

Mirosław CHUDEK
Aleksander OPILSKI
Franciszek WITOS
Tadeusz ZAKRZEWSKI

WYKORZYSTANIE METODY EMISJI AKUSTYCZNEJ DO OKREŚLENIA ZMIAN NAPRĘŻEŃ W SKAŁACH W ŚWIETLE BADAŃ MODELOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono podstawy teoretyczne oraz wyniki badań laboratoryjnych emisji akustycznej w skałach ze szczególnym uwzględnieniem zakresu wysokich częstotliwości. Otrzymane charakterystyki strukturalne badanych parametrów emisji akustycznej wykazują szczególną wrażliwość na wielkość obciążeń zewnętrznych, co objawia się wzrostem wysokości i liczby impulsów emisji akustycznej. Zjawisko to występuje szczególnie wyraźnie w obszarze naprężeń poprzedzających obciążenia krytyczne powodujące zniszczenie badanego materiału. W procesie analizy charakterystyk strukturalnych emisji akustycznej wskazano na istotne powiązanie przyczyny, czyli zaburzeń struktury ciała stałego ze skutkiem, jakim jest proces emisji fali akustycznej. Przedstawiono również zakres wykorzystania metody emisji akustycznej, podkreślając jej przyszłościowy charakter związany z badaniami stanów deformacyjno-naprężeniowych, umożliwiającymi śledzenie koncentracji naprężeń w górotworze z możliwością prognozowania przyszłościowego tąpnięć czy zawałów przy eksploatacji podziemnej złóż.

1. WPROWADZENIE

Pod pojęciem "emisja akustyczna ciał stałych" rozumie się generowanie fal akustycznych w strukturze ciała stałego uwarunkowane oddziaływaniem sił wewnętrznych powodujących powstawanie chwilowych, zmiennych naprężeń, a w konsekwencji deformacji. Źródłem emisji akustycznej są procesy towarzyszące bardzo różnorodnym zjawiskom zachodzącym zarówno w skali mikroskopowej, jak np. przeskok (dyfuzja) atomów w sąsiednie położenie sieci krystalicznej, jak również w skali makroskopowej włącznie z katastroficznym zniszczeniem całej struktury. Wynika stąd, że rejestrowane w urządzeniach odbiorczych impulsy energii akustycznej zawarte są w szerokim zakresie częstotliwości, poczynając od kilku herców aż do megaherców.

Pierwsze prace badawcze nad tym zjawiskiem podjęto w USA i Wielkiej Brytanii w latach czterdziestych i mierzone częstotliwości pokrywały zakres częstotliwości akustycznych, stąd powstał termin emisji akustycznej. W miarę doskonalenia urządzeń pomiarowych zakres częstotliwości był stopniowo poszerzany i obecnie jego górna granica sięga kilkudziesięciu megaherców.

W końcu lat sześćdziesiątych i początku lat siedemdziesiątych obserwuje się wzmożoną intensyfikację prac badawczych prowadzonych głównie w aspekcie znalezienia w emitowanych impulsach informacji o rozkładzie naprężeń wewnątrz struktur zarówno krystalicznych jak i bezpostaciowych. Występowanie emisji akustycznej w skałach jest już znane od dawna, jednak pochodzenie tego zjawiska nie jest jeszcze dostatecznie wyjaśnione, wiadomo jednak, że jego występowanie związane jest z procesami odkształceń, pęknięć, którym towarzyszy nagłe uwolnienie energii naprężenia [1].

W materiałach geologicznych, które są zasadniczo ciałami polikrystalicznymi, emisja akustyczna może powstawać w trzech zasadniczych poziomach, a mianowicie na [2]:

- mikropoziomach, jako efekt dyslokacji atomów cząsteczek,
- makropoziomach, jako ruch granic ziaren umożliwiający inicjowanie i propagację pęknięć poprzez i pomiędzy ziarna minerałów,
- megapoziomach, poprzez pęknięcia i zaburzenia struktury lub względny ruch między elementami struktury.

Zakłada się, że nagłe uwolnienie zakumulowanej energii naprężenia towarzyszące tym procesom generuje sprężyste fale odkształceniowe, które propagują się z punktów powstawania wewnątrz materiału do powierzchni granicznych, na których są rejestrowane jako zdarzenia emisji akustycznej.

W związku z rozwojem w ostatnim dziesięcioleciu metod pomiaru i analizy impulsów akustycznych w szerokim zakresie częstotliwości generowanych przez różnego rodzaju źródła, autorzy zastosowali emisję akustyczną do określenia przyczynowych zależności parametrów emisji akustycznej od stymulowanego naprężenia w próbkach skalnych poddanych zmiennemu obciążeniu zewnętrznemu. Na podstawie pomiaru i analizy pewnych parametrów emitowanych impulsów akustycznych wyznaczono estymaty umożliwiające jakościowe powiązanie stanu aktywności akustycznej badanych próbek z wielkościami naprężenia zewnętrznego w układzie jednoosiowym.

Zagadnienie to posiada istotne znaczenie w górnictwie węglowym i wiąże się z szerszym aspektem jego wykorzystania w warunkach in situ do prognozowania a tym samym zapobiegania katastrofalnym zjawiskom towarzyszącym eksploatacji złóż, jak wyrzuty gazowo-skalne, tąpnięcia itp. [3], [4].

2. WPŁYW NAPRĘŻENIA NA ODKSZTAŁCENIE SKAŁ

Wyniki uzyskane z badań nad mechanicznymi własnościami skał w jednoosiowych stanach naprężenia w ograniczonym tylko zakresie pozwalają wnioskować o rzeczywistym zachowaniu się skał w masywie in situ.

Badania trójosiowe skał stanowią już znacznie lepszą aproksymację własności mechanicznych występujących w warunkach rzeczywistych [5] [9]. Badania takie od szeregu lat prowadzone są w laboratorium mechaniki skał Instytutu Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki

Śląskiej w ramach problemu resortowego Ministerstwa Górnictwa i Energetyki pt. "Metody i środki eksploatacji złóż na dużych głębokościach".

Warunkiem poprawności wielu rozwiązań w mechanice stosowanej jest znajomość rzeczywistej wielkości modułu E . Wyznaczenie modułu sprężystości dla ciał spełniających prawo Hooke'a ($E = \text{const}$) nie przedstawia większych trudności, natomiast w przypadku skał wskutek porowatości E jest funkcją stanu naprężenia w próbce. Wykresy $\varepsilon(\sigma)$ przedstawiają krzywe, zwrócone swą wypukłością do osi naprężeń.

Tylko w przypadku skał o dużej wytrzymałości (np. piaskowiec arkozowy), wykres tylko w pewnym przedziale naprężeń można uważać za linię prostą [5]. Należy więc stwierdzić, że skały nie spełniają prawa Hooke'a, charakteryzują się zmniejszeniem modułu E w miarę wzrostu naprężeń i odkształceń który maksymalną wartość osiąga w punkcie zero. Tylko w granicznym przypadku bardzo małych przyrostów $\Delta\sigma$ i $\Delta\varepsilon$ wartość modułu w przybliżeniu można uważać za stałą.

Praktycznie pewne zastosowanie znajduje logarytmiczna postać związku $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$, którego szczególnym przypadkiem jest zależność typu wykładniczego:

$$\sigma = a \cdot p^{f(\varepsilon)} + b, \quad (2.1)$$

gdzie:

- p - podstawa logarytmów, w szczególności naturalnego,
- a, b - stałe empiryczne,
- $f(\varepsilon)$ - funkcja odkształceń.

Wyrażenie to umożliwia poprzez odpowiedni dobór parametrów, dokładną aproksymację zależności otrzymanej w drodze laboratoryjnej. Ogólną postać zależności $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$ dla materiałów geologicznych wykazujących odstępstwa od prawa Hooke'a, przedstawił Ylinen w postaci równania różniczkowego

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = a + b \cdot \sigma^n, \quad (2.2)$$

gdzie:

- a, b, n - parametry charakteryzujące rodzaj badanego materiału.

W przypadku materiałów, w których nie występuje granica plastyczności, w skład których wchodzi większość skał, σ wg Ylinena należy zastąpić empiryczną wytrzymałością materiału na ściskanie R_c , natomiast wielkość stałych należy przyjąć za równe:

$$a = E_0, \quad b = \frac{-E_0}{(R_c)^n}$$

Podstawiając (2.3) do równania (2.2) uzyskuje się wyrażenie określające wielkość modułu sprężystości (ściśliwości) w postaci

$$\frac{dG}{dE} = E_0 \left[1 - \left(\frac{G}{R_c} \right)^n \right] \quad (2.4)$$

Ostatecznie po rozwiązaniu ostatniego równania, otrzymamy wyrażenie:

$$\varepsilon(G) = \frac{1}{E_0} \int_0^G \frac{dG}{1 - \left(\frac{G}{R_c} \right)^n} \quad (2.5)$$

określające wielkość odkształceń skał poddanych działaniu naprężeń. Przyjmując liniową zmienność wyrażenia (2.5), $n = 1$ otrzymamy po scałkowaniu (2.4) logarytmiczną postać wielkości odkształceń:

$$\varepsilon(G) = \frac{R_c}{E_0} \ln \left(1 - \frac{G}{R_c} \right) \quad (2.6)$$

Należy podkreślić, że w wyniku kruszenia i pęknięcia skał, warunkujących nieciągłości odkształceń, szczególnie w końcowej fazie obciążenia, maksymalne naprężenia niszczące występują przy określonych odkształceniach właściwych, dalekich od nieskończoności. Wynika stąd, że przedstawione wyrażenia nie odzwierciedlają w sposób dokładny rzeczywistego przebiegu odkształceń w materiale skalnym, zmusza to do dalszych poszukiwań metod i rozwiązań teoretyczno-doświadczalnych umożliwiających dokładniejsze i pełniejsze określenie zależności odkształcenia od naprężenia w materiałach występujących w eksploatowanych złożach górniczych.

3. CHARAKTERYSTYKI PARAMETRYCZNE EMISJI AKUSTYCZNEJ

Źródła generujące emisję akustyczną mogą wytwarzać fale sprężyste różnego rodzaju, jak np. podłużne, poprzeczne, gięte i powierzchniowe. Fale tego rodzaju rozchodzą się w materiale z różnymi prędkościami. Z danych literaturowych [6] wynika, że w zależności od rodzaju ciała i rozmiarów zaburzeń oraz jego struktury, czasy trwania impulsu są znikomo małe, rzędu μs , zatem energia fal zawarta jest w bardzo szerokim paśmie częstotliwości od 0 nawet do kilkudziesięciu MHz.

Badany obiekt (próbka) metodą emisji akustycznej winien znajdować się podczas pomiarów pod zmiennym obciążeniem dynamicznym, którego poziom warunkuje odkształcenia plastyczne, względnie tworzenie się mikropęknięć i ich wzrost. Generowane wówczas fale odkształceń sprężystych osiągają powierzchnię materiału, gdzie są zamieniane za pomocą przetwornika piezoelektrycznego na sygnał elektryczny. Fala sprężysta odpowiadająca określo-

nemu zdarzeniu fizycznemu może wielokrotnie powracać w postaci zanikającego echa. Układ pomiarowy może rejestrować wszystkie sygnały, których amplitudy przekraczają określony poziom dyskryminacji, tzw. próg czułości i wówczas jedno zdarzenie fizyczne zostaje zliczone jako pewna liczba amplitud, lub też możliwa jest także rejestracja obwiedni amplitud, wówczas zliczane są tylko zdarzenia fizyczne.

Najczęściej stosowanymi parametrami emisji akustycznej są [7]:

- a. Suma amplitud, uzyskuje się ją przez zliczanie amplitud przekraczających pewien wybrany uprzednio poziom napięcia elektrycznego, tzw. poziom dyskryminacji. Zliczanie odbywa się od początku do końca pomiaru,
- b. Tempo (gęstość) amplitud, powstaje przez zliczenie amplitud przewyższających zadany próg dyskryminacji w kolejnych jednostkach czasu w tzw. podstawach czasu.

Obie te wielkości można uzyskać w dość prosty sposób, wprost poprzez odpowiednie zliczenie, są one jednak obciążone poważnymi błędami merytorycznymi, gdyż nie określają żadnej estymaty charakteryzującej sygnał elektryczny emisji akustycznej, nie są więc ani energią, ani częstotliwością, ani nawet ilością zdarzeń emisji akustycznej, co spowodowane jest arbitralnym sposobem wyboru poziomu dyskryminacji, jak również występowaniem wielokrotnych odbić fali sprężystej wywołanej przez pojedyncze zdarzenie fizyczne [8].

Jeżeli układ pomiarowy jest na tyle rozbudowany, że może rejestrować obwiednie amplitud, wówczas zliczane są same tylko zdarzenia fizyczne. W tym przypadku estymatami określającymi emisje akustyczne są następujące parametry:

- c. Suma zdarzeń (impulsów) emisji akustycznej, którą uzyskuje się w wyniku zliczania od początku do końca pomiaru zdarzeń impulsów przekraczających zadany poziom dyskryminacji.
- d. Tempo lub gęstość zdarzeń emisji akustycznej jest po prostu sumą zdarzeń w jednostkowych przedziałach czasu.

Opisane parametry są zwykle rejestrowane przy użyciu wielokanałowego pisaka XT lub też mogą być dodatkowo zapisywane za pomocą drukarki wierszowej lub dziurkarki taśmowej. Sumy mogą być zliczane za pomocą różnego typu liczników.

W badaniach emisji akustycznej można także wykorzystać aparaturę umożliwiającą otrzymanie wyników w postaci szałkowanego sygnału elektrycznego, zawierającego informację o energii. Spośród różnych możliwych do zdefiniowania wielkości, najważniejszą będzie tu wielkość RMS wynikająca z definicji

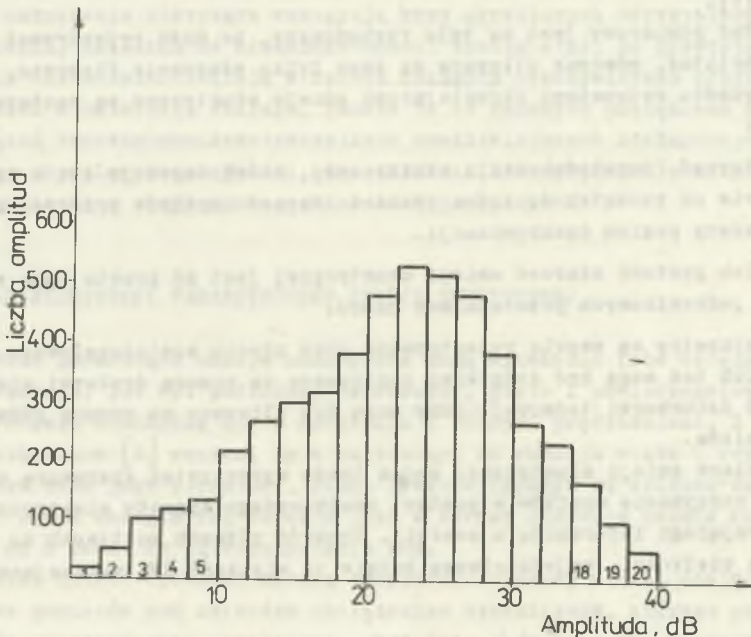
$$E_{\text{RMS}} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) \cdot dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

gdzie:

- RMS - pierwiastek ze średniej kwadratów,
- $a(t)$ - chwilowa wartość sygnału elektrycznego,
- T - przedział całkowania.

Wartość E_{RMS} jest bezpośrednio związana z energią sygnału elektrycznego - jest sumą energii i określa jakościowy miernik emisji akustycznej, nie zmniejszony przez operacje dyskretyzacji, tworzony bez udziału dyskryminatora i praktycznie uniezależniony od szumów aparatury elektronicznej. Istotny wpływ na postać krzywej RMS ma wartość przedziału całkowania T i stała całkowania. Dobór przedziału całkowania (0,T) uzależniony jest od częstotliwości całkowanego sygnału oraz możliwości zapisu krzywej RMS.

Istotne znaczenie posiada tu również dodatkowa aparatura umożliwiająca analizę amplitudową sygnału elektrycznego, do której zalicza się różnego typu analizatory amplitudy lub rozkładu statycznego. Analiza rozkładu czasowego amplitud polega na zliczaniu sygnału elektrycznego z jednoczesną ich separacją pod względem wysokości. Proces ten realizuje się praktycznie za pomocą aparatury wyposażonej w odpowiednią żadaną liczbę poziomów dyskryminacji oraz odpowiednią liczbę liczników. Wynik takiej analizy, pochodzący z 20-kanałowego analizatora amplitudy o 40 decybelowym zakresie zmian dynamiki procesu przedstawiono na rys. 1. W celu perlustracji sygnału w całym zakresie napięcia wykonuje się automatycznie przesuwanie



Rys. 1. Histogram amplitud sygnału elektrycznego uzyskany w wyniku podziału ich widma na 20 przedziałów

przebiegu napięciowego przed stałym okienkiem amplitudowym za pomocą zmieszania tego sygnału z polaryzującym napięciem stałym. Analizator rozkładu amplitud może być również tak wykonany, że zawiera zbiór przyległych przedziałów napięciowych, które pokrywają razem cały interesujący zakres napięcia.

4. EMISJA AKUSTYCZNA W MATERIAŁACH GEOLOGICZNYCH

Pochodzenie emisji akustycznej w materiałach geologicznych nie jest jeszcze dostatecznie wyjaśnione, pozostaje jednak faktem bezspornym, że jest ona związana z procesami odkształceń, pęknięć, którym towarzyszy nagłe uwolnienie energii naprężenia. Stwierdzenie to stanowi podstawę szeregu hipotez tłumaczących przyczynę zniszczenia zmęczeniowego materiału jako następstwo powstawania mikropęknięć. Na uwagę zasługuje tu hipoteza Griffitha [9] będąca próbą wytłumaczenia różnicy między wytrzymałością materiału obliczoną teoretycznie w oparciu o określony model sił międzyatomowych, a wyznaczonymi doświadczalnie naprężeniami niszczącymi próbkę. Griffith zakłada istnienie pęknięć pierwotnych, szczególnie podatnych na kumulowanie lokalnych naprężeń, wywołujących zmniejszenie wartości wytrzymałości obliczonej teoretycznie do wartości wyznaczonej doświadczalnie. Jeśli materiał poddany jest naprężeniu rozciągającemu σ_G , to wówczas mogą rozwijać się mikropęknięcia o długości nie mniejszej od długości krytycznej l_k , określonej przez warunek:

$$\sigma_G = 2 \left[S \cdot E (\pi l_k)^{-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

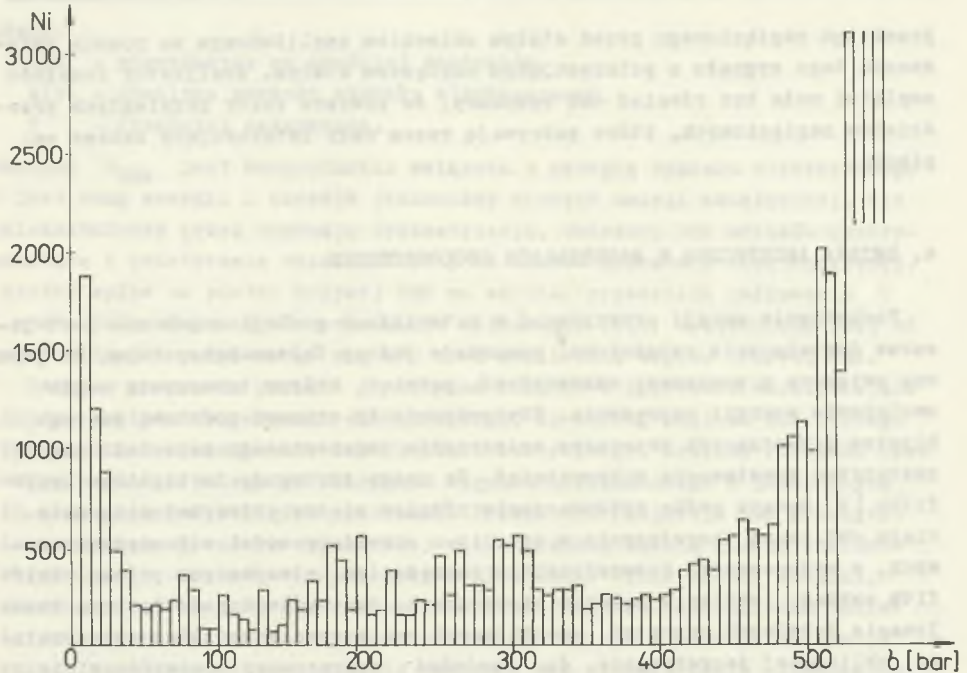
gdzie:

E - moduł Younga,

S - napięcie powierzchniowe.

Zależność (4.1) znalazła dobre potwierdzenie dla kryształu soli. Analizując związek między liczbą zdarzeń emisji akustycznej a stosowanymi naprężeniami [10] przedstawiony w postaci diagramu zamieszczonego na rys. 2 można wyróżnić cztery podstawowe obszary związane z zachowaniem się mikropęknięć w zależności od stosowanego poziomu obciążenia, a mianowicie:

1. W przypadku niewielkich obciążeń, sięgających poniżej 30% obciążenia niszczącego, następuje zamykanie początkowych pęknięć, istniejące mikropęknięcia (lub ich część) mogą poruszać się po przyłożeniu początkowych obciążeń, przy wzroście których mogą zostać one unieruchomione, co powoduje wzrost sprężystości i ograniczenie emisji akustycznej.
2. Przy obciążeniu o wartości około 30% obciążenia niszczącego, niewielkim deformacjom próbki towarzyszy "małe" pęknięcie, w tym obszarze współczynnik Poissona jest stały, natomiast moduł Younga wzrasta.



Rys. 2. Zależność między liczbą zdarzeń emisji akustycznej od stosowanych naprężeń

3. W miarę dalszego wzrostu obciążenia w przedziale od 30% do 80% obciążenia niszczącego wzrasta ilość pęknięć, stałe sprężyste maleją.
4. Przy obciążeniu równym około 80% obciążenia niszczącego ma miejsce nagła zmiana w charakterze propagacji pęknięć, przed całkowitym zniszczeniem próbki następuje pewne zmniejszenie emisji akustycznej.

Wynika więc stąd, że emisja akustyczna występuje nawet przy minimalnych obciążeniach. Tempo zdarzeń w początkowej fazie fluktuuje w sposób nieregularny odzwierciedlając rozwój deformacji i pęknięć w próbce, następnie zaś rośnie, dając w efekcie rozkład typu U (rys. 2). Przedstawiając liczbę zdarzeń w funkcji odkształcenia objętościowego próbki, można się przekonać, że dla naprężeń większych od 10% naprężenia niszczącego wyniki układają się wzdłuż krzywej eksponentialnej $a = \exp(ax)$. Opisane obszary występują we wszystkich badanych materiałach geologicznych, jednak dany konkretny materiał charakteryzuje się określonym udziałem poszczególnych etapów rozwoju mikropęknięć, inne również mogą być wartości naprężeń w poszczególnych etapach.

Większość materiałów geologicznych można podzielić na dwie podstawowe grupy. Do pierwszej z nich należy zaliczyć materiały charakteryzujące się wyraźnie zaznaczonym etapem formułowania głównych pęknięć, natomiast do drugich należy zaliczyć materiały, w których brak jest tego etapu i pro-

pagacja niestabilnych pęknięć zachodzi niespodziewanie, a ewentualne zniszczenie próbki nie jest poprzedzone zwiększoną liczbą zdarzeń emisji akustycznej.

Przedstawione rozważania mogą sugerować, że zagadnienie to nie jest skomplikowane lecz to stwierdzenie dotyczy tylko materiałów w miarę jednorodnych. Dla materiałów o złożonych strukturach, zagadnienie to jest znacznie bardziej skomplikowane.

Jako przykład można tu wymienić węgiel bitumiczny i węgiel antracytowy. Dla materiałów o takiej strukturze pojawiają się anomalie wzrostu aktywności emisji akustycznej dla różnych naprężeń. Wielkość sumarycznej liczby zdarzeń emisji akustycznej zależy od rodzaju węgla, a także od zakresu częstotliwości stosowanego przetwornika odbiorczego.

Istotny jest również wpływ szybkości zmian obciążenia próbki na parametry emisji akustycznej. Zmiany szybkości obciążenia próbki wywołują następujące efekty:

- tempo zdarzeń (w obszarze formowania głównych pęknięć) rośnie ze wzrostem szybkości obciążenia,
- aktywność emisji akustycznej dla mniejszych szybkości obciążenia materiału występuje nawet w momencie zniszczenia próbki,
- większa szybkość obciążenia wywołuje zwiększenie odległości między naprężeniem odpowiadającym maksimum tempa emisji akustycznej, a naprężeniem niszczącym próbkę.

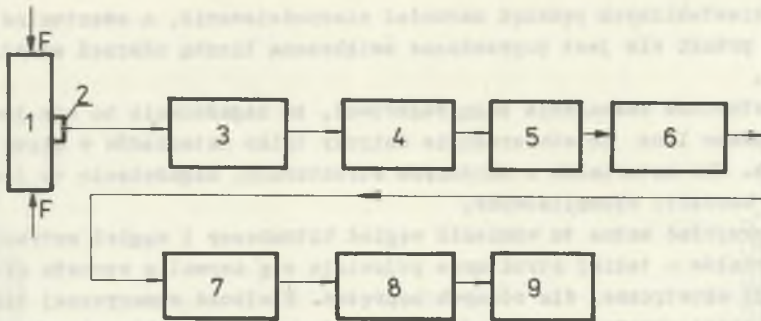
Ostatnie dwa fakty można wyjaśnić z punktu widzenia mechanizmu samego pęknięcia, a mianowicie tym, że przy większej szybkości obciążenia materiał nie jest w stanie zdeformować się do wyższego poziomu, nie jest możliwa stabilizacja i nowy rozkład naprężeń w próbce na wyższym poziomie obciążenia, a z tym związany jest brak propagacji fal emisji akustycznej w czasie pęknięcia.

5. BADANIA LABORATORYJNE WYTRZYMAŁOŚCI PRÓBEK SKALNYCH Z WYKORZYSTANIEM EMISJI AKUSTYCZNEJ

Podstawowym celem tych badań było znalezienie jakościowej współzależności między określonymi parametrami emisji akustycznej a zmianą stanu naprężeń w materiale geologicznym, pobranym z aktualnie eksploatowanego pokładu węglowego.

5.1. Opis stanowiska pomiarowego

Stanowisko pomiarowe składa się zasadniczo z zestawu pomiarowego do badania emisji akustycznej oraz z pracy stutonowej, spełniającej rolę układu dynamicznego warunkującego zmianę naprężenia w próbce. Na rys. 3 przedstawiono najprostszy schemat blokowy układu pomiarowego. W jego skład wchodzi zazwyczaj: 1- próbka wykonana z materiału geologicznego, 2 - przetworniki



Rys. 3. Schemat układu do pomiaru emisji akustycznej

piezo-elektryczne, o skokowym paśmie przenoszenia $f = 20-180$ kHz, 3 - przedwzmacniacz o paśmie przenoszenia do 2 MHz i wzmacnieniu $k = 100$, 4 - filtr dolnoprzepustowy o dolnej częstotliwości granicznej 20, 40, 80 kHz, 5 - wzmacniacz pośredni o paśmie przenoszenia do 1 MHz i wzmacnieniu $k = 1000$, 6 - wzmacniacz liniowy o wzmacnieniu $k = 10$, 7 - dyskryminator progowy o zakresie 0-12 V, 8 - licznik elektroniczny umożliwiający zliczanie impulsów w periodycznym przedziale czasu co 1 s, 9 - rejestrator X-Y. Sygnały emisji akustycznej generowane w próbce w wyniku jej obciążenia, odbierane na powierzchni próbki przez przerwnik są w nim transformowane na napięcie elektryczne i po wzmacnieniu przez filtr częstotliwości podlegają właściwemu wzmacnieniu. Filtr dolnoprzepustowy obcina, zależnie na jaki zakres został ustawiony, sygnały nie przekraczające częstotliwości 20, 40, 80 kHz. Urządzenie rejestrujące służy do wyznaczania parametrów emisji akustycznej. Należy podkreślić, że nie wszystkie sygnały pochodzące z sondy poddawane są dalszej analizie, lecz tylko te, które przewyższają pewną określoną wartość progową. Do ustalenia tej istotnej w badaniach wartości stosowany jest dyskryminator, którego zadanie polega na eliminowaniu ubocznych, pochodzących z otoczenia a nie z badanego obiektu.

5.2. Stosowane parametry emisji akustycznej

Jak już wspomniano wyżej w zależności od rodzaju, złożoności i jakości zestawu pomiarowego można analizować różne parametry emisji akustycznej. Z uwagi na złożony charakter zjawiska emisji akustycznej, przed wykorzystaniem metody emisji akustycznej do konkretnych badań cech materiału geologicznego konieczna była ogólna ocena własności akustycznych materiału i ich zależności od wielu czynników, którą przeprowadzono wykonując szereg pomiarów wstępnych. Jeżeli historia badanych materiałów jest podobna, czyli nie wywołuje zmian jego struktury, co ma miejsce np. podczas obciążeń w umiarkowanej temperaturze, wówczas występuje efekt Kaisera. Zjawisko to polega na tym, że w materiale, który był już uprzednio poddany obciążeniu, mierzalna emisja akustyczna występuje dopiero wówczas, gdy

ponownie przyłożone obciążenia przekroczą naprężenia jakie zostały wytworzone podczas poprzednich obciążeń. Wykorzystanie efektu Kaisera umożliwia niejednokrotnie wykrycie maksymalnych naprężeń, jakie wystąpiły w badanym materiale, podczas jego eksploatacji. Pozwala to, np. na sprawdzenie czy naprężenia obliczeniowe pokrywają się z naprężeniami rzeczywistymi.

Stosowana w początkowej fazie aparatura pomiarowa przygotowana była do rejestrowania dwóch podstawowych parametrów:

- sumy zdarzeń - uzyskane przez zliczanie od początku do końca pomiaru, zdarzeń przekraczających określony uprzednio zadany poziom dyskryminacji,
- pochodnej sumy zdarzeń (tempa zdarzeń), które uzyskiwano również przy pewnym narzuconym poziomie dyskryminacji.

Szczegółowa analiza wyników pomiarów stanowiących miarę obu wyznaczanych parametrów pozwoliła stwierdzić, że drugi z tych parametrów ma większą przydatność z uwagi na większą jego pojemność informacyjną.

5.3. Wyniki badań laboratoryjnych

5.3.1. Opis materiału skalnego

Próbki, które poddano badaniom laboratoryjnym, wykorzystując metodę emisji akustycznej wycięto z czterech rodzajów skał:

- węgla błyszczącego i matowego,
- łupka węglowego,
- łupka piaszczystego,
- piaskowca.

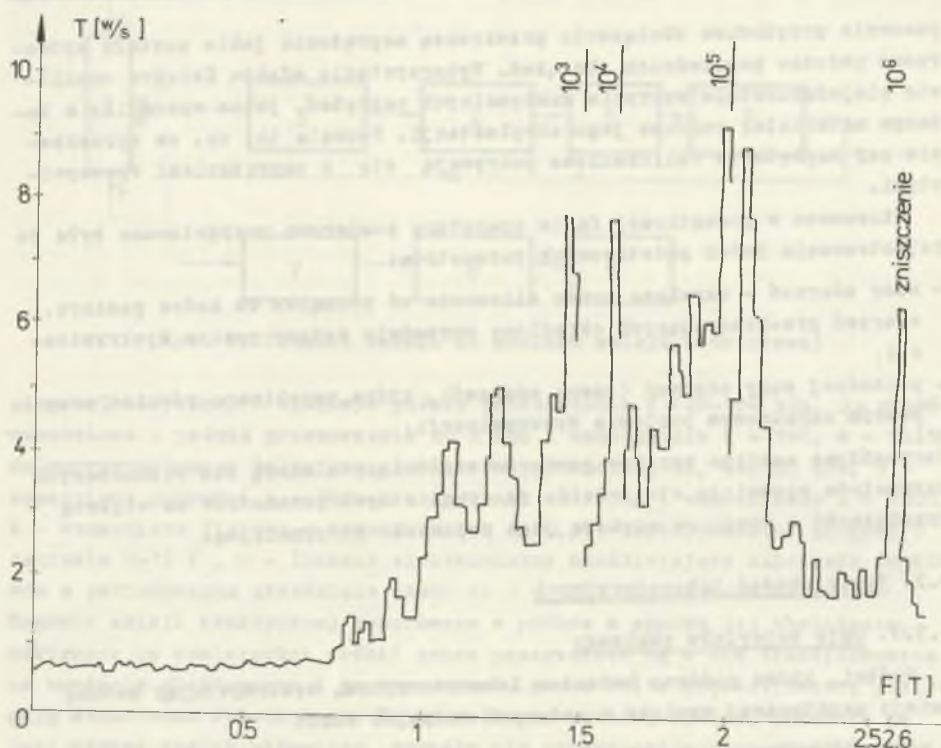
Wszystkie skały pochodziły z KWK "Gliwice" poz. 520. Z węgla wycięto pięć próbek (cztery z węgla błyszczącego, jedna z węgla matowego), z łupka piaszczystego i węglowego po jednej próbce, z piaskowca również wycięto tylko jedną próbkę. Wszystkie próbki zostały wycięte w postaci prostopadłocianów o wymiarach 100x100x200 mm. Wykonane próbki nie wykazały widocznych spękań i uwarstwień, i stanowiły jednolity materiał.

5.3.2. Wyniki badań próbek węglowych

Przyjęto następujące parametry pomiarowe zestawu badawczego:

- dolny zakres częstotliwości 20 kHz,
- stosowane zakresy pomiarowe tempa zdarzeń: 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 w/s,
- próg dyskryminacji wynosił 3,5 V.

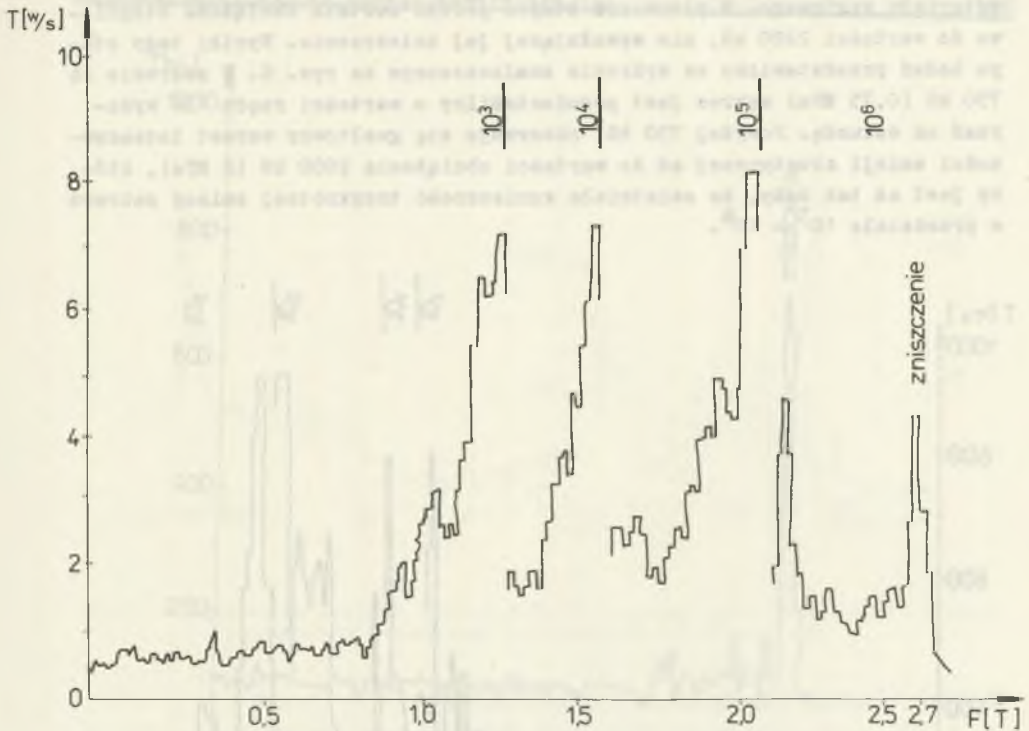
Wyniki pomiaru tempa zdarzeń w funkcji obciążenia aż do momentu zniszczenia próbek przedstawiono w postaci wykresu na rys. 4. Z załączonego wykresu łatwo zauważyć, że do wartości 800 kg (0,8 MPa), co stanowi około 30% obciążenia niszczącego wykres jest pseudostabilny. W przedziale od podanej wartości 2000 kg (2 MPa), co stanowi około 80% obciążenia niszczącego,



Rys. 4. Zależność tempa zdarzeń EA dla próbki węglowej nr 1 w funkcji przyrostu obciążenia

obserwuje się gwałtowny wzrost tempa zdarzeń. Należy podkreślić, że wykres zamieszczony na rys. 4 wizualnie nie oddaje tego wzrostu, ponieważ w czasie wykonywania pomiarów zaistniała potrzeba trzykrotnej zmiany zakresu, spowodowana tak dużym wzrostem tempa zdarzeń, że zapis urządzenia rejestrującego nie mieścił się w przyjętej skali początkowej. Zmiana zakresu o 10 powoduje potrzebę pomnożenia przez 10 wartości sygnału w przedziale, w którym został on zwiększony, w porównaniu do zapisu w poprzednim zakresie. Na rys. 5 przedstawiono wyniki analogicznych badań dla próbki nr 2. Z analizy obu wykresów wynika, że charakter zmian tempa zdarzeń w funkcji obciążenia jest zupełnie analogiczny, jak w poprzednim przypadku próbki węglowej nr 1. W obu przypadkach, powyżej 80% wartości obciążenia niszczącego, wartości tempa zdarzeń maleją aż do momentu zniszczenia próbki. W chwili samego zniszczenia następuje ponowny jego wzrost, lecz wartość tempa zdarzeń w momencie zniszczenia jest mniejsza niż wartość maksymalna odpowiadająca obciążeniu około 2000 kG.

Wydaje się, że wzrost akustycznej emisji w przedziale od 30% do 80% obciążenia niszczącego jest związany z propagacją mikropęknięć. Sygnał

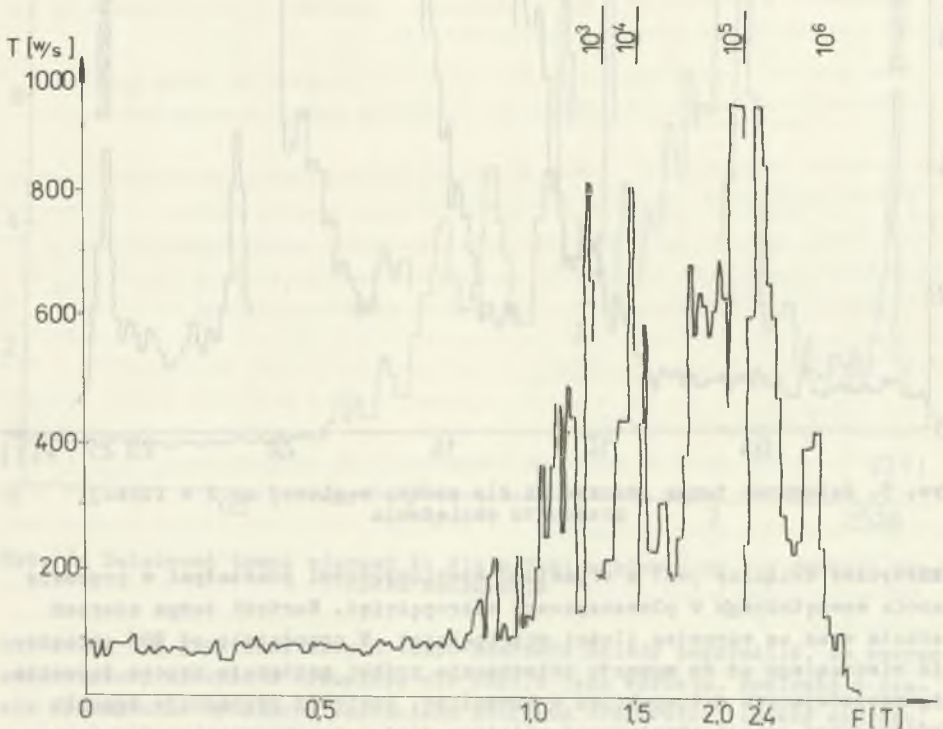


Rys. 5. Zależność tempa zdarzeń EA dla próbki węglowej nr 2 w funkcji przerostu obciążenia

akustyczny związany jest z drganiami aperiodycznymi powstałymi w procesie tarcia wewnętrznego w płaszczyznach mikropęknięć. Wartość tempa zdarzeń wzrasta wraz ze wzrostem ilości mikropęknięć. W przedziale od 80% obciążenia niszczącego aż do momentu zniszczenia próbki następuje proces łączenia się sąsiadujących mikropęknięć w szczelinę. Ponieważ propagacja sygnału akustycznego emisji akustycznej związana jest z przekazywaniem drgań sprężystych, więc szczególnie w miejscach nieciągłości makroskopowej materiału skalnego (szczeliny) na granicy węgiel - powietrze występuje silne tłumienie sygnału, z którym związany jest spadek tempa zdarzeń emisji akustycznej w przedziale wartości obciążenia poprzedzającego wartość krytyczną (obciążenie niszczące). W chwili poprzedzającej moment zniszczenia próbki, następuje proces zaciskania szczelin oraz związany z tym proces zwiększenia powierzchni uwarunkowany wzajemnym oddziaływaniem wewnętrznym poszczególnych elementów objętościowych materiału skalnego. Na wykresie (rys. 4 i 5) objawia się to w postaci wzrostu wartości tempa zdarzeń w momencie poprzedzającym samo zniszczenie materiału.

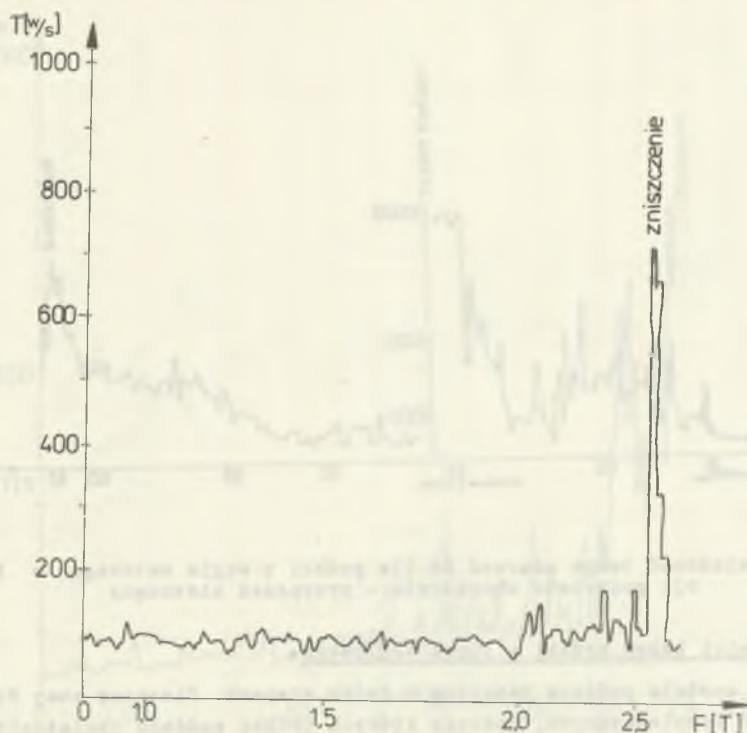
Przeprowadzono również badania emisji akustycznej na próbce węglowej nr 3 mającej na celu potwierdzenie występowania efektu Kaisera w przypadku

materiału węglowego. W pierwszym etapie próbka została obciążona stopniowo do wartości 2200 kG, nie wywołującej jej zniszczenia. Wyniki tego etapu badań przedstawiono na wykresie zamieszczonym na rys. 6. W zakresie do 750 kG (0,75 MPa) wykres jest pseudostabilny o wartości rzędu 100 wydarzeń na sekundę. Powyżej 750 kG, obserwuje się gwałtowny wzrost intensywności emisji akustycznej aż do wartości obciążenia 2000 kG (2 MPa), który jest aż tak duży, że zaistniała konieczność trzykrotnej zmiany zakresu w przedziale $10^3 - 10^6$.



Rys. 6. Zależność tempa zdarzeń EA dla próbki węglowej nr 3 w funkcji przerosu obciążenia - przypadek nieniszczący

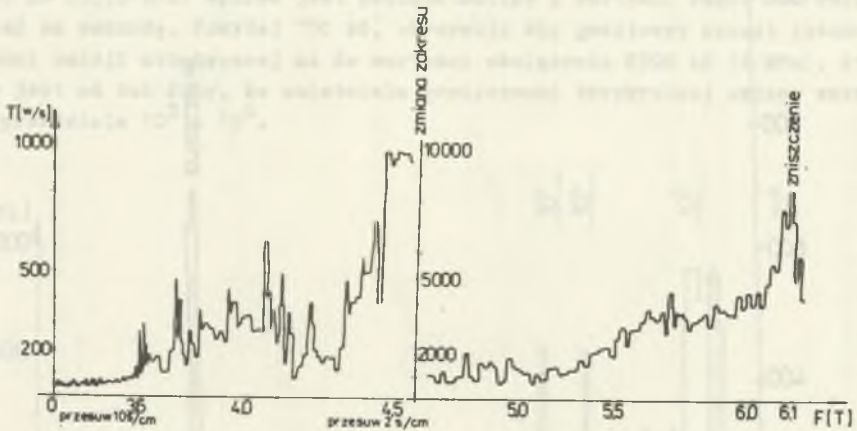
W drugim etapie, pomiary na tej samej próbce zostały przeprowadzone po okresie dwugodzinnego odciążenia próbki. Wyniki tego etapu przedstawione zostały na rys. 7. Do momentu osiągnięcia wartości obciążenia końcowego z pierwszego etapu (2200 kG), krzywa wykresu cechuje się pseudostabilnością w granicach 100 wydarzeń na sekundę. Po przekroczeniu tej wartości zaobserwowano niewielki wzrost emisji, aż do momentu zniszczenia, w którym wartość tempa zdarzeń emisji akustycznej gwałtownie rośnie. Fakt ten stanowi potwierdzenie występowania efektu Kaisera w materiale węglowym. Brak występującego w poprzednich badaniach przedziału wzmożonej emisji akustycznej spowodowany jest prawdopodobnie zakończeniem procesu formo-



Rys. 7. Zależność tempa zdarzeń EA dla próbki węglowej nr 3 w funkcji przyrostu obciążenia - przypadek niszczący

wania mikropęknięć, w zakresie którego obserwowano gwałtowny wzrost emisji akustycznej. Niewielka wartość tempa zdarzeń w drugim etapie badań, w chwili zniszczenia próbki mieściła się w zakresie 10^3 w/s, z czego można wnioskować, iż w procesie obciążenia pierwotnego zaszły istotne zmiany strukturalne badanego materiału.

Istotne różnice w charakterze zmian tempa zdarzeń emisji akustycznej zaobserwowano dla próbki wykonanej z węgla matowego. Wyniki pomiarów w procesie badania niszczącego przedstawiono na rys. 8. W przedziale obciążenia 0-3600 kG zaobserwowano brak emisji skokowej. Dopiero po przekroczeniu wartości obciążenia równej 3650 kG obserwuje się wzmożoną emisję akustyczną, która narasta prawie monotonicznie aż do momentu zniszczenia odpowiadającego obciążeniu krytycznemu wynoszącemu 6100 kG. Nie zaobserwowano spadku emisji akustycznej przed momentem zniszczenia próbki. Oznacza to, że próbka wykonana z węgla matowego (typ węgla tąpającego) akumuluje energię, która zostaje wydzielona w sposób prawie monotonicznie równomierny, bez propagacji o charakterze wybitnie skokowym, jak to miało miejsce w przypadku węgla błyszczącego. Można stąd wnioskować o braku propagacji szczelin przed momentem poprzedzającym zniszczenie próbki.



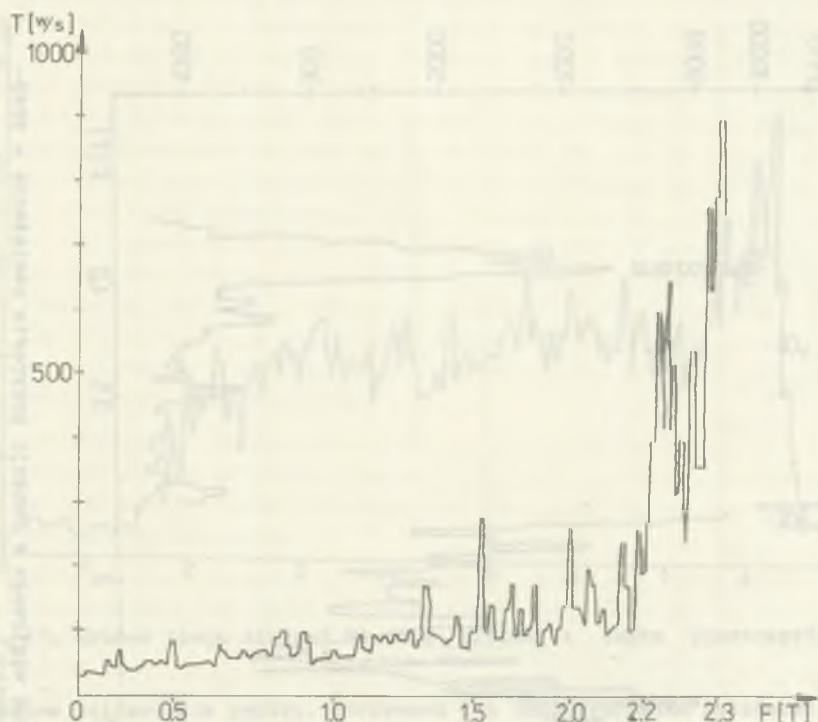
Rys. 8. Zależność tempa zdarzeń EA dla próbki z węgla matowego w funkcji przyrostu obciążenia - przypadek niszczący

5.3.3. Wyniki badań próbki z łupka węglowego

Próbka została poddana badaniom w dwóch etapach. Pierwszy etap dotyczył badań nieniszczących, podczas których próbkę poddano obciążeniom w zakresie 0-2300 kG. Przebieg zmian tempa zdarzeń przedstawiono na rys. 9. W zakresie obciążeń od 0 do 1300 kG, tempo zdarzeń emisji akustycznej jest w miarę ustabilizowane (pseudostabilne) i utrzymuje się na poziomie 50-100 w/s. Powyżej obciążenia 1300 kG, aż do wartości końcowej wynoszącej 2300 kG, emisja akustyczna gwałtownie rośnie. W drugim etapie przeprowadzono badania niszczące w przedziale zmian obciążenia 0-4000 kG. Wykres zmian emisji akustycznej od stosowanego obciążenia, przedstawiono graficznie na rys. 10. W tym samym zakresie obciążeń, co w pierwszym etapie, czyli 0-1300 kG, emisja akustyczna posiada również charakter pseudostabilny i utrzymuje się na poziomie nieco wyższym, rzędu 200 w/s, co spowodowane było wzrostem szybkości obciążenia. Powyżej wartości 1300 kG, aż do momentu zniszczenia przy obciążeniu wynoszącym około 4000 kG, tempo zdarzeń gwałtownie rośnie. Nie zaobserwowano spadku emisji przed momentem zniszczenia próbki. Emisja akustyczna w momencie zniszczenia jest największa.

5.3.4. Wyniki badań próbki z łupka piaszczystego

Badania zostały przeprowadzone w zakresie obciążeń niszczących. Charakterystykę tempa zdarzeń w funkcji obciążenia przedstawiono na wykresie zamieszczonym na rys. 11. W zakresie obciążenia od 0 do 1500 kG, tzn.

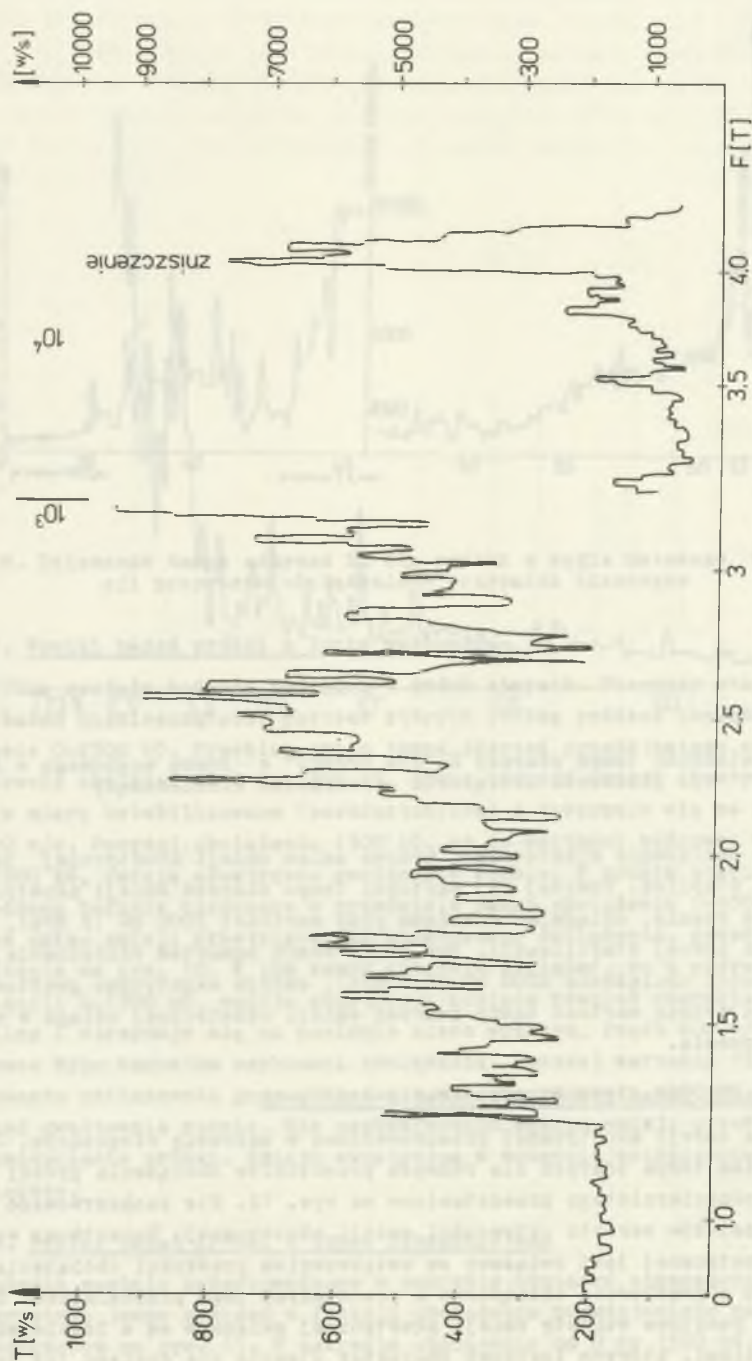


Rys. 9. Zależność tempa zdarzeń EA dla próbki z łupka węglowego w funkcji przerostu obciążenia - przypadek nieniszczący

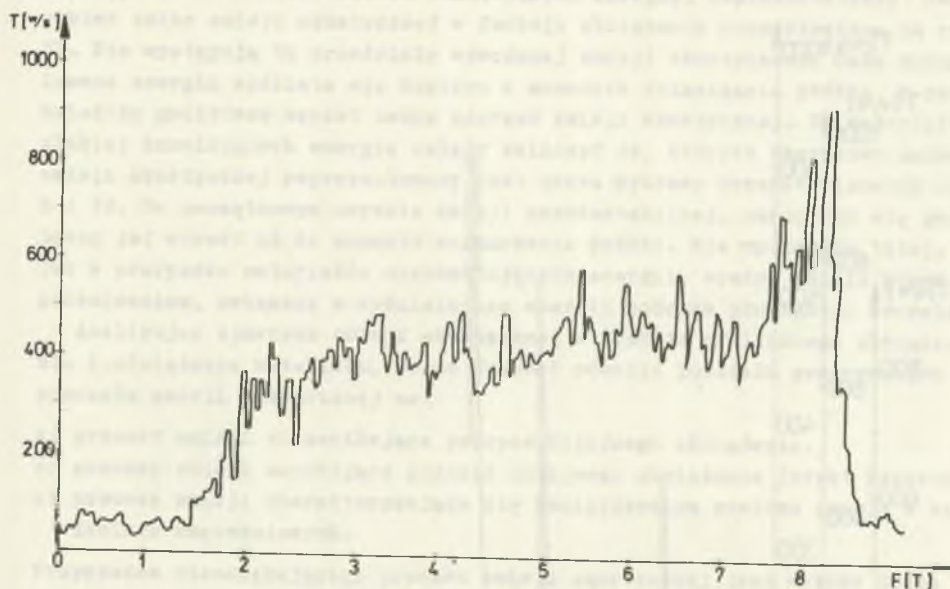
około 20% obciążenia niszczącego, krzywa zmian emisji akustycznej jest względnie stabilna. Powyżej tej wartości tempo zdarzeń emisji akustycznej gwałtownie rośnie, osiągając maksimum przy wartości 2000 kG (2 MPa), po czym ulega pewnej stabilizacji. Tuż przed samym momentem zniszczenia, przy wartości obciążenia 8200 kG (8,2 MPa), emisja akustyczna gwałtownie rośnie. Najwyższą wartość tempo zdarzeń emisji akustycznej osiąga w momencie zniszczenia.

5.3.5. Wyniki badań próbki wykonanej z piaskowca

Badania emisji akustycznej przeprowadzono w zakresie niszczącym. Charakter zmian tempa zdarzeń dla różnych przedziałów obciążenia próbki piaskowca drobnodziarnistego przedstawiono na rys. 12. Nie zaobserwowano żadnych przedziałów wzrostu aktywności emisji akustycznej. Początkowy wzrost emisji akustycznej jest związany ze zwiększeniem prędkości obciążenia w porównaniu z prędkością obciążenia w pozostałych jego przedziałach. Obserwowane punktowe wzrosty emisji akustycznej związane są z lokalnymi mikropęknięciami, których lawinowy charakter ujawnia się dopiero tuż przed



Rys. 10. Zależność tempa zdarzeń EA dla próbki z łupka węglowego w funkcji przyrostu obciążenia - przy-
padek niszczący



Rys. 11. Wykres tempa zdarzeń EA dla próbki z żupka piaszczystego

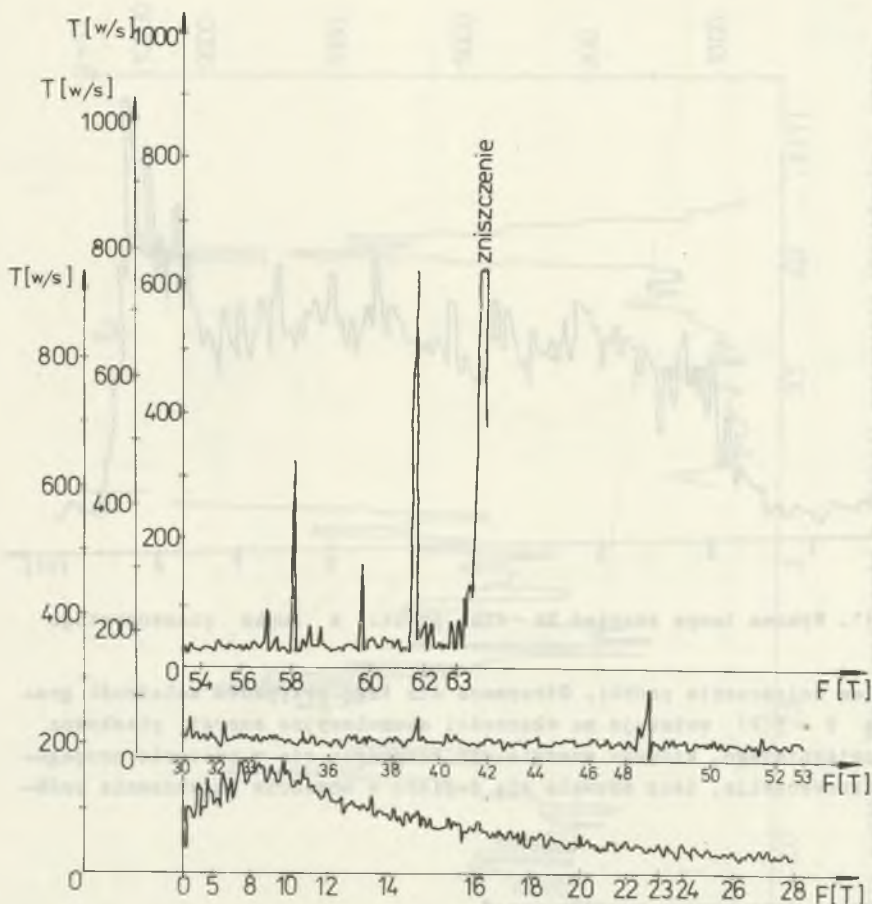
momentem zniszczenia próbki. Otrzymana dla tego przypadku zależność graficzna $T = f(F)$ wskazuje na właściwości akumulacyjne energii piaskowca drobnoziarnistego, którego energia nie rozprasza się w procesie propagacji mikroszczelin, lecz wywala się dopiero w momencie zniszczenia próbki.

6. SYNTEZA OTRZYMANÝCH WYNIKÓW BADAŃ

Analiza wyników przeprowadzonych badań umożliwia podział badanych materiałów na dwie podstawowe grupy geologiczne o przeciwstawnych właściwościach energetyczno-kumulacyjnych, a mianowicie:

- niekumulujących energię (nietąpiących) do których należy, np. węgiel błyszczący,
- kumulujących energię (tąpiących) do których należy zaliczyć wszystkie pozostałe badane materiały geologiczne, a więc węgiel matowy, żupek węglowy, żupek piaszczysty i piaskowiec drobnoziarnisty.

Reprezentatywną charakterystykę emisji akustycznej dla materiałów niekumulujących energii, których przedstawicielem jest węgiel błyszczący, przedstawia wykres zamieszczony na rys. 4. W zakresie 0-30% obciążenia niszczonego, zmiany tempa zdarzeń emisji akustycznej charakteryzują się



Rys. 12. Wykres tempa zdarzeń EA dla próbki z piaskowca drobnoziarnistego

pseudostabilnością na niskim poziomie zliczeń. W przedziale 30-80% obciążenia niszczącego, tempo zdarzeń gwałtownie rośnie. Powyżej tej wartości, aż do momentu zniszczenia próbki mamy do czynienia z rozpraszaniem energii, uwarunkowanym propagacją szczelin, któremu towarzyszy spadek emisji zdarzeń. W momencie zniszczenia, emisja akustyczna gwałtownie rośnie, lecz jest ona niższa od wartości maksymalnej występującej w okresie poprzedzającym zniszczenie próbki.

Materiały kumulujące energię można z kolei podzielić na dwie podgrupy:

- silnie kumulujące energię, np. piaskowiec drobnoziarnisty,
- słabiej kumulujący energię, np. węgiel matowy oraz łupki: węglowy i piaszczysty.

W przypadku materiałów silnie kumulujących energię, reprezentatywny charakter zmian emisji akustycznej w funkcji obciążenia przedstawiono na rys. 12. Nie występują tu przedziały wzmoczonej emisji akustycznej. Cała zakumulowana energia wydziela się dopiero w momencie zniszczenia próbki, o czym świadczy gwałtowny wzrost tempa zdarzeń emisji akustycznej. Do materiałów słabiej kumulujących energię należy zaliczyć te, których charakter zmian emisji akustycznej reprezentowany jest przez wykresy przedstawione na rys. 8 i 10. Po początkowym okresie emisji pseudostabilnej, obserwuje się gwałtowny jej wzrost aż do momentu zniszczenia próbki. Nie występuje tutaj, jak w przypadku materiałów niekumulujących energii, spadek emisji przed zniszczeniem, związany z wydzieleniem energii podczas propagacji szczelin.

Analizując zjawisko emisji akustycznej w trakcie cyklicznego obciążenia i odciążenia materiału, można dokonać również podziału generowanych procesów emisji akustycznej na:

- a) procesy emisji nieznikające podczas kolejnego obciążenia,
- b) procesy emisji zanikające podczas kolejnego obciążenia (efekt Kaisera),
- c) procesy emisji charakteryzujące się zmniejszeniem poziomu emisji w badaniach zmęczeniowych.

Przykładem nieznikającego procesu emisji akustycznej jest wykres tempa zdarzeń wykonany dla próbki węgla matowego, przedstawiony na rys. 13. Etap pierwszy (a) polegał na nieniszczącym obciążeniu próbki w zakresie 0-2800 kG (rys. 13a), następnie próbka została obciążona i po okresie 1/2 godziny przystąpiono do etapu drugiego, w którym stosowano obciążenie niszczące w przedziale 0-3200 kG (rys. 13b). Emisja sygnału w drugim etapie obciążenia, w którym wystąpił nieznaczny wzrost sygnału, pojawia się od tej samej wartości obciążenia jak w etapie wstępnym.

Procesy emisji zanikające przy kolejnym obciążeniu przedstawiono na rys. 6, 7 i 8. Charakteryzują się one tym, że energia sygnału w kolejnym cyklu obciążenia występuje od momentu przekroczenia wartości obciążenia, które zostało osiągnięte w pierwotnym etapie obciążenia próbki.

Podczas utrzymania przez kilka minut stałej wartości obciążenia występuje spadek emisji akustycznej, lecz nie obserwuje się jej zaniku. Związane to jest z procesem powstawania mikropęknięć, których intensywność powstawania w jednostce czasu maleje.

W trakcie prowadzonych badań zaobserwowano również, że ze wzrostem szybkości obciążenia próbki, rośnie tempo zdarzeń emisji akustycznej.

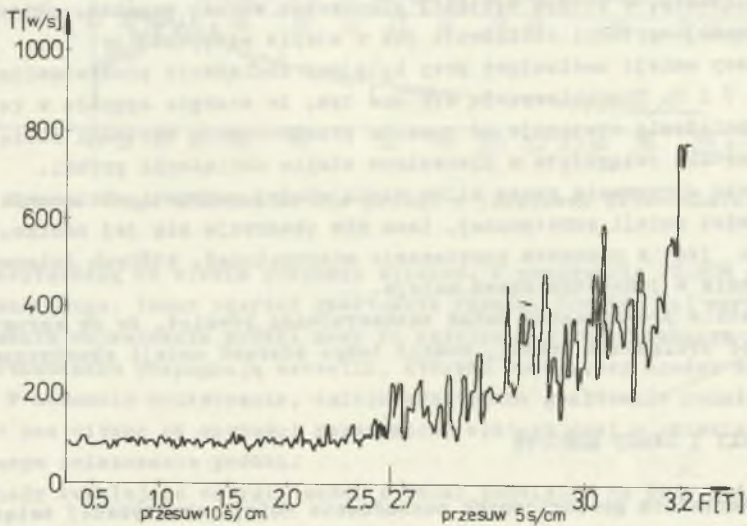
7. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

W materiałach geologicznych pochodzenie emisji akustycznej związane jest głównie z procesami odkształceń i pęknięć, zachodzącymi pod wpływem obciążenia i odciążenia. Otrzymane wyniki badań wpływu odkształceń materiału geologicznego na intensywność emisji akustycznej można zintepreto-

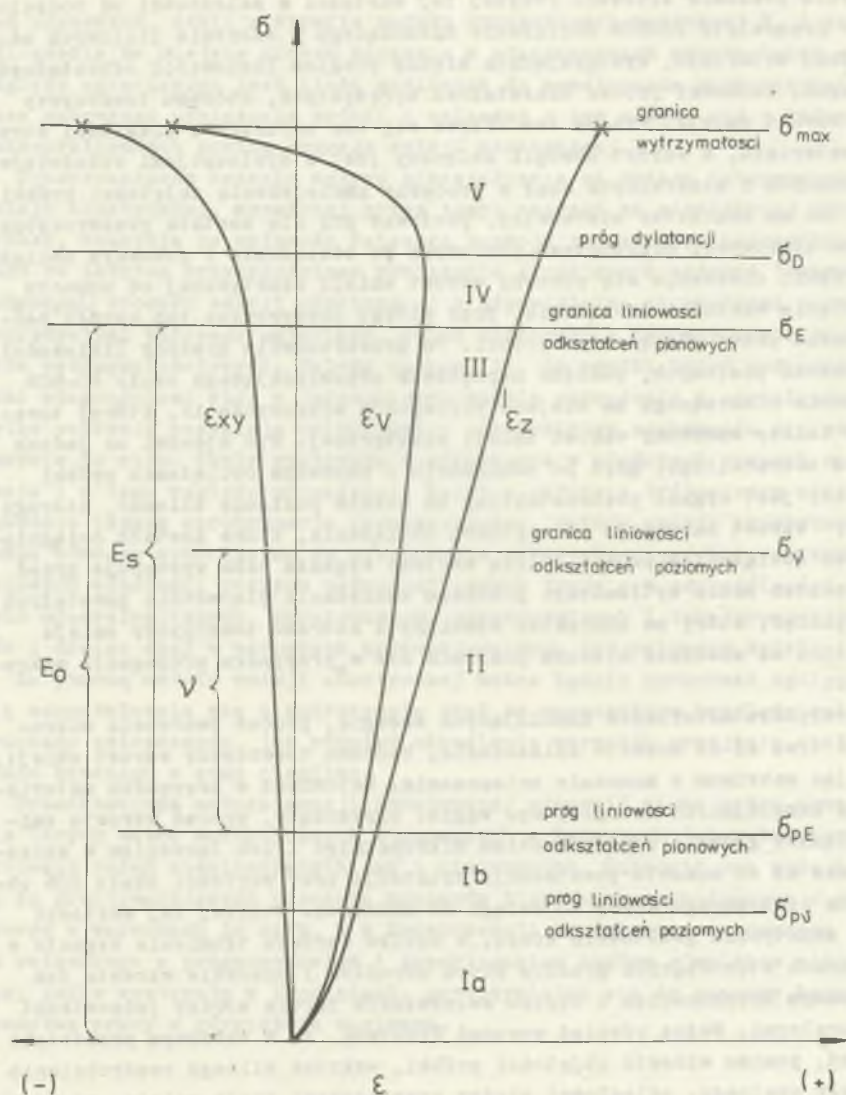
a)



b)



Rys. 13. Proces emisji niezanikającej przy kolejnym obciążeniu



Rys. 14. Schemat typowego odkształcenia się skał w procesie jednoosiowego ściskania

wac uwzględniając również wyniki badań mechanicznych zależności odkształcenia od naprężenia przedstawione na rys. 14. W początkowym okresie obciążenia próbek do wartości około 30% obciążenia niszczącego, w zakresie odkształceń nieliniowych, aż do osiągnięcia progu liniowości odkształceń pionowych, występuje proces zaciśnięcia pierwotnych, istniejących w materiale mikropełnięć, któremu towarzyszy w miarę stabilna emisja akustyczna

na niskim poziomie zliczeń. Powyżej tej wartości w zależności od rodzaju skał w przedziale 20-60% obciążenia niszczącego w zakresie liniowych odkształceń materiału, występujących między progiem liniowości odkształceń poziomych, zachodzi proces odkształceń sprężystych, któremu towarzyszy nagły wzrost emisji. Proces ten odbywa się bez naruszenia ciągłości struktury materiału, a wzrost energii związany jest z dyslokacjami składników organicznych i mineralnych skał w procesie zmniejszenia objętości próbki. Efekt ten ma charakter odwracalny, ponieważ gdy nie została przekroczona granica liniowości odkształceń poziomych po odciążeniu i ponownym obciążeniu próbki, obserwuje się ponowny wzrost emisji akustycznej od momentu osiągnięcia wartości obciążenia, przy której obserwowano ten wzrost podczas badań przed odciążeniem próbki. Po przekroczeniu granicy liniowości odkształceń poziomych, podczas naprężenia odpowiadającego około 40-60% obciążenia niszczącego ma miejsce propagacja mikroszczelin, której towarzyszy dalszy wzmożony wzrost emisji akustycznej. Nie stanowi on jednak procesu odwracalnego, gdyż po odciążeniu i ponownym obciążeniu próbki emitowany jest sygnał pseudostabilny na niskim poziomie zliczeń, którego ponowny wzrost następuje od wartości obciążenia, które zostało osiągnięte przed obciążeniem próbki. Niską wartość sygnału jaka występuje przed tym momentem można wytłumaczyć procesem zaciskania pierwotnie powstałych mikropęknięć, który ma charakter stabilny i któremu towarzyszy emisja akustyczna na znacznie niższym poziomie niż w przypadku propagacji mikropęknięć.

W przypadku materiałów kumulujących energię, proces tworzenia mikropęknięć trwa aż do momentu zniszczenia, któremu towarzyszy wzrost emisji, osiągając maksimum w momencie zniszczenia. Natomiast w przypadku materiałów nie kumulujących energii, np. węgiel błyszczący, proces wzrostu emisji związany głównie z powstawaniem mikropęknięć i ich łączeniem w szczeliny trwa aż do momentu powstawania dylatacji przy wartości około 80% obciążenia niszczącego kiedy to osiąga on maksimum. Powyżej tej wartości emisja akustyczna gwałtownie spada, w wyniku wzrostu tłumienia sygnału w szczelinach stanowiących granice dwóch ośrodków i ponownie wzrasta tuż przed samym zniszczeniem w wyniku zwiększenia tarcia między jednostkami strukturalnymi. Można również wysunąć hipotezę, że w końcowym przedziale obciążeń, pomimo wzrostu objętości próbki, wskutek silnego rozdrobnienia materiału skalnego, odległości między cząsteczkami skały maleją, co prowadzi do polepszenia propagacji sygnału, który osiąga jednak wartość niższą niż występujące maksimum sygnału w okresie poprzedzającym zniszczenie.

Po osiągnięciu obciążenia, przy którym powstają mikropęknięcia (po przekroczeniu granicy liniowości odkształceń poziomych) podczas obciążenia wynoszącego 40-60% obciążenia niszczącego, zaobserwowano w badaniach zmęczeniowych, że osiągane wartości maksimum sygnału są znacznie niższe niż w badaniach niszczących jednocyklicznych. Wiąże się to prawdopodobnie z tym, że z mikropęknięcia propagują się w strefie liniowości odkształ-

ceń pionowych, czyli w strefie modułu sprężystości podłużnej E_s i podczas odciążenia ma miejsce proces ścinania w płaszczyznach mikropęknięć z tego względu ograniczona jest ilość możliwych do powstawania mikropęknięć podczas ponownego obciążenia próbki i związany z tym niższy niż w badaniach jednocyklicznych poziom sygnału emisji akustycznej.

Przeprowadzone badania wpływu odkształcenia na zmianę intensywności emisji akustycznej, wyrażonej przez tempo zdarzeń na niewielkiej liczbie próbek, wskazują na celowość dalszego rozwoju tej metody. Szczególnie jest tu istotne przyszłościowe powiązanie określonych estymat (włącznie z widmowymi) procesu emisji akustycznej z odpowiednimi parametrami mechano-sprężystymi badanego materiału, celem opracowania teoretycznych kryteriów wytrzymałościowych. Należy podkreślić, że wyniki badań nad mechanicznymi własnościami skał w jednoosiowym stanie naprężenia w ograniczonym tylko zakresie pozwalają wnioskować o rzeczywistym zachowaniu się skał w masywie in situ. Skały występują w górotworze w złożonych stanach naprężenia i z tego względu prowadzenie badań w układzie trójosiowym stanowi znacznie lepszą aproksymację rzeczywistości. Metodę emisji akustycznej można wówczas wykorzystać do wyznaczenia odkształceniowych i wytrzymałościowych własności różnych petrograficznych typów a w szczególności różnych mineralogicznych, genetycznych, strukturalnych i teksturowych rodzajów i odmian skał w warunkach konwencjonalnego trójosiowego ściskania.

Za pomocą metody emisji akustycznej można będzie opracować ogólną teorię odkształcenia się i zniszczenia skał ze szczególnym uwzględnieniem kruchego zniszczenia, jak również określenia warunków przejścia skał ze stanu kruchego w stan ciągliwy.

Przedstawiona metoda emisji akustycznej stanowić winna ważne uzupełnienie innych metod mechanicznych stosowanych w badaniach laboratoryjnych w procesie badań nieniszczących jak i niszczących. Stanowić ona może podstawę do gruntowniejszego poznania procesów fizycznych zachodzących w górotworze w warunkach in situ, a w konsekwencji do osiągnięcia pewnego postępu związanego z prognozowaniem i zapobieganiem nagłym zjawiskom niszczącym, jakie występują w kopalniach, przyczyniając się do poprawy bezpieczeństwa pracy w górnictwie węglowym.

LITERATURA

- [1] H.R. Hardy - Application of AE Techniques to Rock Mechanics Research. Acoustic Emission, ASTM, Florida 1971.
- [2] A.A. Pollock - Acoustic Emission. A Review of Recent Progress and Technical Aspects. Wyd. Chapman and Hall Ltd. London 1974.
- [3] M. Chudek, T. Zakrzewski - Zastosowanie EA w badaniach stanów deformacyjno-naprężeniowych w górotworze w otoczeniu wyrobisk górniczych. Przegląd Górniczy. Przekazano do druku w 1983 r.
- [4] M. Chudek, R. Żyliński - Zagadnienie wytrzymałości skał zamrożonych w świetle badań laboratoryjnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Górnictwo z. 51. Gliwice 1974.

- [5] M. Chudek, M. Moroz - Wytrzymałość skał karbońskich w trójosiowym stanie naprężeń. Archiwum Górnictwa, t. XVI, z. 3, 1971.
- [6] A.A. Pollock - Metals and Rocks: AE physic and technology in Common and in contrast. Proc. First Conference on Acoustic Emission.
- [7] J. Ranachowski, W. Mikiel, F. Rajmund - Akustyczne metody badania własności tworzyw elektroceramicznych. Elektryczne i akustyczne metody badań materiałów. Warszawa Jabłonna 1981.
- [8] Sz. Pilecki - Badania własności mechanicznych i niszczenia metali metodą AE. Elektryczne i akustyczne metody badań materiałów. Warszawa Jabłonna 1981.
- [9] Z. Handzel, S. Ziemba - Fizyczne aspekty trwałości i niezawodności obiektów technicznych IPPT, PAN, Warszawa - Poznań 1976.
- [10] M.C. Reymood - AE in Rocks and Concrete Under Laboratory Conditions, Proc. and Conf. on AE/MA in Geologic Structure and Materials, Trans. Techn. Publications, 1980.

Recenzent: Prof. dr Jerzy Ranachowski

Wpłynęło do Redakcji we wrześniu 1984 r.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИИ В ПОРОДЕ
С УЧЁТОМ МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Р е з ю м е

В работе представлены теоретические основы а также результаты лабораторных исследований акустической эмиссии в породе с особым учётом диапазона высоких частот. Полученные структурные характеристики исследуемых параметров акустической эмиссии показывают особенную чувствительность к величине наружных нагрузок. Содействует это возрастанию величины и числа импульсов акустической эмиссии. Явление это выступает особенно чётков диапазоне напряжений предшествующих критическим нагрузкам. В ходе анализа структурных характеристик акустической эмиссии показаны существенные причины связи, т.е. возмущения структуры твёрдого тела. Показана распространённость использования метода акустической эмиссии, подчёркивая его будущее значение, связанное с исследованиями деформационно-нагрузочных состояний с возможностью последующего прогнозирования завалов при эксплуатации подземных залежей.

THE APPLICATION OF AN ACOUSTIC EMISSION METHOD
TO INDICATE THE CHANGES OF STRESSES IN ROCKS
ON THE BASIS OF MODEL STUDIES

S u m m a r y

The paper presents theoretical principles and the results of laboratory tests of acoustic emission in rocks taking into account the range of high frequencies. Structural characteristics of the examined acoustic emission parameters show a special sensitivity to the magnitude of outer load, what results in the increase of height and number of the acoustic emission impulses. This phenomenon occurs mainly in the range of stresses acting before the critical load and causing the damage of the material being examined. In the process of the analysis of the acoustic emission structural characteristics, an important connection of the cause, i.e. disturbances of the solid body structure, with the result, i.e. the process of acoustic wave emission, has been underlined. There has been also presented a range of the application of the acoustic emission method, showing its chances in future connected with the examinations of deformation-stress state. These examinations allow to observe the stress concentration in the rock and to predict future rockburst and caving during the underground exploitation.