ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1976

Seria: GÓRNICTWO z.71 Nr kol. 470

Jan Czubaszek
Walery Szuścik

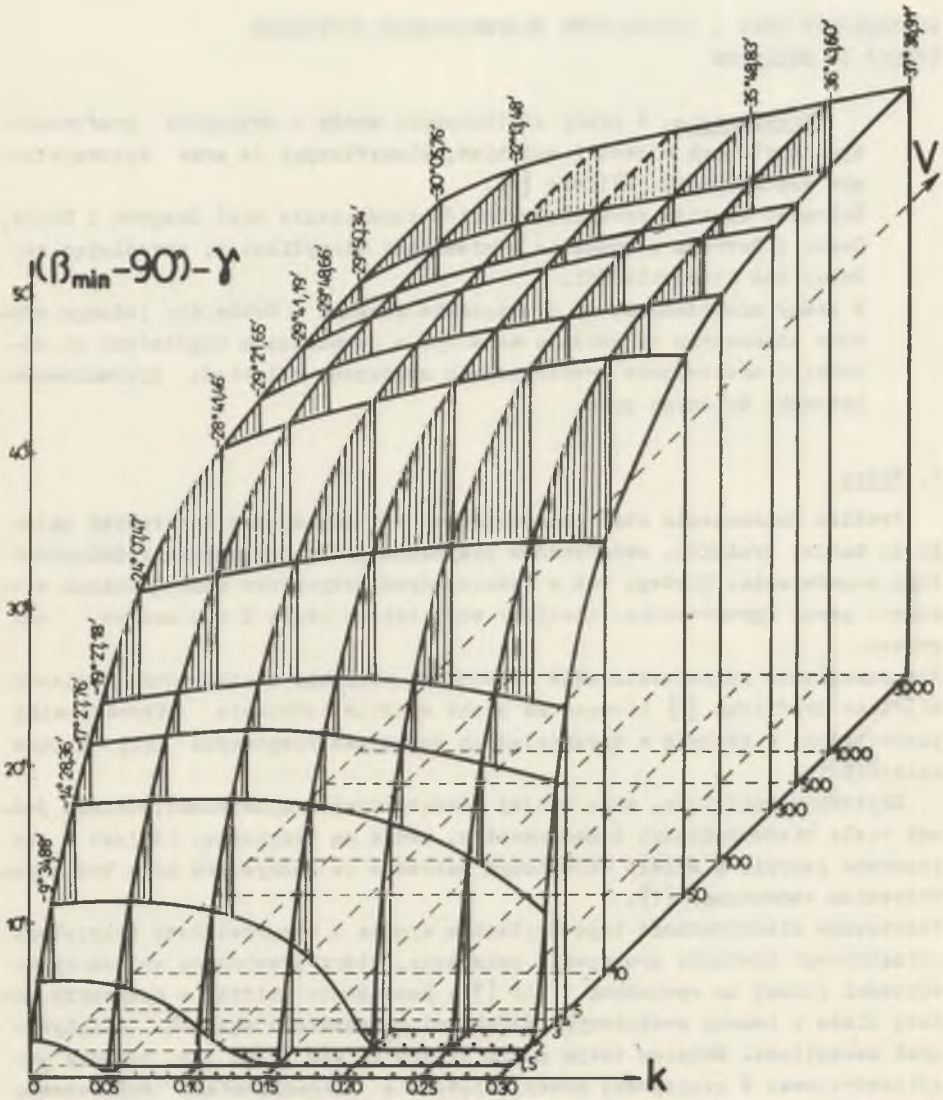
ZNISZCZENIE SKAŁ O ORTOTROPOWO PREFEROWANYCH SYSTEMACH SPĘKAŃ I OSŁABIEŃ

Streszczenie. W pracy zdefiniowano skały o ortropowo preferowanych systemach spękań i osłabień, klasyfikując je przy wykorzystaniu współczynnika Müllera [2].
Dokonano analizy znanych kryteriów zniszczenia skał Jaegera i Cooka, Hoeka i Barrona w aspekcie wymienionej klasyfikacji, określając zakresy ich stosowalności.
W pracy udowodniono, że rozwiązanie Jaegera i Cooka dla jednego systemu płaszczyzn osłabienia może być z powodzeniem uogólnione na ośrodki o ortotropowo preferowanych systemach osłabień. Sformułowano kierunki dalszych prac.

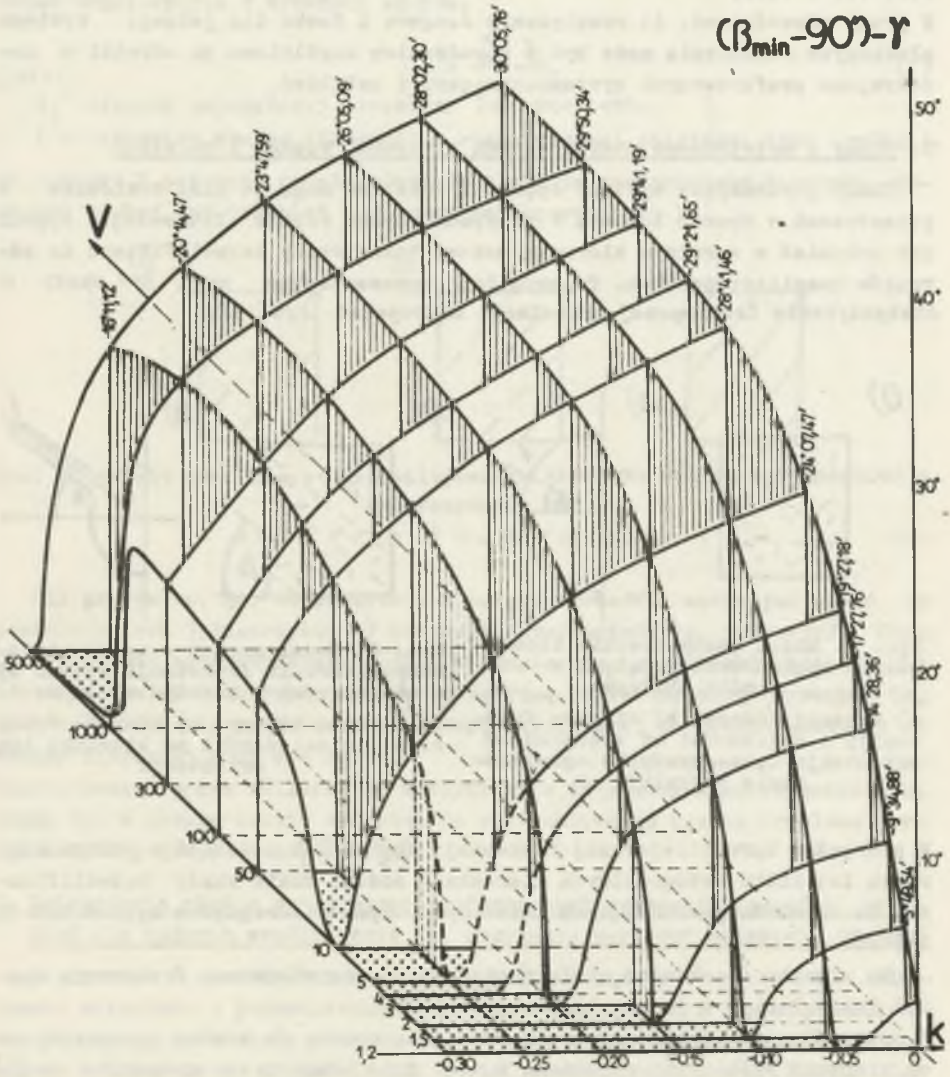
1. Wstęp

Problem zniszczenia skał posiadających systemy spękań i osłabień należy do bardzo trudnych, zwłaszcza w przypadku próby dokładnego rozwiązania tego zagadnienia. Dlatego też w istniejących dotychczas rozwiązaniach stosowano pewne uproszczenia, niekiedy zbyt daleko idące i nie zawsze poprawne.
Dla określenia zniszczenia skał stosunkowo szerokie zastosowanie znalazła hipoteza Griffitha [1] biorąca za punkt wyjścia istnienie mikroszczelin pierwotnych, z których w sprzyjających warunkach rozpoczyna się proces zniszczenia.

Kryterium Griffitha, mimo swojej niewątpliwej przydatności, posiada jednak wiele niedokładności i mankamentów, które są przyczyną, iż jest ono poprawne jedynie w ściśle określonym zakresie (w którym też może być z powodzeniem stosowane) [7].
Podstawowa niedokładność tego kryterium wynika z nieprawidłowo przyjętego początkowego kierunku propagacji pęknięcia, który prawidłowo wyliczony ma wartości podane na rysunkach 1 i 2 [7]. Rozważania Griffitha dotyczyły modelu ciała z losowo rozłożonymi defektami w kształcie wąskich eliptycznych szczelinek. Modelem takim można jednak opisać tylko tzw. ośrodki quasiizotropowe. W niniejszej pracy zajęto się zagadnieniem zniszczenia skał o ortoropowo preferowanych systemach spękań i osłabień.
Dotychczasowe rozwiązania dla tego typu ośrodków podano przez Hoeka i Barrona [4] [5] bazowane były na oryginalnym i zmodyfikowanym kryterium Griffitha. Niestety tego typu rozwiązania, jak wykazano w pracy, mają ogra-



Rys. 1. Wartości $\left\{(\beta_{min} - 20^{o}) - \gamma\right\}$ kąta zawartego pomiędzy naprężeniem głównym σ_1 a początkowym kierunkiem propagacji pęknięcia dla przedziału naprężeń ściskających (k - stosunek naprężeń głównych $\frac{\sigma_3}{\sigma_1}$, V- stosunek półosi elipsy $\frac{a}{b}$)

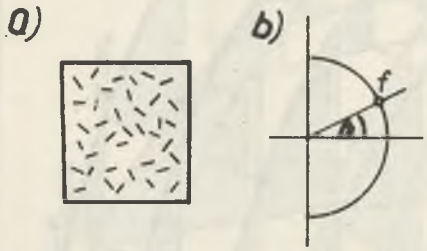


Rys. 2. Wartości $\left\{(\beta_{min} - 90^{o}) - \gamma\right\}$ kąta zawartego pomiędzy naprężeniem głównym σ_1 a początkowym kierunkiem propagacji pęknięcia dla przedziału naprężeń rozciągających (k - stosunek naprężeń głównych $\frac{\sigma_3}{\sigma_1}$, V - stosunek półosi elipsy $\frac{a}{b}$)

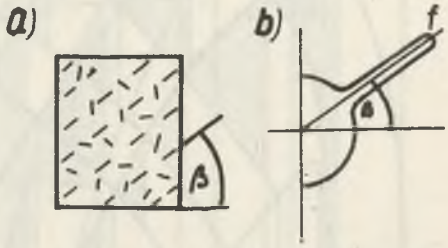
niczony zakres stosowania, z uwagi, iż są one obciążone pierworodnymi błędami teorii Griffitha, a poza tym mechanizm zniszczenia omawianych ośrodków znacznie odbiega od mechanizmu zniszczenia skał quasiizotropowych([7] str. 175 i 192).
W pracy udowodniono, że rozwiązanie Jaegera i Cooka dla jednego systemu płaszczyzn osłabienia może być z powodzeniem uogólniono na ośrodki o ortotropowo preferowanych systemach spękań i osłabień.

2. Skały o ortotropowo preferowanych systemach spękań i osłabień

Skały posiadające systemy spękań i osłabień mogą je mieć rozłożone w przestrzeni w sposób losowy. W przypadku braku różnic frekwencji spękań lub osłabień w wybranym kierunku możemy takie skały zakwalifikować do ośrodków quasiizotropowych. Typowym ich reprezentantem mogą być skały o statystycznie izotropowej orientacji mikropękań (rys. 3).



Rys. 3. Model statystycznie izotropowych spękań występujących w ośrodku skalnym:
a) schemat ideowy, b) diagram frekwencji w zależności od kierunku ich orientacji (przestrzennie -powierzchnia półkuli).



Rys. 4. Model spękań o uprzywilejowanym kierunku frekwencji spękań występujących w ośrodku skalnym:
a) schemat ideowy; b) diagram frekwencji w zależności od kierunku ich orientacji

W przypadku uprzywilejowanej frekwencji spękań lub osłabień w jednym kierunku lub kilku ortogonalnych kierunkach możemy takie skały zakwalifikować do ośrodków posiadających płaszczyzny symetrii względem spękań lub osłabień.

Na rysunku 4 pokazano skałę posiadającą uprzywilejowaną frekwencję spękań lub osłabień w jednym kierunku.
W przypadku, gdy skały posiadają trzy prostopadłe do siebie uprzywilejowane kierunki spękań lub osłabień, a więc trzy płaszczyzny symetrii względem spękań lub osłabień możemy mówić o skałach o ortotropowo (ortogonalnie anizotropowo) preferowanych systemach spękań i osłabień.
Omawianą grupę skał chyba niesłusznie zaproponowano określać ośrodkami transwersalnie izotropowymi [7].
W wierzchnich warstwach skorupy ziemskiej (w szczególności w skałach osadowych) występują głównie skały o uprzywilejowanych kierunkach spękań i

osłabień, a wśród nich skały o ortotropowo preferowanych systemach spękań i osłabień.

Dla ośrodków o ortotropowo preferowanych systemach spękań i osłabień można zgodnie z klasyfikacją Müllera [2] wprowadzić dla rozpatrywanego kierunku współczynnik k wyrażony wzorem:

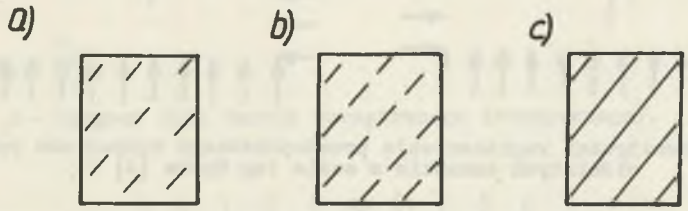
$$k = \frac{\sum l_i}{L}, \qquad (1)$$

gdzie:

l_i długość pojedyńczej szczeliny lub osłabienia,

L - całkowity wymiar (długość) w rozpatrywanej objętości skał (próbki).

Na rysunku 5 pokazano modele ośrodków o jednym preferowanym kierunku systemów spękań lub osłabień o różnych współczynnikach k.



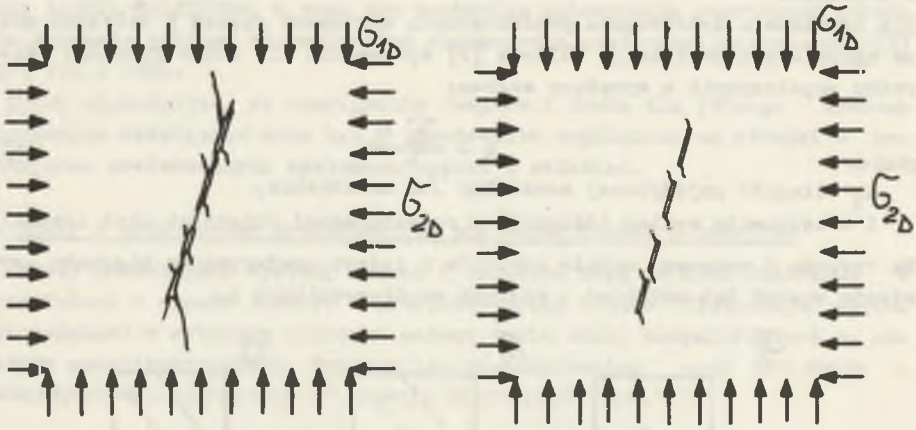
Rys. 5. Modele ośrodkow o uprzywilejowanym kierunku spękań lub osłabień o współczynniku k:
a) $0 < k \leqslant 1$; b) $0 \leqslant k < 1$; c) $k = 1$

Dla przypadku, gdy współczynnik k osiąga wartość 1 można już mówić o powierzchniach (płaszczyznach) foliacji, uwarstwień itp. (rys. 5c). Chociaż z czysto matematycznego punktu widzenia ujęcie problemu zniszczenia ośrodków skalnych (których budowę wewnętrzną charakteryzują rysunku 5a, 5b i 5c) różni się tylko wartością współczynnika k, to ujęcie problemu od strony fizycznej musi być różne.

Zaproponowana przez Müllera [2] klasyfikacja za pomocą współczynnika k, mogła być w pewnym sensie asumptem do alternatywnego ujęcia problemu wytężenia tej grupy skał [3] i [4].

3. Zniszczenie skał o ortotropowo preferowanych systemach spękań i osłabień dla których współczynnik k przyjmuje wartości bliskie 0 ($0<k\ll1$)

Na rysunku 6 przedstawiono za Hoekiem [4] prawdopodobny mechanizm zniszczenia materiału o jednokierunkowo preferowanym systemie spękań. Niewątpliwie tego typu obserwacje poczynione w czasie doświadczeń skłoniły Hoeka [4] do wykorzystania oryginalnej i zmodyfikowanej hipotezy Griffitha dla opisania stanu wytężenia ośrodków "ortotropowych" (pewne próby praktycznego zweryfikowania oraz wykorzystania teorii Hoeka były podjęte przez Barrona [5]). Hoek [4] adaptował oryginalną i zmodyfikowaną hipotezę Griffitha dla opisu zniszczenia łupków, zakładając, że charakteryzują się one dwoma systemami spękań (szczelin): dużymi szczelinami,



Rys. 6. Schematyczna reprezentacja prawdopodobnego mechanizmu pękania zaciśniętych szczelin w szkle (wg Hoeka [4])

zorientowanymi wzdłuż płaszczyzn uwarstwienia i losowo zorientowanymi szczelinami drugiego rzędu (znacznie mniejszymi od szczelin występujących wzdłuż płaszczyzn uwarstwienia).

Zaproponowany podział jest w zasadzie logiczny i wynikająca stąd koncepcja zniszczenia nie budziłaby zastrzeżeń gdyby wyraźnie sformułowany został zakres stosowalności teorii zniszczenia takiego modelu ciała, w tym także w zależności od wielkości współczynnika k (przy $0 \ll k < 1$ musi wystąpić wzajemny wpływ stanów naprężenia wokół szczelin).

Kryteria zniszczenia sformułowane przez Hoeka w oparciu o oryginalną hipotezę Griffitha, są po prostu obciążone "pierwotnymi błędami" tejże teorii.

Fakt ten uwidocznił się we wzorze na naprężenie normalne na obwodzie szczeliny σ_M [2] za pomocą którego określono wartość ekstremalnego naprężenia normalnego na obwodach "otwartych" pierwotnych szczelin, które stanowią początek rozwijającego się pęknięcia [5]:

$$2\sigma_M \xi_0 = (\sigma_{1D} + \sigma_{3D}) - (\sigma_{1D} - \sigma_{3D}) \cos 2\beta \pm$$
$$\pm \sqrt{2\left[(\sigma_{1D}^2 + \sigma_{3D}^2) + (\sigma_{1D}^2 - \sigma_{3D}^2) \cos 2\beta\right]},$$

gdzie:

σ_M - ekstremalne naprężenia normalne na obwodzie eliptycznego otworu (w pracy [1] $\sigma_{M_{min}}$ oznaczono R_t),

σ_{1D}, σ_{2D} - wartości naprężeń głównych w chwili inicjacji pęknięcia z "otwartego" otworu eliptycznego.

β - kąt pomiędzy osią elipsy a naprężeniem σ_1,
ξ_o - krzywoliniowa (eliptyczna) współrzędna obwodu elipsy.

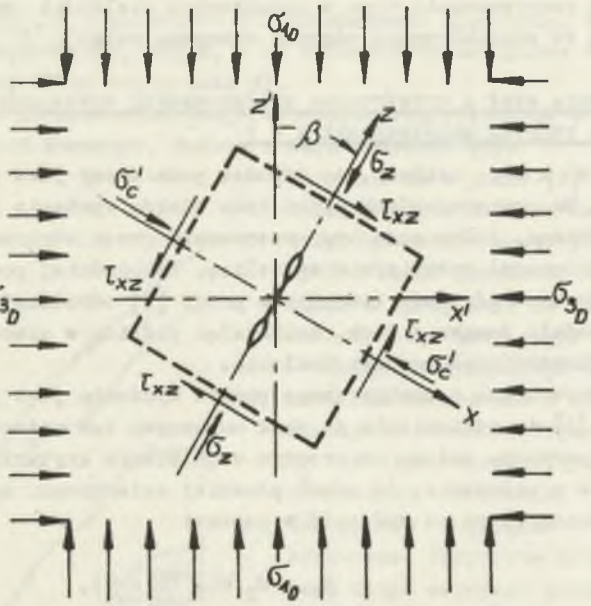
Wyrażenie (2) ważne jest talko dla małych ξ_o co wykazano w sensie matematycznym w pracy [7] (dla $\operatorname{tgh} \xi_o < \frac{1}{300}$) a w sensie fizycznym w pracy [6] Podobnego typu zastrzeżenie można podnieść odnośnie do zaproponowanego również przez Hoeka ([4], [5]) kryterium zniszczenia ośrodków skalnych w początkowo zaciśniętymi szczelinami.
Naprężenie normalne na obwodzie wyraża wtedy wzór:

$$2\sigma_M \xi_o = -\sigma_{1D}\left\{(1 - k_D)\sin 2\beta - \mu\left[(1 + k_D) - (1 - k_D)\cos 2\beta\right]\right\}, \quad (3)$$

gdzie:

$$k_D = \frac{\sigma_{3D}}{\sigma_{1D}},$$

μ - tangens kąta tarcia wewnętrznego (statycznego).



Rys. 7. Naprężenia występujące wokół zaciśniętej szczeliny, która nachylona jest pod kątem β w stosunku do kierunku maks. naprężenia głównego σ_{1D} (opracowane wg Hoeka [4])

Wzór (3) ważny jest dla małych ξ_o (w tym samym zakresie jak wzór (2)) jest i prostym przekształceniem matematycznym następującej zależności [1]:

$$\sigma_M = \frac{2\xi_o \sigma'_o - 2\theta\left[\tau_{xy} + \mu(\sigma_y - \sigma'_o)\right]}{\xi_o^2 + \theta^2} \quad (4)$$

gdzie

θ - kąt określający położenie rozważanego punktu na obwodzie otworu eliptycznego,

dla przypadku, gdy naprężenie normalne σ_o niezbędne dla spowodowania zaciśnięcia szczelin jest równe zeru (rys. 7).
Takie założenie jest jednakże uzasadnione tylko w przypadku skał o niskiej porowatości oraz posiadających bardzo długie i wąskie szczeliny (małe ξ_o).
Podsumowując można stwierdzić, iż propozycja Hoeka w sprawie wykorzystania hipotezy Griffitha dla opisu stanu wytężenia skał "ortotropowych" wzbudzić musi podobne zastrzeżenia jak w ogóle stosowanie teorii Griffitha w mechanice skał.

4. Zniszczenie skał o ortotropowo preferowanych systemach spękań i osłabień dla których współczynnik k przyjmuje wartości $0 \ll k < 1$

Przy znacznej wartości współczynnika k wystąpi wzajemne oddziaływanie stanów naprężenia występujących wokół szczelin. Przypadek ten wymaga oddzielnego rozpracowania wraz z określeniem wielkości współczynnika k dla których to oddziaływanie odgrywa znaczącą rolę.

5. Zniszczenie skał o ortotropowo preferowanych systemach spękań i osłabień dla których współczynnik k = 1

Przyjęcie k = 1 zakłada, że ośrodek podzielony jest na oddzielne bloki (płyty). Na powierzchniach styku tych bloków wystąpią jednak takie naprężenia styczne, które mogą być przenoszone przez wtrącenia innego (najczęściej słabszego) materiału w szczelinę. Najbardziej poprawne rozwiązanie dla tego typu ośrodków (zwanych w pracy [7] ośrodkami o płaskiej anizotropii) podali Jaeger i Cook, zakładając poślizg w płaszczyźnie osłabienia i wykorzystując warunek Coulomba.
Również interesującą z praktycznego punktu widzenia jest propozycja podana w pracy [3] (w odniesieniu do skał nazwanych tam anizotropowymi).
Propozycja powyższa polega na prostym uogólnieniu kryterium Mohra-Columba w oparciu o założenie, iż efekt płaskiej anizotropii może być uwzględniony za pomocą wzoru na spójność w postaci

$$\tau_o = S_1 - S_2 \cos(\omega - \beta),$$

gdzie:

S_1, S_2 - są stałymi materiałowymi,

ω, β - kąty wyrażające efekt nachylenia płaszczyzn osłabienia w stosunku do maksymalnego naprężenia głównego; w płaszczyźnie zniszczenia nachylonej pod kątem ω spójność (τ_o) przyjmuje wartość minimalną $\tau_o = S_1 - S_2$, zaś w kierunku prostopadłym wartość maksymalną $\tau_o = S_1 + S_2$.

Stan krytyczny (zarazem "najkorzystniejsze" warunki dla zniszczenia) nastąpi, gdy kąt β osiąga wartość:

$$\operatorname{tg} 2\beta = \frac{\tau_m + S_2 \sin 2\omega}{\tau_m \operatorname{tg} \phi + S_2 \cos 2\omega}, \qquad (6)$$

gdzie:

τ_m - naprężenie styczne maksymalne,
ϕ - kąt tarcia wewnętrznego.

Kryterium zniszczenia można w tym przypadku zapisać w następującej postaci:

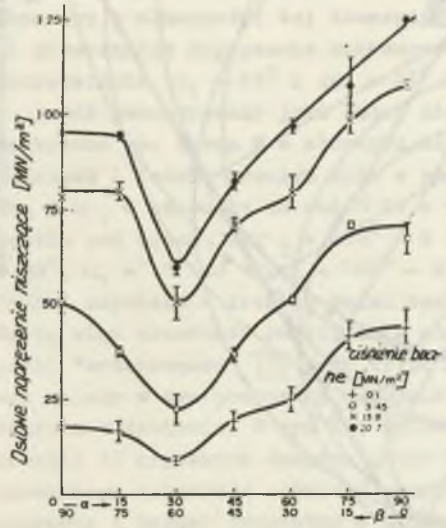
$$(\sigma_m + S_1 \operatorname{ctg} \phi)^2 - (\tau_m + b)^2 \operatorname{cosec}^2 \phi = S_2^2 \operatorname{ctg}^2 \phi \cos^2 (2\omega + \phi), \qquad (7)$$

gdzie:

$b = S_2 \sin (2\omega + \phi) \cos \phi$,
σ_m - naprężenie średnie.

W płaszczyźnie (σ_m, τ_m) zależność (7) przedstawia hiperbolę, której ogniskowa ma współrzędne $(- S_1 \operatorname{ctg} \phi, - b)$ a asymptoty nachylone są w stosunku do osi σ_m pod kątem arctg (sin ϕ).

Przedstawione II kryterium Jaegera zostało zweryfikowane w oparciu o wyniki doświadczeń Pomeroya, Hobbsa i Amra Mahmouda [8].

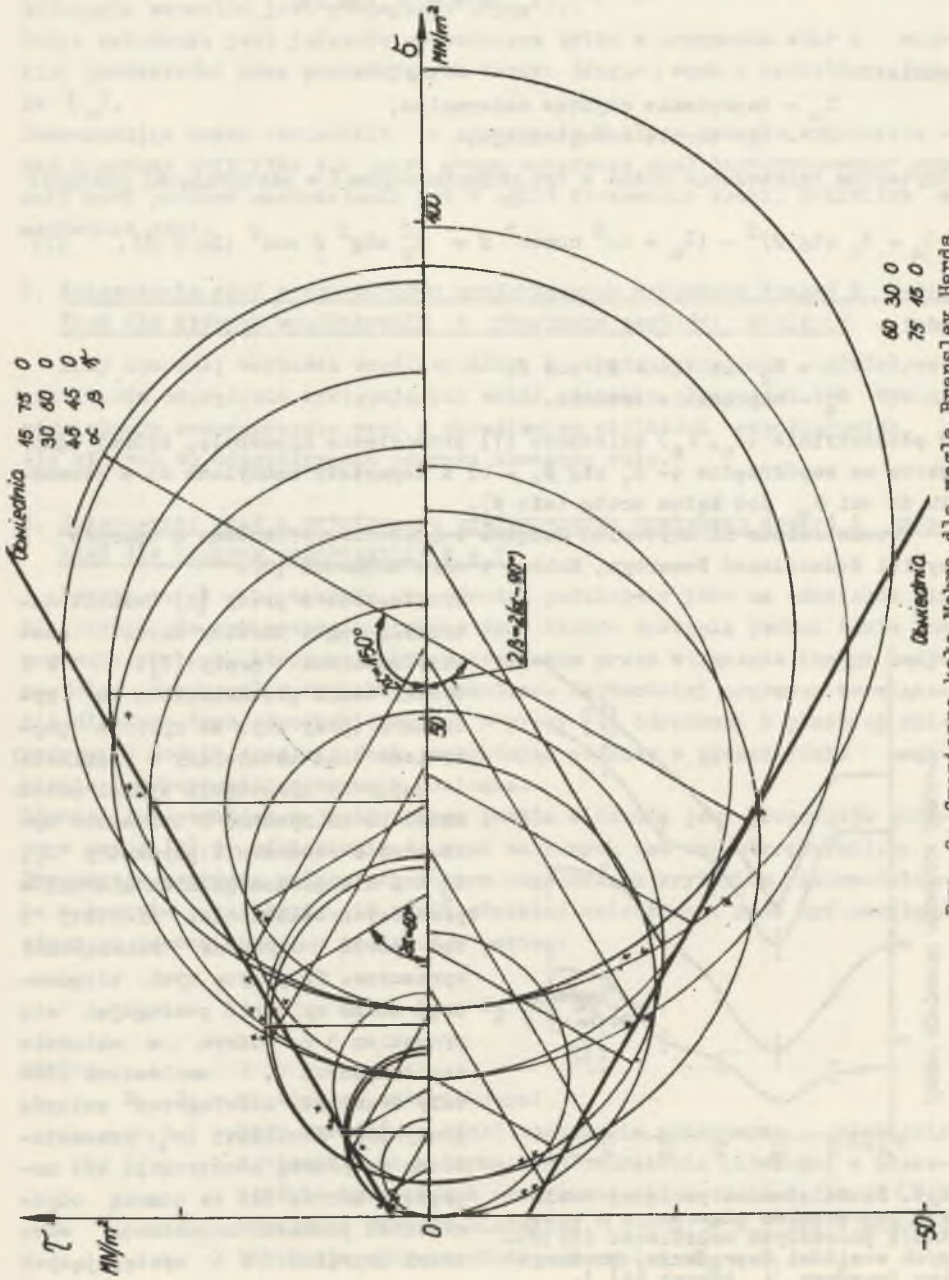


Rys. 8. Zależności pomiędzy osiowym naprężeniem niszczącym a orientacją płaszczyzn osłabienia dla różnych wartości naprężenia bocznego (wg Pomeroya i innych [8]).

Przytoczone w pracy [8] badania dotyczyły węgla Barsley Hards i zostały omówione w pracy [7].

Wyniki badań przedstawiono na rysunku 8 (przy czym na rysunku poprawiono błąd istniejący w oryginale)

Mając do dyspozycji wyniki przedstawione na rysunku 8 usiłowano wyznaczyć z równania (7) parametry S_1, S_2 i ϕ dla poszczególnych kierunków płaszczyzn osłabienia. Niestety w ten sposób uzyskano rozwiązania sprzeczne. Przyczynę tych niepowodzeń można wyjaśnić posługując się rysunkiem 9 na którym w układzie współrzędnych τ, σ naniesione zostały rezultaty doświadczeń autorów pracy [8]. Rezultaty te przedstawiono za pomocą konstrukcji kół naprężeń Mohra, zaś za pomocą odpowiednich promieni zaznaczono wartości naprężeń τ i σ występujących



Rys. 9. Graniczne koło Mohra dla węgla Bransley Harda

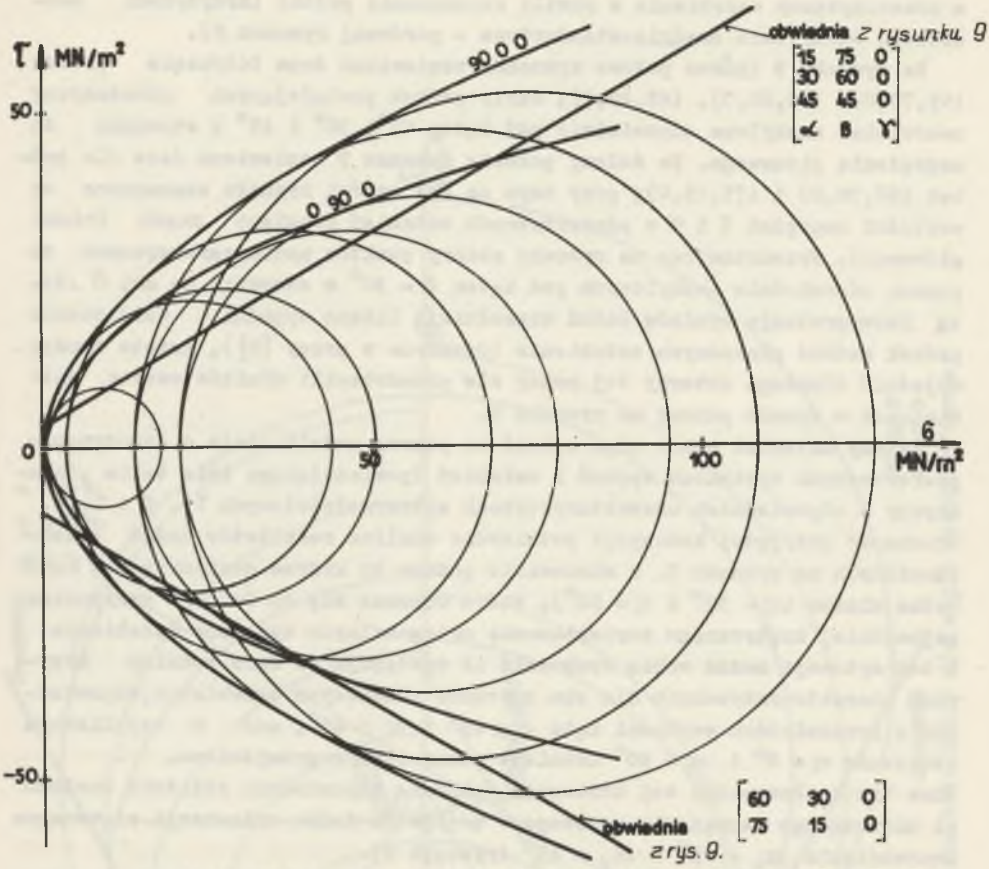
w płaszczyznach osłabienia w chwili zniszczenia próbki (krzyżykami zaznaczono odchylenie średnio-standartowe - porównaj rysunek 8).

Na rysunku 9 (górna połowa rysunku) naniesiono dane dotyczące próbek (15,75,0), (30,60,0), (45,45,0); czyli próbek posiadających płaszczyzny uwarstwień nachylone odpowiednio pod kątem 15°, 30° i 45° w stosunku do naprężenia pionowego. Na dolnej połowie rysunku 9 naniesiono dane dla próbek (60,30,0) i (75,15,0); przy czym na tej części rysunku zaznaczone są wartości naprężeń τ i σ w płaszczyznach osłabień drugiego rzędu (ciosu głównego). Przedstawione na rysunku zbiory punktów można aproksymować za pomocą odpowiednio nachylonych pod kątem $\phi = 30^o$ w stosunku do osi σ. Taką interpretację wyników badań uzasadniają liczne wypadki zniszczenia próbek wzdłuż płaszczyzn osłabienia (omawiane w pracy [8]), przeto trudno wyjaśnić dlaczego autorzy tej pracy nie przedstawili wyników swoich doświadczeń w sposób podany na rysunku 9.

Badany materiał można więc opisać za pomocą modelu ciała o ortotropowo preferowanych systemach spękań i osłabień (posiadającego dwie takie płaszczyzny o odpowiednich charakterystykach wytrzymałościowych τ_1, ϕ i τ_2, ϕ. Słuszność przyjętej koncepcji potwierdza analiza rezultatów badań przedstawionych na rysunku 8, a mianowicie podane tu krzywe posiadają dwa wyraźne minima ($\alpha = 30^o$ i $\alpha = 60^o$), które odnoszą się do dwóch przypadków najbardziej krytycznego zorientowania ortogonalnych systemów osłabienia. W tej sytuacji można sobie wyobrazić iż występują tu dwie rodziny krzywych charakterystycznych dla obu systemów płaszczyzn osłabienia, odpowiednio w przedziałach wartości kąta $\alpha \leqslant 45^o$ i $\alpha > 45^o$, zaś w najbliższym otoczeniu $\alpha = 0^o$ i $\alpha = 90^o$ istnieje pewna strefa przejściowa.
Poza tym o słuszności tej koncepcji świadczą odpowiednio zbliżone wartości niszczącego naprężenia osiowego w przypadku dwóch orientacji płaszczyzn uwarstwienia $\alpha_1 = 15^o$ i $\alpha_2 = 45^o$ (rysunek 8).

Dowód geometryczny jest tutaj elementarny, a mianowicie jeżeli prosta nachylona pod kątem ϕ w stosunku do σ przecina koło naprężeń w dwóch punktach i jeżeli promień koła w punkcie pierwszym nachylony jest pod kątem $2\alpha_1$ w stosunku do osi σ to w punkcie drugim promień koła nachylony będzie pod kątem $2\alpha_2 = 180^o - 2(\phi + \alpha_1)$, a więc w naszym przypadku $\phi = 30^o$, $\alpha_1 = 15^o$ to $2\alpha_2 = 180^o - 2(30^o + 15^o) = 90^o$.
Wyniki uzyskane w trakcie badań węgla Barnsley Hards (rysunek 8) potwierdzają więc słuszność rozwiązania podanego dla omawianych ośrodków (por. ośrodki "ortotropowe" [7] wzór (9)), z zastrzeżeniem, iż rozwiązanie powyższe należy w tym przypadku uogólnić dla dwóch ortogonalnych systemów płaszczyzn osłabienia. W tym też świetle założenia poczynione w trakcie formowania II kryterium Jaegera (wzór (7)) nie mają sensu w odniesieniu do omawianego materiału. (Należy przypuszczać, iż powyższe kryterium może być poprawne i bardzo przydatne w odniesieniu do materiałów "wysoce" anizotropowych; przynajmniej z podobną supozycją można się spotkać w pracy [1]).

Podobnie nie mają głębszego uzasadnienia prezentowane w pracy [8] krzywolinowe obwiednie Mohra (rys. 31 cytowany w pracy [7]), jedynie w przy-



Rys. 10. Obwiednie granicznych kół Mohra dla węgla Barnsley Hards

padku orientacji (90,0,0) i (0,90,0) (rys. 10). można zgodzić się z podaną interpretacją wyników badań. Orientacja płaszczyzn osłabienia decyduje, iż mało prawdopodobne jest zniszczenie próbek (90,0,0) i (0,90,0) w wyniku poślizgu w płaszczyźnie osłabienia, natomiast model ciała kruchego z losowo zorientowanymi defektami będzie tutaj bliższy rzeczywistości. Stwierdzenie powyższe jednakże nie oznacza, iż istnieje tu jakaś sprzeczność z ogólną koncepcją Jaegera i Cooka w sprawie opisu mechanizmu zniszczenia ośrodków "ortotropowych" albowiem przyjęcie krzywoliniowej obwiedni w miejsce prostej CD na rysunku 30 w pracy [7] w niczym nie podważa podstawowych założeń podanego tam rozwiązania. Poprawność tej koncepcji potwierdzona została również na podstawie analizy wyników badań prezentowanych w pracach innych autorów np. pracy [5], pomijając oczywiście zastrzeżenia odnośnie do podanej w tej pracy interpretacji wyników badań [7].

6. Podsumowanie

W pracy zaproponowano wprowadzenie pojęcia skał o ortotropowo preferowanych systemach spękań i osłabień (w odróżnieniu do skał quaziizotropowych) dzieląc je na trzy grupy w zależności od wielkości współczynnika k (wprowadzonego przez Müllera [2]) i tak $o < k \ll 1$, $o \ll k < 1$ i $k = 1$.

Znane dotąd teorie zniszczenia skał mogą zanaleźć tylko w małym stopniu zastosowanie dla określenia kryteriów zniszczenia skał o ortotropowo preferowanych systemach spękań i osłabień.

Dla wielkości współczynnika $0 < k \leqslant 1$ mogą znaleźć zastosowanie wzory (2), (3) i (4) z teorii Hoeka bazowanej na hipotezie Griffitha. Teorii ważnej zresztą tylko dla $\operatorname{tgh} \xi_o < \frac{1}{300}$.

Brak jednak także określenia wartości współczynnika k dla której teoria ta jest ważna, a więc rozgraniczenia podziału na grupę pierwszą i drugą skał o ortotropowo preferowanych systemach spękań i osłabień.

Dla skał o wielkości współczynnika $0 \ll k < 1$ brak opracowanych teorii.

Dla wartości współczynnika $k = 1$ w pracy podano rozwiązanie dla skał o ortotropowo preforowanych systemach osłabień modyfikując w tym celu warunek Jaegera i Cooka. Rozwiązanie to zostało zweryfikowane dla dwu ortogonalnych systemów płaszczyzn osłabienia (na rys. 9 są to płaszczyzny uwarstwień i łupliwości). Zdaniem autorów rozwiązanie to powinno być także słuszne dla innej orientacji wzajemnej płaszczyzn osłabienia.

LITERATURA

[1] Jaeger J.C., Cook N.G.W.: Fundamentals of Rock Mechanics.Mathuen, London 1969.

[2] Müller L.: Der Felsbau. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgard 1963.

[3] Jaeger J.C.: Shear fracture of anisotropic rocks, Geol. Mag., Vol. 97, 1960, s. 65-72.

[4] Hoek E.: Fracture of anisotropic rock, J.S. African Inst. Mining Met., Vol 64, 1964, s.510-518.

[5] Barron K.: Brittle fracture initiation in and ultimate failure of rock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol 8, 1971, s. 541 - 575.

[6] Czubaszek J.: Stateczność ociosów skalnych w górnictwie odkrywkowym. Skrypt Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej,Wrocław 1972.

[7] Czubaszek J.: Zniszczenie skał "Wytrzymałość gruntów i skał". Ossolineum, Wrocław 1975 r.

[8] Pomeroy C.D., Hobbs D.W., Amra Mahmoud, The effect of weaknessplane orientation on fracture of Barnsley Hards by triaxial compression,Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol 8, 1971, s. 227 - 238.

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД С ОРТОТРОПНО ПРЕФЕРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ТРЕЩИН И ПЛОСКОСТЕЙ ОСЛАБЛЕНИЯ

Р е з ю м е:

В настоящей работе горные породы ортотропно-преферированной системой трещин и плоскостей ослабления определяются с использованием коэффициента Мюллера [2].

Критерии разрушения таких пород, выведенные Егером и Куком, Гоуком и Бароном, исследовались наряду с определением их пределов точности (применяемости) Формулируются пути дальнейших работ в этой области.

FAILURE OF ROCKS CONTAINING THE ORTHOTROPIC PREFERRED SYSTEMS OF THE CRACKS AND PLANES OF WEAKNESS

S u m m a r y

Rocks containing the orthotropic preferred systems of the cracks and planes of weakness have been defined with the assistance of Müller's coefficient [2].

The criteria for failure of such rocks derived by Jaeger and Cook, Hoek and Barron have been examined, together with determination of their limits of validity.

Further directions of work have been formulated.