max}\right) < d_0. \quad (29)$$

Sposób ustalenia wielkości $N(e_{\max})$ występującej w wzorze (29) zależy od miejsca występowania maksymalnej wielkości mimośrodu e_{\max}

- przy e_{\max} w przedziale $0 < \alpha < \alpha'_0$ $N(e_{\max})$ wylicza się z wzoru (28)
- przy $e_{\max} = e$, $N(e_{\max})$ wylicza się z wzoru (30)

$$N(e_{\max}) = H_1 \cos \alpha'_0 + q_1 (R + d_0) \sin^2 \alpha'_0 - q_2 \left[R_2 (1 - \cos \alpha'_0) + \right. \\ \left. + \frac{2}{3} d_0 \right] \cos \alpha'_0 - \frac{\sigma_{\max}}{2h} R^2 (1 - \cos \alpha'_0)^2 \cos \alpha'_0. \quad (30)$$

Jeżeli na podstawie wzoru (29) zostanie stwierdzone, że $d > d_0$, wówczas obliczanie sklepienia należy przeprowadzić powtórnie, przy nowej jego grubości równej lub większej od d , względnie przy większej strzałce sklepienia, albo przy przyjęciu grubości sklepienia $d > d_0$ i przy zwiększonej strzałce sklepienia, tj. większej od $0,6 l_1$, a mniejszej lub równej l_1 . W przypadku stwierdzenia, że zachodzi zależność 19' określona w punkcie 3.1c, wówczas można przyjąć, że $e_{\max} \approx \frac{d}{6}$, a grubość sklepienia ustalić na podstawie wzoru (31)

$$d = \frac{2N}{k_c} < d_0, \quad (31)$$

gdzie

N - równa się wielkości $N(e_{\max})$ wyliczonej za pomocą wzoru (30).

3.2. Obliczanie murów prostych

Przy obliczaniu wytrzymałości muru prostego uwzględnia się oddziaływanie na niego łuku sklepieniowego; sposób obliczeń przedstawiono w niżej podanych punktach: a, b, c.

a. Wyznacza się w murze prostym maksymalną wielkość momentu gnącego M'_{\max} z wzoru (32) przy przyjęciu układu współrzędnych jak na rys. 4 i po wyznaczeniu wielkości mimośrodów w węzłowie sklepienia za pomocą zależności (33)

$$M_x = H_2 \left[x - \left(\frac{d}{2} + e \right) \cos \alpha_0 \right] - Q_0 \cdot e_w - \frac{q_2 x^2}{2} - G_{\max} \left[\left(1 - \frac{x}{h''} \right) \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3h''} \right], \quad (32)$$

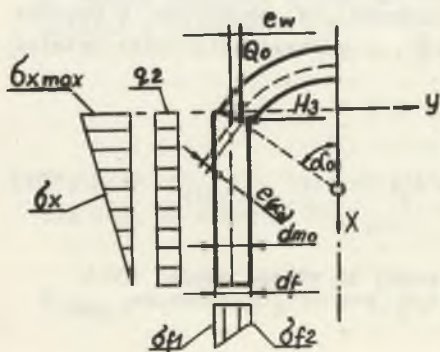
gdzie

x - odpowiednia wartość odciętej,
 q_0 - obciążenie od strony górotworu

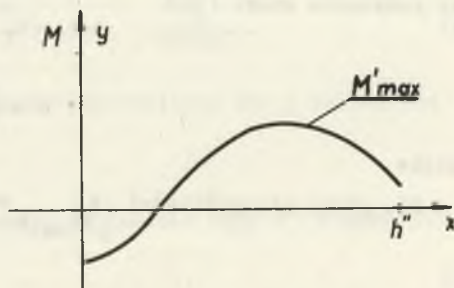
$$Q_0 = q_1 \cdot (1 + d_{m_0}) \quad (33')$$

$$e_w = e \cdot \sin \alpha_0 + \frac{d_{m_0} - d \sin \alpha_0}{2}. \quad (33'')$$

Wielkość d_{m_0} w powyższych zależnościach należy ustalić zgodnie z wyrażeniem (8) w stosunku do wartości d lub d_0 - zależnie od ustalonej grubości sklepienia.



Rys. 4. Elementy wymiarowe i układ współrzędnych dla muru prostego oraz jego aktywne i bierne obciążenie od strony górotworu



Rys. 5. Wykres obrazujący przebieg momentów gnących w murze prostym

Wartość H_2 występująca we wzorze (32) ustala się z zależności (34)

$$H_2 = H_1 - q_2 \left(h' + \frac{2d}{3} \right) - \frac{\sigma_x \max h'}{2}. \quad (34)$$

Maksymalną wielkość M_{\max} najlepiej wyznaczyć graficznie (rys. 5) obliczając wartość M_x dla kilku punktów w otoczeniu połowy wysokości muru prostego, względnie ze wzoru (31) wstawiając w miejsce x , wielkość x_0 , przy której pierwsza pochodna $\frac{dM}{dx} = 0$.

b. Wyznacza się maksymalną wielkość mimośrodów w murze prostym e_{\max}

$$e_{\max} = \frac{M_{\max}}{Q_0 + Q_m}, \quad (35)$$

gdzie

Q_m - ciężar muru prostego w miejscu M_{\max} .

c. Wyznacza się grubość muru prostego - d_m

$$d_m = 2 \left(\frac{2Q_0 + Q_m}{3k_c} + e_m \right) \leq d_{m_0}. \quad (36)$$

Jeżeli na podstawie wzoru (36) $d_m > d_{m_0}$, wówczas należy przyjąć mury proste o większej grubości i powtórzyć dla nich podany sposób obliczeń, względnie można zaprojektować obudowę murową o kształcie owalnym.

4. Zakończenie

W pracy podano nowy sposób obliczania i projektowania górniczych obudów murowych w wyrobiskach korytarzowych i komorowych ze sklepieniem opartym na prostych murach przyociosowych.

Za pomocą podanych w pracy wzorów można obliczyć wielkości sił wewnętrznych w obudowie, położenie linii ciśnień, wielkości naprężeń ściskających oraz grubość obudowy murowej. Metoda obliczeń jest przybliżona, lecz bardziej dokładna od przybliżonych metod dotychczasowych. Uwzględnia pracę sklepieniowych obudów murowych przy symetrycznym i równomiernym ich obciążeniu. Nie mniej jednak podane w pracy zasady postępowania można (na podstawie badań przeprowadzonych w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni) zastosować również w przypadku obudów przy niesymetrycznym i nierównomiernym ich obciążeniu od strony górotworu, jak również przy obudowach murowych o innych kształtach. Sposób obliczania sklepieniowych obudów murowych o innych kształtach i różnych sposobach ich obciążenia zostanie przedstawiony w dalszych opracowaniach.

LITERATURA

1. Borecki M., Chudek M., Szczepaniak Z.: "Projektowanie i zabezpieczenie górniczej obudowy murowej", Wyd. Śląsk - Katowice 1969.
2. Szczepaniak Z.: "Stan naprężeń w sklepieniach obudów murowych wyrobisk korytarzowych". Praca doktorska.

ВЫЧИСЛЕНИЕ КРЕПИ КАМЕРНЫХ ВЫРАБОТОК ВЫРАБОТОК
С УЧЕТОМ ЕЕ СОТРУДНИЧЕСТВА С ГОРНЫМИ ПОРОДАМИ

Резюме

В работе представлен новый способ вычисления сводчатой стеной крепи применяемой в горных выработках.

При вычислениях принято во внимание взаимодействие горных пород на крепь и крепи на окружающие ее породы.

THE DETERMINATION OF SUPPORTS OF CHAMBER-LIKE WORKINGS
IN COAL-MINES, TAKING INTO ACCOUNT THE CO-OPERATION OF ROCK

Summary

The paper represents a new way of determining the brick-work roof supports, as applied in chamber-shaped mining workings. In these calculations there has been taken into account the mutual co-operation of the rock upon the support and vice versa.