

Edmund ZASTAWNY

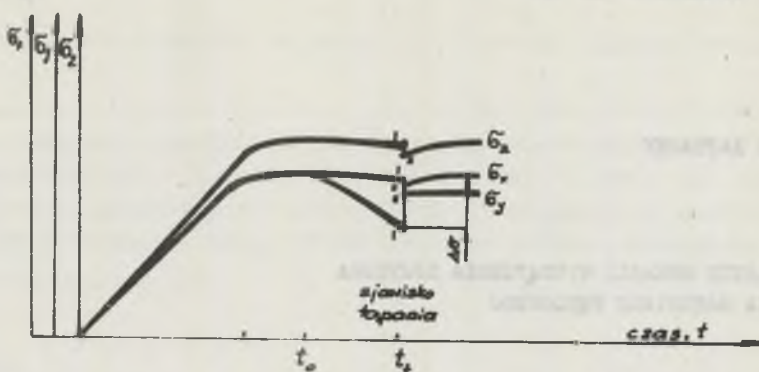
## OKREŚLENIE ENERGII WYSTĄPIENIA ZJAWISKA TĄPANIA MATERIAŁU WĘGLOWEGO

**Streszczenie.** W pracy podano dwa sposoby obliczania energii zjawiska tapania. Wyznaczono tę energię z badań laboratoryjnych materiału węglowego. Porównano energię zjawiska tapania z energiami mierzonymi na kopalniach sejsmografami.

### 1. WSTĘP

Tapania występujące w kopalniach węgla kamiennego stanowią w dalszym ciągu jedno z największych zagrożeń górniczych do końca nie rozpoznanych. Określenie mechanizmu powstawania tapani pokładowych może przyczynić się do prowadzenia skutecznej profilaktyki górniczej przeciwko temu zagrożeniu. W warunkach laboratoryjnych, ale bardzo podobnych do występujących w górotworze eksploatowanym (w podobnym trójkierunkowym stanie naprężenia), udało się zrealizować zjawisko tapania materiału węglowego, co przedstawiono w pracach [5, 6, 7].

W czasie badania próbki węgla w trójkierunkowym stanie naprężenia możemy wywołać zjawisko tapania, podczas którego mierzymy wartości składowych stanu naprężenia i wielkości odkształcenia wzdłuż osi  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Badanie to polega na tym, iż obciążamy próbkę węgla do wartości składowych stanu naprężenia podobnych do występujących w górotworze, a następnie wzdłuż jednej osi poziomej zmniejszamy wartość składowej stanu naprężenia [6, 7]. W ten ogólnie przedstawiony sposób uzyskujemy zjawisko tapania charakteryzujące się znacznym przyrostem wartości składowej poziomej stanu naprężenia  $\Delta\sigma$ , wzdłuż której zmniejszono wartość naprężenia oraz stukiem, trzaskiem lub hukiem w zależności od nasilenia zjawiska [6, 7]. Wartość przyrostu naprężenia  $\Delta\sigma$  podczas badania jest rejestrowana. Zmiany wartości pozostałych składowych stanu naprężenia są niewielkie (rys. 1).



Rys. 1.

$t = t_0$  początek zmniejszania wartości poziomej składowej stanu naprężenia,

$t = t_t$  czas, w którym występuje zjawisko tapania,

I początek zjawiska tapania,

II koniec zjawiska tapania.

Na podstawie badań próbek węgla o wymiarach 50x50x50 mm wyróżniono zjawiska tapania o nasileniu

$$\Delta \sigma > 2,5 \text{ MN/m}^2$$

$$\Delta \sigma > 5,0 \text{ MN/m}^2$$

$$\Delta \sigma > 7,5 \text{ MN/m}^2$$

$$\Delta \sigma \geq 10,0 \text{ MN/m}^2$$

Wspomniane zjawisko tapania może wystąpić w badanej próbce wielokrotnie [5, 6].

Niniejsza praca, poza określeniem energii zjawiska tapania materiału węglowego, ma także pokazać różnicę między tą energią a energią tapania poskładowych.

## 2. ENERGIA ZJAWISKA TAPANIA MATERIAŁU WĘGLOWEGO (WZORY PRZYBLIŻONE)

Materiał węglowy będąc w trójkierunkowym stanie naprężenia, może posiadać cechy sprężyste bądź plastyczne albo sprężysto-plastyczne.

Zakładając, że w czasie  $t = t_t$  (wystąpienia zjawiska tapania) materiał węglowy posiada własności sprężyste i jest jednorodny, można obliczyć wielkość energii wyzwolonej przez zjawisko tapania, zwanej w dalszym ciągu energią zjawiska tapania  $\Phi_{zj.t.}$

Energia zjawiska tapania materiału węglowego  $\Phi_{zj.t}$  można wyznaczyć jako różnicę energii w punkcie I a punktem II wykresu uzyskanego z przebiegu badania próbki węgla (rys. 1),

$$\Phi_{zj.t} = \Phi_I - \Phi_{II}, \quad (1)$$

gdzie:

$\Phi_I$  - wielkość energii w próbce będącej w stanie naprężenia, określonym na wykresie w pkt. I (na początku trwania zjawiska tapania),

$\Phi_{II}$  - wielkość energii w próbce będącej w stanie naprężenia, określonym na wykresie w pkt. II (na końcu trwania zjawiska tapania).

Całkowita energia sprężysta wg Clapeyrona [5] wynosi:

$$\Phi_1 = \frac{1}{2} (\sigma_x \cdot \varepsilon_x + \sigma_y \cdot \varepsilon_y + \sigma_z \cdot \varepsilon_z + \tau_x \cdot \gamma_x + \tau_y \cdot \gamma_y + \tau_z \cdot \gamma_z) \quad (2)$$

dla przypadku naprężeń głównych ( $\tau_x = \tau_y = \tau_z = 0$ )

energia sprężysta wynosi:

$$\Phi_1 = \frac{1}{2} (\sigma_x \cdot \varepsilon_x + \sigma_y \cdot \varepsilon_y + \sigma_z \cdot \varepsilon_z) \quad (3)$$

Całkowita energia sprężysta  $\Phi_2$  może być także obliczona drugim sposobem jako suma energii odkształcenia postaciowego  $\Phi_f$  i energii odkształcenia objętościowego  $\Phi_v$

$$\Phi_2 = \Phi_f + \Phi_v \quad (4)$$

$$\Phi_f = \frac{1+\nu}{3E} [\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2)] \quad (5)$$

zaś dla przypadku naprężeń głównych

$$\Phi_f = \frac{1+\nu}{3E} (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x) \quad (6)$$

$$\Phi_v = \frac{1-2\nu}{6E} [\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + 2(\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x)] \quad (7)$$

Zgodnie z (4)

$$\Phi_2 = \frac{1}{2E} [\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - 2\nu(\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x)] \quad (8)$$

Energia zjawiska tapania materiału węglowego  $\Phi_{zj.t}$  zgodnie z (1) i (3) wyniesie:

$$\Phi_{zj.t} = \Phi_I - \Phi_{II} = \frac{1}{2E} [\sigma_{Ix}^2 + \sigma_{Iy}^2 + \sigma_{Iz}^2 - 2\nu(\sigma_{Ix} \sigma_{Iy} + \sigma_{Iy} \sigma_{Iz} + \sigma_{Iz} \sigma_{Ix})] - \frac{1}{2E} [\sigma_{IIx}^2 + \sigma_{IIy}^2 + \sigma_{IIz}^2 - 2\nu(\sigma_{IIx} \sigma_{IIy} + \sigma_{IIy} \sigma_{IIz} + \sigma_{IIz} \sigma_{IIx})]$$

$$\begin{aligned} \dot{\Phi}_{zj.t.1} = \frac{1}{2} (\sigma_{xI} \varepsilon_{xI} + \sigma_{yI} \varepsilon_{yI} + \sigma_{zI} \varepsilon_{zI} - \sigma_{xII} \varepsilon_{xII} - \sigma_{yII} \varepsilon_{yII} + \\ - \sigma_{zII} \varepsilon_{zII}) \end{aligned} \quad (9)$$

dla przypadku, gdy praktycznie

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xI} = \varepsilon_{xII} = \varepsilon_x \\ \varepsilon_{yI} = \varepsilon_{yII} = \varepsilon_y \\ \varepsilon_{zI} = \varepsilon_{zII} = \varepsilon_z \end{aligned} \quad (10)$$

otrzymano

$$\dot{\Phi}_{zj.t.1} = \frac{1}{2} [(\sigma_{xI} - \sigma_{xII}) \varepsilon_x + (\sigma_{yI} - \sigma_{yII}) \varepsilon_y + (\sigma_{zI} - \sigma_{zII}) \varepsilon_z] \quad (11)$$

Energia zjawiska tapania materiału węglowego  $\dot{\Phi}_{zj.t.}$  zgodnie ze wzorami (1) i (4) wynosi także

$$\dot{\Phi}_{zj.t.2} = \dot{\Phi}_{fI} - \dot{\Phi}_{fII} + \dot{\Phi}_{vI} - \dot{\Phi}_{vII} \quad (12)$$

lub też

$$\dot{\Phi}_{zj.t.2} = \dot{\Phi}_{zj.t.f} + \dot{\Phi}_{zj.t.v} \quad (13)$$

gdzie postaciowa energia zjawiska tapania

$$\dot{\Phi}_{zj.t.f} = \dot{\Phi}_{fI} - \dot{\Phi}_{fII} \quad (14)$$

objętościowa energia zjawiska tapania

$$\dot{\Phi}_{zj.t.v} = \dot{\Phi}_{vI} - \dot{\Phi}_{vII} \quad (15)$$

Po podstawieniu wzorów (6) i (7)

$$\begin{aligned} \dot{\Phi}_{zj.t.f} = \frac{1+\nu}{2E} (\sigma_{xI}^2 + \sigma_{yI}^2 + \sigma_{zI}^2 - \sigma_{xI} \sigma_{yI} - \sigma_{yI} \sigma_{zI} - \sigma_{zI} \sigma_{xI} + \\ - \sigma_{xII}^2 - \sigma_{yII}^2 - \sigma_{zII}^2 + \sigma_{xII} \sigma_{yII} + \sigma_{yII} \sigma_{zII} + \sigma_{zII} \sigma_{xII}) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \bar{\Phi}_{zj.t.v} = \frac{1-2\nu}{6E} & \left[ \sigma_{xI}^2 + \sigma_{yI}^2 + \sigma_{zI}^2 + 2(\sigma_{xI}\sigma_{yI} + \sigma_{yI}\sigma_{zI} + \sigma_{zI}\sigma_{xI}) + \right. \\ & \left. - \sigma_{xII}^2 - \sigma_{yII}^2 - \sigma_{zII}^2 - 2(\sigma_{xII}\sigma_{yII} + \sigma_{yII}\sigma_{zII} + \sigma_{zII}\sigma_{xII}) \right] \end{aligned} \quad (17)$$

Po podstawieniu wzorów (16) i (17) do (13) otrzymano

$$\begin{aligned} \bar{\Phi}_{zj.t.2} = \frac{1}{2E} & \left[ \sigma_{xI}^2 + \sigma_{yI}^2 + \sigma_{zI}^2 - 2\nu(\sigma_{xI}\sigma_{yI} + \sigma_{yI}\sigma_{zI} + \sigma_{zI}\sigma_{xI}) + \right. \\ & \left. - \sigma_{xII}^2 - \sigma_{yII}^2 - \sigma_{zII}^2 + 2\nu(\sigma_{xII}\sigma_{yII} + \sigma_{yII}\sigma_{zII} + \sigma_{zII}\sigma_{xII}) \right] \end{aligned} \quad (18)$$

Jak z powyższego wynika, energię zjawiska tapania materiału węglowego obliczoną (przy założeniu liniowej sprężystości materiału węglowego) określają w przybliżeniu dwa wzory (11) i (18), które będą wykorzystane do obliczenia energii dla danych z prób laboratoryjnych.

We wzorze (11) wystarczą wartości składowych stanu naprężenia i odkształcenia pomierzone w trakcie badań.

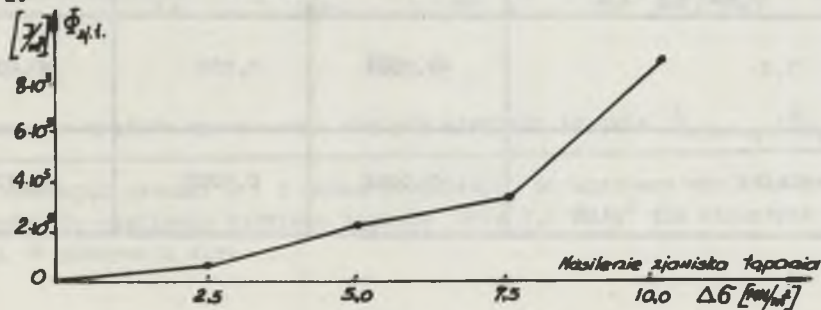
We wzorach (16), (17) i (18) poza wartościami składowych stanu naprężenia potrzebna jest znajomość dwóch stałych materiałowych (materiału izotropowego)  $E$  i  $\nu$ .

### 3. PRZYKŁAD OBLICZENIA ENERGII ZJAWISKA TAPANIA MATERIAŁU WĘGLOWEGO

Na podstawie wyników badań laboratoryjnych uzyskanych na próbkach węgla o wymiarach 50 x 50 x 50 mm z pokładu 507 KWK DYMITROW uzyskano wartości składowych stanu naprężenia zestawione w tabelicy 1 oraz wartości składowych stanu odkształcenia przedstawione w tabelicy 2.

Pierwszy sposób wyznaczenia energii zjawiska tapania  $\bar{\Phi}_{zj.t.1}$

Wykorzystując wzór (11) otrzymano wartości energii zjawiska tapania materiału węglowego  $\bar{\Phi}_{zj.t.1}$  zestawione w tabelicy 3 i przedstawione na rys. 2.



Rys. 2.

Tablica 1

Nasilenie zjawiska tapania $\Delta\sigma_{MN/m^2}$	Punkty pomiarowe	Wartości składowych naprężenia		
		$\sigma_x$ MN/m <sup>2</sup>	$\sigma_y$ MN/m <sup>2</sup>	$\sigma_z$ MN/m <sup>2</sup>
2,5	I	23,9	7,5	72,0
	II	24,5	10,0	70,7
5,0	I	23,9	13,0	73,0
	II	24,6	18,0	69,7
7,5	I	22,9	12,0	72,0
	II	23,2	19,5	69,0
10,0	I	21,5	10,0	74,2
	II	21,8	20,0	68,0

Tablica 2

Nasilenie zjawiska tapania $\Delta\sigma_{MN/m^2}$	Wartość odkształcenia		
	$\epsilon_x$	$\epsilon_y$	$\epsilon_z$
2,5	-0,0084	0,0116	-0,066
5,0	-0,0084	0,0334	-0,088
7,5	-0,0084	0,050	-0,096
10,0	-0,0084	0,1002	-0,126

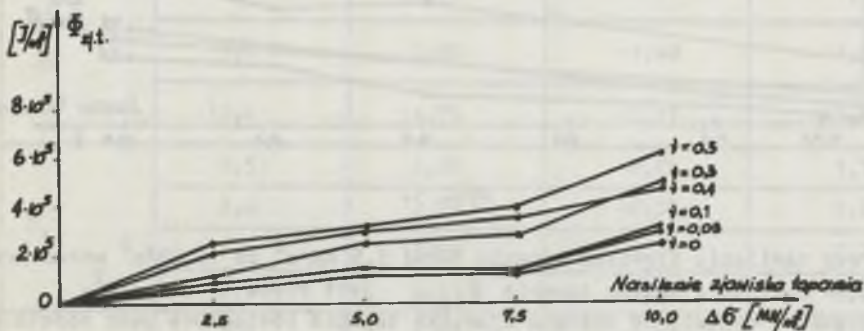
Tablica 3

Nasilenie zjawiska tapania $\Delta G \text{ MN/m}^2$	Energia zjawiska tapania materiału węglowego $\Phi_{zj.t.} \text{ J/m}^2$
2,5	$0,55 \cdot 10^5$
5,0	$2,26 \cdot 10^5$
7,5	$3,30 \cdot 10^5$
10,0	$8,90 \cdot 10^5$

Drugi sposób wyznaczenia energii zjawiska tapania  $\Phi_{zj.t.2}$

Na podstawie wzorów (16), (17) i (18) oraz wartości z tablicy 1 przyjęciu modułu Younga  $E = 10^3 \text{ MN/m}^2$  wg pracy [1], współczynnik Poissona  $\nu = 0, 0,03; 0,1; 0,3; 0,4$  i  $0,5$  otrzymano wartości energii zjawiska tapania zestawione w tablicy 4.

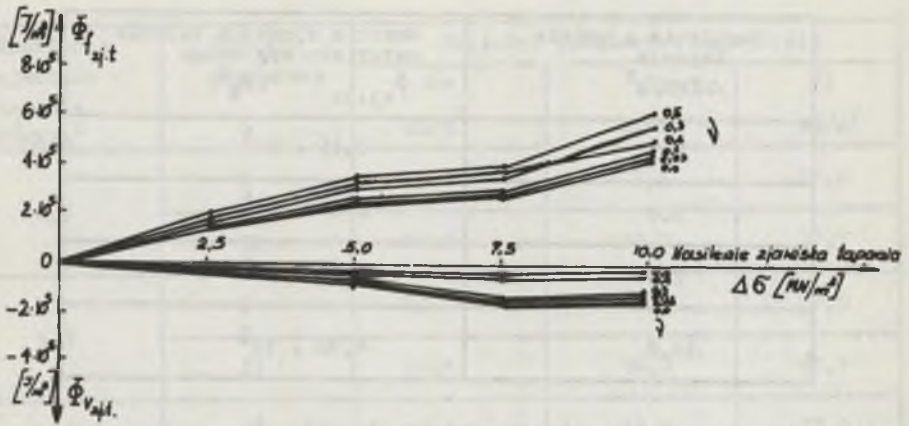
Wartości energii zjawiska tapania przedstawiono także na rys. 3 - 5, (analogicznie jak na rys. 2) jako funkcję nasilenia zjawiska tapania.



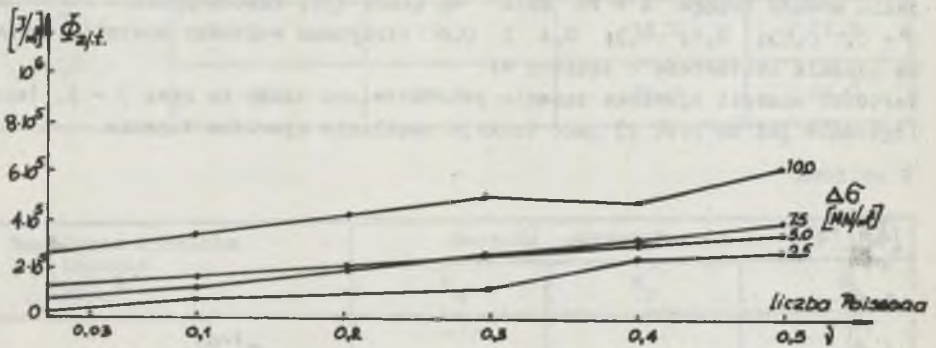
Rys. 3.

Porównanie wyników wyznaczenia energii zjawiska tapania  $\Phi_{zj.t.1}$  i  $\Phi_{zj.t.2}$

Porównując rysunki 2 i 3 można stwierdzić, że uzyskane wyniki w szczególności do nasilenia zjawiska tapania  $\Delta G = 7,5 \text{ MN/m}^2$  dla większych wartości  $\nu$  pokrywają się.



Rys. 4.



Rys. 5.

Przy nasileniu zjawiska tapania  $\Delta G$  od  $7,5 \text{ MN/m}^2$  do  $10 \text{ MN/m}^2$  można przyjąć, że energia zjawiska tapania  $\Phi_{zj.t.}$  jest rzędu  $5 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$ . Z rysunku 4 wynika, że energia zjawiska tapania postaciowa jest dodatnia, a objętościowa ujemna.

Z rysunku 5 wynika, że wpływ wartości współczynnika  $\eta$  na wartość energii zjawiska  $\Phi_{zj.t.}$  jest mały.



Tablica 4

Liczba Poissona $\nu$	Nasilenie zjawiska tapania $\Delta\sigma$ MN/m <sup>2</sup>	Wartość energii zjawiska tapania		
		postaciowej $\phi_{zj.t.f}$ 10 <sup>5</sup> J/m <sup>3</sup>	objętościowej $\phi_{zj.t.v}$ 10 <sup>5</sup> J/m <sup>3</sup>	$\phi_{zj.t.}$ 10 <sup>5</sup> J/m <sup>3</sup>
0	2,5	1,19	-0,62	0,57
	5,0	2,30	-0,90	1,40
	7,5	2,62	-1,75	0,87
	10,0	4,15	-1,51	2,64
0,03	2,5	1,23	-0,59	0,64
	5,0	2,36	-0,84	1,52
	7,5	2,69	-1,65	1,04
	10,0	4,45	-1,39	3,06
0,1	2,5	1,31	-0,50	0,81
	5,0	2,53	-0,72	1,81
	7,5	2,88	-1,40	1,48
	10,0	4,75	-1,17	3,58
0,3	2,5	1,55	-0,25	1,30
	5,0	2,99	-0,35	2,64
	7,5	3,40	-0,70	2,70
	10,0	5,69	-0,62	5,07
0,4	2,5	1,66	-0,13	1,53
	5,0	3,22	-0,17	3,05
	7,5	3,66	-0,35	3,31
	10,0	5,05	-0,30	4,75
0,5	2,5	1,79	0	1,79
	5,0	3,45	0	3,45
	7,5	3,93	0	3,93
	10,5	6,22	0	6,22

4. ENERGIA ZJAWISKA TĄPIANIA  $\dot{\Phi}_{zj.t.}$ , A ENERGIA TĄPIANIA POKŁADU  $\dot{\Phi}_t$ 

Badania laboratoryjne próbek węgla o wymiarach 50 x 50 x 50 mm w trój-  
kierunkowym stanie naprężenia dla wywołania zjawiska tapania pozwoliły  
określić wielkość tego zjawiska za pomocą:

- wartości nasilenia zjawiska tapania,  $\Delta \sigma$  [7],
- energii wyzwolonej podczas tego zjawiska,  $\dot{\Phi}_{zj.t.}$ .

W punkcie trzecim określono, przy przyjętym nasileniu, energię zjawis-  
ka tapania  $\dot{\Phi}_{zj.t.} = 5 \cdot 10^5 \text{ J/m}^3$ .

Zależność pomiędzy energią tapania  $\dot{\Phi}_t$  a energią zjawiska tapania  $\dot{\Phi}_{zj.t.}$   
można uznać jako następującą

$$\dot{\Phi}_t = \dot{\Phi}_{zj.t.} \cdot V, \quad (19)$$

gdzie:

V - objętość materiału węglowego, która wzięła udział w zjawisku tapania o określonym nasileniu.

Stąd

$$V = \frac{\dot{\Phi}_t}{\dot{\Phi}_{zj.t.}}. \quad (20)$$

Dla przyjętych a spotykanych przy tapaniach energiach tapania  $\dot{\Phi}_t$  wy-  
znaczono w tabelicy 5 objętości V.

Tabelica 5

$\dot{\Phi}_t$	J	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^8$
V	$\text{m}^3$	0,02	0,2	2	20	200

Zjawisko tapania w materiale węglowym będącym w trójkierunkowym stanie  
naprężenia może wystąpić kilkakrotnie.

Podobnie w górotworze przy odpowiednim stanie naprężenia (i jego zmianach)  
występują powtarzające się w tym samym obszarze tapania. Potwierdzają to  
zarejestrowane wielkości wyzwolonej energii drgań, wstrząsów i tapani (w  
praktyce kopalnianej, gdy nie ma skutków w postaci zniszczonego wyrobiska  
nie mówi się o tapaniu, bez względu na wielkość wyzwolonej energii). Re-  
jestruje się najczęściej wielkości energii  $\dot{\Phi}_t = 10^5 - 10^7 \text{ J}$ .

## 5. ENERGIA KINEMATYCZNEGO ROZPADU STATYCZNEGO I DYNAMICZNEGO A ENERGIA TĄPIANIA POKŁADU $\Phi_t$

Natomiast podczas badań tzw. naturalnej skłonności węgla do tapania w czasie dynamicznego rozpadu próbki węgla (przy jednokierunkowym obciążeniu), ustalono energię kinematycznego rozpadu przy obciążeniu statycznym w zakresie  $\Phi_{k_{st}} = 1,5 - 7,5 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$  [2, 3], a przy obciążeniu dynamicznym  $\Phi_{k_{dyn}} = 0,4 - 1,3 \cdot 10^4 \text{ J/m}^3$  [3].

Można przyjąć do dalszych rozważań wartości energii rozpadu

$$\Phi_{k_{st}} = 5 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$$

$$\Phi_{k_{dyn}} = 1 \cdot 10^4 \text{ J/m}^3$$

Energie te są 100 i 50 razy mniejsze od rozważanej w punkcie 3 i 4 energii zjawiska tapania  $\Phi_{zj.t.}$ .

Gdyby można było porównać energię kinematycznego rozpadu próbki wskaźnika naturalnej skłonności węgla do tapania z energią tapania, to objętości materiału węglowego, które wzięłyby udział w tapaniu byłyby 100 lub 50 razy większe od podanych w tablicy 5.

## 6. PODSUMOWANIE

Przedstawione sposoby i przykłady obliczenia wielkości energii zjawiska tapania materiału węglowego  $\Phi_{zj.t.}$  na podstawie wyników z badań laboratoryjnych pozwalają bliżej poznać mechanizm tapania pod względem ilościowym.

Zdając sobie sprawę z poczynionych założeń upraszczających, wykazano porównywalność energii tapania typu eksplozyjnego (typu pokładowego) z energią zjawiska tapania materiału węglowego. Celowe są w związku z tym pogłębiające badania energetyczne omawianych zjawisk.

Dokładne jednak poznanie mechanizmu tapania pozwoli skuteczniej i ekonomiczniej je zwalczać (także pod względem wielkości wyzwalanej energii).

## LITERATURA

- [1] Chudek M.: Mechanika Górnotworu. Gliwice 1976.
- [2] Gil H., Drzęzła B.: Metody oceny skłonności węgla do tapania. Przegląd Górniczy nr 12/1973.

- [3] Musiał St.: Wpływ obciążenia dynamicznego na naturalną skłonność węgla do tapan. Praca doktorska, Biblioteka Główna Politechniki Śląskiej, Gliwice 1978.
- [4] Walczak J.: Wytrzymałość materiałów oraz postawy teorii sprężystości i plastyczności. PWN, Warszawa 1973.
- [5] Szuścik W., Zastawny E.: Zjawisko tapania materiału węglowego. Przegląd Górniczy nr 11/1980.
- [6] Zastawny E.: Badanie laboratoryjne zjawiska tapan węgla kamiennego w trójkierunkowym stanie naprężenia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo z.99, Gliwice 1979.
- [7] Zastawny E.: Wyznaczanie obszaru występowania tapan w przestrzeni naprężeń w oparciu o badania laboratoryjne w próbkach węgla. Praca doktorska. Biblioteka Główna Politechniki Śląskiej. Gliwice 1979.

Wpłynęło do Redakcji 30.06.1982 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Antoni Kidybiński

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГОРНОГО УДАРА КАМЕННОУГОЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

#### Р е з ю м е

В работе даны два способа расчета энергии возникновения горного удара. Эта энергия определена основе лабораторных исследований каменноугольного материала. Энергия возникновения горного удара сравнена с энергиями измерениями на шахтах при помощи сейсмографов.

#### DETERMINING THE ENERGY OF CRUMPING OF COAL MATERIAL

#### S u m m a r y

The paper gives two ways of calculating the energy of crumping. This energy was calculated from laboratory tests of coal material. The energy of crumping was compared with energy measured in collieries by means of seismographs.