

Mgr inż. Włodzimierz Ołaszowski  
Katedra Budownictwa Podziemnego Kopalń

ANALIZA PROCESU ODPREŻANIA GÓROTWORU  
W ŚWIETLE BADAŃ LABORATORYJNYCH  
I POMIARÓW W KOPALNIACH

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych i pomiarów kopalnianych nad zagadnieniem odprężania górotworu w bezpośrednim sąsiedztwie pokładów węgla, przez ich podbieranie i nadbieranie. Wykazano, że głównym czynnikiem powodującym zmniejszanie ciśnień eksploatacyjnych w pokładach zagrożonych tapaniami, jest proces doszozelniania podsadzki w zrobach pokładu odprężającego. W oparciu o wyniki pomiarów podano wstępną analizę procesu odprężania biorąc pod uwagę skuteczność zmniejszania ciśnień przez podbieranie i nadbieranie.

## 1. Wprowadzenie

Górotwór jako środowisko górnicze odznacza się dużą różnorodnością naturalnych warunków zalegania, jak też fizykomechanicznych własności skał. Czynniki te w decydujący sposób wpływają na warunki eksploatacji górniczej kopalni użytecznych, a niejednokrotnie utrudniają lub wręcz uniemożliwiają samą eksploatację. Częstym zjawiskiem, z którym górnik spotyka się podczas pracy w kopalni są nagłe odprężenia mas skalnych powodujące nagłe obwały skał do wyrobisk i będące poważnym zagrożeniem dla pracującej załogi.

Obserwacje praktyczne wskazują, że nagłe odprężenia - tapania występują w niektórych tylko pokładach odznaczających się specyficznymi własnościami, a mianowicie: strukturą, sprężystością, zdolnością do akumulowania energii, jej nagłego oddawania itp. Przyczyny powstawania tych zjawisk oprócz obiektywnych - wynikających z warunków naturalnych, tkwią w górniczej działalności człowieka.

Tapania jako zjawiska wyjątkowo niebezpieczne i niekorzystne są zwalczane wszelkimi możliwymi i skutecznymi sposobami. Jednym z najskuteczniejszych sposobów jest odprężenie pokładów, dzięki czemu można całkowicie je wyeliminować.

Mechanizm odprężenia natomiast polega na "zdjęciu" części obciążenia z pokładu o takiej wielkości, by możliwa była bezpieczna eksploatacja górnicza.

## 2. Cel, metoda i zakres pracy

### 2.1. Cel badań

Odprężanie górotworu i pokładów w nim zalegających następuje pod wpływem ściśliwości podsadzki w zrobach pokładu odprężającego. Z przeprowadzonych badań wynika, że proces doszczelniania podsadzki trwa ciągle, począwszy od pierwszego załamania skał stropowych, poprzez wtórnie wytworzony stan chwilowej równowagi w górotworze, z którego widocznym przejawem jest tak zwana reaktywacja wpływów eksploatacji górniczej. Istotą więc zmniejszenia ciśnień eksploatacyjnych w pokładzie odprężanym polega na rozproszeniu całości lub pewnej części energii potencjalnej nagromadzonej w skałach pod wpływem czynników naturalnych oraz spowodowanych działalnością człowieka. Rozproszenie to, postępowało będzie jednocześnie ze zmniejszeniem odkształceń właściwych, czyli przez rozprężenie skał. Na podsadzkę we wcześniej wybranym pokładzie (odprężającym) działa ciśnienie nadległych skał powodując sprasowanie podsadzki, w której jednak wartość naprężeń pionowych nie przekroczy ciśnienia pierwotnego. Ponieważ wybierka w pokładzie odprężonym (nadebranym lub podebranym) wytwarza strefę zwiększonych ciśnień, ciśnienie to działa w obszarze, w którym może następować dalsze uszczelnianie podsadzki. Ściśliwość podsadzki powoduje przemieszczenie objętości skał nad lub pod pokładem, skutkiem czego zmniejsza się wartość ciśnień eksploatacyjnych (w pokładzie odprężonym), która spowodowała uszczelnienie podsadzki. W rezultacie w górotworze wytwarza się nowy układ ciśnień, lecz już o zmniejszonych wartościach naprężeń w pokładzie odprężonym.

Przyjmując za podstawę przedstawiony powyżej przebieg procesu odprężania pokładów postanowiono przeprowadzić badania, pozwalające określić stopień zmniejszenia ciśnienia eksploatacyjnych w pokładach odprężonych. W oparciu o uzyskane wyniki określić skuteczność odprężenia pokładów tąpających przez naddebranie lub podebranie.

## 2.2. Zakres badań

Badania zmniejszenia ciśnienia eksploatacyjnych w pokładach odprężonych postanowiono przeprowadzić bezpośrednio w kopalni oraz w laboratorium w oparciu o badania modelowe. W tym celu w jednej z kopalń ROW wykonano pomiary ciśnienia eksploatacyjnych w pokładzie 325 zalegającego w tych samych warunkach geologicznych i na tej samej głębokości. Pomiary prowadzono w oalizinie węglowej przed frontem eksploatacyjnym w wyrobiskach ścianowych prowadzonych tym samym sposobem z zawałem stropu. Jedno wyrobisko prowadzone było w partii nieodprężonej, drugie natomiast nad wybranym polem w pokładzie 326/1 leżącym ok. 40 m poniżej pokładu 325. Eksploatacji pokładu 326/1 dokonano ścianami z zawałem stropu przed ok. 5 latami.

Podobnie przeprowadzono badania modelowe, eksploatujące kolejno dwa podobne pokłady. Eksploatacja drugiego pokładu odprężonego postępowała tu – po wczesniejszej wybiierce górnego pokładu jako odprężającego.

## 2.3. Metoda prowadzenia pomiarów

Pomiary wielkości ciśnienia pionowych w oalizinie pokładów węgla w kopalni wykonywano metodą odprężania partii zewnętrznej przez nawiercanie oalizny węglowej z chodnika przyścianowego w trzech punktach oddalonych o pewną odległość od ozoła ściany. Rozprężenie skał wokół otworu mierzono przy pomocy czujników zegarowych. Dla tak wykonanego pomiaru wielkość ciśnienia pionowego wyliczono ze wzoru:

$$P_z = \frac{12 \cdot M \cdot E}{5 a^2 \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) (2 - 3 \cos 2\varphi)}$$

w którym:

- $M = \Delta r_1 - \Delta r_2$  - zmierzona wielkość różnicy przesunięć radialnych dwóch punktów położonych na wspólnym promieniu,
- $E$  - moduł sprężystości skały (węgla),
- $a$  - promień wywierconego otworu,
- $\varphi$  - kąt odchylenia promienia od poziomu,
- $r_1$  - odległość wewnętrznego punktu bazy pomiarowej od środka otworu,
- $r_2$  - odległość zewnętrznego punktu bazy pomiarowej od środka otworu.

Biorąc pod uwagę przesunięcia pionowe ( $\varphi = 90^\circ$  i  $\varphi = 270^\circ$ ) oraz średnicę  $2a = 4$  cm wykonaną typową wiertarką kopalnianą, wzór przyjmie uproszczoną postać:

$$P_z = \frac{M \cdot E}{8,33 \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} \text{ kg/cm}^2$$

Do pomiarów ciśnienia podczas badań modelowych użyto specjalnie skonstruowanych czujników rys. 1, które po wyochowaniu przez pomiar odkształceń tensometru, naklejonego na elastyczną blaszkę, pozwalały po zabudowaniu pod eksploатовanym pokładem rejestrować wielkości ciśnień pionowych.



Rys. 1. Czujnik do mierzenia wielkości ciśnień podczas badań modelowych

### 3. Wyniki badań

Wielkości naprężeń pionowych w analizowanych wyrobiskach solanowych zestawiono w tabelicy 1. Okazuje się, że wartość maksymalnych naprężeń w caliznie węglowej ściany niepodebranej jest ok. 1,45 razy większa aniżeli w przypadku ściany podebranej, przy tej samej odległości poziomej od czoła frontu wybierania

Tablica 1

Zestawienie pomierzonych wielkości naprężeń pionowych w caliznie węglowej przed ozołem wyrobisk śoianowych

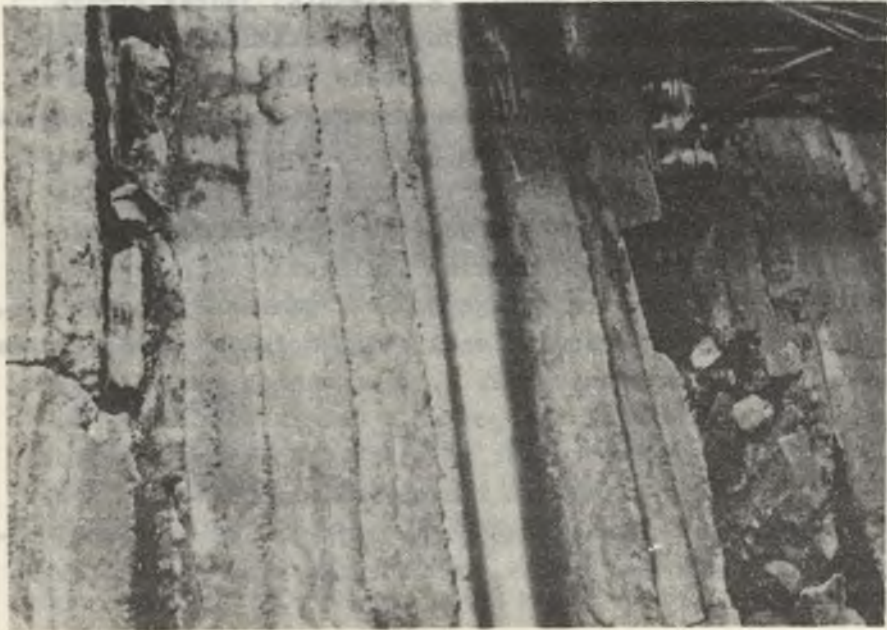
Miejsce pomiaru		Odległość stanowiska od ozoła śoiany m	Odległość pkt. pomiarowego od środka otworu om		Naprężenia pionowe $\sigma_z = p_z$ kg/cm <sup>2</sup>
			r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	
Śoiana niepo-debrana	stanowisko I	15,2	10	24,0	310
	stanowisko II	24,8	10	23,6	124
	stanowisko III	39,1	10	24,1	80
Śoiana pode-brana	stanowisko I	13,5	10	24,2	214
	stanowisko II	26,8	10	24,4	122
	stanowisko III	40,6	10	24,2	109

i dla tej samej wartości modułu E. Niemniej jednak strefa zwiększonych ciśnień eksploatacyjnych w pokładzie podebrany jest większa, spowodowana prawdopodobnie osiadaniem spągu na znacznej przestrzeni. O ile zatem zmniejszenie ciśnień eksploatacyjnych w pokładzie odprężonym jest wystarczające - poniżej granicy tapania węgla, zamierzony efekt odprężenia zostaje osiągnięty. Gdy natomiast mimo podebrania pokładu wielkości naprężeń pozostają powyżej granicy tapaności, odprężenie jako takie nie zaszło, strefa zagrożenia tapaniami poszerza się.

Podobne wyniki uzyskano podczas badań modelowych odprężania pokładów przez nadbieranie rys. 2. W warunkach tych jednak ze względu na ciążenie skał stropowych w dolnym pokładzie, zasięg odprężenia górotworu jest mniejszy. Największy stopień rozprężenia skał, a tym samym i odprężenia górotworu w przypadku nadbierania pokładów tapanących uzyskuje się w pewnej odległości od frontu wybierania pod zrobami, rys. 3. Im większa



Rys. 3. Wyolnek modelowanego górotworu po wybraniu pokładu odprężającego (górnego) i odprężanego (dolnego)



Rys. 2. Widok modelu górotworu podczas eksploatacji pokładu odprężonego przez nadebranie

pionowa odległość między pokładami - tym odległość pozioma większa, a skutek odprężania mniejszy.

#### 4. Wpływ doszczelniania podsadzki w zrobach na wielkość naprężeń pionowych w pokładach odprężanych

Jak już poprzednio wspomniano istota odprężania pokładów polega na zmniejszeniu naprężeń w skałach i rozproszeniu pewnej części energii sprężystej nagromadzonej wskutek działania ciśnienia. Wielkość nagromadzonej energii określić można jako iloczyn działającego ciśnienia oraz odkształceń objętościowych elementarnej cząstki materiału, a zatem

$$L = \sigma \cdot \epsilon$$

gdzie:

$\sigma$  - wartość ciśnienia pionowego na elementarną cząstkę,

$\epsilon$  - liniowe odkształcenie elementarnej cząstki.

Pewna ilość energii sprężystej zostaje nagromadzona w skałach na skutek działania ciśnienia pierwotnego  $p_z$ . Wykonanie wyrobiska w górotworze powoduje zwiększenie pionowych ciśnień o pewną wartość i tak w przypadku prowadzenia eksploatacji do wielkości ciśnienia eksploatacyjnego - większego od  $p_z$ . Każda więc cząstka górotworu znajdująca się poza obszarem wyrobiska posiada zakumulowaną pewną ilość energii. Przyjmijmy do rozważań, że do takiej elementarnej cząstki zbliża się następnie front wybierania. Na cząstkę zaczyna działać coraz to większe ciśnienie. Wzrastają zatem jej odkształcenia oraz wzrasta również wielkość energii sprężystej akumulowanej w jej masie. Niech przyrost energii sprężystej w czasie jest równy

$$\dot{L} = \frac{dL}{dt}$$

Ponieważ w skałach, podobnie jak w innych ciałach rzeczywistych występuje zjawisko tzw. relaksacji tj. zmniejszania się naprężeń w miarę upływu czasu przy stałych odkształceniach, we wspomnianej cząstce górotworu następuje zatem samoczynne

zmniejszenie ciśnień pionowych. Oznaczamy prędkość rozpraszania energii sprężystej spowodowaną relaksacją przez

$$\dot{L}_R = \frac{d L_R}{dt}$$

O ile zatem prędkość rozpraszania energii jest większa od prędkości akumulowanej energii spowodowanej intensywnością samej wybierki, jak również intensywności osiadania stropu, do nadmiernego nagromadzenia energii sprężystej w takich warunkach nie dojdzie, a więc zagrożenie tapaniami nie wystąpi.

O ile zachodzi równość pomiędzy  $\dot{L}$  a  $\dot{L}_R$  jakkolwiek nie mamy do czynienia z dodatkowym wzrostem energii sprężystej, tapanie może wystąpić jeśli wartość  $L$  jest wystarczająco duża. Równość ta oznacza równowagę dynamiczną gromadzonej energii sprężystej oraz rozpraszanej energii relaksacji. Postępujący front eksploatacji powoduje tu wzrastanie ciśnienia pionowego lecz otaczające skały są tyle odkształcalne, że następuje wyrównanie przyrostu energii przez jej rozproszenie. Warunkiem zatem istnienia takiego stanu jest dostatecznie duża plastyczność skał otaczających eksploatowany pokład, bądź też możliwość zmiany struktury samego pokładu - na strukturę uniemożliwiającą akumulowanie energii sprężystej. Strukturę taką uzyskuje się w chwili powstania w oaliznie sieci spękań i mikroszoelin, a więc z chwilą utraty ciągłości materiału. Ponieważ jednak większość skał karbońskich posiada stosunkowo wysoki moduł sprężystości, prawie w każdym przypadku eksploatacji mamy do czynienia z akumulacją energii zwłaszcza w partiach przed frontem wybierania, wtedy

$$\dot{L} > \dot{L}_R$$

O ile zatem struktura skał jest tzw. tąpłąca skała posiada zdolność do nagłego wyzwolania nagromadzonej energii, tapanie w takich warunkach jest możliwe a nawet pewne. Duża więźność skał karbońskich powoduje, że proces relaksacji zachodzi



w ich wnętrzu bardzo wolno. Gromadzenie natomiast energii sprężystej na skutek dużej intensywności robót eksploatacyjnych jest duże.

W praktyce stosuje się sztuczne zwiększenie zdolności górotworu do przebiegu zjawiska relaksacji. Jednym z najskuteczniejszych sposobów jest właśnie odprężenie górotworu przez nadbieranie lub podbieranie pokładów skłonnych do gromadzenia energii. Przez odprężenie zatem górotworu stwarza się bardziej korzystne warunki przebiegu relaksacji. Przyjmijmy, że pokład został odprężony przez odebranie i pustkę po wybraniu wypełniono materiałem o odpowiedniej ścisłości. Na skutek działania ciśnienia pionowego podszaska ta ulega sprasowaniu pod wpływem ciśnienia

$$P \leq P_z$$

Wiadomo bowiem, iż ścisłość materiałów podszaskowych rośnie w miarę wzrostu ciśnienia. Jeśli więc rozpozniemy eksploatację w pokładzie zagrożonym tapaniami lecz odprężonym (odebrany) wytwarzająca się przed oszołem wybierania strefa zwiększonego ciśnienia działa na podszaskę w pokładzie odprężającym. Wartość ciśnienia zatem w podszasce wzrasta i to wzrasta do wielkości ciśnienia  $\zeta_z$ , którą wg Boussinesqa można określić następującym wzorem:

$$\zeta_z = \frac{3 \cdot d \cdot P}{2 \pi z^2} \cos^5 \varphi$$

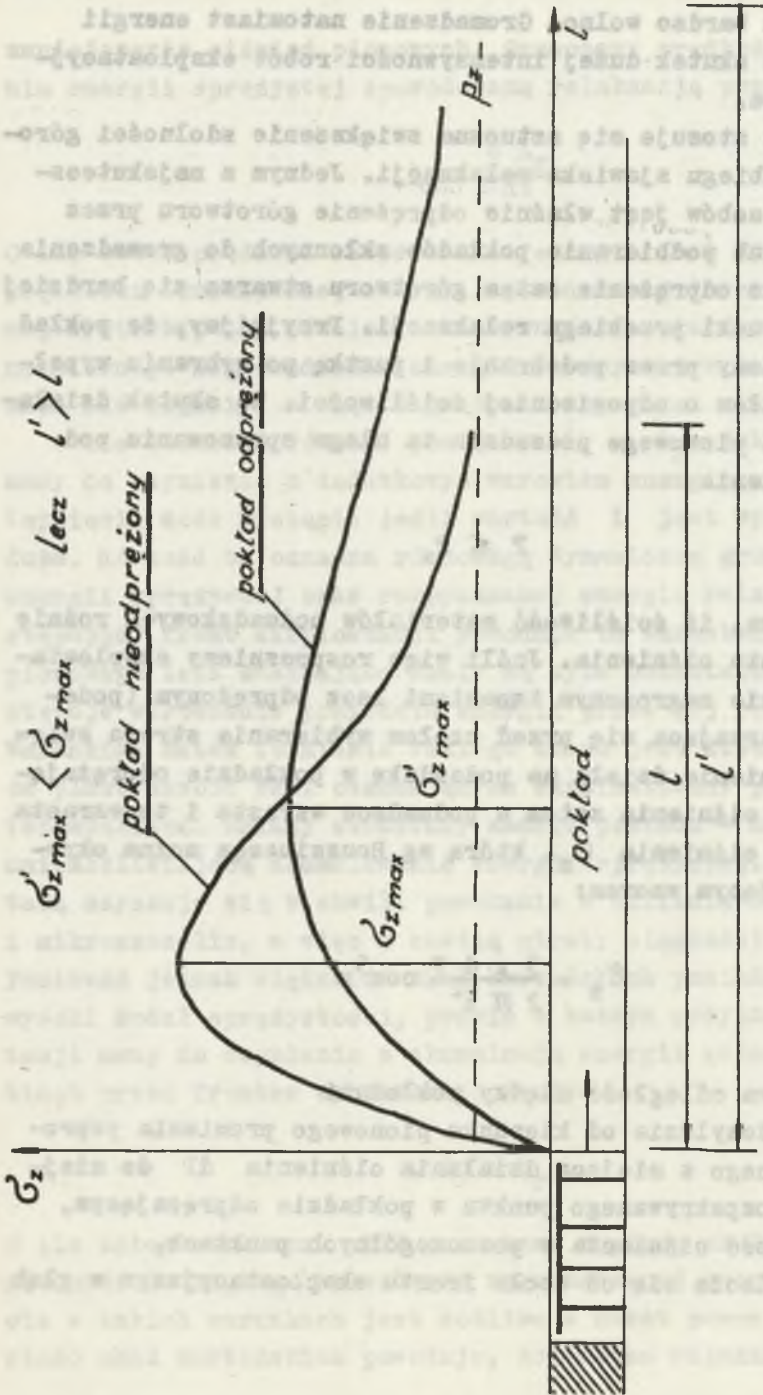
gdzie:

$z$  - pionowa odległość między pokładami

$\varphi$  - kąt odchylenia od kierunku pionowego promienia poprowadzonego z miejsca działania ciśnienia  $dP$  do miejsca rozpatrywanego punktu w pokładzie odprężającym,

$dP$  - wielkość ciśnienia w poszczególnych punktach,

w miarę oddalania się od oszoła frontu eksploatacyjnego w głąb calizny.



Rys. 4. Przebieg odświeżenia eksploatacyjnego w pokładzie nieodprężonym i podprężonym

W celu uzyskania dokładnego przebiegu ciśnienia w podsadźce pokładu odprężającego należy scałkować poprzednio podany wzór przyjmując za  $dP$  funkcję przebiegu ciśnienia eksploatacyjnego.

Otrzymane w ten sposób ciśnienie w podsadźce pokładu odprężającego

$$P > P_z$$

powoduje dalsze dodatkowe doszczelnienie podsadzki w pokładzie odprężającym, a zatem wystąpienie wspomnianej poprzednio sztucznie stworzonej relaksacji. Zmniejszają się wielkości odkształceń liniowych oraz ciśnień eksploatacyjnych - zmniejsza się zatem wielkość akumulowanej w odprężonym pokładzie energii.

Jeśli zmniejszenie energii spowodowane na skutek uszczelnienia podsadzki w pokładzie odprężanym ciśnieniem eksploatacyjnym w pokładzie odprężonym będzie większe od narastającej energii sprężystej - zamierzony efekt odprężania zostaje osiągnięty.

Można powiedzieć, że dla takiego przypadku suma energii rozproszenia spowodowanej relaksacją i odprężeniem jest większa od energii akumulowanej sprężystej.

Podana w niniejszej pracy teoretyczna analiza procesu odprężania pokładów wykonana w oparciu o przeprowadzone badania modelowe - nie wyczerpuje w całości zagadnienia.

Brak funkcji przebiegu ciśnienia eksploatacyjnego w oaliznie uniemożliwia przeprowadzenie dokładnych obliczeń wielkości energii akumulowanej i rozpraszanej.

Niemniej jednak wydaje się, iż podany ogólny zarys procesu odprężania stanowić może przyczynek do dalszych rozważań teoretycznych i praktycznych w tym zakresie.

## 5. Wnioski

Badania oraz przeprowadzona analiza procesu odprężania pokładów pozwalają na wyoiągnięcie niżej przytoczonych wniosków.

1. Po przeprowadzeniu rozpoznania literaturowego w zakresie odprężania pokładów stwierdza się, że w chwili obecnej brak

miarodajnych danych odnośnie sposobów i skutków odprężania pokładów. Wszelkie prace praktyczne w tym zakresie prowadzi się przez kolejne próby, bądź też analogie warunków górniczo-geologicznych w miejscu projektowanej eksploatacji oraz ukończonej z powodzeniem wybijki w innym rejonie.

2. Z przeprowadzonych badań wynika, że w przypadku odprężania pokładów przez podebranie lub nadebranie uzyskuje się praktycznie zmniejszenie ciśnień eksploatacyjnych w pokładzie odprężonym. Jak wykazała analiza, zmniejszenie to spowodowane jest doszczelnianiem podsadzki w pokładzie odprężającym.

3. Podczas badań stwierdzono, że w przypadku stosowania podczas odprężania podsadzki zamiast zawału uzyskuje się bardziej równomierny rozkład ciśnień w eksploatowanej caliznie oraz w podsadźce. Ponadto dla takiej eksploatacji eliminuje się w zasadzie całkowicie możliwość blokowego załamania skał stropowych.

4. Jak wynika z przeprowadzonej analizy procesu odprężania pokładów, odprężenie następuje wówczas, gdy wielkość akumulowanej energii sprężystej w jednostce czasu jest mniejsza od energii rozproszenia. Analiza wykazała, iż akumulowana energia sprężysta stanowi różnicę pomiędzy energią odkształcenia całkowitego i energią odkształcenia trwałego, dlatego przy praktycznych obliczeniach wielkości energii sprężystej należy brać tylko pod uwagę odwracalną wielkość odkształceń - odkształcenia sprężyste.

5. Podczas akumulowania energii występuje samoczynne jej rozpraszanie spowodowane naturalną relaksacją we wnętrzu ośrodka. Zdolność rozproszenia energii w górotworze można zwiększyć przez stosowanie odprężania. Oczywiście rozproszenie energii w tym przypadku jest tylko lokalne. Zmniejszenie ciśnienia w jednym rejonie powoduje jego wzrost w innych partiach górotworu, ponieważ wielkość energii potencjalnej w masie górotworu jest stała.

6. Odprężania pokładów należy dokonywać po dokładnej analizie warunków naturalno-geologicznych. Do odprężania należy wytypować pokład możliwie najbezpieczniejszy zalegający ponadto w skałach słabych - plastycznych. Ze względu na synchronizację eksploatacji odprężanie pól eksploatacyjnych należy prowadzić przez nadbieranie. Podbieranie stosować jedynie w takich przypadkach, gdy jest brak pokładu nadbierającego. Niewybrane resztki odprężyć przez podbieranie.

7. W chwili obecnej mechanizm procesu odprężania pokładów nie jest jeszcze dostatecznie rozpoznany, dlatego celowe są wszystkie prace pozwalające w sposób analityczny przewidywać skutki odprężania oraz określać stopień zmniejszania zagrożenia w pokładach odprężanych. Praca niniejsza nie stanowi rozwiązania wyżej podanego problemu. Może być jednak punktem wyjścia w dalszych pracach na ten temat.

#### LITERATURA

- [1] BORECKI M., CHUDEK M.: Mechanika górotworu. Skrypt uczelniany Gliwice 1968 r.
- [2] KIDYBIŃSKI A.: Praktyczne uwagi dotyczące modelowania zjawisk zachodzących w górotworze podczas prowadzenia eksploatacji ścianowej. Materiały konferencyjne na Międzynarodowym Seminarium Młodych Inżynierów Górnictwa, GIG Katowice, 1960 r.
- [3] OLASZOWSKI W.: Określenie zasięgu szkodliwych wpływów podbudowy na pokłady wyżej leżące w warunkach kop. "Dąbieńsko". Praca nieopublikowana, Gliwice 1968 r.
- [4] PARYSIEWICZ W.: Tapania w kopalniach. Wyd. "Śląsk" Katowice 1966 r.