

Joanna KURZEJA*, Andrzej ZADRUŻNY**

* Główny Instytut Górnictwa, Katowice

** KWK „Staszic” KHW S.A.

Estymacja energii AE rejestrowanej aparaturą PRS w kopalni „Staszic”

Streszczenie

Celem publikacji było wykazanie możliwości przybliżonej estymacji fizycznej (wyrażonej w dżulach) energii emisji sejsmoakustycznej (AE) obserwowanej – lecz bez lokalizowania źródeł – dwoma geofonami toru TSA-32 współpracującego z aparaturą PRS oraz opis metody wykorzystanej do estymacji. Wyrażona w dżulach energia AE z obserwowanej ściany dodawana jest do energii wstrząsów sejsmicznych (z tej samej ściany i w tych samych przedziałach czasu), umożliwiając tworzenie szeregów czasowych $E^c(t)$ całkowitej (logarytmowanej) godzinowej energii sejsmicznej – które mogą być następnie przedmiotem prognozy.

1. Wprowadzenie

Prognoza całkowitej (AE+wstrząsów) energii sejsmicznej, emitowanej z danej ściany w ustalonych (np. godzinowych) jednostkach czasu jest użyteczna do prognozy zagrożenia sejsmicznego (np. umożliwi obliczenie prawdopodobieństw, że energia ta – w najbliższej nadchodzącej godzinie – przekroczy wartość $1 \cdot 10^5 \text{J}$ lub tp.) i stosowana w niektórych, zagrożonych tąpnięciami kopalniach, w tym na ścianie 407a w pokł. 510 kopalni „Staszic”. Podstawą do prognozy przyszłych wartości energii całkowitej $E^c(t)$ są minione jej wartości, obliczone na podstawie obserwacji sieci sejsmologicznej i sejsmoakustycznej w minionych, kolejnych godzinach. Energia wstrząsów obliczana jest w dżulach i aby można ją było dodać do energii AE, energia ta także musi być wyrażona w dżulach. Tymczasem stosowane w naszym górnictwie systemy sejsmoakustyczne – zarówno starszy PRS, jak i obecnie produkowany ARES – określają tylko tak zwaną energię umowną ($E^u(t)$), która nie jest wyrażona w dżulach i nie może być bezpośrednio sumowana z energią wstrząsów.

Zagadnienie estymacji fizycznej energii AE w przypadku obserwacji za pomocą aparatury ARES przedstawili Waško i Kornowski (2005), Kornowski i Kurzeja (2005) i Kornowski (2005) na poprzednim naszym spotkaniu (Warsztaty 2005). **Niniejsza praca zamyka cykl publikacji dotyczących tego zagadnienia, przedstawiając metodę przybliżonej estymacji energii AE – w kolejnych, wystarczająco długich (np. godzinowych) odcinkach czasu – bez lokalizacji źródeł AE, korzystając z obserwacji geofonami toru TSA aparatury PRS.**

Warunkiem uruchomienia metody było wykonanie:

- pomiarów efektywnego współczynnika $\beta = 2\alpha$ absorpcji energii falowej (fal sejsmicznych) przed frontem ściany; wpływ tego współczynnika określa równanie

$$E(r) = E(o)e^{-2\alpha r} \quad (1.1)$$

Pomiary te wykonała na początku 2006 r. współautorka tego artykułu wraz z dr. inż. A. Waśko (GIG) i ze współpracującymi kolegami z Działu Tępań kopalni „Staszic”, otrzymując w wyniku średnią wartość

$$\alpha = 0,01\text{m}^{-1} \quad (1.2)$$

- pomiarów współczynnika k_{PRS}^e „wzmocnienia energii” przez wyspecjalizowany minikomputer PRS; oznaczając E_{wy} i E_{we} fizyczną energię sygnału elektrycznego na wyjściu i wejściu aparatury ARES, wpływ tego współczynnika (w liniowym paśmie częstotliwości i dynamiki aparatury) określa równanie

$$k_{PRS}^e = E_{wy} / E_{we} \quad (1.3)$$

Pomiary (średniej) wartości tego współczynnika dla aparatury PRS obsługującej ścianę 407a w kopalni „Staszic” wykonał – przy pomocy laboratoryjnego generatora sygnałów, który umożliwia podawanie sygnałów o znanej energii – w lutym 2006 r. dr inż. A. Waśko (GIG), otrzymując średnio

$$k_{PRS}^e = 2500 \quad (1.4)$$

Wartość ta nie obejmuje „słynnego” współczynnika DIVEX ani też nakazanej Instrukcją metody modyfikacji czynnikiem $d/(50(k')^2)$.

Metoda estymacji energii AE opisana w rozdz. 2 i 3: rozdz. 2 ma charakter wprowadzający i przedstawia estymację energii AE ze źródła punktowego położonego w znanej odległości r od geofonu. Ponieważ źródła AE nie są lokalizowane, założenie to jest nierealne i w rozdz. 3 opisano metodę estymacji bez lokalizacji, lecz zakładając, że źródła AE, w wystarczająco długim okresie czasu – np. godzinowym – rozłożone są „prawie równomiernie” wzdłuż ociosu ściślej mówiąc zakłada się model emisji energii AE o postaci

$$E(T) = Lhe_o(T) + \eta(T) \quad (1.5)$$

gdzie:

T – przedział czasu np. 1 godzina,

L i h – długość i wysokość ściany,

e_o – średnia gęstość energii AE emitowanej w jednostce T czasu z 1m^3 przyociosowej warstwy pokładu,

η – losowy błąd modelu i pomiaru; jeżeli $\eta \sim N(0, \sigma^2)$ to wyniki pomiarów mogą być asymptotycznie poprawne.

2. Energia emisji ze źródła punktowego

Niech E^u oznacza energię umowną na wyjściu (komputerowym) systemu obserwacyjnego, uwzględniającą już czynnik $d/(50(k')^2)$ zgodnie z odpowiednią Instrukcją (Kornowski i in. 1996). Niech e_n^s oznacza strumień energii $[\text{J}/\text{m}^2]$ falowej przepływającej w otoczeniu geofonu („g”) przez jednostkę $[\text{m}^2]$ powierzchni w czasie trwania wstrząsu, w unormowanym („u”) – czyli takim, gdzie $\rho = 1\text{kg}/\text{m}^3$ i $V = 1\text{m}/\text{s}$ – ośrodku. Z definicji

$$e_n^g = \int_{t_1}^{t_2} V^2(t) dt \quad (2.1)$$

gdzie:

V [m/s] – prędkość drgań cząstki ośrodka w otoczeniu geofonu

t_1 i t_2 – czasy początku i końca (sejsmogramu) wstrząsu.

W przypadku izotropowego źródła, ośrodka i czujnika oraz zachowawczego (niepochłaniającego energii) ośrodka i źródła o znanej odległości r od czujnika, energię E_0 emitowaną ze źródła określa równanie

$$E_0 = 4\pi r^2 \rho V_p e_n^g \quad (2.2a)$$

gdzie:

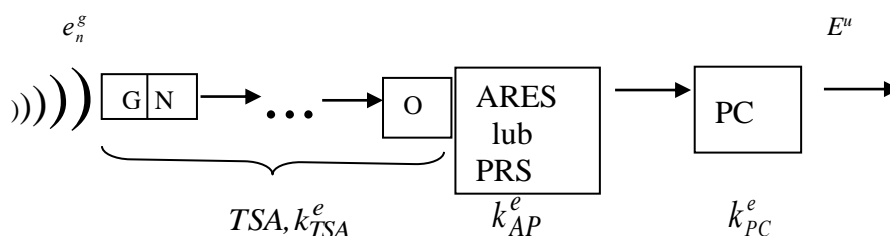
ρ – gęstość ośrodka,

V_p – prędkość propagacji fali.

Dla źródła w ociosie pokładu o miąższości h (i geofonu w tym samym pokładzie) między płaszczyznami odbijającymi, równanie (2.2a) przyjmuje postać

$$E_0 = \pi r h \rho V_p e_n^g \quad (2.2b)$$

Na rys.2.1 pokazano szkic układu pomiarowego, złożonego z toru TSA, wyspecjalizowanego minikomputera PRS lub ARES i komputera PC. Sygnałem wejściowym jest strumień energii e_n^g na wyjściu otrzymuje się energię umowną E^u . Symbolem k^e oznaczono moduł transmitancji energetycznej (zwykle równy kwadratowi wzmocnienia amplitudy, $k^e = k^2$, lecz pojęcie „wzmocnienia amplitudy” nie zawsze jest użyteczne).



Rys. 2.1. Szkic sejsmoakustycznego układu pomiarowego: G – geofon, N – nadajnik, O – odbiornik.
 $k_{xx}^e = k^2$ oznacza „wzmocnienie energii” przez element xx.

Fig. 2.1. Generalized channel transmitting seismic signals from a source to the PC monitor. $k_{xx}^e = k^2$ means “energy transmittance” of the channel segment pointed with the lower index.

Moduł transmitancji energetycznej k_{AE}^e całego układu równy jest iloczynowi modułów składowych

$$k_{AE}^e = k_{TSA}^e \cdot k_{AP}^e \cdot k_{PC}^e \quad (2.3)$$

(dolny indeks „AP” oznacza ARES lub PRS), gdzie wartość k_{TSA}^e – dla danego, konkretnego kanału geofonowego – powinna być określona na podstawie dokumentacji kalibracyjnej. Zgodnie z Instrukcją metody sejsmoakustycznej

$$k_{PC}^e = d / (50 \cdot k^2) \quad (2.4)$$

gdzie:

$$k^2 = k_{TSA}^e,$$

d [m] – odległość danego geofonu od skrzyżowania.

Ponieważ $k = k_1 10^4$ [Vs/m], w niektórych kopalniach (np. w kopalni „Staszic”) w miejsce k wprowadza się wartość k_1 – co nie jest błędem jeśli pamiętamy o czynniku 10^4 .

Ponieważ z definicji k^e

$$k^e = E^u / e_n^g \quad (2.5)$$

to na podstawie (2.3), (2.4), (2.5) i uwag dotyczących k_1 , napisać można

$$e_n^g = E^u (k_{TSA}^e \cdot k_{AP}^e \cdot k_{PC}^e)^{-1} \quad (2.6a)$$

$$e_n^g = E^u (k_{TSA}^e \cdot k_{AP}^e \cdot \frac{d}{50k})^{-1} \quad (2.6b)$$

a jeśli zamiast $k = k_{TSA}^e$ stosuje się $k_I = k_{TSA}^e / 10^8$ to

$$e_n^g = E^u (k_{AP}^e \cdot \frac{d \cdot 10^8}{50})^{-1} \quad (2.6c)$$

Na podstawie pomiarów, wykonanych w lutym 2006 r. przez dr inż. A. Waśko w kopalni „Staszic” stwierdzono, że

$$k_{AP}^e \approx 2500 \quad (2.7)$$

zatem

$$e_n^g \approx \frac{E^u}{d \cdot 50 \cdot 10^8} = \frac{2E^u}{d \cdot 10^{10}} \quad (2.8)$$

Wstawiając (2.8) do (2.2b) otrzymuje się

$$E_0 = \pi r h \rho V \frac{2E^u}{d \cdot 10^{10}} \quad (2.9)$$

Ponieważ (w przypadku śc. 407a w pokł. 510 kopalni „Staszic”) $h = 3$ m, $\rho \approx 1300$ kg/m³, $V_p \approx 1800$ m/s to, przyjmując $d = r$ (zgodnie z Instrukcją) otrzymuje się

$$E_0 \approx 0,00441E^u \quad (2.10)$$

Ponieważ wydruki z aparatury PRS skalowane są za pomocą parametru „DIVEX”, którego wartość, w przypadku aparatury PRS w kopalni „Staszic”, wynosi

$$\text{DIVEX} = 1000 \quad (2.11)$$

to

$$E_0 \approx 4,41E^u \quad (2.12)$$

Jest to energia fizyczna obliczona na podstawie pomiaru za pomocą aparatury PRS, z parametrami jak podano wyżej, **dla źródła punktowego w znanej odległości $r = d$ od geofonu, w ośrodku zachowawczym, bez właściwości kierunkowych.**

W rozdz. 3 założenia te zostaną złączone.

3. Emisja z frontu ścianowego w ośrodku pochłaniającym

By złagodzić bardzo ograniczające założenia przyjęte w rozdziale poprzednim, przyjmujemy teraz, że:

a) w ośrodku występuje pochłanianie energii falowej

$$E(r) \approx E_0 e^{-2\alpha r} \quad (3.1)$$

gdzie:

E_0 – energia w źródle,

α [m^{-1}] – współczynnik (wynikający z pochłaniania) tłumienia energii.

W przypadku śc. 407a kopalni „Staszic”, na podstawie wykonanych przez GIG pomiarów stwierdzono, że

$$\alpha \approx 0,01[m^{-1}] \quad (3.2)$$

(trzeba jednak zaznaczyć, że rozrzut wyników pomiarowych jest duży).

b) geofon ma charakterystykę kierunkową

$$A(\varphi) = A_0 0,9(0,111 + \cos\varphi) \quad (3.3a)$$

$$\cos\varphi = \frac{|x|}{\sqrt{x^2 + d^2}} \quad (3.3b)$$

gdzie:

x – położenie źródła na froncie ściany,

d – odległość geofonu od skrzyżowania.

Wartość $A(\varphi)$ multiplikatywnie modyfikuje amplitudę fali docierającej do geofonu, gdy φ oznacza kąt między osią geofonu a normalną do czoła fali.

c) Zamiast założenia że wszystkie wstrząsy pochodzą z rejonu skrzyżowania, zakłada się, że w **godzinowych okresach czasu** – bo takich okresów dotyczą raportowane i prognozowane energie – **źródła AE rozłożone są wzdłuż ociosu ściany o długości L i wysokości h** a ściślej, że energia E_0 (godzinowej) emisji z ociosu ściany określona jest równaniem

$$E_0(T) = L h e_0(T) + \eta(T) \quad (3.4)$$

gdzie e_0 to średnia gęstość energii AE emitowanej z $1 m^3$ przyociosowej warstwy pokładu w jednostce czasu T , natomiast $\eta \sim N(0, \sigma^2)$ co oznacza iż zakłada się normalny rozkład błędów.

Równanie (3.4) stanowi model przestrzennego rozkładu emisji energii ze ściany skrawanej kombajnem. Różnica między tym modelem a (nieznany) rozkładem rzeczywistym decyduje o błędzie metody.

Dla założeń tych, odpowiednikiem równania (2.2b) jest zależność

$$e_n^g = \int_0^L h e_0 (\pi r \rho_p)^{-1} e^{-2\alpha r} [0,9(0,111 + x/r)]^2 dx \quad (3.5a)$$

gdzie

$$r = \sqrt{x^2 + d^2} \quad (3.5b)$$

Jeżeli wprowadzimy oznaczenie

$$I_0(d) = \int_0^L \frac{\exp(-2\alpha\sqrt{x^2 + d^2}) (0,111 + x/\sqrt{x^2 + d^2})^2}{\sqrt{x^2 + d^2}} dx \quad (3.6)$$

to równanie (3.5a) zapisać można w postaci

$$e_n^g = 0,81 \frac{h e_0}{\pi \rho V_p} I_0(d) \quad (3.7)$$

skąd

$$h e_0 = \frac{\pi \rho V_p}{0,81 I_0(d)} e_n^g \quad (3.8)$$

i mnożąc obustronnie przez długość L ściany, otrzymuje się

$$L h e_0 = \frac{\pi \rho V_p L}{0,81 I_0(d)} e_n^g \quad (3.9)$$

$$E_0 = \frac{\pi \rho V_p L}{0,81 I_0(d)} e_n^g \quad (3.10)$$

stąd na podstawie (2.6b) oraz uwzględniając „DIVEX” zapisać można

$$E_0 = \frac{\pi \rho V_p L}{0,81 I_0(d)} \frac{50 k_{TSAdekl}^e \cdot DIVEX}{k_{TSA}^e \cdot k_{AP}^e \cdot d} E^u \quad (3.11a)$$

gdzie $k_{TSAdekl}^e$ to deklarowana przez użytkownika k_{TSA}^e .

Równanie (3.11a) stosuje się do wszystkich systemów PRS.

Jeżeli, jak w kopalni „Staszic”, $k_{TSAdekl}^e = k_{TSA}^e \cdot 10^{-8}$ oraz $k_{AP}^e = 2500$, to

$$E_0 = \frac{\pi \rho V_p L}{0,81 I_0(d)} \frac{2 DIVEX}{d 10^{10}} E^u \quad (3.11b)$$

ponieważ $\rho \approx 1300 \text{kg/m}^3$, $V \approx 1800 \text{m/s}$, $L \approx 200 \text{m}$, to

$$E_0 = 0,363 \frac{E_u}{dI_0(d)} \text{DIVEX} \quad (3.12)$$

i – jeśli $\text{DIVEX} = 1000$ – to

$$E_0 = 363 \frac{E_u}{dI_0(d)} \quad (3.13)$$

gdzie:

E_0 – (godzinowa) energia emitowana z ociosu (frontu) ściany

E_u – (godzinowa) energia umowna odczytana na wyjściu PC (już uwzględniająca DIVEX oraz czynnik $d/(50 \cdot \text{k}^2)$)

d – odległość geofonu od skrzyżowania

$I_0(d)$ – wartość całki z równania (3.6) dla parametrów (α, L) danej ściany i dla odległości d geofonu od skrzyżowania (malejąca funkcja d).

Jak opisują A. Waško i J. Kornowski (2005), funkcję $I_0(d)$ aproksymować można, co najmniej dla odległości $40 \leq d \leq 110 \text{ m}$ zależnością

$$I_0(d) = A_0 \exp(A_1(d - 40)) \quad (3.14a)$$

gdzie

$$A_0 = I_0(40) \quad (3.14b)$$

$$A_1 = (110 - 40)^{-1} \ln \left[\frac{I_0(110)}{I_0(40)} \right] \quad (3.14c)$$

co oznacza, że po obliczeniu całki (3.6) dla dwóch skrajnych odległości obserwacji, 40 m i 110 m, funkcję $I_0(d)$ aproksymować można łatwo obliczalną zależnością (3.14a).

Dla danych ze ściany 407a kopalni „Staszic” $\alpha = 0,01 \text{m}^{-1}$, $L \approx 200 \text{ m}$ stąd (obliczono metodą Romberga)

$$I_0(40) \approx 0,2885 \quad (3.15a)$$

$$I_0(110) \approx 0,02826 \quad (3.15b)$$

$$A_1 = -0,0332 \quad (3.15c)$$

$$I_0(d) \approx 0,2885 \exp(-0,0332(d - 40)) \quad (3.16)$$

Podstawiając (3.16) do (3.13) otrzymuje się

$$E_0(d) = \frac{1258}{d} E_u \exp(0,0332(d - 40)) \quad (3.17)$$

Łatwo można sprawdzić, że (na przykład) dla

$$d = 40 \text{ m} \quad E_0 \approx 31,45 E_u \text{ [J]}$$

$$d = 75 \text{ m} \quad E_0 \approx 53,61 E_u \text{ [J]}$$

$$d = 110 \text{ m} \quad E_0 \approx 116,84 E_u \text{ [J]}$$

gdzie E_u jest odczytem z komputera PC współpracującego ze stacją PRS w kopalni „Staszic” (i już uwzględnia zarówno wartość $\text{DIVEX} = 1000$, jak i modyfikację $d/(50 \cdot \text{k}^2)$ wskazaną przez Instrukcję).

Równanie (3.17) umożliwia bardzo łatwą choć przybliżoną tylko, estymację fizycznej energii AE na podstawie określonej na wyjściu systemu sejsmoakustycznego energii umownej E'' , dla danej odległości d czujnika od skrzyżowania. Równanie to obejmuje wszystkie „lokalne cechy” ściany 407a w kopalni „Staszic” i obsługującego ją systemu PRS, nie może więc być stosowane na innych ścianach. W ogólnym przypadku ściany obserwowanej aparaturą PRS stosować należy równania (3.11a) i (3.6) przy czym doradza się – ponieważ $I_0(d)$ w równaniu (3.6) jest funkcją odległości d – wykorzystanie przybliżenia (3.14a) (lub równoważnego), dla zmniejszenia ilości obliczeń.

Dodać należy na koniec, że w przypadku obserwacji przy pomocy N geofonów, przyjęty model (1.5) z normalnym rozkładem błędów umożliwia zwykle uśrednianie wyników otrzymanych za pomocą poszczególnych geofonów.

4. Przykład zastosowania

W rozdziale tym, przy pomocy dwóch rysunków (rys. 4.1 i rys. 4.2) zilustrowano zastosowanie poprzednio wyprowadzonych zależności do estymacji energii AE i do prognozy całkowitej (AE + wstrząsów) energii sejsmicznej oraz zagrożenia sejsmicznego. Ponieważ prognoza parametrów wstrząsów (miejsca, czasu i energii) nadal pozostaje nieosiągalna, coraz częściej zamiast tego, prognozuje się **zagrożenie sejsmiczne, zdefiniowane jako prawdopodobieństwo przekroczenia przez $E^c(t)$ – całkowitą energię emisji z danego obszaru w danej jednostce czasu – wartości $E_0 = 5 \cdot 10^5 \text{J}$.**

Taką definicję przyjęto też w tej pracy i tak zdefiniowane zagrożenie pokazano.

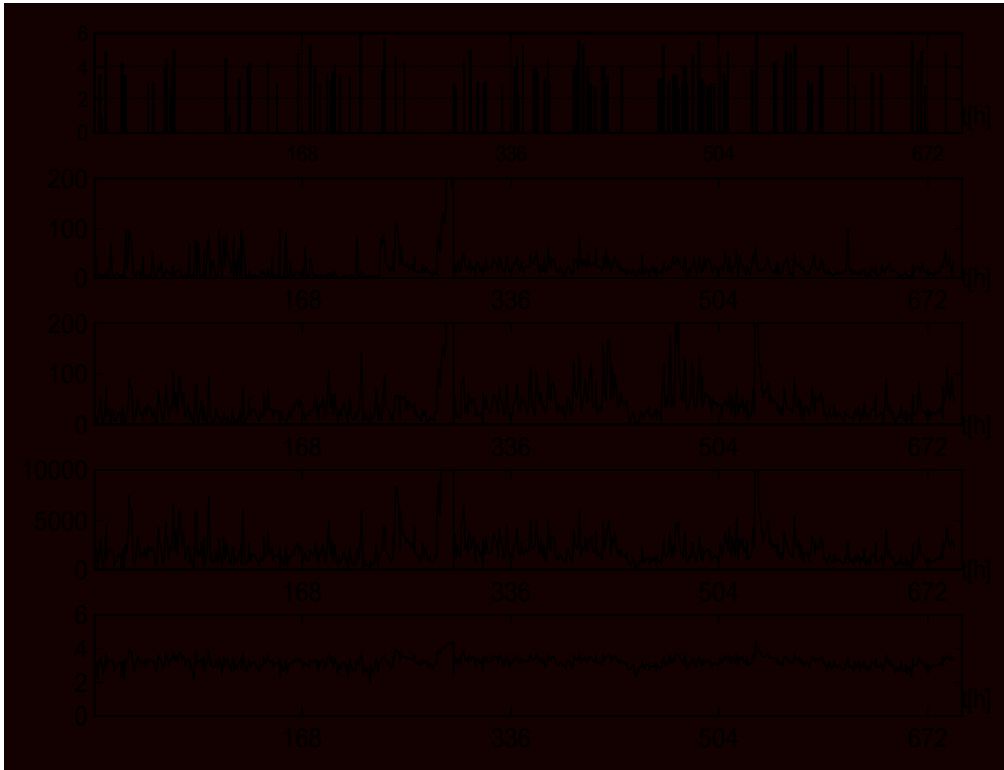
Opisaną w rozdz. 2 i 3 metodę estymacji energii AE (a następnie prognozy E^c) zastosowano w ścianie 407a kopalni „Staszic”.

Ściana 407a zlokalizowana jest w polu Centralnym kopalni, w drugiej – środkowej warstwie pokładu 510. Z uwagi na realne zagrożenie tąpnięciami stwierdzone w trakcie wybierania poprzedniej ściany 406a oraz w czasie prowadzenia robót przygotowawczych dla ściany 407a, pole wybiegu tej ściany zostało zaliczone do III stopnia zagrożenia tąpnięciami, pomimo przeprowadzonej wcześniej eksploatacji odprężającej z zawałem stropu w warstwie przystropowej pokładu. Ściana 407a jest aktualnie najbardziej aktywną ścianą w kopalni. Do 15 marca 2006 roku z rejonu ściany zarejestrowano 5 wstrząsów o energii rzędu 10^6J , 71 wstrząsów o energii rzędu 10^5J . Przyczyną tak dużej aktywności w tej części złoża jest wytworzenie licznych krawędzi prowadzoną w przeszłości eksploatacją pokładu 501 oraz występowanie mocnych warstw piaskowca w sąsiedztwie tego pokładu. Z powodu zaburzeń sedymentacyjnych został on wyeksploatowany w sposób nieregularny z pozostawieniem wielu resztek, co ma decydujący wpływ na stan zagrożenia tąpnięciami w trakcie prowadzenia eksploatacji drugiej warstwy pokładu 510 ścianą 407a.

Kopalniana stacja geofizyczna wyposażona jest w:

- 16-kanałową aparaturę sejsmologiczną typu PCMG-3 z rejestratorem ARAMIS współpracującym z komputerem,
- 24-kanałową aparaturę sejsmoakustyczną PRS- 4a oraz 8-kanałową aparaturę ARES,
- aparaturę geofizyczną WLIS 96.

Obserwacje sejsmoakustyczne ściany prowadzone są aparaturą PRS za pomocą dwóch geofonów typu TSA/NA/G: nr 3 zabudowanym w pochylni VIIIa i nr 12 zabudowanym w pochylni VIIa.



Rys. 4.1 Przykład estymacji energii AE – oznaczonej $E(t_h)$ – na podstawie rejestrowanej aparaturą PRS energii umownej $E_{A,B}^u(t_h)$ ze śc. 407a kopalni „Staszic” w okresie 28.12.2005–26.01.2006.

Pokazano kolejno od góry:

- ciąg wstrząsów; energię umowną $E^u(t)$ z kanału nr 3; energię umowną $E^u(t)$ z kanału nr 12;
- energię fizyczną AE obliczoną zgodnie z rozdz. 3; logarytmiczną energię fizyczną AE

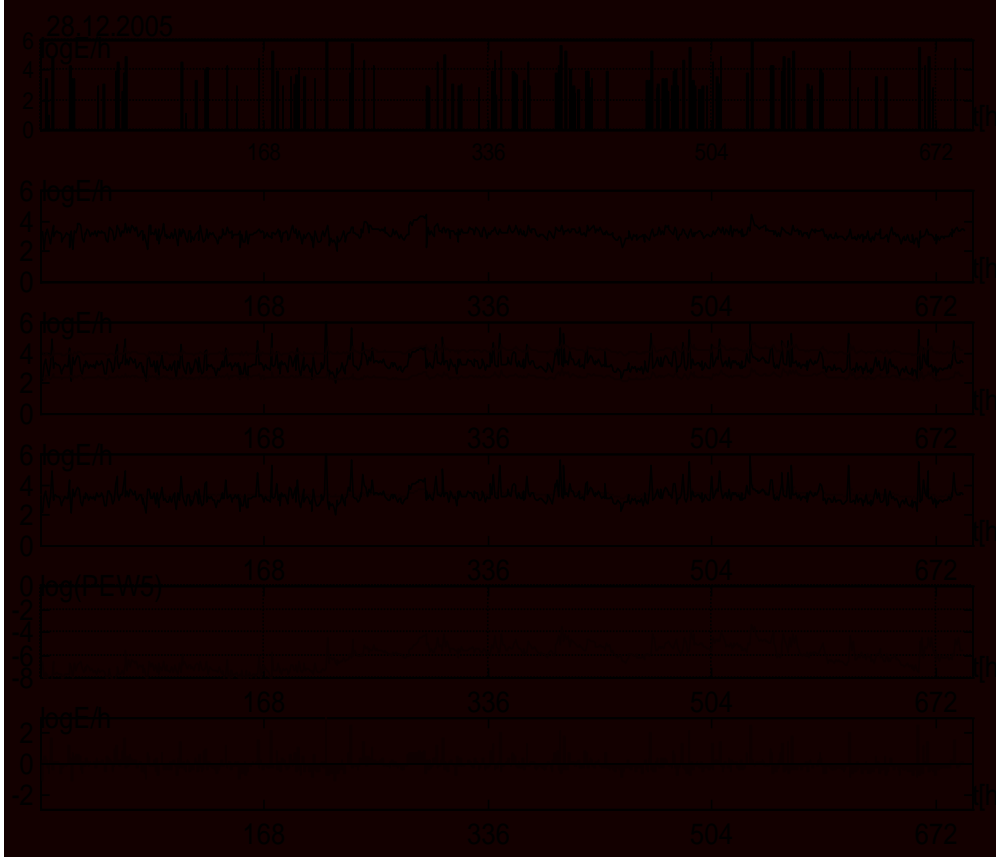
Fig. 4.1 An example of AE energy $E(t_h)$ estimation on the basis of $E_{A,B}^u(t_h)$ registered at the 407a/510 longwall at the Staszic Coal Mine (28.12.2005–26.01.2006).

From the top to the bottom:

- time series of tremors energy; time series of seismoacoustic energy (channel 3); time series of seismoacoustic energy (channel 12); time series of AE energy; time series of logarithmic AE energy

Przykład wyników czterotygodniowej estymacji godzinowej energii AE pokazano na rys. 4.1. Przyjmujemy, że rysunek składa się z „linii”, a na osi poziomej zawsze jest czas w godzinach. W pierwszej górnej linii pokazano ciąg (pochodzących z rejonu tej samej ściany co AE) wstrząsów wskazujący że ściana jest zagrożona a energie wstrząsów określone są w dżulach na skali logarytmicznej. W liniach drugiej i trzeciej pokazano godzinowe wartości (niemianowanej) energii umownej $E^u(t_n)$. Energie te nie są addytywne względem fizycznej energii wstrząsów. W linii czwartej pokazano estymowaną godzinową energię fizyczną AE emitowaną ze ściany, obliczoną – najpierw dla każdego z kanałów osobno zgodnie z (3.17), a następnie uśrednioną. Energia ta wyznaczona jest w dżulach i jest addytywna względem energii wstrząsów. Można zauważyć, że energia ta oscyluje (zazwyczaj) w przedziale od $1 \cdot 10^3$ J/godz. do $3 \cdot 10^3$ J/godz., przyjmując wyższe wartości w sytuacjach „awaryjnych” i w chwilach wystąpienia niektórych (zapewne bliskich) wstrząsów. W linii piątej pokazano

godzinową energię logarytmiczną ($\log E(t)$) wykorzystywaną w zadaniu prognozy. Rysunek ten demonstruje, że obliczenia mogą być bez żadnych problemów wykonywane w czasie rzeczywistym a ich wyniki są realistyczne (choć nie należy – ze względu zarówno na założenia metody jak i na jakość pomiaru i aparatury – się łudzić, że są dokładne). Na rys. 4.2 pokazano przykład rzeczywistego zastosowania opisanej w tej pracy metody do prognozy całkowitej (AE + wstrząsów) energii sejsmicznej $E^c(t)$ i prognozy (poprzednio zdefiniowanego) zagrożenia sejsmicznego.



Rys. 4.2 Wyniki prognozy szeregu czasowego energii (całkowitej) w przypadku około czterotygodniowej (693 godziny) obserwacji ściany 407a/510 w kopalni „Staszic”, wykorzystując 2 czujniki AE. Od góry: ciąg wstrząsów, pod nim ciąg całkowitej energii sejsmicznej, pod nim obserwowana energia całkowita $E_{LT}(t_i)$ w otoczeniu granic 90% przedziałów ufności dla prognozy. W linii 4 prognozowane wartości $E_{LT}(t_i)$ (kropki) na tle wartości obserwowanych. W linii 5 prawdopodobieństwo przekroczenia przez $E_{LT}(t_i)$ progno $5 \cdot 10^5$ J (skala logarytmiczna!) czyli zagrożenie sejsmiczne. W ostatniej linii błędy prognozy.

Fig. 4.2 Prediction results for the time series of total energy in case of about four weeks of (693 hours) observations at the 407a/510 longwall at the Staszic Coal Mine, with 2 AE sensors. From the top to the bottom: time series of tremors energy, below time series of total seismic energy. In the third line the hourly total $E_{LT}(t_i)$ energy between the limits of 90% confidence intervals for prediction. In the line 4 there are predicted values of $E_{LT}(t_i)$ (dots) and observed values of $E_{LT}(t_i)$. In the sixth line there is probability of exceedance of the “safety threshold” $5 \cdot 10^5$ J (called there “the seismic hazard”) and in the last line prediction errors are shown.

Zwracamy uwagę, że skoro zagrożenie sejsmiczne jest prawdopodobieństwem, to zawsze mieści się w przedziale od 0 do 1. Jeśli przedział ten podzielimy na odcinki $(0 - 10^{-5})$, $(10^{-5} - 10^{-4})$, $(10^{-4} - 10^{-3})$, $(10^{-3} - 1)$ i nazwiemy je odpowiednio stanami a, b, c, d zagrożenia sejsmicznego, to użytkownik nie musi nawet wiedzieć o istnieniu prawdopodobieństw i mamy bezpośrednie nawiązanie do znanej klasyfikacji stanów zagrożenia.

Nie oznacza to jednak, że metoda jest tożsama z którąkolwiek ze znanych metod oceny zagrożenia tąpnięciami.

Pierwsze dwie (górne) linie na rys. 4.2 stanowią powtórzenie linii pierwszej i piątej z rysunku 4.1 – by zilustrować użyteczność i potrzebę estymacji energii. W linii trzeciej pokazano całkowitą (godzinową, logarytmiczną) energię $\log E^c(t_h)$ w otoczeniu granic 90% przedziału ufności dla prognozy. W linii czwartej pokazano ponownie $\log E^c(t_h)$ (linia ciągła) oraz wartości średnie wyprognozowanej energii $\bar{E}^c(t_h)$. W linii piątej przedstawiono zagrożenie sejsmiczne (na skali logarytmicznej, tzn. symbol -4 oznacza 10^{-4} itd.) zdefiniowane jak to opisano powyżej (zauważmy, że zagrożenie to oscyluje w stanach „a” i „b”, sporadycznie osiągając wartości -4 tzn. stan „c”). W linii szóstej pokazano błędy prognozy energii, które – jak należało się spodziewać – są największe w chwilach wystąpienia wstrząsów.

Rysunek ten demonstruje użyteczność opisaną metodą estymacji energii AE i możliwość otrzymania – za jej pomocą – realistycznych ocen zagrożenia.

5. Podsumowanie

- a) W artykule przedstawiono uproszczony sposób estymacji emitowanej fizycznej energii emisji sejsmoakustycznej bez lokalizacji źródeł dla przypadku ściany 407a kopalni „Staszic” obserwowanej dwoma czujnikami aparatury PRS oraz przy założeniu, że w godzinowych okresach czasu źródła AE rozłożone są wzdłuż ociosu ściany, a w ośrodku występuje pochłanianie energii falowej.
- b) Wyprowadzony estymator (3.17) umożliwia bardzo łatwą choć tylko przybliżoną, estymację fizycznej energii AE na podstawie określonej na wyjściu systemu sejsmoakustycznego energii umownej E^u , dla danej odległości d czujnika od skrzyżowania.
- c) Estymator energii wymaga przed przystąpieniem do obliczeń wyznaczenia współczynnika tłumienia α na wybiegu ściany oraz współczynnika „wzmocnienia energii” k_{PRS}^e przez minikomputer PRS. Laboratorium Sejsmoakustyki GIG dysponuje metodami pomiaru tych wielkości.

Literatura

- [1] Kornowski J, 2005: Estymacja skumulowanej energii AE z zastosowaniem modeli wieloparametrowych. [W:] Warsztaty Górnicze 2005, IGSMiE PAN Kraków, 365–372.
- [2] Kornowski J., Kurzeja J., 2005: Estymacja energii AE na podstawie „energii umownej” i modelu rozkładu intensywności emisji. [W:] Warsztaty Górnicze 2005, IGSMiE PAN Kraków, 373–390.
- [3] Waśko A., Kornowski J. 2005: Podstawowe zagadnienia estymacji skumulowanej energii AE na podstawie „energii umownej”, bez lokalizacji ognisk. [W:] Warsztaty Górnicze 2005, IGSMiE PAN Kraków, 501–513.
- [4] Kornowski J., Cianciara B., Sadlok R., Świątłoch K., Trombik M., Zuberek W., 1996: Metoda sejsmoakustyczna oceny stanu zagrożenia tąpnięciami. W: zasady i zakres stosowania kompleksowej metody oceny stanu zagrożenia w zakładach górniczych wydobywających węgla kamiennego. Seria Instrukcje nr 1, GIG, Katowice.

Basis of seismoacoustic prediction emission energy emitted from mining coal bed

We demonstrate the possibility of approximate estimation of (physical – as apposed to so called conventional) AE energy without localization of AE sources, applying two geophones of (rather obsolete) PRS seismoacoustic system. These energies, estimated in constant time intervals, are summed with energies of seismic tremors located in the same longwall, constituting hourly time series of the total seismic energy from given longwall, and these time series are subjects of prediction procedure.

Przekazano: 15 marca 2006 r.