

Henryk GIL

## WPLYW USKOKU NA MOŻLIWOŚĆ WYSTĄPIENIA TĄPIENIA W JEGO SĄSIEDZTWIE

**Streszczenie.** Wykazano w oparciu o teorię szczelin, że w sąsiedztwie uskoku następuje podwyższenie wielkości współczynnika poziomego rozpięcia skał. Stosując wzór na kryterium tąpnięcia pokładowego wprowadzony w pracy [1], na podstawie analizy warunków górniczo-geologicznych zaistniałego tąpnięcia w kopalni "Wujek" zweryfikowano wielkość tego współczynnika.

### 1. WSTĘP

Górotwór rzeczywisty nie jest monolitem, lecz posiada wewnętrzne nieciągłości zwane uskokami. Uskoki można traktować w górotworze jako zamknięte szczeliny o znacznych wymiarach i różnorodnych kształtach. Kształt szczeliny da się często opisać krzywą o dość regularnej postaci. Powstaje pytanie, jakie naprężenia dodatkowe w górotworze wywoła na swym konturze szczelina uskokowa, jeśli jej kształt opisać można krzywą  $w(x)$  o z góry zadanej postaci. Zwiększenie składowej poziomej naprężenia pierwotnego, wywołane obecnością szczelin uskokowych i wyrażone wielkością współczynnika poziomego rozpięcia, uwarunkowane jest właśnie kształtem szczelin. W niniejszej pracy rozważono wpływ parametrów geometrycznych szczeliny na wielkość współczynnika poziomego rozpięcia skał oraz wpływ poziomej składowej naprężenia pierwotnego wywołanego szczeliną na wytrzymałość całkowitej węglowej w jej sąsiedztwie, a co za tym idzie na możliwość wystąpienia tąpnięcia pokładowego. Ustalono kryterium tąpnięcia w sąsiedztwie uskoku i zweryfikowano go praktycznie w warunkach naturalnych kopalni "Wujek".

### 2. ROZKŁAD NAPRĘŻENIA NA KONTURZE SZCZELINY O ZADANYM KSZTAŁCIE

Zagadnieniem poszukiwania rozkładu naprężenia na konturze szczeliny Griffitha o znanym jej kształcie zajmował się J.N. Sneddon [4]. Rozważania z zakresu szczelin symetrycznych dotyczące rozkładu naprężeń i przemieszczeń na konturze szczeliny i jej sąsiedztwie sprowadzają się do zadania brzegowego dla półpraszczyny sprężystej o zadanych warunkach na brzegu.

W przypadku, gdy kształt szczeliny zadano w postaci:

$$u_y(x,0) = \begin{cases} w(x) & \text{dla } 0 < x \leq a \\ 0 & \text{dla } x > a \end{cases}$$

wówczas jak pokazano w pracy [4] naprężenie działające prostopadle do konturów szczeliny  $\sigma_y = -p(x)$  dane jest wzorem:

$$p(x) = \frac{2}{\pi} \frac{d}{dx} \int_0^x \frac{f(t) dt}{\sqrt{x^2 - t^2}}, \quad (2.1)$$

gdzie

$u_y(x, 0)$  - składowa pionowa wektora przemieszczenia,

$$f(t) = - \frac{E_1}{2(1-\nu^2)} \int_t^a \frac{w'(s)}{\sqrt{s^2 - t^2}} ds, \quad \text{dla } 0 < t < a$$

$E_1$  - moduł Younga,

$\nu$  - współczynnik Poissona,

$w'(s)$  - pochodnia funkcji  $w(x)$ .

Jeżeli o górotworze założymy, że zachowuje się jak ciało liniowo-sprężyste oraz przyjmiemy, że kształt szczeliny uskokowej opisuje w przybliżeniu funkcja:

$$w(x) = A \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right) \quad (2.2)$$

wówczas rozkład naprężenia na konturze szczeliny zgodnie z (2.1) określa wzór:

$$p(x) = \frac{2A E_1}{\pi(1-\nu^2)a} E(k), \quad (2.3)$$

gdzie:  $E(k) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} d\varphi$  - całka eliptyczna drugiego rodzaju,

$$k = \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}},$$

$a$  - połowa długości szczeliny.

Dla  $x = 0$   $E(k) = +1$  i wzór (2.3) daje wielkość przyrostu naprężenia w miejscu największego rozwarcia szczeliny:

$$p(0) = + \frac{2A E_1}{\pi a(1-\nu^2)}. \quad (2.4)$$

Przyrost naprężenia ciśnącego, wywołanego szczeliną uskokową, zależy od amplitudy uskoku, stałych materiałowych górotworu oraz długości szczeliny.

W sąsiedztwie szczelin uskokowych o niewielkich rozmiarach przyrost naprężenia jest duży. Fakt ten ma swoje odzwierciedlenie praktyczne, gdyż w sąsiedztwie uskoków małych często dochodzi do takich zjawisk jak tąpnięcia. Wartość naprężenia wyrażona wzorem (2.4) ma wpływ na wielkość współczynnika poziomego rozpięcia  $\alpha$ . Można powiedzieć, że amplituda szczeliny, jej długość i charakter skał mają decydujący wpływ na ten współczynnik. W skałach zwięzłych współczynnik  $\alpha$  rośnie, a w miękkich maleje. Jego wartość średnią dla danej głębokości można wyznaczyć ze wzoru:

$$\alpha \bar{\sigma}_H = n H + \frac{2A E_1}{\pi a (1-\nu^2)} \quad (2.5)$$

Dzieliąc obustronnie przez  $\bar{\sigma}_H$  otrzymujemy:

$$\alpha = n + \frac{2A}{\pi a (1-\nu^2)} \cdot \frac{E_1}{\bar{\sigma}_H} \quad (2.6)$$

Powyższy wzór daje realną wartość. Jeśli przyjmiemy  $E_1 = 150 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  (zastępczy moduł sprężystości wyznaczony w warunkach naturalnych kopalni),  $\nu = \frac{1}{4}$ ,  $H = 400 \text{ m}$ ,  $\bar{\sigma}_H = 25 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ ,  $A = 1 \text{ m}$  i  $a = 100 \text{ m}$  wówczas oszacowane wzorem (2.6)  $\alpha \approx 1,33$  i mieści się w przedziale wartości pomierzonych w górotworze. Przyrost wielkości  $\alpha$  ma miejsce w bezpośrednim sąsiedztwie szczeliny, w miarę jednak oddalania się od szczeliny  $\alpha$  maleje do wartości  $n$ . Dla małych szczelin może zwiększyć się kilkakrotnie i może mieć decydujący wpływ na stateczność ociosu węglowego w wyrobiskach chodnikowych lub ścianowych prowadzonych w bezpośrednim sąsiedztwie uskoków.

### 3. KRYTERIUM TĄPNIĘCIA W SĄSIEDZTWIE SZCELINY USKOKOWEJ

Na podstawie długoletnich obserwacji prowadzonych w kopalniach węgla stwierdzono, że w przypadku prowadzenia robót górniczych w sąsiedztwie uskoków dochodzi w tych obszarach do tępnięć. Z tego względu obecność uskoków w górotworze potraktowano jako jedną z zasadniczych naturalnych przyczyn występowania tępnięć.

Tąpnięcia pokładowe występują wówczas, gdy spełnione są trzy podstawowe warunki:

1. Węgiel w pokładzie musi być skłonny do tępnięć.
2. Warstwy stropowe i spągowe muszą posiadać wytrzymałość większą od węgla.
3. Stan naprężenia w pokładzie musi osiągnąć stan krytyczny.

Skłonność substancji węglowej do tępnięć jest cechą naturalną pewnych węgla, zależną głównie od ich składu petrograficznego i wilgotności. Pewną miarą tej skłonności może być wskaźnik laboratoryjny określony jako stosunek energii wyzwolonej przy rozpadzie próbki do energii sprężystej zgromadzonej w próbce do chwili jej zniszczenia [3]

$$\eta = \frac{\phi_k}{\phi_s} \quad (3.1)$$

Stosunek powyższy został nazwany sprawnością tąpnięcia i wyrażany jest zwykle w procentach. Pozostałe dwa warunki sugerują pytanie: czy wytrzymałość calizny węglowej jest wielkością niezależną od panujących w górotworze naprężeń, czy też pierwotne naprężenie górotworu uwarunkowane głębokością zalegania pokładu zmienia nie tylko naprężenia w sąsiedztwie wyrobiska ale również wytrzymałość calizny węglowej.

Odpowiedź na to pytanie stanowi zasadniczy problem w zagadnieniu tępaiń w kopalniach, zwłaszcza przy schodzeniu z eksploatacją na coraz to większe głębokości. Wiąże się to bowiem z coraz dokładniejszym wyznaczaniem obszarów zagrożonych tępaiami metodami analitycznymi.

W pracy [1] ustalono kryterium tępaienia pokładowego w postaci wzoru analitycznego i pokazano, jak składowa naprężenia pierwotnego działająca w płaszczyźnie pokładu wpływa na wytrzymałość calizny węglowej w czole wyrobiska ścianowego i chodnikowego. Kryterium to, dla pokładu zalegającego poziomo, ma postać:

$$-\frac{\pi k}{2} + n\eta H = \sigma_z(l_0, t) - \eta H \quad (3.2)$$

Lewa strona powyższej równości oznacza wytrzymałość calizny węglowej. Istotny wpływ na tę wytrzymałość posiada składowa pozioma naprężenia pierwotnego w górotworze nienaruszonym uskoki równa  $n\eta H$ , gdzie:

$$n = \frac{\nu}{1-\nu},$$

$\nu$  - współczynnik Poissona.

Jak wykazano wyżej, w górotworze obecność uskoków zaburza pierwotny stan naprężenia i składowa pozioma różni się zwykle w jego sąsiedztwie od wielkości  $n\eta H$ .

Jeśli wykorzystamy wzór (2.6), określający współczynnik poziomego rozpięcia  $\alpha$ , to kryterium (3.2) można uogólnić i będzie ono opisywać stan krytyczny w sąsiedztwie uskoków. Uogólnione kryterium ma postać:

$$-\frac{\pi k}{2} + \alpha\eta H = \sigma_z(l_0, t) - \eta H, \quad (3.3)$$

gdzie:

- $k$  - stała plastyczności węgla,
- $\alpha$  - współczynnik poziomego rozpięcia skał,
- $H$  - głębokość zalegania pokładu,
- $\sigma_z(l_0, t)$  - naprężenie pionowe wywołane wyrobiskiem,
- $l_0$  - zasięg tępaienia,
- $t$  - czas.

Z kryterium (3.3) widać, jak znaczny wpływ na wytrzymałość calizny węglowej

wej posiada w górotworze obecność szczeliny uskokowych, które zwiększają współczynnik  $\alpha$  i osłabiają caliznę węglową.

#### 4. KRYTERIUM TĄPNIECIA DLA WYROBISKA CHODNIKOWEGO

Często w praktyce występuje konieczność prowadzenia chodnika wzdłuż uskoku. Zadanie praktyczne w pokładzie tąpiącym polega na odpowiednim usytuowaniu chodnika w stosunku do szczeliny uskokowej. Pozostawiony bowiem między uskokiem a chodnikiem pas węgla może być pasem o szerokości krytycznej prowadzącej do gwałtownego zniszczenia kostki. Rozkład naprężenia w ociosie chodnika określa wzór podany przez S.G. Michlina (2) w postaci:

$$\sigma_z(x) = + \frac{p}{4} \left( 1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 - a^2}} \right), \quad \text{dla } x \geq a \quad (4.1)$$

gdzie:

$2a$  - szerokość chodnika,

$p = \sigma_H$ .

Uwzględnienie wzoru (4.1) w kryterium (3.3) daje następujące kryterium tąpnięcia ociosu chodnika

$$- \frac{\alpha k}{2} + \alpha \sigma_H = \frac{p}{4} \left( 1 - \frac{l_0}{\sqrt{l_0^2 - a^2}} \right) - \sigma_H. \quad (4.2)$$

Z powyższej relacji można wyliczyć zasięg tąpnięcia jako funkcję pozostałych parametrów. Z kryterium (4.2) uzyskuje się bardzo interesujący praktycznie wynik, mianowicie wobec niewielkiej średniej wartości naprężenia wywołanego chodnikiem może się okazać dla znacznych głębokości  $H$  i dużych  $\alpha$ , że wytrzymałość calizny węglowej jest dużo mniejsza od wartości  $\sigma_H$  i ustalenie położenia chodnika względem szczeliny jest niejednoznaczne. Sprawę rozwiązuje dopiero pomiar parametru  $\alpha$ .

#### 5. PRZYKŁAD TĄPNIECIA W SĄSIEDZTWIE USKOKU

Typowym przykładem tąpnięcia w sąsiedztwie szczeliny uskokowej w górotworze nienaruszonym eksploatacją było tąpnięcie zanotowane w kopalni "Wujek" w chodniku wentylacyjnym południowym, prowadzonym z dowerzchni 11 pod pewnym kątem w stosunku do szczeliny uskokowej. Chodnik ten zbliżał się do szczeliny uskokowej i gdy znalazł się w odległości 40 m od szczeliny nastąpiło tąpnięcie w dniu 25.04.1975 r.

Głębokość zalegania pokładu w miejscu tąpnięcia wynosiła 700 m. Szerokość chodnika  $2a = 4,0$  m, maksymalną wartość stałej plastyczności węgla szacuje się na  $2 \cdot 10^7$  N/m<sup>2</sup>.

Kryterium (4.2) można wykorzystać do zwymiarowania krytycznej szerokości między chodnikiem a szczeliną uskokową, jeśli znany jest współczynnik  $\alpha$  oraz operuje się średnią całkową z rozkładu naprężenia wywołanego wyrobiskiem chodnikowym. Jeśli pominie się jako wartość niewielką, szerokość

strefy spękań przy chodniku, wówczas naprężenie średnie całkowite po szerokości  $l$  zgodnie ze wzorem (4.1) wynosi:

$$\sigma_{sr} = \frac{D}{4} \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{2a}{l}} \right) \quad (5.1)$$

a kryterium stateczności resztki ma postać:

$$-\frac{\beta k}{2} + \alpha \eta H = \frac{D}{4} \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{2a}{l}} \right) - \eta H \quad (5.2)$$

Jeśli kryterium (5.2) ma być praktycznie użyteczne musi dawać realną wartość współczynnika  $\alpha$  przy wyspecyfikowaniu pozostałych parametrów. Przyjmując następujące dane charakteryzujące omawiane tąpnięcie:

$$k = 200 \text{ kg/cm}^2 = 2 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2,$$

$$H = 700 \text{ m},$$

$$\eta H = 175 \text{ kg/cm}^2 = 175 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2,$$

$$2a = 4,0 \text{ m},$$

$$l = 40,0 \text{ m} - \text{szerokość obramowana tąpnięciem.}$$

uzyskano z kryterium (5.2) wartość  $\alpha \approx 0,8$ . Jest to wartość realna i wskazująca na zwykłe naprężenia w sąsiedztwie szczeliny uskokowej. Powyższy przykład wskazuje na możliwość praktycznego wykorzystania kryterium (5.2) do wymiarowania stref niebezpiecznych przy prowadzeniu wyrobisk chodnikowych wzdłuż szczelin uskokowych.

#### LITERATURA

- [1] Gil H.: Matematyczne ujęcie makroskopowego mechanizmu tępnię pokładowych.  
Biuletyn PAN (w druku).
- [2] Michlin S.G.: O naprężeniach w porodzie nad uogólnym płastom.  
Izw. AN SSSR. OTN Nr 7-8, 1942.
- [3] Motyczka A.: Wpływ własności petrograficznych na naturalną skłonność węgla do tępnię.  
Przegląd Górniczy z. 2 1974 r.
- [4] Sneddon J.N.: The distribution of surface stress necessary to produce a Griffith crack of prescribed shape.  
Vol. 7 Nr 8 pp. 875-882.  
Dep. of Mathematics University of Glasfow Scotland. 1969.

ВЛИЯНИЕ СДВИГА НА ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫСТУПЛЕНИЯ ГОРНОГО УДАРА  
В ЕГО СОСЕДСТВЕ

## Р е з ю м е

Опираясь на теорию трещин показывается, что в соседстве сдвига наступает повышение величины коэффициента горизонтального распора пород. Применяя формулу на критерий удара пласта, выведенную в работе (1), на основе анализа горно-геологических условий выступившего удара на шахте "Вуек" проведена величина этого коэффициента.

LEAP'S INFLUENCE ON THE POSSIBILITY OF BUMPS,  
APPEARING IN ITS NEIGHBOURHOOD

## S u m m a r y

Basing on the crevice theory the paper proves that in the leap's neighbourhood there is an increase of the horizontal coefficient of rocks spragging. Applying a formula for bed bump criterion, derived in paper (1), the quantity of this coefficient has been verified, on the ground of analysis of mining-geological conditions which existed during a bump in a coal-mine "Wujek".