

Alicja PODGÓRSKA - STEFANIK

CIŚNIENIE GÓROTWORU NA OBUDOWĘ WYROBISKA KORYTARZOWEGO

Streszczenie. W pracy podano sposób określania wielkości strefy plastycznej wokół wyrobiska korytarzowego o przekroju eliptycznym przy występowaniu w górotworze naprężenia pionowego p_z większego od poziomego p_x i obciążenia obudowy od strony stropu p_s , ociosów p_b i spagu p_o . Przedstawiono sposób obliczania przemieszczenia obudowy przy stropie, ociosach i spagu wyrobiska.

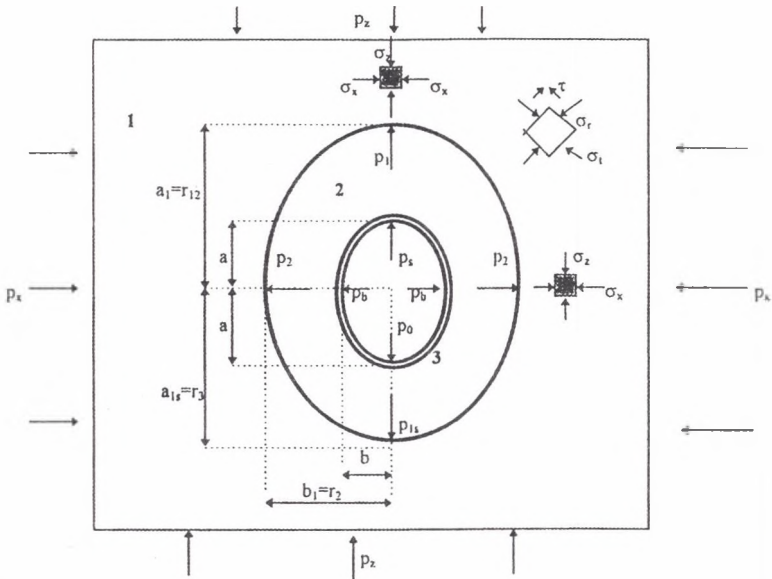
THE PRESSURE OF THE OROGEN ON THE LINING OF DOG HEADINGS

Summary. The paper presents a method of determining the size of the plastic zone around a dog heading with an elliptical cross-section in the case of vertical pressure p_z , the horizontal stress p_x and the pressure p_s on the lining exerted by the roof, the side walls p_b and floor p_o . A way of calculating the displacement of the lining at the roof, the side walls and the floor of the heading has been suggested.

1. Wstęp

W znacznej odległości od wyrobiska występują naprężenia pionowe p_z i naprężenie poziome p_x . Naprężenie pionowe jest znacznie większe od poziomego. Przy określaniu obciążenia obudowy wyrobiska [1], [4], [5] przyjęty został ośrodek sprężysto-plastyczno-spekany dla tzw. kołowo-symetrycznego obciążenia, przy którym $p_z=p_x$. Taki sposób stanowi znaczne uproszczenie przy ustalaniu obciążenia pionowego obudowy w wyrobisku i nie pozwala określić obciążenia bocznego obudowy w wyrobisku. W takiej sytuacji w pracy podjęto próbę uwzględnienia wpływu naprężenia p_x , p_z na obciążenie obudowy i wielkość przemieszczenia stropu, ociosu i spagu wyrobiska o przekroju eliptycznym.

2. Określenie naprężeń w kierunkach głównych chodnika o przekroju eliptycznym w strefie sprężystej



Rys. 1. Schemat obliczeniowy wyrobiska o przekroju eliptycznym: 1 - strefa sprężysta, 2 - strefa plastyczna, 3 - obudowa

Fig. 1. The scheme of calculating dog headings with an elliptical cross-section: 1 - elastic zone, 2 - plastic zone, 3 - lining

Przebieg naprężeń wokół wyrobiska o przekroju eliptycznym bez obudowy w strefie sprężystej został przedstawiony m.in. w pracy [2].

Wzory na naprężenia w kierunkach głównych [2] mają postać:

dla stropu i spągu

$$\sigma_z = 0 \quad \sigma_x = \sigma_{x\max} = p_x \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot a_1}{b_1} \right) - p_z \quad (1)$$

dla ociosów

$$\sigma_x = 0 \quad \sigma_z = \sigma_{z\max} = p_z \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot b_1}{a_1} \right) - p_x \quad (2)$$

Gdy naprężenia te przekroczą wielkości graniczne, powstaje wokół wyrobiska strefa plastyczna (spękań). Aby określić wielkość strefy plastycznej, zachodzi potrzeba wykorzystania kryterium wyężeniowego. Na granicy stref występuje stan graniczny, który po przekształceniu przyjmuje postać:

$$\sigma_1 = \sigma_2 \cdot A + R_c \quad (3)$$

gdzie:

σ_1 - naprężenie największe w kierunku głównym,

σ_2 - naprężenie najmniejsze w kierunku głównym,

R_c - wytrzymałość na ściskanie,

A - współczynnik parcia bocznego,

$$A = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

φ - kąt tarcia wewnętrznego.

W kierunkach głównych na granicy strefy sprężystej i plastycznej równania opisujące stan graniczny mają postać:

nad stropem wyrobiska

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \sigma_2 = p_1 \\ \sigma_x &= \sigma_1 = p_x + 2 \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot (p_x - p_2) - (p_z - p_1) = p_1 \cdot A + R_{cg1} \end{aligned} \quad (4)$$

obok ociosów wyrobiska

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_2 = p_2 \\ \sigma_z &= \sigma_1 = p_z + 2 \cdot \frac{b_1}{a_1} \cdot (p_z - p_1) - (p_x - p_2) = p_2 \cdot A + R_{cg2} \end{aligned} \quad (5)$$

pod spagiem wyrobiska

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \sigma_2 = p_1 \\ \sigma_x &= \sigma_1 = p_x + 2 \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot (p_x - p_2) - (p_z - p_1) = p_{1s} \cdot A + R_{cg3} \end{aligned} \quad (6)$$

gdzie:

p_z - naprężenia pionowe w kierunku osi z,

p_x - naprężenia poziome w kierunku osi x,

$2a_1$ - wysokość elipsy strefy plastycznej,

$2b_1$ - szerokość elipsy strefy plastycznej,

p_1 - ciśnienie (naprężenie) oddziaływania strefy plastycznej łącznie z obudową p_s na strefę sprężystą w pionie,

p_2 - ciśnienie (naprężenie) oddziaływania strefy plastycznej łącznie z obudową p_b na strefę sprężystą w poziomie,

p_{1s} - ciśnienie (naprężenie) oddziaływania strefy plastycznej łącznie z obudową p_0 na strefę sprężystą poniżej spągu wyrobiska,

R_{cg1} - wytrzymałość na ściskanie skał w masywie stropu wyrobiska,

R_{cg2} - wytrzymałość na ściskanie skał w masywie ociosu wyrobiska,

R_{cg3} - wytrzymałość na ściskanie skał w masywie spągu wyrobiska.

Wielkości $\frac{a_1}{b_1} = f$ oraz $\frac{p_2}{p_1} = g$ można określić po rozwiązaniu równań (4), (5), (6)

podstawiając $B = \frac{p_x}{p_z}$ i wówczas otrzymuje się:

$$f = \frac{p_1 \cdot (A - 1) + p_z \cdot (1 - B) + R_{cg1}}{2 \cdot B \cdot p_z - 2 \cdot g \cdot p_1} \quad (7)$$

$$g = \frac{[p_z \cdot (1 - B) - R_{cg2}] \cdot [p_1 \cdot (A - 1) + p_z \cdot (1 - B) + R_{cg1}] + 4 \cdot B \cdot p_z \cdot (p_z - p_1)}{4 \cdot p_1 \cdot (p_z - p_1) + p_1 \cdot (A - 1) \cdot [p_1 \cdot (A - 1) + p_z \cdot (1 - B) + R_{cg1}]} \quad (8)$$

W podobny sposób można określić wielkości $\frac{a_{1s}}{b_1} = f_1$ oraz $\frac{p_2}{p_{1s}} = g_1$ ze wzorów (7), (8)

podstawiając za R_{cg1} wytrzymałość na ściskanie skał spągowych R_{cg3} .

Zależności (4), (5), (6), (7), (8) wykorzystano przy określaniu zasięgu strefy plastycznej wokół wyrobiska i wymaganej podporności obudowy.

3. Określenie naprężeń w kierunkach głównych chodnika w strefie plastycznej i wpływu podporności obudowy na wielkość strefy plastycznej

W strefie plastycznej rozpatruje się naprężenia i warunek równowagi w kierunkach głównych analogicznie jak w strefie sprężystej.

Dla kierunków głównych warunek równowagi jest podobny do wynikającego z osiowo-symetrycznego rozkładu naprężenia i wyraża się równaniem [4], [5]:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_b}{r} + \gamma = 0 \quad (9)$$

gdzie:

σ_r - naprężenia radialne,

σ_b - naprężenia obwodowe,

r - odległość rozpatrywanego punktu względem osi wyrobiska,

γ - siła masowa.

Występujące naprężenia σ_r , σ_b w strefie plastycznej w kierunkach głównych naprężeń zastąpiono naprężeniami σ_x , σ_z (rys.1), zakłada się, że jest spełniony warunek podany równaniem (3), z tym jednak że w strefie plastycznej w wyniku spękań występuje tzw. resztkowa wytrzymałość na ściskanie R , którą oznaczono dla skały: stropowej R_1 , ociosowej R_2 , spagowej R_3 .

Warunek stanu plastycznego w tej strefie określony jest równaniem:

$$\sigma_t = A \cdot \sigma_r + R \quad (10)$$

Po podstawieniu równania (10) do (9) uzyskano:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = \frac{\sigma_r \cdot (A-1) + R}{r} + \gamma \quad (11)$$

Równanie (11) rozwiązano metodą uzmiennienia stałej i otrzymano:

$$\sigma_r = \frac{\gamma \cdot r}{A-2} - \frac{R}{A-1} + C_1 \cdot \gamma^{A-1} \quad (12)$$

Występującą w równaniu (12) stałą C_1 wyznaczono z warunku, że naprężenie na granicy stref odpowiadające ciśnieniu strefy sprężystej na plastyczną jest równe oddziaływaniu strefy plastycznej, i wówczas uzyskano:

dla stropu: $\sigma_r = p_1$; $r = a_1$; $\gamma = \gamma_s$; $R = R_1$

$$C_1 = \frac{p_1}{a_1^{A-1}} - \frac{\gamma_s}{(A-2) \cdot a_1^{A-2}} + \frac{R_1}{(A-1) \cdot a_1^{A-1}} \quad (13)$$

dla spagu: $\sigma_r = p_{1s}$; $r = a_{1s}$; $\gamma = \gamma_0$; $R = R_3$

$$C_1 = \frac{p_{1s}}{a_{1s}^{A-1}} + \frac{\gamma_0}{(A-2) \cdot a_{1s}^{A-2}} + \frac{R_3}{(A-1) \cdot a_{1s}^{A-1}} \quad (14)$$

dla ociosów: $\sigma_r = p_2$; $r = b_1$; $\gamma = 0$; $R = R_2$

$$C_1 = \frac{p_2}{b_1^{A-1}} + \frac{R_2}{(A-1) \cdot b_1^{A-1}} \quad (15)$$

Na obrysie wyrobiska występuje ciśnienie strefy plastycznej na obudowę od strony stropu, ociosów, spagu. Wielkość tego ciśnienia można obliczyć podstawiając do równania (12) stałe określone zależnościami (13), (14), (15) przy równoczesnym wykorzystaniu równań (4), (5), (6), (7), (8). Wykorzystując równanie (12) i stałe ujęte zależnościami (13), (14), (15) oraz podstawiając wymiary wyrobiska uzyskano:

ciśnienie od stropu na obudowę dla $r=a$; $\sigma_r=p_s$

$$p_s = p_1 \cdot \left(\frac{a}{a_1}\right)^{A-1} + \frac{a \cdot \gamma_s}{A-2} \cdot \left[1 - \left(\frac{a}{a_1}\right)^{A-2}\right] - \frac{R_1}{A-1} \cdot \left[1 - \left(\frac{a}{a_1}\right)^{A-1}\right] \quad (16)$$

ciśnienie od spągu na obudowę

$$p_0 = p_{1s} \cdot \left(\frac{a}{a_{1s}}\right)^{A-1} + \frac{a \cdot \gamma_0}{A-2} \cdot \left[1 - \left(\frac{a}{a_{1s}}\right)^{A-2}\right] - \frac{R_3}{A-1} \cdot \left[1 - \left(\frac{a}{a_{1s}}\right)^{A-1}\right] \quad (17)$$

ciśnienie od ociosów na obudowę

$$p_b = p_2 \cdot \left(\frac{b}{b_1}\right)^{A-1} - \frac{R_2}{A-1} \cdot \left[1 - \left(\frac{b}{b_1}\right)^{A-1}\right] \quad (18)$$

Aby określić położenie strefy plastycznej w kierunkach głównych (a_1 , a_{1s} , b_1) przy danych jednostkowych obciążeniach roboczych obudowy podatnej od strony: stropu p_s , spągu p_0 , ociosów p_b , przyrównano wzory (16) i (18) oraz wzory (17) i (18) i przekształcono uzyskując:

$$\frac{a_1}{b_1} = \frac{a}{b} \cdot A^{-1} \sqrt{\frac{\left(p_b + \frac{R_2}{A-1}\right) \cdot \left(p_1 - \frac{\gamma \cdot a_1}{A-2} + \frac{R_1}{A-1}\right)}{\left(g \cdot p_1 + \frac{R_2}{A-1}\right) \cdot \left(p_s - \frac{\gamma \cdot a}{A-2} + \frac{R_1}{A-1}\right)}} \quad (19)$$

$$\frac{a_{1s}}{b_1} = \frac{a}{b} \cdot A^{-1} \sqrt{\frac{\left(p_b + \frac{R_2}{A-1}\right) \cdot \left(p_{1s} - \frac{\gamma \cdot a_{1s}}{A-2} + \frac{R_3}{A-1}\right)}{\left(g_1 \cdot p_{1s} + \frac{R_2}{A-1}\right) \cdot \left(p_0 - \frac{\gamma \cdot a}{A-2} + \frac{R_3}{A-1}\right)}} \quad (20)$$

Tak określone zależności przyrównano do uprzednio wyprowadzonych (7), (8), z których można obliczyć p_1 , p_{1s} , a następnie wielkości $f = \frac{a_1}{b_1}$; $g = \frac{p_2}{p_1}$; $f_1 = \frac{a_{1s}}{b_1}$; $g_1 = \frac{p_2}{p_{1s}}$,

zakładając w przybliżeniu, że $\frac{\gamma \cdot a_1}{A-2} \approx \frac{\gamma \cdot a}{A-2}$ oraz $\frac{\gamma \cdot a_{1s}}{A-2} \approx \frac{\gamma \cdot a}{A-2}$, a następnie w drugim przybliżeniu podstawiając obliczoną wielkość a_1 i a_{1s} i ponownie przeprowadzając obliczenia.

Obliczone wielkości f_1 i g w pierwszym przybliżeniu podstawiono do wzoru (18) i po przekształceniu otrzymano:

$$b_1 = b \cdot A^{-1} \sqrt{\frac{g \cdot p_1 + \frac{R_2}{A-1}}{p_b + \frac{R_2}{A-1}}} \quad (21)$$

Wielkość b_1 wykorzystano przy obliczeniu $a_1 = a_{1II} = b_1 \cdot f$ oraz $a_{1sII} = b_{1I} \cdot f_{1I}$. Tak określone wielkości a_{1I} , a_{1sI} wykorzystano w drugim przybliżeniu przy obliczaniu $p_1 = p_{1II}$ podstawiając $a_1 = a_{1I}$ oraz $a_{1s} = a_{1sI}$, a następnie $f = f_I$, $f_1 = f_{1I}$, $g_1 = g_{1I}$. W oparciu o wyznaczone wielkości $p_1 = p_{1II}$, $f = f_I$, $f_1 = f_{1I}$, $g = g_{1I}$, $g_1 = g_{1I}$ w drugim przybliżeniu obliczono rzeczywiste wielkości $b_1 = b_{1II}$ ze wzoru (21), a następnie $a_{1II} = b_{1II} \cdot f_I$; $a_{1sII} = b_{1II} \cdot f_{1I}$.

4. Określenie przemieszczeń strefy plastycznej w kierunkach głównych

Na kontakcie strefy sprężystej z plastyczną występuje graniczny stan naprężenia, który dla kierunków głównych określony jest równaniami (4), (5), (6). Celem obliczenia odkształceń na granicy stref przyjęto uproszczony model łączący stan graniczny jednoosiowego ściskania z trójosiowym o postaci:

$$\varepsilon = \frac{R_{cg} + p_1 \cdot A}{E_g} = \left(1 + \frac{A \cdot p_1}{R_{cg}}\right) \cdot \varepsilon_g \quad (22)$$

gdzie:

E_g - moduł graniczny,

ε_g - odkształcenie odpowiadające próbie jednoosiowego ściskania skały przy naprężeniach

$$\sigma = R_c.$$

W nawiązaniu do kierunków głównych wzory, z których obliczono przemieszczenia, posiadają postać:

powyżej stropu wyrobiska dla a_1 , p_1 , R_{cg1} , ε_{g1}

$$U_1 = \left(1 + \frac{A \cdot p_1}{R_{cg1}}\right) \cdot \varepsilon_{g1} \cdot a_1 \quad (23)$$

obok ociosów wyrobiska dla b_1 , p_2 , R_{cg2} , ε_{g2}

$$U_2 = \left(1 + \frac{A \cdot p_2}{R_{cg2}}\right) \cdot \varepsilon_{g2} \cdot b_1 \quad (24)$$

poniżej spągu wyrobiska dla a_{1s} , p_{1s} , R_{cg3} , ε_{g3}

$$U_3 = \left(1 + \frac{A \cdot p_{1s}}{R_{cg3}}\right) \cdot \varepsilon_{g3} \cdot a_{1s} \quad (25)$$

W wyniku spękań i przemieszczeń skały w strefie plastycznej występuje wzrost objętości, którego średnią wielkość oznaczono jako Θ .

Przemieszczenia obrysu wyrobiska w zależności od wielkości strefy plastycznej i współczynnika wzrostu objętości Θ obliczono z niżej podanych wzorów:

dla stropu wyrobiska

$$U_s = a - \sqrt{a^2 - 2 \cdot a_1 \cdot U_1 - \Theta \cdot (a_1^2 - a^2)} \quad (26)$$

dla ociosów wyrobiska

$$U_b = b - \sqrt{b^2 - 2 \cdot b_1 \cdot U_2 - \Theta \cdot (b_1^2 - b^2)} \quad (27)$$

dla spągu wyrobiska

$$U_o = a - \sqrt{a^2 - 2 \cdot a_{1s} \cdot U_3 - \Theta \cdot (a_1^2 - a^2)} \quad (28)$$

Potrzebne do obliczeń podstawowe parametry geotechniczne, takie jak: odkształcenie graniczne przy ścisaniu ε_g , wytrzymałość na ściskanie skał w masywie R_{cg} , kąt tarcia wewnętrznego skał w masywie φ , określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub przyjmowane z tablic [1], [4], [5] przy uwzględnieniu wpływu na wytrzymałość skał współczynnika osłabienia strukturalnego skał k_0 zależnego od podzielności masywu skalnego i współczynnika rozmakalności skał k_2 . Wytrzymałość na ściskanie w strefie plastycznej górotworu naruszonego (wytrzymałość resztkowa) oznaczoną w stropie R_1 , ociosach R_2 , spągu R_3 przyjmuje się 0,5 do 0,2 wytrzymałości na ściskanie R_{cg} skał w masywie. Współczynnik $0,5R_{cg}$ odnosi się do skał o małej wytrzymałości; $0,35R_{cg}$ do skał o średniej wytrzymałości; $0,2R_{cg}$ do skał o dużej wytrzymałości.

Podany sposób obliczania obciążenia obudowy w wyrobisku korytarzowym dotyczył sytuacji, w której wystąpił przyrost przemieszczenia w czasie istnienia wyrobiska.

LITERATURA

1. Małoszewski J., Mateja J., Rułka K.: Podstawy teoretyczne projektowania i doboru stalowych obudów odrzwiowych dla wyrobisk komorowych i odgałęzień. Praca GIG nr 756. Katowice 1989.
2. Sałustowicz A.: Zarys mechaniki górotworu. Wyd.1. Wyd. „Śląsk”, Katowice 1965.
3. Timoszenko J., Goodier J.N.: Teoria sprężystości. Wyd. „Arkady”, Warszawa 1962.

4. Praca zbiorowa. Przegląd i kierunki rozwoju obudowy wyrobisk korytarzowych i komorowych w kopalniach węgla kamiennego. Prace Naukowe GIG nr 811, Katowice. 1996.
5. BN-82/0434-07: Wyrobiska korytarzowe i komorowe. Obudowa powłokowa. Wytyczne projektowania i obliczeń statycznych.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Alfred Biliński

Wpłynęło do Redakcji 7.10. 1996 r.

Abstract

So far mostly the behaviour of the lining and orogen around dog headings has been prognosticated, both in the plastic and in the elastic zone, assuming a model of a uniform pressure. Making use of equations describing the state of stresses around a heading with an elliptical cross-section in an elastic medium, the paper deals with a way of determining the size of the plastic zone, taking into account the pressure exerted on the lining by the roof, the side walls and the floor. At the boundary of the plastic zones there occurs a boundary state, where in the case of exceeding the strength of the orogen the strength decreases to the so-called residual strength, which has been taken into consideration in the plastic zone. In the plastic zone the volume of the cracked rock is increased, as the rock displaced towards the heading causes a clenching of the lining, which has been expressed analytically.