

Włodzimierz Olszowski

WPŁYW ODPRĘŻENIA GÓROTWORU NA ROZPROSZENIE ENERGII
W CALIŹNIE EKSPLOATOWANEGO POKŁADU

Streszczenie. W oparciu o całokształt własnych badań nad zagadnieniem mechanizmu procesu odprężania pokładów przez pobieranie lub nadbieranie podjęto próbę teoretycznego ujęcia zagadnienia przy uwzględnieniu prędkości narastania zdolności rozpraszania energii. Przedstawiono podstawowe zależności matematyczne pozwalające ustalić warunki rozpraszania energii w caliźnie odprężonego pokładu zwrócono uwagę na problematykę teoretycznego ujęcia odprężania pokładów tąpających w czasie.

1. Wstęp

Tąpnięcia i związane z nimi zawały stanowią obecnie jedno z najpoważniejszych zagrożeń w kopalniach. Występują one głównie tam, gdzie pewne nieprawidłowości w prowadzeniu eksploatacji stwarzają dogodne warunki do nadmiernej koncentracji naprężeń w górotworze otaczającym wyrobiska górnicze. Występowanie tępnię i zawałów przynosi przemysłowi bardzo poważne straty moralne, jak i ogromne straty materialne w postaci zniszczenia wyrobisk, urządzeń górniczych, strat obudowy, złoża kopaliny itp. Ponadto tępnięcia i zawały wywołują duże zaburzenia w ruchu kopalni pociągając za sobą straty okresowego zmniejszenia wydobywania. Z tych też względów, zagadnienia: zapobieganie powstawaniu oraz zwalczanie tępnię i zawałów stanowi problem, wymagający dokładnego i głębokiego rozpoznania. Jedną z najskuteczniejszych i powszechnie stosowanych metod zwalczania tępnię jest racjonalne odprężanie pokładów skłonnych do ich występowania.

Rozwinięcie zatem prac nad odprężaniem górotworu jest niewątpliwie podstawowym problemem zwalczania zagrożeń w kopalniach.

2. Analiza procesu odprężania pokładów w świetle badań

Odprężanie górotworu i pokładów w nim zalegających ma na celu zmniejszenie wielkości odkształceń właściwych - objętościowych nagromadzonych w skałach pod wpływem ciśnienia. Ponieważ wszelka działalność górnicza powoduje zmiany w rozkładzie ciśnień w skałach otaczających wyrobisko, a więc zmiany w wielkości gromadzonej energii sprężystej, odprężanie ma również na celu umożliwienie wyładowania części tej energii. Zatem skuteczne odprężenie winno spełnić trzy podstawowe warunki:

- zmniejszyć w poszczególnych partiach górotworu wytężenie skał w tym stopniu, aby zejść z jego wielkością poniżej wytężenia krytycznego,
- stworzyć warunki rozpraszania całości lub części energii sprężystej odkształcenia powstającej na skutek zmian w rozkładzie naprężeń w otoczeniu wyrobisk,
- zwiększyć zdolność rozpraszania energii sprężystej, która powinna być większa lub ostatecznie równa zdolności jej powstawania, gdyż tylko w tym przypadku można liczyć na zmniejszenie akumulacji energii.

Pierwszy warunek można uzyskać przez wybranie pewnej objętości złoża. Usunięcie naturalnej podpory, jaką w tym przypadku jest skała złożowa powoduje odprężenie wywołane możliwością odkształcania się skał do wyrobiska. Względne odkształcenia w bezpośrednich partiach wyrobiska zmniejszają się do zera lub mogą przyjąć charakter rozciągania, niegroźne w przypadku skał tąpających. W miarę wzrostu odległości od wyrobiska skutek odprężenia maleje, ponieważ rosną odkształcenia.

Dwa pozostałe natomiast warunki osiąga się przez odpowiednie wypełnienie zrobów materiałem podsadzkowym, który umożliwi przez swe uszczelnienie zwiększonym ciśnieniem eksploatacyjnym bardziej równomierny jego rozkład w górotworze pozostającym w zasięgu odprężania.

3. Teoretyczne ujęcie przebiegu procesu przyrostu w czasie energii odkształcenia eksploatawanej calizny

Przyjmuje się, że przebieg ciśnienia eksploatacyjnego w caliznie przed frontem wybierania jest zgodny z empirycznym równaniem podanym w pracy [3] a mianowicie:

$$\sigma_{\text{eks.}} = a e^{cx} (x^b + p_z) + p_z, \quad (1)$$

w którym:

- p_z - pierwotne ciśnienie pionowe, N/cm^2 ,
- x - pozioma odległość od czoła ściany, m ,
- a, b, c - korelacyjne parametry wzoru (1) zależne odpowiednio od: podatności podłoża ewentualnie doszczelniania podsadzki w pokładzie odprężającym, grubości wybieranego pokładu, mechanicznych własności skał.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że $a > 0$, $0 < b < 1$ $c < 0$; liczbowe wartości tych parametrów zestawiono w tablicy nr 1..

Nie wnikając chwilowo w istotę i związek z warunkami eksploatacji parametrów wzoru (1), prześledzone zostanie zagadnienie narastania w czasie energii odkształcenia calizny węglowej w punkcie "A", o dostatecznie dużej współrzędnej x_0 rys. 1. Niech prędkość przesuwu czoła frontu wybierania (zależna od zabioru) będzie ciągłą funkcją czasu w przedziale

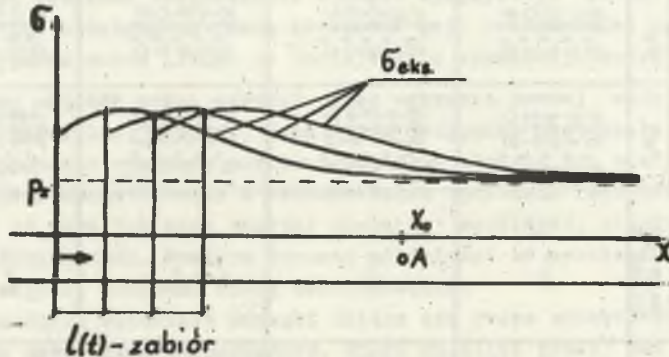
Tablica 1

Wielkości korelacyjnych parametrów wzoru określającego rozkład ciśnienia eksploatacyjnego przed czołem frontu wybierania

Warunki eksploatacji i sposób wybierania	Szerokość wybranego pola m	Grubość wybieranego pokładu, m	Wielkość parametrów		
			"a"	"b"	"c"
Eksploatacja ścianowa z zawalaniem odprężającego pokładu leżącego pod pokładem odprężanym	< 38,5	4,0	1,376	0,55	- 0,048
	38,5 - 60,0		1,435	0,55	- 0,049
	60,0 - 75,0		1,584	0,58	- 0,051
	75,0 - 105,0		1,772	0,50	- 0,046
105,0 - 139,0 i powyżej		1,830	0,55	- 0,052	
Eksploatacja ścianowa z zawalaniem odprężającego pokładu leżącego pod pokładem odprężanym	< 38,5	2,0	0,938	0,75	- 0,098
	38,5 - 60,0		1,114	0,85	- 0,102
	60,0 - 75,0		1,178	0,95	- 0,106
	75,0 - 105,0		1,546	0,95	- 0,099
105,0 - 139,0 i powyżej		1,607	0,97	- 0,101	
Eksploatacja ścianowa z zawalaniem pokładu odprężonego przez podebranie eksploatacją zawalową	< 38,5	4,0	0,471	0,55	- 0,039
	38,5 - 60,0		0,538	0,54	- 0,040
	60,0 - 75,0		0,599	0,59	- 0,037
	75,0 - 105,0		0,663	0,60	- 0,038
105,0 - 139,0 i powyżej		0,475	0,65	- 0,036	
Eksploatacja ścianowa z podsazką suchą pokładu odprężonego przez podebranie eksploatacją zawalową	< 38,5	4,0	0,551	0,52	- 0,063
	38,5 - 60,0		0,652	0,70	- 0,062
	60,0 - 75,0		0,708	0,69	- 0,064
	75,0 - 105,0		0,692	0,75	- 0,059
105,0 - 139,0 i powyżej		0,731	0,82	- 0,065	

$t \in < t_1, t_2 >$ i wynosi dla tego przypadku $l(t)$, wyrażając np. ilość metrów w jednostce czasu. Wtedy narastanie ciśnienia eksploatacyjnego w punkcie "A" w czasie wyrazi się wzorem:

$$\sigma_{\text{eks.}(A)}(t) = a \cdot e^{\alpha [x_0 - l(t)]} \left\{ [x_0 - l(t)] + p_z \right\} + p_z \quad (2)$$



Rys. 1. Schemat narastania ciśnienia eksploatacyjnego przed frontem wybierania w zależności od długości jego postępu

Równocześnie z narastaniem ciśnienia (naprężeń pionowych) następowało będzie wzrastanie odkształceń właściwych, których wielkość na podstawie pracy [4] dla jednoosiowego stanu napięcia wyraża wzór:

$$\mathcal{E}(\sigma) = \frac{K \cdot \sigma_c}{E_0} \ln \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_c} \right), \quad (3)$$

gdzie:

- K - stała w ogólności bliska 1, zależna od wymiaru naprężeń,
- E_0 - moduł odkształcalności podłużnej dla początkowego stanu deformacji, w punkcie $(0,0)$,
- σ_c - wytrzymałość skały na ściskanie,
- σ - wielkość aktualnie panujących naprężeń,

a w przypadku wzrostu ciśnienia w czasie dla punktu "A":

$$\mathcal{E}_{(A)}(t) = \frac{K \cdot \sigma_c}{E_0} \ln \left[1 - \frac{\sigma_{\text{eks.}(A)}(t)}{\sigma_c} \right] \quad (4)$$

Dokonując geometrycznego całkowania zależności naprężeń od odkształceń właściwych i przyjmując, że wielkość energii odkształcenia calizny w punkcie "A" jest w przybliżeniu równa sumie iloczynów średnich naprężeń i przyrostu odkształceń otrzymuje się po uwzględnieniu wzorów (2) i (4) zależność wyrażającą wzrost energii odkształcenia calizny w zależności od prędkości przesuwu czoła frontu wybierania, a więc od postępu ściany $l(t)$

$$L_{(A)}(t) = \sum_{i=1}^n \sigma_{i(A)}(t) \cdot \Delta \varepsilon_{i(A)}(t) \quad (5)$$

a po scałkowaniu względem czasu całkowitą energią nagromadzoną np. po upływie czasu $\Delta t = t_2 - t_1$,

$$L_{(A)} = \int_{t_1}^{t_2} \sigma_{\text{eks.}(A)}(t) \cdot \dot{\varepsilon}_{(A)}(t) \cdot dt \quad (6)$$

Wielkość $L_{(A)}(t)$ określa w analizowanym przypadku prędkość narastania w czasie energii odkształcenia bez uwzględnienia innych ubocznych zjawisk zachodzących w caliznie skalnej, jakimi są np. peźzanie oraz relaksacja. Oczywiście w nieodprężonych pokładach skłónych do tapania zjawiska te nie odgrywają istotnej roli stanowiąc jedynie margines w zmianie chwilowego napięcia wytworzonego w punkcie (A) przez przesuwający się front wybierania. W określonym zatem czasie Δt , dochodzi w otoczeniu punkt A" do nagromadzenia takiej ilości energii $L_{(A)}$, że jeżeli tylko $L_{(A)}$ równa się $L_{\text{kryt.}}$ w sprzyjających warunkach może dochodzić do dynamicznego jej wyładowania w momencie tapania. W opisanych więc okolicznościach zachodzić będzie potrzeba zwiększenia znaczenia zjawisk ubocznych (właściwego peźzania i relaksacji skał), przez zmniejszenie np. postępu ściany $l(t)$, a tym samym ograniczenie głównie $L_{(A)}(t)$ oraz energii $L_{(A)}$, bądź stosowania innych zabiegów w caliznie powodujących rozproszenie przynajmniej części energii. Powszechnie stosowanym sposobem zwiększającym zdolność górotworu do rozpraszania energii odkształceń jest jego odprężanie przez wcześniejszą wybierkę pokładu odprężającego.

4. Rozpraszanie energii jako wynik odprężenia górotworu

Już sama analiza kształtowania się wielkości parametrów zamieszczonych w tablicy nr 1, w odniesieniu do wzoru (1) i (4) świadczy, że przebieg ciśnienia, a tym samym i odkształceń właściwych w polach odprężonych jest bardziej łagodny oraz same ciśnienia osiagają mniejsze wielkości w punkcie np. ekstremalnym (maksymalnym). Tym samym i wielkość przyrostu energii w czasie musi być mniejsza.

Własności bowiem rozpraszania energii wytworzone zostały zwiększonymi zdolnościami górotworu, zwłaszcza do relaksacji i peźzania. Bowiem zjawiska te w górotworze odprężonym mogą zachodzić pod wpływem doszczelniania podsadzki w pokładzie odprężającym oraz osiadania spągu pokładu odprężonego już przed frontem wybierania, a więc w strefie działania ciśnienia eksploatacyjnego.

Jak stwierdzono w punkcie nr 2 niniejszej pracy, dwa ostatnie warunki odprężenia osiąga się przez doszczelnianie materiału podsadzkowego w zrobach pokładu odrpeżającego.

Niech funkcja φ określona wzorem:

$$\varphi(t, \sigma_0) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0}, \quad (7)$$

w której: σ_0 - wielkość naprężeń, jest funkcją pełzania dla np. rozpatrywanych skał calizny węglowej. Przy założeniu dopuszczalności działania w takim przypadku zasady superpozycji, zdolność do odkształceń górotworu w punkcie "A" przed frontem wybierania na skutek pełzania w przedziale czasu $\langle t_1, t_2 \rangle$ wyrazi się wzorem:

$$\varepsilon'_{(A)}(t) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \sigma_{\text{eks.}(A)}(t)}{\partial t} \varphi [t_2 - t, \sigma_{\text{eks.}(A)}(t)] dt \quad (8)$$

Podobnie niech funkcja ψ przedstawiona wzorem:

$$\psi(t, \varepsilon_0) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0}, \quad (9)$$

gdzie:

ε_0 - wielkość odkształceń właściwych jest funkcją relaksacji również dla rozpatrywanych skał calizny węglowej.

Zdolność zatem górotworu do samoczynnego rozprężania w punkcie "A" pod wpływem relaksacji naprężeń, w tym samym przedziale czasu wyniesie:

$$\sigma'_{(A)}(t) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \varepsilon_{(A)}(t)}{\partial t} \psi [t_2 - t, \varepsilon_{(A)}(t)] dt \quad (10)$$

Wtedy zdolność rozpraszania energii odkształcenia dla górotworu w punkcie "A", w przybliżeniu określa wzór:

$$L'_{(A)}(t) = \sum_{i=1}^n \sigma'_{i(A)}(t) \cdot \Delta \varepsilon'_{i(A)}(t), \quad (11)$$

a całkowitą energię, która może zostać rozproszona pod wpływem odprężenia pokładu, w tym samy jak poprzednio przedziale czasu, można wyliczyć ze wzoru:

$$L_{(A)} = \int_{t_1}^{t_2} \sigma'_{(A)}(t) \cdot \dot{\varepsilon}'_{(A)}(t) dt. \quad (12)$$

W efekcie działania odprężenia eksploatowanej calizny węglowej w czasie Δt , rzeczywista ilość nagromadzonej w niej energii jest różnicą wielkości wyrażonej wzorem (6) i wzorem (12). Jakkolwiek w rzeczywistości ilość rozpraszanej energii może być co najwyżej równa ilości energii gromadzonej w caliznie, można rozważyć trzy przypadki wzajemnego ich stosunku. Pierwszy gdy

$$L'_{(A)}(t) > L_{(A)}(t) \quad (13)$$

W warunkach takich do tąpnięcia w zasadzie nie dochodzi, gdyż zdolność rozpraszania energii jest dostatecznie duża. Do warunków takich dąży się w górotworze przez jego odprężanie.

Drugi przypadek, gdy w zależności (13) zachodzi równość prędkości akumulowania energii i jej rozproszenie, do ewentualnego tąpnięcia w takich warunkach może dojść, gdy naprężenia w caliznie są dostatecznie duże (równe natężeniom krytycznym), a sam pokład jest tąpnięty.

Trzeci przypadek uwzględnia zmianę zwrotu znaku nierówności w zależności (13), wtedy w sprzyjających warunkach tąpnięcie jest prawdopodobne, a nawet pewne.

8. Uwagi i wnioski

Praca niniejsza posiada głównie teoretyczny charakter i stanowi analityczne ujęcie zagadnienia rozpraszania energii w górotworze odprężonym wcześniejszą eksploatacją. Niektóre z analizowanych zjawisk, jak np. proces narastania ciśnienia w eksploatowanej caliznie, zostały stosunkowo dokładnie zbadane i częściowo potwierdzone w praktyce. Można w oparciu o takie wyniki wykonywać miarodajne i zbliżone do rzeczywistości obliczenia.

Inne natomiast badania, a zwłaszcza zjawisk relaksacji skał oraz ich pełzanie - nie dały spodziewanych wyników. Duże trudności występowały w czasie badań prędkości i zdolności rozpraszania energii po wykonaniu eksploatacji odprężającej, pomimo że zdołano ustalić już przybliżony przebieg ciśnienia eksploatacyjnego w pokładzie odprężonym (tablica 1; praca [3]). Główne badania w przedmiotowym zakresie oparte są na badaniach modelowych górotworu zbudowanego z materiałów ekwiwalentnych. Wobec braku miarodajnych kryteriów reologicznego podobieństwa modeli, wszystkie badania z uwzględnieniem wpływu czasu mogą przynosić jedynie wyniki jakościowe, nie ilościowe. Dlatego też obok prac eksperymentalnych prowadzi się prace teoretyczne umożliwiające w połączeniu z wynikiem doświadczeń bardziej szczegółowo analizować przedmiotowe zagadnienie.

LITERATURA

1. Chudek M., Olaszowski W., Kurczabiński Z.: Probleme de l'attenuation des contraintes des massifs rocheux dues al exploitation miniere. Międzynarodowe Sympozjum Mechaniki Skał, Nancy-Francja październik 1971 r.
2. Olaszowski W.: Analiza procesu odprężania górotworu w swietle badań laboratoryjnych i pomiarów w kopalniach. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Górnictwo z. 41, 1969 r.
3. Olaszowski W.: Wpływ procesu doszczelniania podsadzki na deformacje i ciśnienie skał górotworu oraz możliwość występowania tapan. Praca doktorska, 1971 r.
4. Chudek M., Pach A., Olaszowski W.: Analityczna postać zależności pomiędzy naprężeniami a odkształceniami dla skał. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Górnictwo Z. 36 1969 r.
5. Parysiewicz W.: Tapania w kopalniach Wydawnictwo "Śląsk" Katowice 1966 r.
6. Nowacki W.: Teoria pełzania. Wydawnictwo "Arkady" Warszawa 1963 r.

ВЛИНИЕ ОТЖИМАЮЩЕЙСЯ РЕАКЦИИ ГОРНОГО МАССИВА НА РАССИВАНИЕ ЭНЕРГИИ
В РАЗРАБАТЫВАЕМОМ ЦЕЛИКЕ ПЛАСТА

Резюме

Спираясь на собственные исследования механизма процесса отжима пластов подработкой, были сделаны попытки теоретического объяснения вопроса, учитывая скорость нарастания и способности рассеивания энергии.

Показана основная математическая зависимость позволяющая определить условия рассеивания энергии в целике отжатого пласта. Было обращено внимание на вопрос теоретического объяснения отжима пластов, в которых высту пают горные удары на протяжении времени.

THE INFLUENCE OF ROCK DECOMPRESSION UPON THE DISPERSION
OF ENERGY IN THE UNDISTURBED SOIL OF EXPLOITED LEDGES

Summary

Basing on the author's own investigations concerning the mechanism of the decompression of ledges caused by exploitation, attempts have been made to formulate this problem theoretically, taking into account the rate of the increase as well as the dispersive properties of energy.

The paper presents the fundamental mathematical relations which make it possible to determine the conditions of energy dispersion in the undisturbed soil of a decompressed ledge.

Special attention has been paid to the theoretical formulation of the decompression of ledges which are bouncing in time.