ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: GÓRNICTWO z. 52 Nr kol. 332

Walery Szuścik

OKREŚLENIE MOŻLIWOŚCI WYSTĄPIENIA TĄPAŃ Z PUNKTU WIDZENIA HIPOTEZ WYTĘŻENIOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono definicję tąpań opartą o hipotezę wytężeniową oraz określono warunki przy jakich wystąpi tąpnięcie.

1. Wstęp

Tąpania, będące jednym z niebezpieczeństw występujących w kopalniach, definiowane są w sposób opisowy.

W pracy niniejszej przedstawiono definicję tąpań opartą o rozważania własne nad wytężeniem skały w czasie tąpania. W dalszym ciągu pracy starano się przedstawić warunki, jakie muszą zaistnieć, aby tąpanie mogło wystąpić. Autor czułby się w pełni usatysfakcjonowany, gdyby niniejsza praca przyczyniła się do lepszego poznania i prognozowania tąpań, a w związku z tym przyczyniła się do zmniejszenia ilości wypadków górniczych.

2. Definicja tąpania

Znane definicje tąpań mówią o tym zjawisku jedynie w sposób opisowy podając, że jest to zjawisko przekroczenia wytrzymałości skały, przy którym następuje jej wyrzut do wyrobiska. Dla przykładu Witold Parysiewicz w pracy "Tąpania" [1] podaje na stronie 7 definicję:
"Tąpnięcie jest to zaburzenie struktury skały pod wpływem ciśnienia przekraczającego jej wytrzymałość na ściskanie, a objawiające się nagłym i momentalnym zruszeniem skał w kierunku wyrobiska".
Studium między innymi tej pracy, podającej przyczyny występowania tąpań (pośrednie i bezpośrednie) jak i sposoby unikania lub osłabiania skutków tąpań, pozwoliło autorowi na rozwinięcie i uściślenie definicji tąpania.
Podzielmy skałę wokół wyrobiska na objętości:

1. Objętość skały przylegającą bezpośrednio do odkrytych powierzchni wyrobiska;
2. Objętość skały znajdującą się w dalszej odległości od wyrobiska;
3. Objętość skały znajdującą się w dalekiej odległości od wyrobiska.

W trakcie wybierania kopalin następuje przechodzenie objętości trzeciej w drugą, a drugiej w pierwszą; pierwsza staje się urobkiem lub zawałem.

Powstanie stanu naprężeń przekraczającego wytrzymałość skał tylko w objętości pierwszej spowoduje jej zruszenie. W dalszej objętości skały, w której występował trójkierunkowy stan naprężenia (staje się ona pierwszą objętością skały), mogą przy jej przejściu w nowy stan naprężenia (w szczególności dwukierunkowy) wystąpić dwa przypadki stanu naprężenia:

a) nie przekraczający wytrzymałości skały,

b) przekraczający wytrzymałość skały.

W przypadku (b) następuje tąpnięcie.

Wobec powyższego tąpnięcie zdefiniowano:

"Tąpnięcie jest to zburzenie struktury skały pod wpływem naprężenia przekraczającego wytrzymałość skały przylegającej do odkrytych powierzchni wyrobiska przy istnieniu dalszych objętości skał, w których przy przejściu z trójkierunkowego stanu naprężenia w dwukierunkowy następuje przekroczenie ich wytrzymałości, co objawia się nagłym i monomentalnym zruszeniem skał w kierunku wyrobiska".

3. Hipotezy wytężeniowe

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

$$W = W(s, t) \tag{1}$$

Niezmienniki te wynoszą:

$$s = \frac{1}{3} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \tag{2}$$

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

W zależności od stosunku niezmienników naprężenia redukowane mają wartości:

dla:

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

oraz:

$$\left.\begin{aligned} -\infty < \frac{t}{s} < -\sqrt{2} \\ \sigma_{red} = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{\varkappa+1}{2\varkappa} \cdot t + 3 \frac{\varkappa-1}{2\varkappa} \cdot s \end{aligned}\right| \tag{4}$$

dla:

$$\left.\begin{aligned} &0 \leqslant \frac{t}{s} \leqslant +\sqrt{2} \\ &\sigma_{red} = \frac{3}{\sqrt{2}}\frac{1}{\varkappa} + 3\,\frac{\varkappa-1}{\varkappa}\,s \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

dla:

$$\left.\begin{aligned} &-\sqrt{2} \leqslant \frac{t}{s} \leqslant 0 \\ &\sigma_{red} = \frac{3}{\sqrt{2}}\frac{1}{\varkappa}\,t \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

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

$$\sigma_c = \varkappa\sigma_r \tag{7}$$

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

$$s = \frac{1}{3}\left(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3\right) \tag{8}$$

$$t = \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1} \tag{9}$$

Naprężenia główne w górotworze są w zasadzie naprężeniami ujemnymi, a napewno ich suma $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ będzie ujemna, przeto w górotworze w związku z tym, że $s < 0$ a $t > 0$

$$\frac{t}{s} = < 0 \tag{10}$$

W związku z tym wzór (5) oraz przypadek pierwszy wzoru (4) nie ma zastosowania dla górotworu.

Zakładając, że dla górotworu zachodzi zależność (6):

$$-\infty \leqslant \frac{t}{s} \leqslant -\sqrt{2}$$

otrzymamy po podstawieniu wzorów (8) i (9) zależność:

$$-\infty \leqslant \frac{\sqrt{2}\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1}}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3} \leqslant -\sqrt{2}$$

zaś po wymnożeniu

$$+\infty \geqslant \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1} \geqslant -(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

Po podniesieniu do kwadratu i uproszczeniu otrzymamy:

$$-3(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_3\sigma_2 + \sigma_3\sigma_1) \geqslant 0$$

Wobec otrzymania sprzeczności zależność (6) nie wystąpi w górotworze.
Zakładając, że dla górotworu zachodzi zależność

$$-\sqrt{2} \leqslant \frac{t}{s} \leqslant 0$$

otrzymamy po podstawieniu wzorów (8) i (9)

$$-\sqrt{2} \leqslant \frac{\sqrt{2}\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1}}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3} \leqslant 0$$

Po wymnożeniu:

$$-(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \geqslant \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1} \geqslant 0$$

Po podniesieniu do kwadratu i przekształceniu otrzymamy ostatecznie

$$3\sigma_1\sigma_2 + 3\sigma_2\sigma_3 + 3\sigma_3\sigma_1 \geqslant 0 \geqslant -\sigma_1^2 - \sigma_2^2 - \sigma_3^2 + \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1,$$

co jest spełnione dla górotworu.
Wobec powyższego zgodnie ze wzorem (6) po podstawieniu wzoru (3)

$$\sigma_{red} = \frac{1}{\varkappa}\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_y\sigma_z - \sigma_z\sigma_x + 3(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2)} \quad (11)$$

Zaś przy stanie naprężenia wyrażonym za pomocą składowych głównych:

$$\sigma_{red} = \frac{1}{\varkappa}\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1}. \quad (12)$$

Jeżeli wytrzymałość na rozciąganie oznaczymy R_{m_r}, a wytrzymałość na ściskanie R_{m_c}, to zgodnie ze wzorem (7)

$$R_{m_c} = \varkappa \cdot R_{m_r}. \tag{13}$$

Według omawianej hipotezy wytężeniowej skała ulegnie zniszczeniu, gdy

$$\sigma_{red} \geqslant R_{m_c} \tag{14}$$

Po podstawieniu wzoru (11) i (13) do wzoru (14) otrzymamy dla naprężeń ściskających:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_y\sigma_z - \sigma_z\sigma_x + 3(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2)} \geqslant R_{m_c} \tag{15}$$

lub w składowych głównych:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_z - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1} \geqslant R_{m_c} \tag{16}$$

4. Warunki wystąpienia tąpnięcia

Zgodnie z przyjętą definicją tąpania, aby nastąpiło tąpnięcie muszą być spełnione dwa warunki:

a) w pierwszej objętości skały

$$\sigma_{red_p} \geqslant Rm_c, \tag{17}$$

b) w drugiej objętości skały musi być spełniony warunek, że po przejściu w dwukierunkowy stan naprężenia

$$\sigma_{red_d} \geqslant Rm_c. \tag{18}$$

Razem więc warunek wystąpienia tąpnięcia może być przedstawiony zależnością:

$$\sigma_{red_d} \geqslant \sigma_{red_p} \geqslant Rm_c \tag{19}$$

5. Przedstawienie stanu naprężenia występującego w górotworze

a. Stan naprężenia w pierwszej objętości skał

Stan naprężenia w tej objętości jest określony za pomocą składowych głównych:

$$0,\ \sigma_{2p},\ \sigma_{3p},\ 0,\ 0,\ 0 \tag{20}$$

przy czym:

$$\sigma_{2p} = \alpha\,\sigma_{3p} \tag{21}$$

gdzie:

α – współczynnik parcia bocznego przy dwukierunkowym stanie naprężenia

Dla określenia współczynnika α oparto się na pracy M. Boreckiego [4] w której przy założeniu braku odkształceń poziomych, a więc przy stanie naprężenia

$$\sigma_{1_B},\ \sigma_{2_B} = \sigma_{1_B},\ \sigma_{3_B},\ 0,\ 0,\ 0 \tag{22}$$

zależność między naprężeniami wynosi

$$\sigma_{1_B} = \sigma_{2_B} = \beta\sigma_{3_B}, \tag{23}$$

gdzie:

β – współczynnik parcia bocznego w trójkierunkowym stanie naprężenia.

Aby przejść do stanu naprężenia (20), należy do stanu naprężenia (22) dodać stan naprężenia

$$-\sigma_{1_B},\ -\beta\sigma_{1_B},\ -\beta\sigma_{1_B},\ 0,\ 0,\ 0 \tag{24}$$

Wtedy otrzymamy stan naprężenia:

$$0,\ \sigma_{1_B} - \beta\sigma_{1_B},\ \sigma_{3_B} - \beta\sigma_{1_B},\ 0,\ 0,\ 0 \tag{25}$$

a więc:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{1p} &= 0 \\ \sigma_{2p} &= \sigma_{1_B} - \beta\sigma_{1_B} \\ \sigma_{3p} &= \sigma_{3_B} - \beta\sigma_{1_B} \end{aligned}\right| \tag{26}$$

po skorzystaniu z zależności (23) otrzymamy:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{2p} &= \beta(1-\beta)\sigma_{3_B} \\ \sigma_{3p} &= (1+\beta)(1-\beta)\sigma_{3_B} \end{aligned}\right| \tag{27}$$

stąd zgodnie ze wzorem (21):

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}. \tag{28}$$

Dla spełnienia warunku (17) po skorzystaniu ze wzoru (16) otrzymamy:

$$\sigma_{red_p} = \sigma_{3_p}\sqrt{\alpha^2 + 1 - \alpha} \geqslant Rm_c, \tag{29}$$

zaś po podstawieniu wzoru (28) otrzymamy:

$$\sigma_{red_p} = \sigma_{3p}\frac{\sqrt{1+\beta+\beta^2}}{1+\beta} \geqslant Rm_c \tag{30}$$

b. Stan naprężenia w dalszej objętości skał

Stan naprężenia w tej objętości jest określony za pomocą składowych głównych

$$\sigma_1', \sigma_2', \sigma_3', 0, 0, 0 \tag{31}$$

Przyjmując, że

$$\left.\begin{aligned} \sigma_1' &= \varphi\sigma_3' \\ \sigma_2' &= \psi\sigma_3' \end{aligned}\right| \tag{32}$$

otrzymamy stan naprężenia:

$$\varphi\sigma_3', \psi\sigma_3', \sigma_3', 0, 0, 0 \tag{33}$$

Dwukierunkowy stan naprężenia, jaki wystąpi przy przejściu trójkierunkowego stanu naprężenia przedstawionego wzorem (31) lub (33) w dwukierunkowy, można uzyskać przez dodanie do stanu naprężenia (33) wielkości (zgodnie ze wzorem 23)

$$-\varphi\sigma_3', -\beta\varphi\sigma_3', -\beta\varphi\sigma_3', 0, 0, 0 \tag{34}$$

Wtedy stan naprężenia ma postać:

$$0,\ \psi\sigma_3' - \beta\varphi\sigma_3',\ \sigma_3' - \beta\varphi\sigma_3',\ 0,\ 0,\ 0, \tag{35}$$

a więc:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{1d} &= 0 \\ \sigma_{2d} &= (\psi - \beta\varphi)\sigma_3'. \\ \sigma_{3d} &= (1 - \beta\varphi)\sigma_3'. \end{aligned}\right| \tag{36}$$

Po podstawieniu do wzoru (16) otrzymamy:

$$\sigma_{red_d} = \sigma_3' \sqrt{(\psi - \beta\varphi)^2 + (1 - \beta\varphi)^2 - (\psi - \beta\varphi)(1 - \beta\varphi)} \geq Rm_c \tag{37}$$

Korzystając z relacji (21) otrzymamy ze wzoru (36) po wykorzystaniu relacji (28):

$$(\psi - \beta\varphi) = \frac{\beta}{1+\beta}(1 - \beta\varphi). \tag{38}$$

Ostatecznie:

$$\sigma_{red_d} = \sigma_3' (1 - \beta\varphi) \frac{\sqrt{1 + \beta + \beta^2}}{1 + \beta} \tag{39}$$

<u>Wniosek końcowy</u>

Przy danym stanie naprężenia w górotworze można określić naprężenia redukowane:

σ_{red_p} i σ_{red_d} ze wzorów (30) i (39).

W przypadku gdy:

$$\sigma_{red_d} > \sigma_{red_p}$$

może w górotworze nastąpić tąpnięcie.

Zajdzie ono przy spełnieniu relacji (19), która po podstawieniu wzorów (30) i (39) przyjmuje postać:

$$\sigma_3'(1 - \beta\varphi) \geq \sigma_{3p} \geq \frac{Rm_c\ (1+\beta)}{\sqrt{1 + \beta + \beta^2}}$$

LITERATURA

1. W. Parysiewicz - "Tąpania" Wyd. Śląsk Katowice 1967.
2. M.T. Huber - Kryteria wytrzymałościowe w stereomechanice technicznej Warszawa 1948. Instytut Wydawniczy SIMP.
3. W. Szuścik, J. Kuczyński - Wytrzymałość materiałów Gliwice 1970 Politechnika Śląska
4. M. Borecki - Zachowanie się skał w układach jednoosiowych obciążeń wysokociśnieniowych ze skrępowanym odkształceniem poprzecznym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Górnictwo nr 50 Gliwice 1971.

Р е з ю м е

Определение возможности выступления горных ударов с точки зрения гипотез прочности.

В работе представлено определение горных ударов поддержанных гипотезой прочности и определено условия при каких наступит горный удар.

POSSIBILITI OF CRUMP OCCURRENCE ON THE BASE OF THE EFFORT HYPOTHESES

S u m m a r y

In the paper a definition of crumps based of a effort hypotheses has been presented and the conditions of their appearance have been determined.