ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: GÔRNICTWO z. 191

Nr kol. 1095

Tadeusz STARON

Politechnika Lubelska

ZASIĘG STREFY ZNISZCZENIA GÓROTWORU NAD ZROBAMI POEKSPLOATACYJNYMI W ŚWIETLE ROZWAŻAŃ TEORETYCZNYCH

Streszczenie. W artykule określono zasięg strefy zniszczenie skał stropowych wywołanej podziemną eksploatacją złoża z zawałem stropu. W analizie numerycznej wykorzystano wzory H. Gila i W. Kraje [1, 2] do wyznaczenia naprężeń $\mathbf{6}_x$, $\mathbf{6}_z$ i \mathbf{T}_{xz} w górotworza i zastosowano różne hipotezy wytężeniowe. W zakończeniu artykułu podano szereg wniosków, które mogą być wykorzystane przy projektowaniu podziemnej eksploatacji złóż.

1. WSTEP

Wyeksploatowanie określonej objętości pokładu proweszi do naruszenia pierwotnej równowagi w górotworze. Zmiany równowagi górotworu w otoczeniu wyrobiska eksploatacyjnego wywołuje nieodwracalne deformecje związane ze stopniową zmianą struktury skał (pękanie). Zasięg strefy, w której zmiany te występują, zależy od wielu czynników, m.in. od głębokości i geometrii obszaru eksploatacji, od szybkości prowadzenia robót wybierkowych i sposobu likwidacj. p zustrzeni poeksploatacyjnej. Wspomniane zjawiaka inspirują wysiłki w celu opisania procesów mechanicznych odbiegający od sprężystego zachowania się górotworu.

Podziemne obserwacje w sąsiedztwie eksplostowanego pokładu dowodzą, ża te same skały zachowują się w różny sposób, zależnie od obciężenia [11], tzn. od głębokości.

Na ogół na mniejszych głębokościach skały zachowują się jak ośrodki czysto sprężyste będź plastyczne, tzn. odkaztałcenia ich następują zaraz po wykonaniu wyrobiska, przy czym mogę być one odwracalne lub nie. Na głębokościach średnich zachowanie się skał cechuje opóźniona sprężystość. Na dużych głębokościach zachodzę odkształcenia nieodwracalna i nieograniczone. Oczywiście pojęcie głębokości małej czy dużej nie jest jednakowe dla wszystkich skał, lecz głębokość ta dla różnych skał jest inna [11].

Wraz ze schodzeniem z eksploatację na coraz większe głębokości szczególne znaczenie odgrywa skala czasu. Uznając, że stan naprężenia i od-

kształcenia górotworu, jaki powataje wskutek eksploatacji górniczej, jest jego funkcję – w artykule określono zasięg strefy zniszczenia skał nad eksploatowanym pokładam z zawałem stropu.

2. REOLOGICZNE WŁASNOŚCI SKAŁ STROPOWYCH I ZACHOWANIE SIĘ ICH PRZY ZAWAŁOWEJ EKSPLOATACJI POKŁADU

Ogólnie skały w zależności od ich budowy można podzielić na sypkie, płynne, apoiste (plastyczne), kruche i mocne (lite). Skały trzech ostatnich grup towarzyszą pokładom węgla. Ze względu na wielkości granicy plastyczności i granicy wytrzymałości (rys. 1) zgodnie z [11] skały możemy podzielić według charakterystyk 5,8 na następujące grupy:



Rys. 1. Charakterystyki (5.8) ściskanie dla różnych skał 1 - piaskowce, 2 - łupki piaszczyste, 3 - łupki ilaste Fig. 1. Compression characteristics (6.8) for different rocks 1 - sandstone, 2 - sand shale, 3 - silt shale

 Skały mocna, sprężyste, granica plastyczności wysoka o niewielkiej zdolności odkaztałcenia. Po przekroczeniu granicy plastyczności wytrzymuję one pewne nieduże odkaztałcenia trwałe (płyną), po czym pękeję.

 Skały kruche cechuje nieko położony punkt krytyczny i minimalna prawie zerowa zdolność odkształcenia się.

Naprężenia krytyczne $\mathbf{5}_{\mathbf{k}r}$ i właściwe odkaztałcenia krytyczne $\mathbf{5}_{\mathbf{k}}$ są mała.

	_		
	۲	٩	
	-	_	
	e		
	٠	۲	
	-	a	
	٣	*	
-	-	4	
٠	-	٦	
	à	6	
-	L	J	
	-	-	
		_	

Straty materialowe skał z sąsiedztwa pokładów grupy 400-500 (wg badań Jasnowskiego)

0,0014-0,0040 0,0016-0,0043 0,0018-0,0047 0,458-2,268 21 00-62 70 (0,0035) plaskowiec 0,40-4,60 grubo-ziarnisty (1,770) (2,50) (41,90) 0,190-2,583 plaskowiec srednio-ziernisty 9,60-66,20 1,00-4,80 (37,90) (0,0039 (2,90) (0,928) Dla rodzaju ekał karbońskich, w MPa 0,480-2,512 20,70-81,10 plaskowiec drobno-1,00-8,20 (1,145) ziarnisty (3,30) (20,90) (0,0025) Lupk1 pieszczyste
(mutowce) 0,0014-0,0041 0,527-2,301 17,20-87,80 1,00-5,80 (1,364) (2,90) (2300,0) (62,60) kupk1 fleete
(ikowcu) 0,001-0,0038 4,70-60,90 0,463-1,33 (32,80) 0,50-5,50 (0,0024)^X) (1,071) (3,00) ne rozciąganie, R_r Modul aprezystosci Wytrzymażość skaż Wytrzymażość skaż Nezwe perspetru Younge x 10⁻⁴, E ne éctekente, R_o ekažy Mepó kozynnik Polesons, V

górotworu...

X)(0,24) - wertości średnie

205

Zasięg strefy zniszczenia

T. Staroń

3) Skały plastyczne maję wprawdzie niskę granicę plastyczności 6_{pl}, natomiast bardzo dużę zdolność odkeztałcania się. Plastyczność lub kruchość nie może być utożsamiana jako charakterystyczna cecha dla danego materiału, w pewnych warunkach może on zachowywać się jak plastyczny, w innych natomiast jak kruchy.

Na podstawie badań Stockesa [11] moduł sprężystości skał zależny jest od ich struktury; im bardziej jest ona drobnoziarnista [11], tym współczynnik E jest większy. Podobny wpływ ma uwarstwienie skały. Wilgotność obniża moduł E i to silniej przy łupkach niż piaskowcach.

Moduł sprężystości węgla jest daleko mniejszy niż piaskowców, czy łupków. Wytrzymałość skał na ściskanie R_c jest zawsze większa niż na rozciąganie R_r . Dla skał stosunek R_c/R_r jest duży i może przekroczyć liczbę 30. Natomiast wytrzymałość na rozciąganie oznaczona na podstawie doświadczeń z próbkami o nierównomiarnym rozkładzie naprężeń jest około dwa razy mniejsza od rzeczywistej (tabl. 1). Moduł bowiem sprężystości skał przy rozciąganiu jest zacwyczaj mniejszy niż przy ściskaniu.

Wilgotność skał wpływa bardzo ujemnie na ich wytrzymałość. Może one obniżyć maksymelnie wytrzymałość pieskowców o 40%, łupków o 60%. Ponimo że łupki i pieskowce mają bardzo zbliżone do siebie wartości modułu sprężystości i wytrzymałości, zachowanie się ich w warunkach podziemnej eksploatacji złóż jest odmienne. Łupki poprzecinane licznymi płaszczyznami łupliwości i uwarstwienie zachowują się zupełnie tak samo jak skały słaba, kruche lub plastyczne. Pieskowce natomiest występuję w grubych warstwach bez wyrażnej sistki najwniejszej podzielności, przez co maję charakter skał mocnych. Odkształcenie właściwe skał przy ściskeniu ich próbek do granicy wytrzymałości są bardzo małe i zmienieją się dle pieskowców w granicach 2 do 7%.

3. PODSTANOWE RÔVMANIA NAPREZEÑ DLA GOROTWORU SPRĘŻYSTU- LEFKIEGO O MODELU "STANDARD"

W niniejszym rozdziałe zajęto się wyznaczeniem zesięgu strefy zniezczenia dla górotworu o modelu Poyntinge-Thomsona.

Fizycznie model "Standard" (Poyntinga-Thomsona) opisuje równanie w postaci:

$$\mathbf{6} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{E} + \eta \, \frac{\mathrm{d}\mathbf{E}}{\mathrm{d}\mathbf{t}} - \mathbf{T}_{\mathbf{r}} \cdot \frac{\mathrm{d}\mathbf{6}}{\mathrm{d}\mathbf{t}},\tag{1}$$

gdzie:

- E moduł aprężystości Younga,
- & modul odkeztalcenia,
- 7 współczynnik lepkości ośrodka,
- T. czas releksecji (zwolnienie naprężeń).

Z równania (3) wynika, że naprężenia zależą nie tylko od prędkości przyrostu odkształceń, ale także od zmiany naprężeń w czasie.

H. Gil i W. Kraj w pracy [3] dotyczącej mechanizmu wytwarzania obszarów wzmożonych naprężeń w masywie górotworu wywołanych podziemną eksploatacją złoża podają metodę wyznaczania składowych tensora naprężeń oraz maksymalnego naprężenia stycznego w górotworze traktowanym jako jednorodny nieściśliwy ośrodek sprężysty przy płaskim stanie odkaztałcenia. Dla poziomego pokładu eksploatowanego długim frontem ścianowym ze stałą prędkością postępu, spełniającego modal typu "Standard" ww. Autorzy określają stan naprężeń w sąsiedztwie frontu eksploatowanego. Naprężenia wyznaczono w pracy [4] zarówno podczas czynnego frontu, jak i po jego zatrzymaniu.

Rozpatruje się przypadek półpłaszczyzny sprężystej. Na jej brzegu zostają podane warunki przemieszczeniowa.

Rozkład naprężeń¹⁾: $\mathcal{G}_{x}(x,z,t)$, $\mathcal{G}_{z}(x,z,t)$ i $\mathcal{C}_{xz}(x,z,t)$ dla czynnej eksploatacji (rys. 2) określają niżej podane równania:

$$\begin{aligned} a_{x}(x, z, t) - a_{x}(x, z, 0) &= \frac{2G \, w_{y}}{\pi} \bigg\{ (1 - e^{-\beta t}) \left[\frac{2x \, z^{2}}{(x^{2} + x^{2})^{2}} - \frac{x}{.x^{2} + z^{2}} \right] + \\ &- \frac{\beta}{\sigma} \frac{z^{4}}{x^{2} + (vt - x)^{2}} + \frac{\beta}{\sigma} \frac{z^{2} e^{-\beta t}}{x^{2} + z^{2}} + \\ &+ \frac{\beta}{\sigma} \operatorname{Re} \left[\left(1 - \frac{\beta}{\sigma} z i \right) e^{-\frac{\beta}{\sigma} \frac{z}{[t^{(0)} - x] + ix]}} E_{1} \bigg\{ - \frac{\beta}{\sigma} \left[(ot - x) + iz \right] \bigg\} + \\ &- \frac{\beta}{v} e^{-\beta t} \operatorname{Re} \left[\left(1 + \frac{\beta}{v} z i \right) e^{-\frac{\beta}{\sigma} \frac{v}{v} (x + iz)} E_{1} \bigg\{ \frac{\beta}{v} (x + iz) \bigg\} \right] \bigg\} \end{aligned}$$

$$d a_{t} \quad 0 \leq t \leq T, \end{aligned}$$

$$(2)$$

$$\begin{split} \sigma_{z}\left(x, z, l\right) &- \sigma_{z}\left(x, z, 0\right) = \frac{2Gw_{n}}{\pi} \left\{ \frac{\beta}{v} \frac{z^{2}}{z^{2} + (vl - x)^{2}} - \frac{\beta}{v} \frac{x^{2} e^{-\beta t}}{x^{2} + z^{2}} + \left(1 - e^{-\beta t}\right) \left[\frac{x}{x^{2} + z^{2}} + \frac{2xx^{2}}{(x^{2} + z^{2})^{2}} \right] + \\ &+ \frac{\beta}{v} \operatorname{Re}\left[\left(1 + \frac{\beta}{v} zi\right) e^{-\frac{\beta}{v} \left(1 + z\right) + iz} \right] E_{1} \left\{ - \frac{\beta}{v} \left[(vl - x) + iz \right] \right\} \right] + \\ &- \frac{\beta}{v} e^{-\beta t} \operatorname{Re}\left[\left(1 + \frac{\beta}{v} zi \right) e^{\frac{\beta}{v} \left(z + iz\right)} E_{1} \left\{ \frac{\beta}{v} \left(x + iz\right) \right\} \right] \right\} \\ &\quad \text{Gam} \quad 0 \leqslant i \leqslant T, \end{split}$$

(3)

W pracy przyjmuje się konwencję stosowaną powszechnie w mechanice ośrodków cięgłych traktującą naprężenia rozciągające za dodatnie, natomiast ściakające za ujemne.

$$\begin{aligned} \tau_{xx}\left(x, z, t\right) &- \tau_{xx}\left(x, z, 0\right) = -\frac{2Gm_{\theta}\beta z}{\pi v} \left\{ \frac{vl - x}{z^2 + (vl - x)^2} + \frac{x e^{-\beta t}}{x^2 + z^2} + \right. \\ &- \frac{v}{\beta} \left(1 - e^{-\beta t}\right) \frac{x^2 - z^2}{(x^2 + z^2)^2} + \frac{\beta}{v} \operatorname{Re} \left[e^{-\frac{\beta}{v} \left[(vl - x) - iz \right]} E_1 \left\{ -\frac{\beta}{v} \left[(vl - x) + iz \right] \right\} + \\ &- \frac{\beta}{v} e^{-\beta t} \operatorname{Re} \left[e^{\frac{\beta}{v} \left[x - iz \right]} E_1 \left\{ \frac{\beta}{v} \left(x + iz \right) \right\} \right] \\ &\quad \text{dla} \quad 0 \le t \le T, \end{aligned}$$



Rys. 2. Schemat eksploatacji poziomego pokładu z zawałem stropu Fig. 2. Diegram of horizontal seam excaration with fall of roof

We wzorach powyższych (2-4) $d_{x_1}(x,z,o)$, $d_z(x,z,o)$, $\mathcal{T}_{x_2}(x,z,o)$ zgodnie z pracę [2] sę współrzędnymi tensora naprężeń w chwili rozpoczęcia eksploatacji; funkcja $E_{1(x)}$ (wzór 5) jest funkcją wykładniczą całkową zmiennej zespelonej, określoną całkę

$$E_{1(x)} = \int_{-\infty}^{x} \frac{a^{0}}{a} da$$
 (5)

W werunkech tych występują cztery stałe: w_0 , β , V, T. Stała $w_0(m)$ jest wielkością końcewego osiadenia stropu pokładu i zaluży od grubości eks-

Zasięg strefy zniszczenia górotworu...

ploatowanego pokładu (g) i od sposobu likwidacji i przestrzeni poeksploatacyjnej (zawał, podsadzke). Stała $\beta \left(\frac{1}{rok}\right)$ jest wepółczynnikiem proporcjonalności między prędkością osiadania stropu górotworu a różnicą aktualnego i końcowego osiadania stropu. Stała β wyznaczana jest na podstawie danych pomiarowych (S. Knothe). Stała v (m/rok) jest średnią prędkością postępu ściany. Stała ta jest okresem, jaki upłynął od chwili rozpoczęcia eksploatacji do jej zatrzymania. Iloczyn v t przedstawia wielkość wybiegu ściany.

We wzorach (2)-(5) wprowadzono mastępujące oznaczenia:

- G moduł sprężystości postaciowej górotworu,
- v stała prędkość postępu frontu eksploatacji,
- t czas liczony od momentu rozpoczęcia eksploatacji,
- T czas liczony od momentu zatrzymania eksploatacji do jej uruchomienia,
- w_ osiadanie końcowa stropu uwarunkowane ściśliwością podsadzki (η) i grubością pokładu (g_{η}) ,
- x współrzędna punktu w pionie liczona od stropu eksploatowanego pokładu.

Przy obliczaniu $\mathcal{G}_{x}(x,z,t)$, $\mathcal{G}_{z}(x,z,t)$ i $\mathcal{T}_{zx}(x,z,t)$ (w N/m²) należy przyjęć wartości początkowe $\mathcal{G}_{x}(x,z,o)$, $\mathcal{G}_{z}(x,z,o)$ i $\mathcal{T}_{xz}(x,z,o)$ (w N/m²) z rozwiązań hydrostatycznych górotworu nienaruszonego.

Przyjmując ciśnienie pionowe równe ciężarowi skały leżącej powyżej jednostkowego przekroju, otrzymujemy:

$$G_{x}(z,o) = G_{y}(z,o) = -\frac{\gamma}{1-\gamma} \gamma^{H}$$
 (6)

$$G_{z}(\mathbf{x},\mathbf{o}) = -\gamma^{\prime} \mathbf{H}$$
⁽⁷⁾

Natomiast naprężenia styczna $T_{xz}(z,o) = T_{yz} = T_{zx} = 0.$

Niezależnie od składowych tensora naprężeń występuje również moduł sprężystości postaciowej skał n odległych wyrażający się, przy przyjętych w pracy [4] założeniach, wzorem $G = \frac{7}{n} \left(\frac{N}{m^2}\right)$. Wzory (2-7) pozwalają na wyznaczenie rozkładu naprężeń w dwóch przypadkach, tj. dla czynnego i zatrzymanego frontu ściany.

Dla czynnego frontu eksploatacji podstawia się za czas T czas t liczony od momentu rozpoczęcia eksploatacji i określający chwilę wyznaczenia rozkładu naprężeń. W przypadku zatrzymania frontu ściany oba czasy t i T są wielkościemi niezależnymi. Z uwagi na złożoną postać analityczną wzorów, wyznaczenie wartości naprężeń przeprowadzono za pomocą maszyny cyfrowej typu UNIVAC serii 1106 dla czynnego frontu eksploatacji.

4. WYTĘŻENIE GRANICZNE I ZNISZCZENIE STROPU GÓROTWORU NAD ZAWAŁOWĄ EKSPLOATACJĄ DLA PRZYJĘTYCH HIPOTEZ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH I PODZIEMNYCH OBSERWACJI PODBIERANIA POKŁADÓW

4.1. Warunki stanu granicznego wytężenia materiału

Stan graniczny wytężenia materiału oznacza taki stan obciążenia i naprężenia w rozpatrywanym elemencie górotworu, dla którego zachodzi poczatek niestatecznego zniszczenia (skały kruche) lub zaawansowanego płynięcia plastycznego (dla elementów plastycznych); inaczej mówiąc niezdolność elementu górotworu do przenoszenia dodatkowych obciążeń [7].

Stan graniczny wytężenia górotworu dla materiałów kruchych oznaczać będzie początek miestatecznego procesu wzrostu i propogacji szczelin i mikrorys, co odpowiada osiągnięciu maksymalnej wartości obciążenia. Dalszy proces deformacji zachodzi przy malejącym obciążeniu. Przyjęcia, że stan granicy wytężenia materiału zależy jedynie od aktualnego naprężenia, jest tu istotnym uproszczeniem; zależy on od wielkości przyłożonego ciśnienia hydrostatycznego, temperatury, czy prędkości odkaztałcania.

Istniejąca obszerna literatura wskazuje, że warunek zniszczenia takich materiałów, jak beton, skały czy żeliwo, może być przedstawiony w przestrzeni naprężeń głównych bryłą zbliżoną do ostrosłupa (rys. 3) o płaskich lub wypukłych ściankach rozszerzających się w stronę naprężeń ściskających. Spowodowane jest to znacznie mniejszą wytrzymałością tych materiałów na rozciąganie niż na ściskanie.

Ogólna postać warunku stanu granicznego wytężenia izotropowego materiału (skał) w złożonym stanie naprężenia określona jest przez związek

 $F(G_{\pm\pm}) = 0$

gdzie: 6_{1j} oznacza składowe tensora naprężenia w przyjętym układzie współrzędnych.

Związek (8) możemy również wyrazić przez naprężenia głównie 5_1 , 5_2 , 5_3

$$F(G_1, G_2, G_3) = 0 \tag{9}$$

Równania (8) 1 (9) opisują pewną powierzchnię w przestrzeni naprężeń, którą będziemy nazywali powierzchnią graniczną. Obejmować ona powinna punkt zerowy przestrzeni naprężeń oraz ograniczać obszar wypukły. Stany $F(G_{11}) < 0$ będziemy definiować jako stany bszpieczne lub niewywołujące

procesu zniszczenia, stany spełniające warunek $F(G_{\frac{1}{2}}) = 0$ będą stanowić stan zniszczenia czy też uplastycznienia lub ogólnie stan graniczny.



Rys. 3. Warunki zniszczenia na płaszczyźnie Mohra (7,6) Fig. 3. Destruction conditions on Mohra (7,6) level

4.2. Zastosowane hipotezy wytężeniowe

Znane są liczne hipotezy dotyczące wytężenia stanu granicznego materiału. Najbardziej adektwatnymi dla wyznaczenia strefy zniszczenia skał stopowych górotworu nad eksploatacją zawałową pokładu jest wcześniejsza hipoteza najwieksze o odkształcenia podłużnego podana przez de Selnt-Venanta [9] oraz późniejsza i bardziej złożona podana przez Coulomba w postaci zmedyfikowanego warunku granicznego.

W myśl hipotezy de Seint-Venanta zniezczeniu ulega górotwór naprężeniami zredukowanymi G_{zred}(x,z,t) przekraczającymi R_c lub R_r charakteryzującymi wytężenie w chwili z punktu górotworu o współrzędnych (x,z). Naprężenie G_{zred} dla płaskiego stanu naprężenia (rys. 4) opisuje równanie

$$6_{\text{zred}} = 6_1 - 96_3 = -9R_c$$

gdzie:

$$\mathbf{b}_{1} = \frac{1}{2}(\mathbf{b}_{x} + \mathbf{b}_{z}) + \sqrt{\left(\frac{\mathbf{b}_{x} - \mathbf{b}_{z}}{2}\right)^{2}} + \mathbf{t}_{xz}^{2}$$

211

(11)

(10)

T. Staron

$$\vec{b}_{2} = \frac{1}{2} (\vec{b}_{x} + \vec{b}_{z}) = \sqrt{\left(\frac{\vec{b}_{x} - \vec{b}_{z}}{2}\right)^{2}} + \vec{v}_{xz}^{2}$$
(12)

Podstawiejąc zel zności (11) i (12) do równania (10), otrzymujemy

$$6_{zred} = \frac{1}{2}(6_{x} + 6_{z})(1 - v) + (1 + v) \sqrt{\left(\frac{x - z}{2}\right)^{2}} + c_{xz}^{2} = -VR_{c}.$$
 (13)



Rys. 4. Graniczne stany wytężenia wg hipotezy Seint-Venanta Fig. 4. Strain states limits according to Seint-Venanta hypothesis

Rysunek 4 może być uważany za odwzorowanie geometryczne treści hipotezy de Seint-Venanta (największego wydłużenia właściwego) dla wszystkich rodzajów płaskich stanów naprężenia przy założeniu 63 = 0. Na rysunku ym uwidaczniaję się graniczne stany wytężenie dla typowych porównawczych przypadków płaskiego stanu naprężenia.

Jeżeli obliczone wzorem (13) wartość δ_{zred} jest niższa od granicy wyfrzymałości na ciśnienie R_c , wówczas przy tym trójosiowym stanie naprężenia materiał znajduje się w fazie sprężystej; jeżeli $\delta_{zred} = R_c$, wówczas materiał jest na granicy sprężystej i zniszczenia lub przy znaku nierówności $\delta_{zred} > R_c$ w fazie zniszczenia. Z równania (13) dla każdej Zasięg strefy zniezczenia górotworu...

chwili t można na drodze numerycznej otrzymać zasięg strafy zo. zczecia nad eksploatowanym pokładem.

Z uwagi na różny charakter zachowania się skał w górotworze zastosowanie ww./hipotezy wytężeniowej nie zawsze adekwatnie opisuje rzeczywiste cechy mechanicznego zachowania się skał.

Najprostazą postać warunku zniszczenia można scharakteryzować obwiednią granicznych kół Mohra [7] przedstawionych na rys. 5.



Rys. 5. a) Przekroje powierzchni granicznej zmodyfikowanego warunku Columba płaszczyzną 6₃ = const, b) powierzchnie (linie) stałej dysypacji dla płaskiego stanu naprężenia

Fig. 5. a) Sections of limit surface of modified Columb's condition with plane $6_3 = \text{const., b}$ surfaces (lines) of constant dissipation for planer stress state

Naprężenia 6_{I}^{*} i 6_{III}^{**} wyznaczające największe koło Mohra przechodzące przez punkt N ($6 = 6_{I}^{**}$) i odpowiadające krawędziom przecinających się płaszczyzn $\left[6\right]\left[5\right]$ określają związki:

$$6_{I}^{*} = R_{r}, \quad 6_{III}^{*} = R_{r} \quad \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} - R_{c}$$
 (14)

a promień R koła Mohra wynosi [5]

$$R = \frac{1}{2}R_{c} = R_{r}\frac{\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$$
(15)

Wazystkie koła Mohra [5] o promieniach q < R są styczne do obwiedni w punkcie $\delta = \delta_T$. Charakterystyczne przekroje powierzchni granicznej płaszczyznami $G_3 =$ = const zobrazowano na rys. 6a, przy czym przekrój $A_1B_1C_1D_1E_1F_1$ (płaski stan naprężenia) odpowiada przecięciu płaszczyzną $G_3 = 0$.



Rys. 6. Obwiednie granicznych kół Mohra dla zmodyfikowanego warunku Coulumba Fig. 6. Enrelops of Mohr's limit circles for modified Columb's condition

Stosowanie hipotezy de Seint-Venanta do opieu rzeczywistych materiałów kruchych jest przybliżeniem, które jednak w szeregu przypadkach jest dopuszczalne. W niniejszym rozdziałe przyjęto uogólniony warunek zniszczenia w postaci zmodyfikowanego warunku Coulomba – Mohra podany w pracach [5, 7, 9] i przedstawiony na rys. 5.

Warunek ten w przypadku płaskiego stanu odkształcenia dla obszaru ściskania (rys. 5) możemy przedstawić w postaci:

$$F_{2} = \sqrt{\frac{1}{4}(6_{x} - 6_{z})^{2} + 7_{xz}^{2}} + \frac{1}{2}(6_{x} + 6_{z})\sin\varphi - c\cos\varphi = 0$$
(16)

W obszarze rozcięgania dla hipotezy największego naprężenia rozcięgajęcego

$$F_{3} = \sqrt{\frac{1}{4}(6_{x} - 6_{z})^{2} + C_{xz}^{2}} + \frac{1}{2}(6_{x} + 6_{z}) = R_{r}$$
(17)

Funkcja F₂ lub F₃ spełnia warunki F₂ = 0 i F₃ = R_r w fazie zniszczenia plastycznego, natomiast F₂ < 0 i F₃ < R_r w obszarze odkształceń sprężystych lub lepko-sprężystych.

Podobnie jak dla warunków (13) przy uwzględnieniu warunków (11) i (12) obliczamy F₂ i F₃ określone wzorami (16) i (17) jako funkcję położenia i czasu (x,z,t) opierając się na rozwięzaniu równań sprężysto-lepkich.

4.3. Przykłady liczbowe

Zasięg strefy zniszczenia określono dla przykładów podebrań zestawionych w tabl. 2. Grubość eksploatowanych pokładów g₂ = 1,6 do 4,3 m przebiega na głębokości M = 150 do 700 m.

Prędkość postępu frontu eksploatacji v = 300 m/rok.

Końcowe osiadanie stropu (w_o) uwarunkowane ściśliwością gruzowiska zawałowego $(\overline{\gamma})$ i grubością pokładu (g₂) określono ze wzoru

$$w_0 = \overline{\eta} \cdot g_2 \tag{18}$$

Dla skał stropowych zalegających między pokładami złożonych z kilku warstw należy do obliczeń przyjmować zestępczą wartość współczynnika Poissona, którą można określić ze wzoru

$$\hat{\mathbf{v}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \hat{\mathbf{v}}_i \cdot \mathbf{h}_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \mathbf{h}_i},$$

gdzie:

🖓 – średnia wartość liczby Poissona dla warstwy i-tej,

h, - średnia miąższość i-tej warstwy stropowej.

Zastępczą wartość liczbową dla omawianego przykładu przyjęto $\vartheta = 0,25$ do $\vartheta = 0,35$. Wartość liczbową modułu postaciowego górotworu (kirchhoffa) określono ze wzoru

$$G = \frac{E}{2(1+v^2)},$$
 (20)

gdzie:

E - wartość liczbowa modułu Younga,

- liczba Poissona.

Podstawiając do wzoru (2C) za E = 75000 MPa i za V≠ 0,35 otrzy≣a¤y liczbową wartość G = 4000 MPa.

(19)

Teblics 2

	17	-		19	m	-1	
	, Przyklad. Pohlad. kopaźnia	~	r cdebranie r skł dom <i>LTL</i> /5 pekłada LTJ w konici Ka	Fuderbenne portuden de forme de 1651 an keepalm, "R.".	Fodebrasie podlikaten 4171 i pokladu 1014 w kopilat	vocorranic petitadem LOT/I settadem LOT/I respitademe	Podetranie Pokiadem 306 svetadu 504 w Sonada Nervy
-1	Crabold pebli podhavnap	5	2.2	£"7	1.6	50	2
Rodza) shal zalegaji-	eych migdly polladad licade w góng od po- hiada pochieranago	. 7 .	Lupok ilasry 17,0m	Plashownec 16,9 m Lopek the 2_8,1m 25.0m	Lupek listy L. La	Lupek ilasiy - 1.0 a Plastowacov - 15, Un Luck masservita z vkl. sforosyta rysu	Lupek Maszar 7 2 "Upck Pissra" 2.2 Larch Maszar 2.2 Larch Maszar 2.0
-1	Odlegtońć między poklad mi M., m	2	27,0	23.0	и, и	0 72	12,5
-91	Stonmek odleglohet pok		62.7	10 10	0.6	12,0	9. 83
	/ 18 ³ / bodbletekice Ba	Ŀ	8 <mark>9</mark> .	420	155	85	700
	ωγοιες τυδοι εκιρίσεια αγηγεί Γι, m	-	1000.0	200 0	0.00	550.0	8
-1.4	m , 8 ubation of an area planted and a second of a	0	500.0	00	320.0	180,0	950
_	lade yis alsamslas işX İsterator	10	220	ŝ	36	65°.	650
tegen	Waydiczynath Pozluzewi Mapdiczynath Pozluzewi, Mapdiczynath	17	1.24	1.35	1.32	1,23	1.22
	Zasiqg zuvelv музойгед гол муекьріоломанут рокілdem, т	12	6,23	13, 53	5.05	6.27	6.73
Ap.	St INIM CIESEE OBICIDATE AND	C.T	1 10 10	21	3	61 (4	3 5
0140	Cree a rigital adams	1.	0 N	2.0	0	2 0	2,0
T E YNG	Media spress 6, MG.	15	£01.0.5	₹01.2.€	€01.0,E	3'0'10 ⁹	E01.1
a state		36	0,32	9.64	0.2%	.15	1.24
maters In U.n	Materia (), 1, rok Materia (), 1, rok	0	5		L)	5	5.2
la fore	ערטער ערישבי א ישקינ	18	000	DQ.	0	000	8
1 dans	Polesone y	61	0,25	8	52	30	.35
in the second	icehesta, C.	17 09	95067610	990648-0	99067C 0	99067€10	9906
-01	Wythermaland sharing	12	8.	8	2	<u> </u>	8
110	Activitation Remains and a second point of the	53	Nic str Micro Nov so Nov so	- an - M are flog school - C burbur school - C burburg burburg	O Dotter	or and a contract of the second secon	Mic al dzuno ezema

T. Staroń

Zasięg strefy zniszczenia górotworu...

Skały stropowe górotworu oddzielające pokłady węgla złożone są z łupków ilastych (iłowców), dle których wytrzymałość na ściskanie wynosi R_ = 32,80 MPa, a wytrzymałość na rozciąganie R_ = 8,50 MPa.

Współczynnik związany z prędkością osiadania warstw stropowych wynosi $\beta = 2.5 \frac{1}{r_0 k}$

Średni czas eksploatacji omawianego przykładu, dla którego dokonano obserwacji, wynosi T = 2,0 lata.

4.3.1. Obliczenia numeryczne

Do obliczenia zasięgu strefy zniszczenia tworzącej się nad eksploatowanym pokładem z zawałem stropu użyto zmodyfikowanego programu opracowanego przez W. Kraja [4] w Zakładzie Mechaniki Górotworu PAN w Krakowie.

Program pierwotnie użożony pozwalał dokonywać obliczania składowych tensora naprężeń (SIGMA x SIGMAZ, TAU oraz maksymalnego naprężenia stycznego TAU MAX) w punkcie $-\infty < x < +\infty$ o współrzędnych x, z w chwili T, w przypadku gdy front ściany jest czynny T_g = T i dla przypadku zatrzymania frontu ścianowego w momencie T_g < t w punkcie x,z, dla $-\infty < x < +\infty$ przy z $\geq \beta$, z wykluczeniem punktów (β,β ; V.T_g, β).

Przeprowacowano ten program z języka ALGOL na FORTRAN z dostosowaniem do elektronowej maszyny cyfrowej typu UNIVAC serii 1106. W obliczeniach uwzględniono hydrostatyczne naprężenie początkowe (wzory - 6 i 7). Wymiar tych wielkości jest w MPa.

Zasięg strefy zniszczenie nad czynnym frontem ścianowym eksploatowanego pokładu wyznacza się z hipotezy największego odkaztałcenia podłużnego de Seint-Venanta (F_1 - wzór 13) i uogólnionego warunku zniszczenia Coulomba-Mohra w obszarze ściskania (F_2 - wzór 16) i w obszarze rozciągania (F_3 - wzór 17).

Do obliczenia wartości naprężeń niszczących skały górotworu (stref zniszczenia) dla określonej hipotezy wytężeniowej i głębokości eksploatacji należy wprowadzić kartę z danymi początkowymi zawierającą wartości liczbowe w następującej kolejności i wymiarze:

G(MPa)	-	moduł sprężystości postaciowej,
w _o (m)	-	osiadanie końcowe stropu,
3(<u>1</u> rok)	ua.	współczynnik zwięzany z prędkościę osiadania stropu,
V(m/rok)	-	średnia prędkość postępu frontu ścianowego,
H(m)		głębokość eksploatacji pokładu,
0	-	współczynnik Poissona,
අ = 20 ⁰	-	kąt rarcia wewnętrznego (φ - const) (0 < $\varphi \leq 90^{\circ}$),
c(MPa)	-	kohazja, c = 15 MPa,
R _c (MPa)	-	wytrzymałość skał stropowych na ściskanie, R _c = 32,80 MPa,
T(rok)	=	czas, w którym wyznaczamy naprężenie, T = 2 lata,

z(m) - pionowa wapółrzędna punktu, w którym wyznaczamy naprężenie,
 x(m) - pozioma wapółrzędna punktu.

Obliczeń numerycznych zasięgu strefy zniszczenia dokonano dla wybiegu frontu eksploatacyjnego o < x < 50-150 m i pionowego zasięgu nad wy-eksploatowanymi pokładami o wysokości o < z < 28 m. Przebieg zasięgów strefy zniszczenia dla analizowanych przykładów (tabl. 2) przy uwzględnianiu hipotez wytężeniowych F_1 , F_2 i F_3 zobrazowano na wykresach rys. 7a,b,c,d i e.

4.3.2. Analiza otrzymanych wyników

Wyznaczone zasięgi strefy zniszczenia skał nad dokonaną eksploatacją z zawałem stropu mają przebieg zmienny, w zależności od punktu obserwacji rozpoczęcia eksploatacji.

Z dokonanych obliczeń numerycznych zasięgu strefy zniszczenia górotworu i sporzędzonych wykresów (rys. 7a,b,c,d i e – krzywa F_1 , F_2 i F_3) wynika, że pierwsze zniszczenie skał w sęsiedztwie rozpoczętej eksploatacji przebiega na wyższej wysokości niż kolejne niezczenie górotworu wraz z postępem eksploatacji.

W zależności od przyjętej hipostezy do wyznaczenia wysokości strefy zniszczenia zasięg jest zmienny. Na przykład dla hipotezy największego wydłużenia właściwego do Seint-Venanta (krzywa F_1) i wybiegu frontu eksploatacji x = 5 do 15 m, zasięg strefy zniszczenia jest wyższy od pozostałych stref zniszczenia wyznaczonych z hipotez: zmodyfikowanego warunku Coulomba - Mohra (F_2) i największego naprężenia rozciągającego (F_3), z wyjątkiem obliczonego zasięgu dla przykładu 5 (rys. 7e). Dalszy postęp frontu eksploatacji o wybiegu x = 30-40 m, przy którym z hipotezy de Seint-Venanta wyznaczono zasięg strefy zniszczenia, ustala się i wynosi z = 5-16 m, co w odniesieniu do grubości eksploatowanych pokładów (tabl. 2) stenowi 3-5-krotne grubość (rys. 7a,c,d,e).

Zasięg strefy zniszczenia wyznaczony za zmodyfikowanego warunku Coulomba-Mohra jest gwałtownie malejący wraz z przesuwaniem się frontu eksploatacji (rys. 7a.c.e – krzywa F₂) i przy wybiegu x = 20 m maleje do wysokości z = 10-12 m, co stanowi ok. 5- do 6-krotną grubość wyeksploatowanego pokładu.

Wyznaczony zasięg strefy zniszczenia z hipotezy największego naprężenia rozcięgającego (rys. 7e,c,d,e) ma przebieg żagodnie malejący wraz z postępem eksploatacji.

Przy wybiegu frontu eksploatacji ok. x = 40 do 45 m (rys. 7a,c,d,e) zasięg strefy zniszczenia ustala się i wynosi $h_z = 10-16$ m, co w odniesieniu do grubości eksploatowanych pokładów (tabl. 2) stanowiło 4- do 8krotnej grubości pokładu.



Zasięg strefy zniszczenia górotworu...

219

5. UWAGI KUNCOWE

Przedstawione przykłady mają jedynie charakter ilustracyjny, tym niemniej wykazują przydatność analizy sprężysto-lepkiej do wyznaczania zasięgu strefy zniszczenia ned wyeksploatowanym pokładem z zawałem stropu.

- Przeprowadzone rozważania nad wyznaczeniem strefy zniszczenia wykazały, że piarwszy punkt zniezczania skał górotworu występuje o wyższym zasięgu niż kolejne wysokości tworzącego się zawału, który ustala się po okraślanym wybiegu frontu eksploatacyjnego. Wysokość strefy zniszczenia uzależniona jest od fizykomechanicznych własności skał górotworu oraz czasu, jaki upłynął od dokonanej eksploatacji, im ten czas jest dłuższy i skały sę słabsze, tym zasięg zniszczenia występuje na wyższej wysokości, ale tylko do pewnych granic, ponieważ skały skruszone powiększają swoją objętość, przeto wypełniają pustkę poeksploatacyjnę i strefę zniszczonę tek, że skały wyżej zalegające zostają dostatecznie podparte.
- Głębokość eksploatacji i grubość wybleranego pokładu w ewidentny sposób wpływają na zasięg zniszczenia skał górotworu, im grubszy pokład i większa głębokość, tym wyższy zasięg zniszczonych skał nad dokonaną eksploatacją.
- Szybkość postępu frontu eksploatacji wpływa na zasięg strefy zniszczenka, im ona jest większa, tym również jest mniejszy zasięg strefy zniazczenia.

Przy dalszym rozważaniu nad zasięgiem zniszczenia skał górotworu wyłania się problem określenia właściwych parametrów materiałowych oraz uwzględnienia anizotrop i war zwowości skał ciedka górotworu.

LITERATURA

- [1] Chudek M.: Mechanika górotworu Skrypty Centralne Wyższych Studiów Technicznych, Pol. Śl., Gliwice 1981.
- [2] Chudek M., Stefański L.: "Loads and stress occuring in the orogen in the vicinity of wall raadings remains of coal seams and barrier pillars in undergraund mines. PAN o/Katowice 1985.
- Gil H., Kraj W : The distribution of displacements and stressos around a langwoll working. Archiwum Górn. 1972, t. XVII, z. 3, s. 249-264.
- [4] Gil H., Kraj W.: Rozkład przemieszczeń i naprężeń w górotworze w przypadku zatrzymania czynnego frontu eksploatacji, Archiwum Górn. 1974, t. XIX, z. 1, s. 7.
- [5] Kidybiński A.: Wpływ podporności obudowy ścienowej na rozkład naprężeń i stref wytężenia w skałach stropowych. Prace GIG, Komunikat nr 655. Wydawnictwo "Ślęsk". Katowice 1975.
- [6] Kuhl J.: Petrograficzna klasyfikacja skał towarzyszących pokładom węgla w Zagłębiu Górnośląskim. Prace GI, komunikat nr 171. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1955.

Zasięg strofy znieżczenia górotworu....

- [7] Mróz Z.: Mathematical Models of Inelastic Concrete Behavisur and Inelasticity and Non Linearty in Structural Concrete. Uniw. Weightco., Boch study (1972), 8(2), 47-72.
- [8] Mróz Z., Winnicki L.: Sprężysto-plastyczna a wiżza neprężenia w górotworze w sęsiedztwia wyrobiska górniczegi. Archiwum Górn. 1977, t. XXII, z. 1, e. 3-30.
- [9] Mróz Z., Staroń T.: Deformacja góra doru i osiadania powiarzchni dle ośrodka aprężysto-plastycznego. Galeona Tarenów Górniczych 1977, nr 41, s. 3.
- [10] Ropski S., Żnański J.: Zachowenie się stropu pod pokładam wybierenym ściana z zewałam. Przegl. Górn. 1965, nr 10, s. 412-420.
- [11] Salustowicz A.: Zarys Mechaniki Gérotworu. Wydawnictwo " sk", wyd. 2. Katowice 1967, a. 196.
- [12] Staroń T.: Studium nad zagadnieniem podbieranie pokładów z zawałam stropu w świetle badań - podziemnych i rozważań teuretycznych. Prace GIG. Komunikat nr 646, Wydawnictwo "Śląsk". Katowice 1975, ss. 40.
- [13] Staroń T.: Zapobieganie zagrożeniom tępaniem w pokładzie przez pobranie niżej leżęcym pokładem w oparciu o model sprężysto-plastyczny górotworu. Prace CIOP 1978, nr 96.
- 14 Staroń T.: Zasięg strefy zniezczenia nad eksplostowanym pokladem dla górotworu sprężysto-lapkkiego o modelu "Standard". Ochrona Terenów Górniczych 1978, nr 44.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Mirosław Chauck

ПРЕДЕЛ ЗОНН РАЗРУПЕНИЯ МАССИВА НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАЛУТВОМ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАССУИЛЕНИЙ

Резрже

В статье определен предел зоны разрушения пород кровли пласта, вызванной подземной подземной разработкой месторождения с обрушением кровли. В цифровом анализ, был, применены формулы Г. Гиля и В. Края [1, 2] для определения напряжений б_х, б_х н T_{xz} в массиве, и использованы разные критерии прочности горных пород. Приводится ряд результатов, которые могут быть использованы при проектировании разработки месторождений подземным способом.

THE RANGE OF THE FRACTURED ZONE IN THE ROCK MASS ABOVE THE MINED-OUT AREA, FROM THE THEORETICAL POINT OF VIEW

Summary

The range of e zone of frectured roof rocke due to underground mining with caving hee been determined in the paper. H. Gil'e and W. Krej's [1, 2] formules were applied to determine the stresses f_{χ} , f_{χ} and $t_{\chi\chi}$.

in the rock mass, and various strength criteria were used in the numerical analysis. The paper provides several conclusions which might be utilized when designing underground mining activities.