

Stefan MUSIOŁ  
Andrzej KACZMARCZYK  
Antoni MOTYCZKA

## MIARA SKŁONNOŚCI WĘGLA DO TAPAŃ PRZY OBCIĄŻENIU DYNAMICZNYM

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań nad określeniem wpływu obciążenia dynamicznego na naturalną skłonność węgla do tapania. Na podstawie tych badań opisano zależność zachodzącą pomiędzy energią kinetyczną rozpadu próbek a energią udaru i opracowano metodę pozwalającą ocenić wpływ obciążenia dynamicznego na naturalną skłonność węgla do tapania, tworząc jej miarę.

### 1. WPROWADZENIE

Dotychczasowe badania oraz praktyka dowodzą, że do wystąpienia tapania niezbędne jest spełnienie następujących warunków:

- pokład węgla musi być skłonny do tapania,
- stan naprężenia w pokładzie musi osiągnąć stan krytyczny,
- warstwy stropowe i spągowe otaczające pokład muszą mieć wytrzymałość większą od wytrzymałości węgla.

Spośród tych trzech warunków nieodzownych do wystąpienia tapania w pokładzie, w artykule niniejszym zajmować się będziemy skłonnością węgla do tapania. Zagadnienie to było wielokrotnie przedmiotem badań. Zajmowali się nim m.in. J.Znański [11], [12] i K.Drzewiecki [4], [5] oraz H.Gil, B.Drzęźła [6], A.Motyczka [8], Z.Szeczówka i J.Domżał [10], tworząc metody jakościowej i ilościowej oceny skłonności węgla do tapania.

Stosowane do tej pory metody oceny naturalnej skłonności węgla do tapania ze względu na sposób przeprowadzania badań laboratoryjnych odnieść można do tapania naprężeniowych, tj. tapania wynikających ze stosunkowo powolnego, stałego przyrostu naprężenia w pokładzie, aż do momentu przekroczenia jego wytrzymałości na ściskanie.

Zdarzają się jednak w kopalniach tapania spowodowane nagłym, gwałtownym przyrostem naprężenia w pokładzie, przy czym źródłem tego gwałtownego przyrostu może być np. załamanie się grubych, sztywnych warstw stropu zasadniczego zalegającego nad pokładem. Tapanie ma wówczas nieco inny, bardziej gwałtowny charakter.

Artykuł niniejszy jest skromną próbą wyjaśnienia tych zjawisk i wypełnienia istniejącej luki w stosowanych dotychczas metodach ilościowej oceny naturalnej skłonności węgla do tapani o pewien nowy sposób pozwalający określić skłonność węgla do tapani w przypadku gwałtownego - dynamicznego obciążenia.

Wyjaśnić jeszcze należy, co rozumie się w niniejszej pracy przez obciążenie dynamiczne i statyczne.

Ponieważ badania dotyczą rozważań nad wpływem gwałtownego obciążenia pokładu węgla spowodowanego załamaniem się grubych, mocnych warstw stropowych, a więc obciążenia o charakterze udarowym na naturalną skłonność węgla do tapani, obciążenie o takim charakterze rozumie się w niniejszej pracy jako obciążenie dynamiczne.

Przedstawione wyniki badań odnoszą się tylko do takich warunków obciążenia. Nie obejmują natomiast obciążenia pokładu wywołanego np. drganiem stropu, zaliczanymi również do obciążeń dynamicznych, pozostawiając otwartą kwestię skłonności węgla do tapani poddanego takiemu rodzajowi obciążeń.

Przez obciążenie statyczne natomiast rozumie się obciążenie próbek węgla realizowane z pewną minimalną prędkością, która zapewnia uzyskanie efektu tapania próbki bez względu na naturalną jego skłonność do tapani, lecz z intensywnością zależną od tej skłonności. Prędkość ta została wyznaczona w trakcie badań nad opracowaniem metody wyznaczania wskaźnika naturalnej skłonności węgla do tapani [8] i wynosi ona dla węgla z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego  $97\ 000\ \text{N/m}^2\text{s}$ .

## 2. BADANIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE PRÓBEK WĘGLA. OKREŚLENIE ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY ENERGIA UDARU A ENERGIA KINETYCZNA ROZPADU PRÓBEK WĘGLA W TRAKCIE ICH TAPNIĘCIA

Analizę wpływu obciążenia dynamicznego na naturalną skłonność węgla do tapani przeprowadzono w oparciu o znajomość parametrów wytrzymałościowych badanych węgla z pokładów 501, 504 i 510 kopalni "Wujek", "Wieczorek", "Kattowice", "Mysłowice" i "Dymitrow".

W oparciu o przeprowadzone badania laboratoryjne wyznaczono:

- odkształcenie podłużne,
- siłę z jaką obciążono próbki węgla,
- zasięg rozrzutu odłamków węgla w trakcie tapania próbki,
- masę wyrzuconego węgla w trakcie tapania próbki.

Na podstawie znajomości tych pomierzonych wielkości wyliczono:

- odkształcenie właściwe podłużne,
- naprężenie
- energię odkształcenia,

- energię kinetyczną rozpadu próbki,
- moduł Younga.

Badania wytrzymałościowe przeprowadzono w jednoosiowym stanie naprężenia z tarcieniem u podstawy próbki na próbkach kostkowych o wymiarach 50x50x50mm. Próbki do badań pobierano z calizny węglowej o nienaruszonej robotami strażakowymi lub pracą maszyn urabiających strukturze. W celu pobrania próbek węgla usuwano więc w przodku warstwę węgla o zniszczonej strukturze. Próbki pobrane zostały z każdej makroskopowo różniącej się większej warstwy węgla. Badania przeprowadzono na 1700 próbkach węgla. Końcowe rezultaty badań poszczególnych parametrów są średnią dla wyników uzyskanych w trakcie badania serii 31 próbek pochodzących z danego punktu opróbowania.

Dla przeprowadzenia badań skonstruowano specjalne stanowisko badawcze (rys. 1) składające się z następujących elementów:

- prasy hydraulicznej przystosowanej do przeprowadzenia badań zarówno w warunkach obciążenia statycznego, jak i dynamicznego,
- pompy hydraulicznej,
- układu manometrów,
- układu czujników do pomiaru odkształceń,
- sektora pomiaru rozrzutu odłamków próbki w trakcie jej tąpnięcia.

Zasadniczym elementem jest tutaj prasa hydrauliczna przystosowana po odpowiedniej przeróbce i adaptacji do badania próbek węgla przy obciążeniu statycznym oraz dynamicznym realizowanym przez swobodny spadek obciążników o zadanej masie z dowolnie przyjętej wysokości w granicach do 1500 mm, co zapewniało dynamiczno-udarowe obciążenie próbki energią do 1500 J. Pomiaru odkształceń dokonywano za pomocą czujników zegarowych MDAa 10/II o dokładności odczytu 0,01 mm.

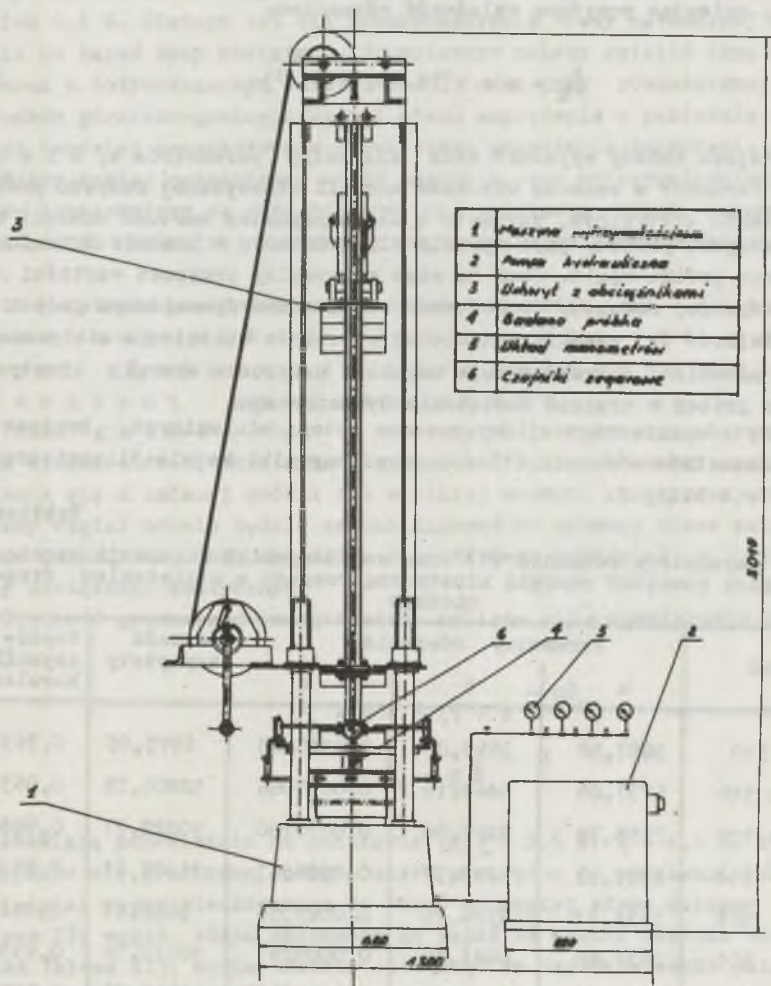
W celu przeanalizowania wpływu obciążenia dynamicznego na naturalną skłonność węgla do tupań przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych pomiary energii kinetycznej rozpadu próbek węgla przy obciążeniu statycznym, tj. przyjmowanym w tych badaniach w oparciu o wcześniejsze doświadczenia w tym zakresie [8] jako prędkość obciążenia wynosząca  $97\ 000\ \text{N/m}^2\text{s}$ , a następnie porównano otrzymane wyniki z wielkością energii kinetycznej rozpadu próbek, jaka wyzwoliła się w trakcie tąpnięcia tych próbek wywołanego obciążeniem dynamicznym równoważnym energii udaru wynoszącej kolejno 200 [J], 500 [J], 800 [J] i 1100 [J].

Wielkość energii kinetycznej rozpadu próbek oraz energii odkształcenia wyznaczono metodą opisaną w artykule A. Motyczki [8]. Wyniki pomiarów tych energii oraz wskaźnika naturalnej skłonności węgla do tupań przy obciążeniu statycznym przedstawione są w tabeli 1.

Tabela 1

Średnie wartości energii oksydacji, energii kinetycznej rozpadu próbek przy obojętaniu statycznym i dynamicznym oraz wartości wskaźnika naturalnej skłonności węgla do tapania przy obciążeniu statycznym

Kopalnia/ pokład	$\phi_0$ [J/m <sup>3</sup> ]	$\phi_{dyn}$ [J/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [%]	Klasa skłonności węgla do tapania wg $\varphi$	$\phi_{k, dyn} 200$ [J/m <sup>3</sup> ]	$\phi_{k, dyn} 500$ [J/m <sup>3</sup> ]	$\phi_{k, dyn} 800$ [J/m <sup>3</sup> ]	$\phi_{k, dyn} 1000$ [J/m <sup>3</sup> ]
Katowice 510	89610	2922,33	3,26	niesklonny	4613,79	5425,44	5516,98	6821,01
Wieszowice 510	143010	6818,13	4,77	III	8876,19	10504,24	12550,24	11314,67
Wieszowice 510	186380	7524,52	4,04	I	9181,73	10238,61	10194,74	10998,14
Wujek 510	120430	5263,44	4,37	II	8348,42	11006,03	10859,83	11463,86
Katowice 504	109190	5066,67	4,74	III	7187,69	9385,09	7382,05	10589,84
Dymitrow 501	93050	3782,06	4,06	I	4480,93*	6294,70	7358,30	7891,58
Wieszowice 501	147920	3989,61	2,70	niesklonny	6130,88	8196,38	11358,86	13174,52
Wujek 501	117500	3753,44	3,19	niesklonny	5038,49	7028,94	7253,37	8176,94
Wieszowice 501/4	194749	4737,62	2,43	niesklonny	7728,91	8572,48	9177,91	8769,62
Wieszowice 501/5	117800	3771,56	3,20	niesklonny	5154,19	5459,41	6772,80	6000,43



Rys. 1. Stanowisko badawcze do badań nad wpływem obciążenia dynamicznego na wielkość energii kinetycznej rozpadu próbek węgla

Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że stosując obciążenie dynamiczne w zakresie od 200 do 1100 [J] wielkość energii kinetycznej rozpadu próbek przy takim obciążeniu rośnie, lecz nie przekracza pewnej wartości granicznej wyrażonej asymptotą równania opisującego tę zależność.

Z analizy sporządzonych wykresów (rys. 2-11) zależności  $\Phi_k = f(\Phi_u)$ , a więc metodą graficzną dokonano oceny nieliniowej postaci analitycznej tego związku, opisując powyższą zależność równaniem:

$$\Phi_k = a + b (1 - e^{-c \Phi_u}) \quad (1)$$

W tym miejscu należy wyjaśnić sens fizyczny parametrów  $a$ ,  $b$  i  $c$  równania (1). Parametr  $a$  oznacza wielkość energii kinetycznej rozpadu próbek przy obciążeniu statycznym, parametr  $b$  zaś maksymalną wartość energii kinetycznej rozpadu próbek, jaka wyzwala się dodatkowo w trakcie dynamicznego obciążenia próbki węgla. Jest to więc maksymalny przyrost wartości energii kinetycznej rozpadu, spowodowany obciążeniem dynamicznym próbek węgla ponad wielkość tej energii wyzwolonej w trakcie obciążenia statycznego. Parametr  $c$  natomiast charakteryzuje szybkość przyrostu energii kinetycznej rozpadu próbek w trakcie obciążenia dynamicznego.

Parametry równania regresji wyznaczono metodą minimalnych kwadratów. Wartości parametrów równania (1) oraz współczynniki korelacji zamieszczone zostały w tabelicy 2.

Tabela 2

Wartości parametrów równania (1) oraz współczynniki korelacji wyrażające związek pomiędzy energią kinetyczną rozpadu a obciążeniem dynamicznym

Kop./pokład	Parametry równania			Wartość asymptoty	Współczynnik korelacji
	a	b	c		
Katowice 510	3881,98	3893,07	0,0018288	6975,05	0,9637
Wieczorek 510	6737,05	5469,19	0,0027086	12206,25	0,9633
Mysłowice 510	7555,70	3267,06	0,0032230	10822,77	0,9840
Wujek 510	5209,03	6279,57	0,0038363	11488,61	0,9933
Katowice 501	5134,21	4528,20	0,0029356	9662,41	0,8445
Dymitrow 501	3634,40	6841,38	0,0009251	10475,78	0,9934
Mysłowice 501	4038,23	36146,79	0,0002685	40185,02	0,9972
Wujek 501	3702,12	5089,15	0,0017749	8791,27	0,9902
Wieczorek 501/4	4743,28	4186,35	0,0060888	8929,64	0,9950
Wieczorek 501/5	3795,44	2574,33	0,0032475	6369,77	0,9352

### 3. WYZNACZENIE MIARY SKŁONNOŚCI WĘGLA DO TĄPAŃ W WARUNKACH OBCIĄŻENIA DYNAMICZNEGO

Zebrane wyniki badań wskazują, że przy zastosowaniu dostatecznie dużego obciążenia dynamicznego energia kinetyczna rozpadu próbek może osiągnąć taką wartość, że stosując wskaźnik naturalnej skłonności węgla do tąpań przy obciążeniu statycznym  $\eta$ , wszystkie badane węgle trzeba by zaliczyć do silnie skłonnych do tąpań. Wartość tego wskaźnika przekroczy bowiem 4,6 %. Dlatego też dla przeprowadzenia oceny naturalnej skłonności węgla do tąpań przy obciążeniu dynamicznym należy ustalić inną miarę, która wraz z dotychczasowym wskaźnikiem  $\eta$  oraz przy równoczesnej analizie warunków górniczo-geologicznych i stanu naprężenia w pokładzie, pozwoliłaby na bardziej wszechstronną ocenę stanu zagrożenia tąpniętami.

Miary takiej poszukiwano wśród badanych cech wytrzymałościowych węgla, które korelowałyby ze stwierdzonym na podstawie badań laboratoryjnych wskaźnikiem naturalnej skłonności węgla do tąpań przy obciążeniu statycznym.

Na podstawie przeprowadzonych badań i rozważań jako miarę naturalnej skłonności węgla do tąpań przy obciążeniu dynamicznym przyjęto graniczną energię udaru.

Przez graniczną energię udaru rozumie się taką wielkość obciążenia dynamicznego, którego przekroczenie spowoduje wyzwolenie się z badanej próbki tak wielkiej energii kinetycznej rozpadu, że badany węgiel trzeba będzie zakwalifikować do wyższej klasy skłonności do tąpań aniżeli ta, jaką określono na podstawie wskaźnika  $\eta$  wyznaczonego przy obciążeniu statycznym.

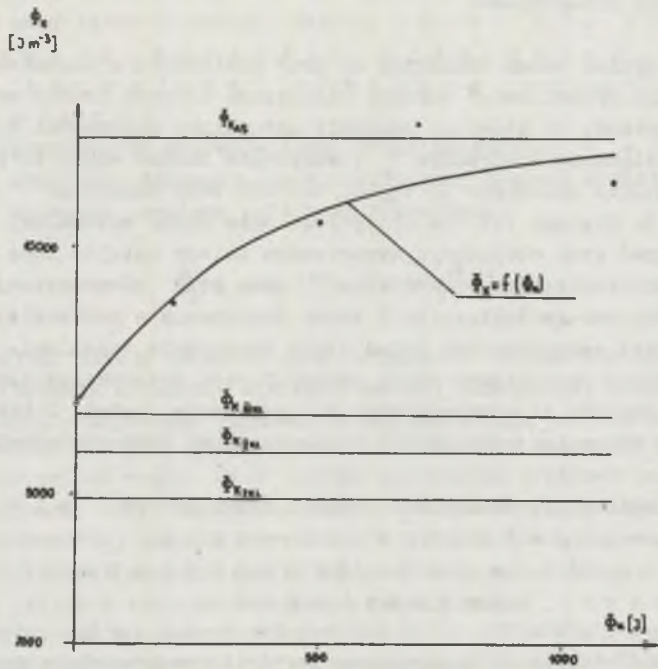
Wielkość granicznej energii udaru wylicza się z rozwiązaniem układu równań:

$$\dot{\Phi}_k = a + b (1 - e^{-c\dot{\Phi}_u}) \quad (2)$$

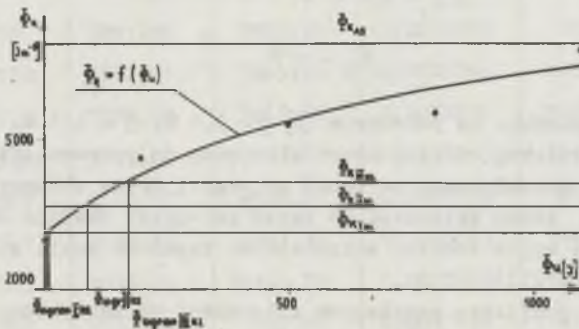
$$\dot{\Phi}_k = \eta \dot{\Phi}_o \quad (3)$$

Podstawiając odpowiednio na podstawie [8]  $\eta = 3,5\%$ ,  $\eta = 4,1\%$ , i  $\eta = 4,6\%$  otrzymuje się graniczną energię udaru niezbędną do przekwalifikowania odpowiednio: węgla nieskłonny do tąpań na węgiel słabo skłonny do tąpań (klasa I); węgla słabo skłonny do tąpań na węgiel średnio skłonny do tąpań (klasa II); węgla średnio skłonny do tąpań na węgiel silnie skłonny do tąpań (klasa III).

Interpretację graficzną powyższych zależności przedstawiono na rysunkach 2 - 12, zaś tabela 3 zawiera otrzymane wielkości granicznej energii udaru.

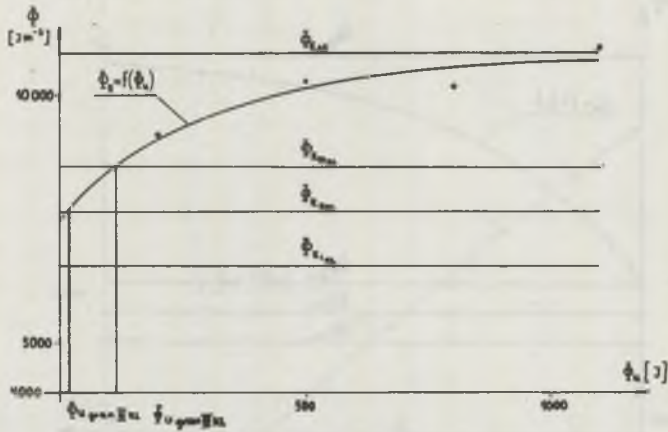


Rys. 2. Wykres zależności energii kinetycznej rozpadu próbek od obciążenia dynamicznego dla próbek węgla z pokładu 510 KWK "KATOWICE"

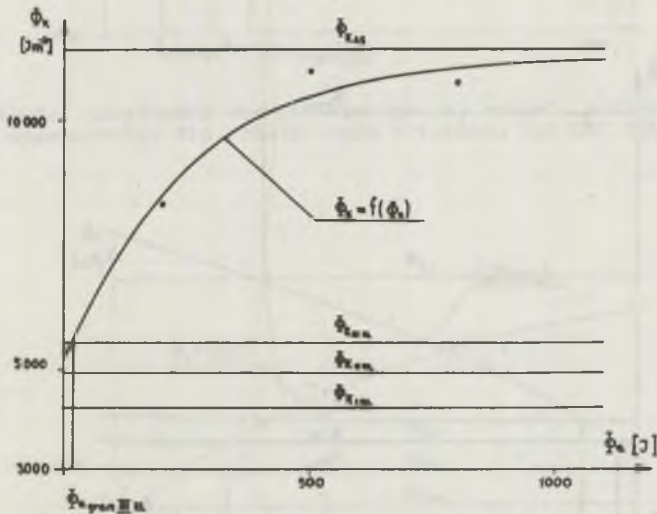


Rys. 3. Wykres zależności energii kinetycznej rozpadu próbek od obciążenia dynamicznego dla próbek węgla z pokładu 510 KWK "WIBCZOREK"

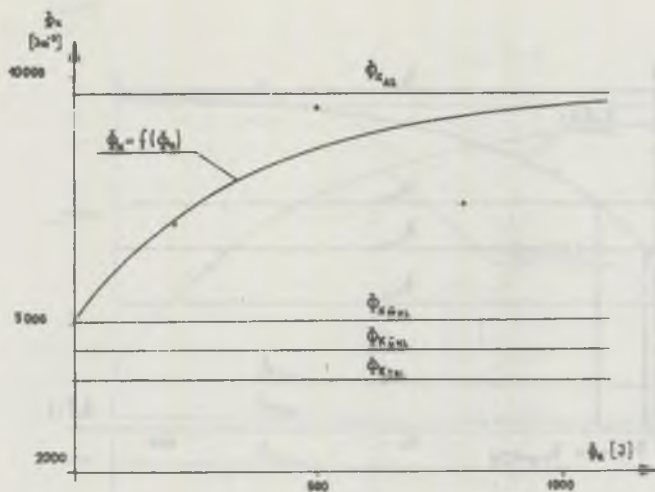




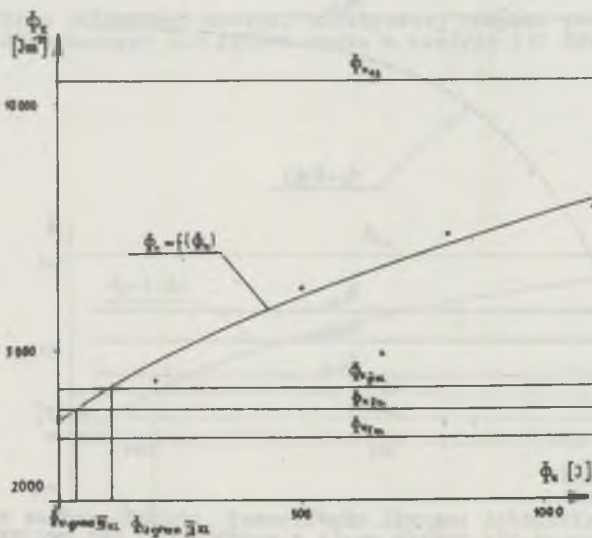
Rys. 4. Wykres zależności energii kinetycznej rozpadu próbek od obciążenia dynamicznego dla próbek węgla z pokładu 510 KWK "MYSŁOWICE"



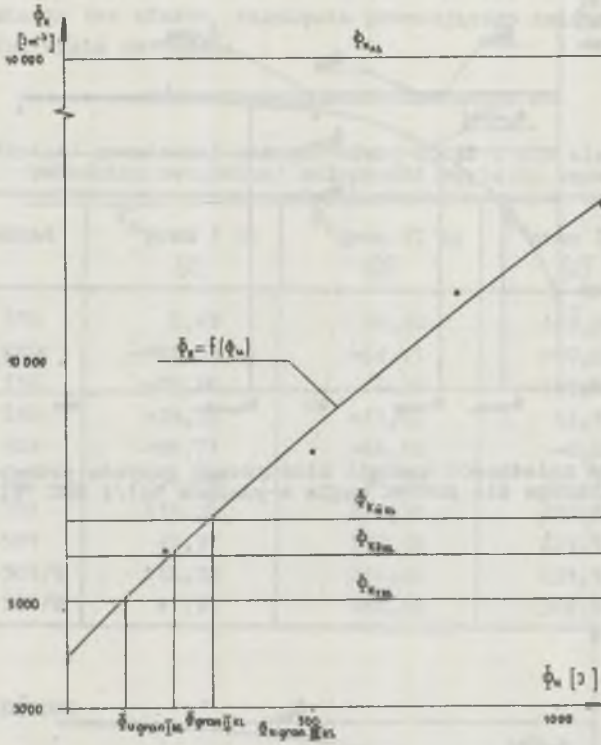
Rys. 5. Wykres zależności energii kinetycznej rozpadu próbek od obciążenia dynamicznego dla próbek węgla z pokładu 510 KWK "WUJEK"



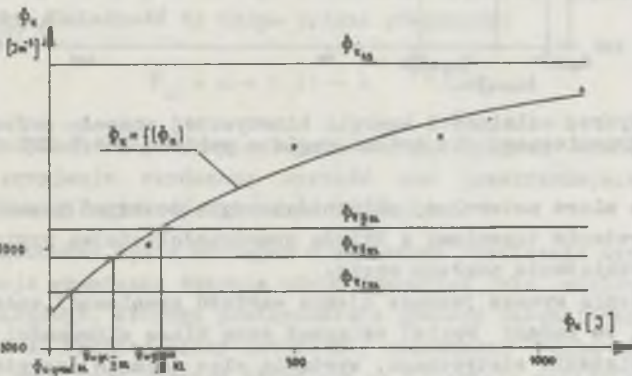
Rys. 6. Wykres zależności energii kinetycznej rozpadu próbek od obciążenia dynamicznego dla próbek węgla z pokładu 504 KWK "WUJEK"



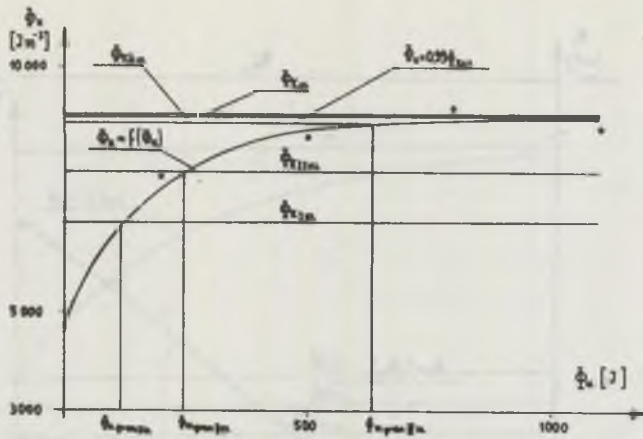
Rys. 7. Wykres zależności energii kinetycznej rozpadu próbek od obciążenia dynamicznego dla próbek węgla z pokładu 501 KWK "DYMITROW"



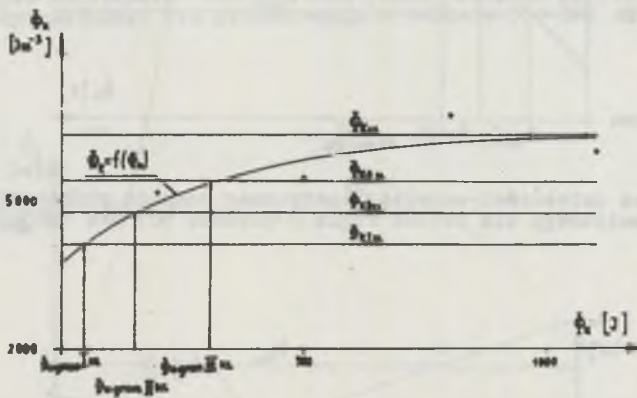
Rys. 8. Wykres zależności energii kinetycznej rozpadu próbek od obciążenia dynamicznego dla próbek węgla z pokładu 501 KWK "MYSŁOWICE"



Rys. 9. Wykres zależności energii kinetycznej rozpadu próbek od obciążenia dynamicznego dla próbek węgla z pokładu 501 KWK "WUJEK"



Rys. 10. Wykres zależności energii kinetycznej rozpadu próbek od obciążenia dynamicznego dla próbek węgla z pokładu 501/4 KWK "WIECZOREK"



Rys. 11. Wykres zależności energii kinetycznej rozpadu próbek od obciążenia dynamicznego dla próbek węgla z pokładu 501/5 KWK "WIECZOREK"

Wyznaczona miara naturalnej skłonności węgla do tapania pozwala ocenić wzrost stanu zagrożenia tapaniami z tytułu prawdopodobieństwa wystąpienia dynamicznego obciążenia pokładu węgla.

Wyjaśnienia wymaga jeszcze ujemna wartość granicznej energii udaru. Oznacza ona, że badany węgiel osiągnął daną klasę skłonności do tapania na drodze obciążenia statycznego, wystąpią więc tapania naprężeniowe. Znak

minus podany przed wartością granicznej energii uderu należy więc traktować wyłącznie jako wyróżnik węgla niezdolnych przyjąć jakiegokolwiek obciążenie dynamiczne bez efektu tąpnięcia powodującego zmianę klasy naturalnej skłonności węgla do tępnięć.

Tablica 3

Wartość granicznej energii uderu I, II i III klasy oraz wskaźnika naturalnej skłonności węgla do tępnięć

Kopalnia/pokład	$\Phi_{u_{\text{gran I kl}}}$ [J]	$\Phi_{u_{\text{gran II kl}}}$ [J]	$\Phi_{u_{\text{gran III kl}}}$ [J]	$\gamma$ [%]
Katowice 510	7,69	90,20	169,96	3,26
Wieczorek 510	-101,56	-54,71	-10,55	4,77
Mysłowice 510	-85,20	8,26	115,81	4,04
Wujek 510	-38,30	-11,03	14,10	4,37
Katowice 504	-86,71	-46,18	-8,28	4,64
Dymitrow 501	-58,08	28,93	107,19	4,06
Mysłowice 501	119,26	214,91	296,54	2,70
Wujek 501	47,37	139,38	229,52	3,19
Wieczorek 501/4	118,23	224,40	631,92	2,43
Wieczorek 501/5	41,91	158,22	306,65	3,20

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Podsumowując wyniki przeprowadzonych badań można na podstawie ich analizy sformułować następujące wnioski:

1. Wielkość energii kinetycznej rozpadu próbek poddanych obciążeniu dynamicznemu zależy od wielkości tego obciążenia wyrażonej poprzez wartość energii uderu. Zależność tę można opisać równaniem:

$$\Phi_k = a + b (1 - e^{-c\Phi_u}).$$

2. Energia kinetyczna rozpadu wyzwalamąca się pod wpływem obciążenia dynamicznego przyjmuje skończoną wartość nie przekraczającą wartości asymptoty funkcji opisanej cytowanym równaniem.
3. Naturalną skłonność węgla do tępnięć w warunkach obciążenia dynamicznego charakteryzuje graniczna energia uderu rozumiana jako wielkość obciążenia dynamicznego, którego przekroczenie powoduje zakwalifikowanie badanego węgla do wyższej klasy naturalnej skłonności węgla do tępnięć w stosunku do tej, jaka została określona na podstawie wskaźnika  $\gamma$  wyznaczonego przy obciążeniu statycznym.

4. Wyznaczona miara naturalnej skłonności węgla do tapani pozwala ocenić wzrost stanu zagrożenia tapaniami z tytułu prawdopodobieństwa wystąpienia dynamicznego obciążenia pokładu węgla.

## LITERATURA

- [1] Borecki M.: Zachowanie się skał w warunkach jednoosiowych naprężeń obciążeń wysokociśnieniowych ze skrepowanym odkształceniem poprzecznym. Katowice 1971.
- [2] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. Wyd. Śląsk, Katowice 1972.
- [3] Chudek M., Moroz R.: Badania skał karbońskich w trójosiowym stanie naprężenia. Przegląd Górniczy nr 9, 1970.
- [4] Drzewiecki K.: Tapanie spagu wyrobisk ohodnikowych w kopalniach. Zeszyty Problemowe Górnictwa T. III z. 2, 1964.
- [5] Drzewiecki K.: Wykładowanie energii sprężystej przy rozpadzie materiału kruchego. PAN Oddział w Katowicach. Prace Komisji Nauk Technicznych, Górnictwo z. 4, 1967.
- [6] Gil H., Drzęzła B.: Metody oceny skłonności węgla do tapani. Przegląd Górniczy nr 12, 1973.
- [7] Kidybiński A., Smółka J., Bazaty I.: Oznaczenie podstawowych własności mechanicznych skał zwięzłych. Komunikat GIG nr 608, Prace Głównego Instytutu Górnictwa, 1974.
- [8] Motyczka A.: Wpływ własności petrograficznych na naturalną skłonność węgla do tapani. Przegląd Górniczy nr 2, 1974.
- [9] Motyczka A., Kaczmarczyk A., Musioł S., Drzęzła B.: Wpływ własności petrograficznych węgla na straty energetyczne ściskanych próbek. Przegląd Górniczy nr 7-8, 1975.
- [10] Szecówka Z., Domżał J.: Wskaźnik energetyczny skłonności węgla do tapani. Prace GIG Komunikat nr 594, Katowice 1973.
- [11] Znański J.: Tapania w świetle badań laboratoryjnych. Komunikat GIG nr 143, 1953.
- [12] Znański J.: Analogia zjawiska tapani do zgniatania próbek w prasie. Przegląd Górniczy nr 5, 1953.

Wpłynęło do Redakcji 30.06.1982 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Antoni Kidybiński

МЕРА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УГЛЯ К ГОРНЫМ УДАРАМ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

Резюме

В статье представлены результаты исследования влияния динамической нагрузки на естественную чувствительность угля к горным ударам. На основании этих исследований была описана зависимость между кинетической энергией распада проб и энергией удара, и создавая его меру, был разработан метод позволяющий оценить влияние динамической нагрузки на естественную чувствительность угля к горным ударам.

MEASURE CONCERNING SUSCEPTIBILITY OF COAL TO CRUMPS UNDER DYNAMIC LOAD

Summary

The article presents the results of investigations concerning the influence of dynamic load on natural susceptibility of coal to crumps. In virtue of these investigations the dependence was described which takes place between the kinetic energy of disintegration of samples and the energy of stroke. Also a method was worked out which makes it possible to estimate the influence of dynamic load on natural susceptibility of coal to crumps.