ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: GÓRNICTWO z. 54 Nr kol. 355

Mgr Kazimierz Koślacz
Doc. dr inż. Walery Szuścik

OKREŚLENIE WIELKOŚCI CIŚNIENIA POTRZEBNEGO DO ROZDRABNIANIA DUŻYCH BLOKÓW SKALNYCH

Streszczenie. W pracy przeprowadzono analizę naprężeń oraz określono wielkość ciśnienia potrzebnego do rozdrabniania dużych bloków skalnych.

1. Wstęp

W wyniku strzelania w kamieniołomach uzyskuje się zbyt duże bloki skalne. Nie zawsze celowym jest ich rozdrabnianie za pomocą materiału wybuchowego, głównie ze względu na duży rozrzut i bhp.

Rozdrabnianie bloków skalnych można dokonać za pomocą ciśnienia statycznego wytworzonego mechanicznie lub hydraulicznie w wywierconych w tychże blokach otworach. Praca ma na celu określenie wielkości potrzebnego ciśnienia w otworze.

Na podstawie wyników uzyskanych dla bloków skalnych walcowych, określono wielkości ciśnienia dla dowolnych kształtów bloku skalnego.

2. Stan naprężenia

Rozpatrując zagadnienie Lamego [1] otrzymano wzory na naprężenia obwodowe i promieniowe wyrażone wzorem (1).

$$\sigma_r = \frac{a^2Pa - b^2Pb}{b^2 - a^2} - \frac{a^2b^2\ (Pa - Pb)}{(b^2 - a^2)\ r^2}$$

$$\sigma_t = \frac{a^2Pa - b^2Pb}{b^2 - a^2} + \frac{a^2b^2\ (Pa - Pb)}{(b^2 - a^2)\ r^2} \tag{1}$$

przy czym:

a - promień wewnętrzny,

b - promień zewnętrzny,

Pa- ciśnienie wewnętrzne,

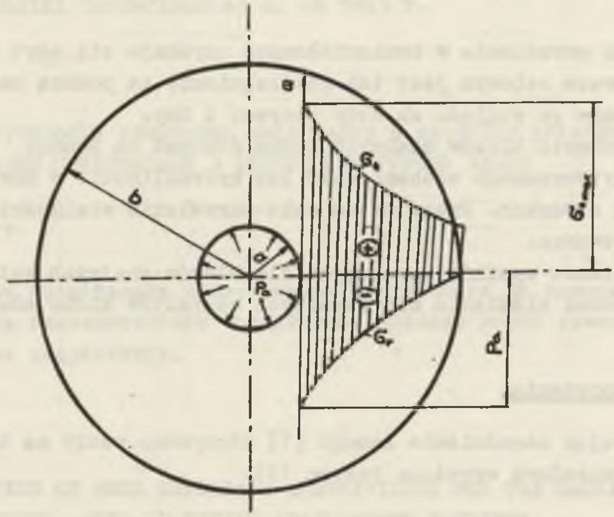
Pb- ciśnienie zewnętrzne

$$a \leqslant r \leqslant b$$

Przyjmując, że Pb = 0, czyli tylko ciśnienie wewnętrzne i podstawiając Pb = 0 do wzorów (1), otrzymamy naprężenia σ_r i σ_t wyrażone w postaci wzorów (2)

$$\left.\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{a^2 Pa}{b^2-a^2}\left(1-\left(\frac{b}{r}\right)^2\right)\\ \sigma_t &= \frac{a^2\ Pa}{b^2-a^2}\left(1+\frac{b^2}{r^2}\right)\end{aligned}\right] \qquad (2)$$

Na rys. 1 przedstawiono wykresy naprężeń σ_r i σ_t.



Rys. 1

Naprężenie promieniowe, jak wynika z otrzymanego rozwiązania, jest stale ujemne.

Naprężenie obwodowe jest stale dodatnie i przyjmuje największą wartość w wewnętrznej skrajnej warstwie rury, osiągając największą wartość, gdy r = a.

$$\sigma_{t_{max}} = \frac{a^2 + b^2}{b^2 - a^2}\,Pa \qquad (3)$$

Naprężenie obwodowe osiąga najmniejszą wartość w zewnętrznej skrajnej warstwie rury i wyraża się wzorem:

$$\sigma_{t_{min}} = \frac{2a^2}{b^2 - a^2}\, Pa \tag{4}$$

Naprężenia główne w dowolnym punkcie przekroju wynoszą:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_t = \frac{a^2 Pa}{b^2 - a^2}\left(1 + \frac{b^2}{r^2}\right) \\ \sigma_2 &= 0 \\ \sigma_3 &= \sigma_r = \frac{a^2\, Pa}{b^2 - a^2}\left(1 - \frac{b^2}{r^2}\right) \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

W przypadku gdy $r = a$ (tzn. wewnętrzna ścianka) naprężenia główne przyjmuje postać wyrażoną wzorami (6).

$$\left.\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_t = \frac{a^2 + b^2}{b^2 - a^2}\, Pa \\ \sigma_3 &= \sigma_r = \frac{a^2 - b^2}{b^2 - a^2}\, Pa \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

3. Studium nad hipotezami wytężeniowymi

Dla określenia czy dany stan naprężenia przekracza wytrzymałość skały, potrzebne są hipotezy wytężeniowe. W związku z tym, że skały są materiałem kruchym, należy stosować hipotezy ważne dla tych materiałów. Taką hipotezą cytowaną w pracach: Burzyńskiego [2] i M.T. Hubera [3] jest hipoteza niezmienników. Hipoteza ta podaje, że o wytężeniu decyduje funkcja niezmienników s i t.

$$W = W(s,t). \tag{7}$$

Niezmienniki stanu naprężenia wynoszą:

$$s = \frac{1}{3}\left(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z\right) \tag{8}$$

$$t = \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_y\sigma_z - \sigma_z\sigma_x + 3\left(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2\right)} \tag{9}$$

W zależności do stosunku niezmienników naprężenia redukowane mają wartości:

$$\left.\begin{array}{c} +\sqrt{2} \leqslant \frac{t}{s} < \infty \\ \text{lub} \\ -\infty < \frac{t}{s} < -\sqrt{2} \\ \sigma_{red} = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{\varkappa+1}{2\varkappa} t + 3 \frac{\varkappa-1}{2\varkappa} s \end{array}\right\} \tag{10}$$

dla

$$\left.\begin{array}{c} 0 \leqslant \frac{t}{s} \leqslant +\sqrt{2} \\ \sigma_{red} = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{1}{\varkappa} + 3 \frac{\varkappa-1}{\varkappa} s \end{array}\right\} \tag{11}$$

dla

$$\left.\begin{array}{c} -\sqrt{2} \leqslant \frac{t}{s} \leqslant 0 \\ \sigma_{red} = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{1}{\varkappa} t \end{array}\right\} \tag{12}$$

Występujący we wzorach tych współczynnik niesymetrii wytrzymałości $\varkappa$ mówi o odpowiedniości naprężeń w jednokierunkowym stanie naprężenia przy ściskaniu σ_c i rozciąganiu σ_r.

$$\sigma_c = \varkappa \sigma_r \tag{13}$$

Niezmienniki stanu naprężenia s i t w składowych głównych stanu naprężenia mają postać:

$$s = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \tag{14}$$

$$t = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 - \sigma_2 \cdot \sigma_3 - \sigma_2 \cdot \sigma_1} \tag{15}$$

Po podstawieniu danych niezmienniki stanu naprężenia przyjmą postać wyrażoną wzorami (16) i (17)

$$s = \frac{1}{3} \left(\frac{a^2 + b^2}{b^2 - a^2} Pa + \frac{a^2 - b^2}{b^2 - a^2} Pa\right) = \frac{1}{3} \left(\frac{2a^2}{b^2 - a^2}\right) Pa \tag{16}$$

$$t = \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{\left(\frac{a^2 - b^2}{b^2 - a^2} Pa\right)^2 + \left(\frac{a^2 + b^2}{b^2 - a^2} Pa\right)^2 - \left[\left(\frac{a^2 - b^2}{b^2 - a^2} Pa\right)\cdot\left(\frac{a^2 + b^2}{b^2 - a^2} Pa\right)\right]} \tag{17}$$

$$t = \frac{\sqrt{2}}{3} Pa \frac{1}{b^2 - a^2}\sqrt{a^4 + 3b^4}$$

Stosunek $\frac{t}{s}$ po podstawieniu danych wyniesie:

$$\frac{t}{s} = \frac{\sqrt{2}}{3} Pa \frac{\sqrt{a^4 + 3b^4}}{b^2 + a^2} \cdot \frac{3(b^2 - a^2)}{2a^2 Pa} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{1 + 3\left(\frac{b}{a}\right)^4} \tag{18}$$

Zależności (11) i (12) nie mogą być stosowane dla materiałów takich jak skały (wobec otrzymania sprzeczności).
Zakładając, że dla skał zachodzi zależność (10)

$$+\sqrt{2} \leqslant \frac{t}{s} < \infty$$

otrzymamy po podstawieniu wzoru (18) zależność:

$$\sqrt{2} \leqslant \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{1 + 3\left(\frac{b}{a}\right)^4} < \infty ,$$

natomiast po wymnożeniu

$$2 \leqslant \sqrt{1 + 3\left(\frac{b}{a}\right)^4} < \infty .$$

Po podniesieniu do kwadratu i uproszczeniu otrzymamy

$$a \leqslant b < \infty ,$$

co jest spełnione w rozpatrywanym przypadku.
Wobec powyższego zgodnie ze wzorem (10) po podstawieniu wzorów (16) i (17) otrzymamy:

$$\sigma_{red} = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{\varkappa+1}{2\varkappa} \frac{\sqrt{2}}{3} Pa \frac{\sqrt{a^4+3b^4}}{b^2 - a^2} + 3\frac{\varkappa-1}{2\varkappa}\frac{1}{3} Pa \frac{2a^2}{b^2-a^2}$$

po uproszczeniu

$$\sigma_{red} = \frac{Pa\, a^2}{2(b^2-a^2)\varkappa}\left[(\varkappa+1)\sqrt{1 + 3\left(\frac{b}{a}\right)^4} + 2(\varkappa-1)\right]. \tag{19}$$

Jeżeli wytrzymałość na rozciąganie oznaczymy przez R_{m_r}, a wytrzymałość na ściskanie R_{m_c}, to zgodnie ze wzorem (13)

$$R_{m_c} = \varkappa R_{m_r} . \qquad (20)$$

Według omawianej hipotezy wytężeniowej skała ulegnie zniszczeniu gdy

$$\sigma_{red} \geqslant R_{m_c} . \qquad (21)$$

Po podstawieniu wzoru (19) i (20) do wzoru (21) otrzymamy dla naprężeń ściskających

$$\sigma_{red} = \frac{Pa\ a^2}{2\varkappa (b^2-a^2)} \left[(\varkappa+1) \sqrt{1 + 3\left(\frac{b}{a}\right)^4} + 2(\varkappa-1) \right] \geqslant R_{mc} . \qquad (22)$$

Ze wzoru (22) określimy wielkość ciśnienia potrzebnego do zapoczątkowania zniszczenia ośrodka (skały) o kształcie cylindra po uwzględnieniu wzoru 20

$$Pa \geqslant R_{m_c}\ 2 \left[\left(\frac{b}{a}\right)^2 - 1 \right] \frac{1}{\sqrt{1 + 3\left(\frac{b}{a}\right)^4} \left[(\varkappa+1) + \frac{2(\varkappa-1)}{\sqrt{1 + 3\left(\frac{b}{a}\right)^4}} \right]} \qquad (23)$$

Przyjmując zmienność stosunków $\frac{b}{a}$ od 1÷50 oraz zakładając $\varkappa$ = 10,20, 30,40,50, [4] na podstawie wzoru (23) obliczono stosunek $\frac{Pa}{R_{m_c}}$, którego wartość podano w tablicy 1 oraz przedstawiono graficznie na rys. 2.

Na rys. 3 przedstawiono krzywą $\frac{Pa}{R_{m_c}}$ i $\varkappa$ przy stałym stosunku $\frac{a}{b}$ = 10, 20,50,100. oraz w tablicy 2.

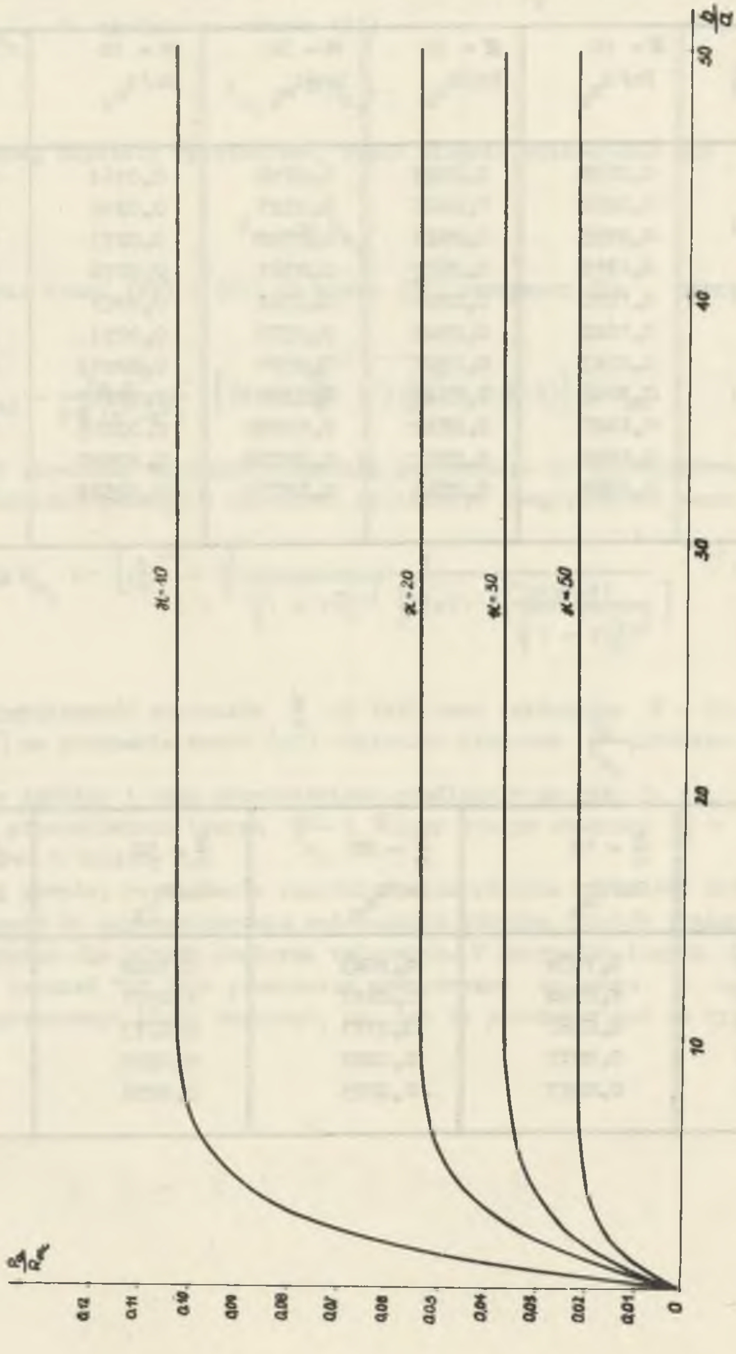
Przedstawione powyżej rozwiązanie zagadnienia określenia wielkości ciśnienia potrzebnego do zapoczątkowania zniszczenia ośrodka (bloków skalnych) jest wyprowadzone dla bloków skalnych walcowych. W przypadku innych bloków skalnych promień "b" jest promieniem wewnętrznym wpisanym w zarys przekroju poprzecznego bloku skalnego, np. jak to przedstawiono na rys.4.

Tabela 1

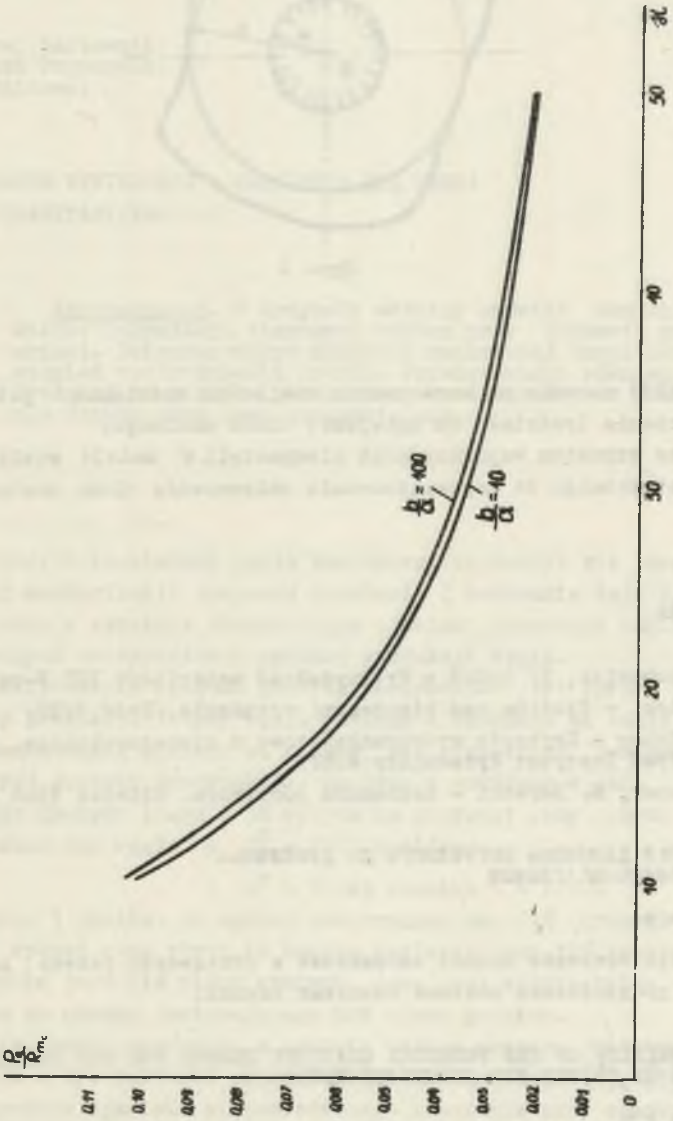
$\frac{b}{a}$	$\varkappa = 10$ Pa/R_{m_c}	$\varkappa = 30$ Pa/R_{m_c}	$\varkappa = 30$ Pa/R_{m_c}	$\varkappa = 40$ Pa/R_{m_c}	$\varkappa = 50$ Pa/R_{m_c}
2	0,0632	0,0325	0,0218	0,0164	0,01680
4	0,0928	0,0485	0,0327	0,0249	0,01985
6	0,0995	0,0520	0,0342	0,0273	0,02188
8	0,1019	0,0532	0,0361	0,0276	0,02198
10	0,1030	0,0540	0,0367	0,0277	0,02218
15	0,1042	0,0545	0,0370	0,0254	0,02246
20	0,1043	0,0547	0,0371	0,02812	0,02252
30	0,1044	0,0549	0,0372	0,02813	0,02258
40	0,1047	0,0550	0,03725	0,02815	0,02264
50	0,1048	0,0551	0,03730	0,02820	0,02265
100	0,1050	0,0555	0,03733	0,02824	0,02266

Tabela 2

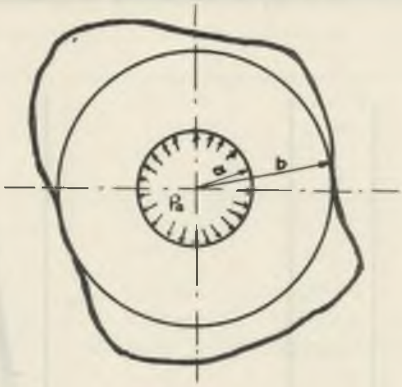
$\varkappa$	$\frac{b}{a} = 10$ Pa/R_{m_c}	$\frac{b}{a} = 20$ Pa/R_{m_c}	$\frac{b}{a} = 50$ Pa/R_{m_c}	$\frac{b}{a} = 100$ Pa/R_{m_c}
10	0,1030	0,1043	0,1048	0,10500
20	0,0540	0,0547	0,0551	0,05550
30	0,0367	0,0371	0,0373	0,03733
40	0,0277	0,0281	0,0282	0,02824
50	0,0222	0,0225	0,0226	0,02266


0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10
0.11
0.12
10
20
30
40
50
æ=10
æ=20
æ=30
æ=50

Rys. 2


$\frac{b}{a} = 400$
$\frac{b}{a} = 40$
10
20
30
40
50
0
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
0,06
0,07
0,08
0,09
0,10
0,11

Rys. 3



Rys. 4

Wnioski

1. Wzór (23) pozwala na oszacowanie wielkości ciśnienia potrzebnego do zniszczenia (podziału na mniejsze) bloku skalnego.
2. Wraz ze wzrostem współczynnika niesymetrii $\varkappa$ maleje wielkość ciśnienia potrzebnego do zapoczątkowania zniszczenia bloku skalnego.

LITERATURA

1 A. Jakubowicz, Z. Orłoś - Wytrzymałość materiałów WNT W-wa 1968.

2 Burzyński - Studium nad hipotezami wytężenia, Lwów 1928.

3 M.T. Huber - Kryteria wytrzymałościowe w stereomechanice technicznej, W-wa 1948 Instytut Wydawniczy SIMP.

4 M. Chudek, M. Borecki - Mechanika górotworu. Gliwice 1968 Pol. Śląska.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПОТРЕБНОГО ДО ДРОБЛЕНИЯ БОЛЬШИХ СКАЛЬНЫХ ГЛЫБОВ

Р е з ю м е

В статье проведён анализ напряжений и определено размер давления потребного до дробления больших скальных глыбов.

THE DETERMINING OF THE PREASURE QUANTITY NEEDED FOR THE PRELIMINARY BREALLING UP OF THE BIG BLOCKS OF ROCK

S u m m a r y

In the paper the analisi of the stress had been given and the quantity necersary for the preliminary brealling up of the big blockes of rock has been alefined.