

Jerzy SMOŁKA

OCENA ZAGROZEŃ TAPANIAMI SPĄGOWYMI

Streszczenie. Przedstawiono sposób prognozowania zagrożeń tapaniami spągowymi, w którym wykorzystano trzy parametry kryterialne. Na pierwszym etapie, opierając się na wskaźniku wyężenia skał spagowych, określa się możliwość przekroczenia stanu równowagi górotworu w sąsiedztwie wyrobiska. Na drugim etapie ocenia się intensywność tego zagrożenia na podstawie dwóch pozostałych kryteriów, jakimi są potencjalna energia sprężysta oraz sposób jej rozpraszania w procesie rozpadu.

1. WPROWADZENIE

Tradycyjne podziały tapani, oparte na miejscu inicjacji tego zjawiska, wyróżniają dwa zasadnicze ich rodzaje, a mianowicie tapania pokładowe i stropowe - to jest takie, których ognisko znajduje się w pokładzie węglowym lub też w skałach stropowych. Identyczny sens z tapaniami stropowymi miałyby również te tapania, których ogniska są zlokalizowane w skałach spagowych. Inne podejście do podziału tapani przedstawili ostatnio badacze Instytutu Geomechaniki Górniczej AGH - Kraków [1, 2], którzy również wydzielały dwa typy tapani, jednak podział jest oparty na dokładniejszej analizie czynników inicjujących proces tapania. Pierwszy rodzaj - to tapania wywołane quasi-statycznym przyrostem naprężeń w bezpośrednim otoczeniu wyrobiska, drugi natomiast rodzaj - to tapania wywołane impulsem dynamicznym, powstającym na skutek przekroczenia stanu równowagi i zniszczenia górotworu w dalszej odległości od wyrobiska górniczego, w którym zaistniało tapanie. W tym przypadku fala energii sejsmicznej nakłada się na stan naprężeń górotworu w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska górniczego, powodując tapanie.

Tapania, które są przedmiotem niniejszych rozważań, są definiowane na innej podstawie niż wyżej przytoczone podziały. Dotyczy to tapani, których skutki przejawiają się w niszczeniu skał spagowych i ich dynamicznym przemieszczeniu do wyrobiska. Tak zdefiniowane tapania spagowe mogą dotyczyć zarówno tapani powstających na skutek quasi-statycznego narastania naprężeń w spągu wyrobiska, jak również tapani wywołanych udarem dynamicznym, pochodzącym z odległego ogniska wstrząsu. Istotnym elementem wyróżnikowym takich tapani jest zatem skutek tapania, wyrażający się

nagłym wyrzuceniem skał spagowych do wyrobiska. Dla uproszczenia takie tapania w dalszej części będą określane jako tapania spagowe.

W latach 1969-1986 w kopalniach Zagłębia Górnośląskiego zanotowano ponad 80 tapanieć ze sztukami zaznaczającymi się w spagu wyrobiska [5], i z tego względu podjęto próbę analizy przyczyn ich powstawania oraz opracowano wstępne zasady prognostycznej oceny zagrożeń wyrobisk górniczych takimi tapaniami [6], przedstawione w niniejszym referacie.

2. CHARAKTERYSTYKA WYSTĘPOWANIA TAPAN SPAGOWYCH

Tapania spagowe zdefiniowane powyżej są często występującym rodzajem tapan w kopalniach węglowych GZW. Opierając się na katalogu tapan [7] zaistniałych w latach 1969-1986, spośród 363 zarejestrowanych tapan wydzielono 82 przypadków, w których skutki przejawily się w postaci wyrzucenia skał spagowych do wyrobiska. Tapania takie wystąpiły w 21 kopalniach, wszystkie w pokładach warstw siódłowych. Istnieje wyraźna zależność występowania tapan spagowych od głębokości. Uwidacznia to ilość zaistniałych tapan w poszczególnych przedziałach głębokościowych oraz wskaźnik ilości tapan na 100 mln ton wydobytego węgla (W_t) w zależności od głębokości

Tablica 1

Przedział głębokości od - do (m)	Głębokość średnia H (m)	Sumaryczne wydobyte 1969-1986 Q (tys.t)	Ilość tapan spagowych I	Wskaźnik ilości tapan W_t na 100 mln ton
0 - 100	50	14 899	-	-
100 - 200	150	210 622	-	-
200 - 300	250	450 444	-	-
300 - 400	350	478 286	1	0,21
400 - 500	450	534 267	3	0,56
500 - 600	550	551 685	13	2,36
600 - 700	650	390 532	21	5,37
700 - 800	750	224 438	29	12,92
800 - 900	850	74 557	15	20,12
900	950	5 125	-	-

Przyczynami tych tapani były (dane kopalniane):

- wpływ krawędzi eksploatacji	- 36,59%
- sąsiedztwo zrobów	- 9,76%
- wpływ nie wybranych resztek i filarów	- 8,54%
- gęsta rozcinka	- 8,54%
- sąsiedztwo uskoków	- 13,41%
- inne przyczyny i brak danych	- 23,16%

W większości przypadków tapania te są związane z koncentracją naprężeń lub zaburzeniami tektonicznymi.

Dla zaistniałych tapani brak jest danych pomiarowych odnośnie do wytrzymałości skał, co uniemożliwia dokładniejszą ocenę wyężenia spagu. Przybliżoną ocenę tego stanu przeprowadzono za pomocą uproszczonego wskaźnika wyężenia, wyrażającego stosunek wytrzymałości skał spagowych do naprężeń pionowych $W_w = \frac{R_c}{\sigma_z}$, działających na spąg w ociosie wyrobiska.

Wytrzymałość skał spagowych na ściskanie (R_c) była przyjmowana wg danych archiwalnych GIG, dla danych serii i rodzajów skał.

Naprężenia pionowe, przyjmowane do określenia wskaźnika wyężenia, uwzględniały składową pionową, zależnie od głębokości oraz koncentrację naprężeń wynikającą z konkretnej sytuacji geologiczno-górnicznej (wpływ krawędzi, filarów, resztek, uskoków itp.).

Tak zdefiniowany wskaźnik wyężenia skał spagowych dla zaistniałych tapani wynosił średnio od 0,68 do 0,97. Znaczy to, że we wszystkich zaistniałych tapaniach naprężenia pionowe działające na spąg przekraczały wytrzymałość spagu.

3. KRYTERIA OCENY ZAGROŻENIA TAPANIAMI SPAGOWYMI

3.1. Założenia ogólne

Wychodząc z ogólnych definicji tapani [1, 3] zakłada się, że głównymi czynnikami warunkującymi zaistnienie tapania są stan naprężeń górotworu oraz własności mechaniczne skał w bezpośrednim otoczeniu wyrobiska. Zaistnienie lub brak tapania zależy od stanu równowagi pomiędzy naprężeniami a wytrzymałością skał. Trzeba jednak podkreślić, że nie każde przekroczenie stanu równowagi "naprężenie-wytrzymałość" prowadzi do tapania, to jest do dynamicznego zniszczenia lub uszkodzenia wyrobiska górniczego. W większości bowiem przypadków przekroczenie stanu równowagi przejawia się w formie quasi-statycznego zaciskania wyrobiska, wyciskania spagu, opadu skał stropowych, odspojeń ociosów itp., bez zjawisk dynamicznych. Tapanie występuje tylko wtedy, kiedy skały w rejonie przekroczenia stanu równowagi odznaczają się odpowiednimi dla tego zjawiska własnościami mechanicznymi. Decydujące w tym względzie znaczenie mają absolutna wiel-

kość nagromadzonej w skale energii odkształcenia sprężystego oraz sposób jej rozpraszania w fazie zniszczenia.

Uwzględniając stan naprężeń górotworu oraz własności mechaniczne skał proponuje się dwustopniowe przeprowadzanie analizy stanu zagrożenia tapaniami spagowymi. Na pierwszym etapie rozpatrywany jest warunek stateczności górotworu poprzez analizę stanu naprężeń w odniesieniu do wytrzymałości skał. Warunek ten stanowi wstępne kryterium oceniające możliwość wystąpienia tąpnięcia i jest określane wskaźnikiem wyężenia górotworu. Pierwszy etap określa zatem, czy istnieje możliwość przekroczenia stanu granicznego i wystąpienia ewentualnego tąpnięcia, czy też nie.

Na drugim etapie, dla przypadków, w których wytrzymałość górotworu może być przekroczona, analizowany jest stopień zagrożenia oparty na dwóch podstawowych dla zjawisk geodynamicznych własnościach skał, jakimi są zdolność do gromadzenia energii sprężystej oraz charakter jej rozpraszania w procesie zniszczenia materiału skalnego. Te parametry nie były do tej pory uwzględniane przy ocenie zagrożeń tapaniami i ich wprowadzenie może przyczynić się do ściślejszego prognozowania stanów zagrożenia tapaniami.

3.2. Stan wyężenia górotworu

Miara wyężenia skał spagowych jest uproszczony wskaźnik wyężenia W_w , wyrażający stosunek wytrzymałości skał spagowych na ściskanie " R_c " do maksymalnych naprężeń pionowych σ_z oddziaływujących na spąg poniżej odciosów wyrobiska:

$$W_w = \frac{R_c}{\sigma_z}$$

Przy określaniu maksymalnych naprężeń pionowych należy uwzględnić naprężenia wynikające z głębokości zalegania rozpatrywanego wycinka oraz koncentrację naprężeń zależną od sytuacji geologiczno-górnicznej, co można wykonać różnymi sposobami. Dla praktycznych celów można posłużyć się następującą zależnością:

$$\sigma_z = k \cdot \gamma_0 \cdot H, \quad \text{MPa}$$

gdzie:

- k - współczynnik koncentracji naprężeń zależny od rodzaju i kształtu chodnika, wpływu robót eksploatacyjnych i innych wyrobisk, wpływu krawędzi, filarów, nie wybranych resztek, uskoków itp.,
- γ_0 - gęstość przestrzenna skał, przyjmowana średnio w wysokości $0,025 \text{ MN/m}^3$,
- H - głębokość, m.

Współczynnik koncentracji "k" dla typowych sytuacji górniczych można przyjmować zgodnie z tabelicą 2.

Tabelica 2

Lp.	Rodzaj wyrobiska chodnikowego	Współ- czynnik "k"	Uwagi
1	Chodnik nie podlegający wpływow eksploatacji	2,0	
2	Chodnik w strefie wpływów eksploatacyjnych (w poziomie) a) do 50 m b) 50 do 100 m c) powyżej 100 m	3,0 2,5 2,0	
3	Chodnik poddany wpływom kra- wędzi eksploatacyjnych w po- kładzie wyżej lub niżej leżącym a) w odległości do 50 m b) w odległości 50 do 100 m c) w odległości powyżej 100 m	3,0 2,5 2,0	Dla przyp. 3 i 4, jeśli zachodzi równoczesne od- działywanie ro- bót eksploata- cyjnych (w po- ziomie), współ- czynnik "k" na- leży zwiększyć:
4	Chodnik poddany wpływom filara lub resztek (w pionie) a) w odległości do 25 m b) w odległości 25 do 50 m c) w odległości 50 do 100 m	4,0 3,5 2,5	a) do 50 m od eksploatacji - 1,3 k b) 50-100 m od eksploatacji - 1,1 k
5	Chodniki w sąsiedztwie uskoków i zaburzeń tektonicznych na odległość do 30 m	2,5 do 3,5	
6	Chodniki w strefach odprężonych przy pionowej odległości od pokładu odprężającego: a) do 20 m b) 20 do 50 m	0,8 1,0	Stosować w okre- sie do 2 lat od dokonanej eks- ploatacji. W przypadkach wą- tpliwych oprzeć się na wynikach badań, np. geo- fizycznych

Wytrzymałość skał spagowych na ściskanie (R_c) określa się znanymi metodami laboratoryjnymi lub polowymi.

Wskaźnik wyteżenia skał spagowych jest jednym z elementów sygnalizujących stan zagrożenia tapaniami spagowymi. Wartość tego wskaźnika $W_w = 1,5$ przyjęto jako wartość graniczną, poniżej której istnieje możliwość powstawania tapani spagowych, a ściślej, że istnieją warunki przekroczenia wytrzymałości górotworu. Wartości powyżej tej granicy można uważać za bezpieczne. W przypadku wystąpienia zagrożenia ($W_w < 1,5$), dalsza ocena stopnia zagrożenia tapaniami spagowymi jest określana na podstawie własności mechanicznych skał a mianowicie: potencjalnej energii sprężystej oraz charakterystyki jej rozpraszania w procesie niszczenia skał.

3.3. Potencjalna energia sprężysta węgla i skał

W celu praktycznej charakterystyki zdolności skał do gromadzenia energii odkształcenia sprężystego przyjęto wskaźnik potencjalnej energii sprężystej "PES" (w kJ), określający maksymalną energię sprężystą, jaką dana skała może nagromadzić w objętości jednostkowej (1 m^3) przy obciążeniach ściskających, równych jej wytrzymałości na ściskanie [4]. Wielkość tą określa zależność:

$$PES = 500 \frac{R_c^2}{E_s}$$

gdzie:

R_c - wytrzymałość na jednoosiowe ściskania, MPa,

E_s - moduł sprężystości, MPa.

Bezwzględne wartości tego wskaźnika dla różnych skał i węgla Zagłębia Górnośląskiego wahają się w bardzo szerokich granicach i wynoszą od kilku do kilkuset kJ [4,5]. Niskimi wartościami potencjalnej energii sprężystej odznaczają się skały nie zagrażające tapaniami, natomiast skały skłonne do tapani wykazują wysokie wartości tego wskaźnika.

3.4. Charakterystyka rozpadu węgla i skał

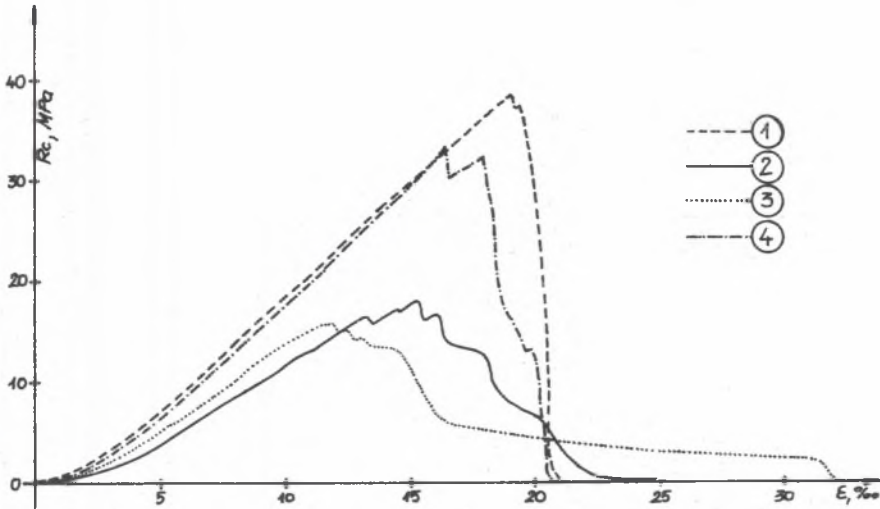
Badania pokrywyczej charakterystyki skał w sztywnych maszynach wytrzymałościowych, ze sterowaniem za pomocą przemieszczeń lub odkształceń, wykazują dla różnych skał bardzo zróżnicowaną dynamikę rozpadu. Pokrywycza gałąź krzywej "6-ε" może mieć bardzo różne nachylenie (rys.1), przy czym w skałach kruchych, stanowiących znaczne zagrożenie tapaniami, nachylenie jest strome, a rozpad ma charakter dynamiczny. W skałach o wyrażnych własnościach plastycznych nachylenie wyraźnie maleje. Proces rozpadu skały jest powolny, a jego kontynuacja wymaga dalszego dopływu energii. Charakterystykę rozpadu można opisać w różny sposób. Na potrzeby niniejszej pracy przyjęto jeden z najprostszych sposobów, polegający na

określeniu tzw. modułu spadku "M", wyrażającego stosunek spadku naprężeń ($-\Delta\sigma$) do przyrostu odkształceń ($\Delta\varepsilon$) w zakresie pokrytycznej gałęzi krzywej " $\sigma - \varepsilon$ ".

$$M = \frac{-\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}, \quad \text{MPa}$$

Wysokimi wartościami modułu spadku odznaczają się skały i węgle o dużym zagrożeniu tapaniami, a ich rozpad jest gwałtowny.

Nr	Kopalnia	Pokład	R_c , MPa	M, MPa	P_{ES} , kJ
1	Ziemowit	209	37,8	23.600	230
2	Bizeszce	349	18,0	3.300	70
3	Sosnica	408/4	15,8	2.470	49
4	Pokój	501	33,0	25.070	185



Rys. 1. Przykładowe wykresy zależności " $\sigma - \varepsilon$ " dla węgla
Fig. 2. Examples of " $\sigma - \varepsilon$ " diagrams of coals

3.5. Kompleksowa ocena stanu zagrożenia tapaniami spagowymi

Wskaźnik potencjalnej energii sprężystej "PES" oraz moduł spadku "M" są rozpatrywane jako wspólne kryterium oceny stopnia zagrożenia tapaniami spagowymi danego wycinka górotworu. Wskaźnik "PES" określa wielkość energii nagromadzonej w skałach spagowych, zaś moduł "M" charakteryzuje jej prędkość rozpraszania. W przyjętym rozwiązaniu oceny stanu zagrożenia jest tym wyższe, im większa jest potencjalna energia sprężysta oraz im gwałtowniejszy jest proces rozpadu skały.

W celu ustalenia skłonności skał do tępań według tych dwóch parametrów przyjęto punktową ocenę oddzielnie dla "PES" i "M", według umownej skali podanej w tabelicy 3.

Określenie kompleksowego stopnia zagrożenia tępianiami spagowymi w wyznaczonych we wstępnym etapie strefach o wskaźniku $W_w \leq 1,5$, dokonuje się na podstawie punktowej skali zagrożeń stanowiącej sumę punktów z wielkości potencjalnej energii sprężystej "PES" oraz wartości modułu spadku "M". Wyróżnia się cztery stopnie zagrożenia, podane w tabelicy 4.

Tabela 3

Stopień skłonności do tępań	Skłonność do tępań	Potencjalna energia sprężysta		Moduł spadku		
		PES (kN)	Ilość pkt.	"M", (GPa)		Ilość pkt.
				Węgiel	Skały	
1	nie występuje	< 40	0	< 3	< 5	0
2	słaba	40 - 100	2	3 - 5	5-10	3
3	znaczna	100- 200	4	5 - 10	10-20	6
4	bardzo silna	≥ 200	6	≥ 10	≥ 20	9

Tabela 4

Stopień zagrożenia	Suma umownych punktów	Stan zagrożenia tępianiami spagowymi
I	0 - 2	zagrożenie nie występuje
II	3 - 5	zagrożenie słabe
III	6 - 9	zagrożenie średnie
IV	≥ 9	zagrożenie silne

LITERATURA

- [1] Filcek H., Kłeczek Z., Zorychta A.: Poglądy i rozwiązania dotyczące tapani w kopalniach węgla kamiennego. ZN-AGH, s.Górnictwo nr 123, Kraków 1984.
- [2] Filcek H. i zespół: Opracowanie kryteriów definiujących możliwość powstawania tapani w ścianach i chodnikach. Dokumentacja Inst.Geomechaniki Górniczej, AGH, Kraków 1987.
- [3] Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. Wyd. Śląsk, Katowice 1982.
- [4] Smożka J. i zespół: Metoda określania skłonności do tapani związanych piaskowców i łupków piaszczystych (mułowców) otaczających pokłady węglowe - wersja wstępna. Dokumentacja GIG, Katowice 1978.
- [5] Smożka J. i zespół: Zasady oceny zagrożenia tapaniami spagowymi na podstawie analizy warunków geologiczno-górnicznych zaistniałych tapani spagowych w różnych rejonach. Dokumentacja GIG, Katowice 1988.
- [6] Smożka J. i zespół: Metoda wyznaczania stref zagrożenia tapaniami spagowymi w oparciu o dynamiczne i mechaniczne własności węgla i skał. Dokumentacja GIG, Katowice 1989.
- [7] Katalog tapani w kopalniach Przemysłu Węglowego za lata 1969-1986. Dokumentacja GIG, Katowice 1987.

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА УДАРОПАСНОСТИ ПОЧВЫ

Р е з ю м е

Представлено способ прогнозирования почвенных горных ударов, основанный на исследовании трех критериальных параметров. На первой стадии исследования, на основании показателя напряжения горных пород, определяется возможность перехода предельного состояния равновесия горного массива окружающего горную выработку. На второй стадии определяется степень интенсивности удароопасности на основании двух критериев, таких как упругая потенциальная энергия и способ ее разгрузки в процессе разрушения структуры горных пород.

PREDICTION OF THE FLOOR - BURSTS HAZARDS

S u m m a r y

The paper presents a new method of prediction of the floor-bursts hazards, based on three criterions. The strength to vertical stress index W_v indicate the possibility to exceed the critical conditions,

and the two others, the index of potencial elastic energy "PES" stored in the rocks and the post-failure modulus "M" determines the expected intensity of the bursts hazard.

Recenzent: Doc.dr hab.inż. Bernard Drzęźla