

Joanna KURZEJA

Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Sejsmoakustyczna prognoza intensywności uwalniania energii sejsmicznej w kolejnych jednostkach czasu na podstawie danych z ZG „Piekary”

Streszczenie

W referacie przedstawiono adaptację liniowej teorii predykcji szeregów czasowych do prognozy intensywności energii sejsmicznej w kolejnych jednostkach czasu. Do tego celu wykorzystano mieszany model sejsmologiczno – sejsmoakustyczny polegający na utworzeniu ciągów czasowych z sumarycznych energii sejsmoakustycznych i energii wstrząsów przypisanych do tego samego wyrobiska ścianowego. Przedstawiono wyniki prognozy na danych pomiarowych z ZG „Piekary” w postaci wartości błędów predykcji obliczonych programem predykcyjnym oraz wnioski wynikające z tych badań.

1. Wprowadzenie

Z pojęciem ryzyka spotykamy się zarówno w życiu codziennym jak i w literaturze naukowej. Występuje ono wszędzie tam gdzie występuje jakiekolwiek zagrożenie. Dlatego definiując pojęcie ryzyka posługujemy się pojęciem zagrożenia.

W materiałach szkoleniowych angielskiej firmy konsultingowej (AEA Technology) ryzyko definiuje się jako miarę prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia wraz z konsekwencjami jego wystąpienia. Natomiast zagrożenie to substancje, stany/procesy fizyczne/chemiczne, zdarzenia lub zestaw okoliczności mogących prowadzić do szkód lub strat.

W górnictwie spotykamy się z zagrożeniem sejsmicznym (czasem zwanym również ryzykiem sejsmicznym), które definiuje się (Gibowicz i Kijko 1994) jako prawdopodobieństwo pojawienia się zdarzenia sejsmicznego o magnitudzie lub energii nie mniejszej od pewnej ustalonej wartości, w pewnym obszarze przestrzeni i interwale czasowym. Prognozując zagrożenie sejsmiczne metodą sejsmoakustyczną, która – współpracując z metodą sejsmologiczną - umożliwia nam ciągłą (tzn. w kolejnych jednostkach czasu) obserwację całkowitej, czyli sejsmoakustycznej i sejsmologicznej energii emitowanej przez górotwór nie utożsamiamy zagrożenia z prognozą konkretnego wstrząsu lecz staramy się określić z jakim prawdopodobieństwem wydzieli się w pewnym interwale czasowym energia większa od wartości energii krytycznej (z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy). Zagadnienie prognozy zagrożenia sprowadza się do dwóch zagadnień:

- określenia rozkładu energetycznego wstrząsów, a właściwie jego gęstości $g(E, \lambda)$ - tym się zajmuje sejsmologia (Lasocki 1995, Marczak i Zuberek 1994),

- prognozowania parametru $\lambda(t)$ dla przyszłego przedziału czasowego – tu istnieje możliwość wykorzystania sejsmoakustyki .

Na podstawie tak przyjętych założeń sformułowano pojęcie sejsmoakustycznej prognozy intensywności uwalniania energii sejsmicznej w kolejnych jednostkach czasu jako estymację najbardziej prawdopodobnej wartości całkowitej energii sejsmicznej wydzielonej w nadchodzącej jednostce czasu na podstawie dotychczas zmierzonych jej wartości.

Do realizacji zadania prognozy zastosowano metodę prognozy liniowej. Słowa „prognoza” i „predykcja” traktowane są jako synonimy.

2. Prognoza liniowa

Istnieje wiele sposobów prognozowania, znanych w literaturze jako teoria predykcji. Wybierając spośród wielu metod sposób prognozy należy wziąć pod uwagę dwa kryteria doboru. Prognoza powinna być:

- najlepsza z możliwych w pewnej klasie metod prognozujących – prognoza optymalna, minimalizująca błąd prognozy,
- użyteczna w zastosowaniach.

W związku z powyższym do realizacji zagadnienia wybrano metodę liniową (wienerowską).

2.1 Podstawy teoretyczne

Metoda liniowej prognozy skorelowanych, stacjonarnych szeregów czasowych została opracowana na przełomie lat trzydziestych i czterdziestych ubiegłego wieku (ubiegłego wieku) niezależnie przez Wienera i Kołmogorowa (Kołmogoroff 1941, Wiener 1949). Następnie rozwijana, znalazła wiele zastosowań między innymi w wojskowości, a w latach sześćdziesiątych w sejsmice poszukiwawczej (Robinson 1967).

Zadanie prognozy liniowej (w dużym uproszczeniu) sprowadza się do rozwiązania układu równań normalnych

$$\sum_{i=0}^M r_{j-i} a_i = g_j \quad (j = 0, 1, \dots, M) \quad (2.1)$$

gdzie:

r – wartość funkcji autokorelacji zmiennej wyjaśniającej (prognozującej),

g – wartości korelacji wzajemnej między zmienną wyjaśniającą a wyjaśnianą (prognozowaną) a prognozowaną),

M – rząd modelu.

Należy zauważyć, że gdy chcemy prognozować na jedną jednostkę czasu do przodu to szereg prognozowany jest szeregiem prognozującym przesuniętym o jedną jednostkę czasu i wówczas $g_k = r_{k+1}$.

W wyniku rozwiązania tego układu otrzymuje się składowe operatora liniowego $A = \{a_0, \dots, a_M\}$ przekształcającego (splotowo) szereg prognozujący w szereg prognozowany przy spełnieniu warunku minimalizacji błędu średniokwadratowego.

Istnieją dwie metody (znane autorce) wyznaczania optymalnej wartości M , opracowane przez japońskiego statystyka Akaike (1969 i 1974). Jest to metoda AIC(p) (Akaike Information Criterion) oraz metoda FPE(p) (Final Prediction Error).

W pracy zastosowano drugą z wymienionych metod z dwóch powodów tzn. przede wszystkim $FPE(p)$ jako wariancja ciągu błędów predykcji dla filtru predycyjnego rzędu p umożliwia wybór optymalnego rzędu modelu, określonego wartością parametru p minimalizującego $FPE(p)$ oraz pozwala zorientować się w dokładności prognozy, którą określa minimum $FPE(p)$. Dokładność prognozy definiujemy jako iloraz

$$I = FPE(p)/\sigma_o > 0 \quad (2.2)$$

gdzie:

$FPE(p)$ - wariancja ciągu błędów predykcji dla filtru predycyjnego rzędu p ,

σ_o - wariancja oryginalnego ciągu wartości energii sejsmicznej.

Im mniejsza jest wartość I , tym lepszej – w sensie średniokwadratowym – prognozy możemy oczekiwać.

2.2 Zastosowanie prognozy liniowej w predykcji łącznej energii AE i wstrząsów

Fundamentalną zasadą teorii liniowej prognozy jest stwierdzenie, że jakość prognozy zależy od korelacji między zmienną prognozowaną, a prognozującą tzn. czym większa wartość korelacji tym lepsza prognoza. Kierując się tym założeniem odrzucamy możliwość prognozy zdarzeń sejsmologicznych przy pomocy szeregu czasowego utworzonego z ich dotychczasowych rejestracji, gdyż wartości autokorelacji są niewielkie, bliskie zero. Innymi słowy: nie można prognozować sejsmologii za pomocą sejsmologii stosując prognozę wienerowską.

Ze względu na fizyczne podobieństwo emisji energii sejsmologicznej i sejsmoakustycznej - z punktu widzenia geomechaniki – mierzonej w rejonie tego samego wyrobiska oraz na podstawie analizy wartości korelacji wzajemnych (Kornowski Kurzeja, 1999; Kornowski Kurzeja, 2000) między szeregiem czasowym wydzielonych w kolejnych jednostkach czasu energii sejsmologicznych, a szeregiem czasowym wydzielonych energii sejsmoakustycznych (rejestrowanych z tego samego wyrobiska ścianowego) utworzono nowy, mieszany model liniowej prognozy.

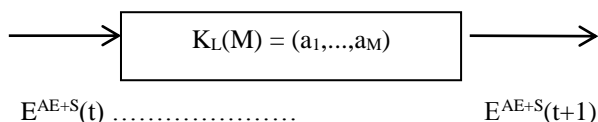
W modelu mieszanym (sejsmologiczno – sejsmoakustycznym) teorię liniowej prognozy zastosowano do predykcji przyszłych wartości szeregu czasowego utworzonego z sumarycznych energii wstrząsów sejsmicznych i rejestrowanych energii sejsmoakustycznych zmierzonych dla tego samego wyrobiska ścianowego na podstawie ich dotychczas zarejestrowanych wartości.

Tak sformułowany model liniowej prognozy można przedstawić w postaci równania:

$$E^{AS+S}(t+1) = a_1 E^{AS+S}(t) + \dots + a_M E^{AS+S}(t-M) \quad (2.3)$$

gdzie parametry $\{M, a_i, i=1, \dots, M\}$ określa się minimalizując średni błąd kwadratowy.

Metodę tę można przedstawić również w postaci schematu blokowego



gdzie:

$K_L(M)$ działa splotowo na wejściowy szereg czasowy – w naszym przypadku $E^{AS+S}(t)$ – jako zwykły filtr liniowy o skończonej odpowiedzi impulsowej $h(t)=\{ a_1, \dots, a_M \}$ otrzymując wartości $E^{AS+S}(t+1)$ – wyprognozowane.

W celu zilustrowania przebiegu prognozy zamieszczono prosty przykład:

Mamy szereg czasowy zarejestrowanych energii sejsmicznych.

$$E(t-7)=4, E(t-6)=2, E(t-5)=0, E(t-4)=1, E(t-3)=2, E(t-2)=5, E(t-1)=4, E(t)=3$$

Naszym zadaniem jest wyprognozowanie energii w przyszłej jednostce czasu $E(t+1)$ na podstawie wartości wcześniej zmierzonych przy zastosowaniu filtra o długości $M=2$.

Podstawiając wyliczone wartości korelacji do równania 2.1 otrzymujemy układ równań:

$$\begin{aligned} 1,00a_0 + 0,69a_1 + 0,40a_2 &= 0,69 \\ 0,69a_0 + 1,00a_1 + 0,69a_2 &= 0,40 \\ 0,40a_0 + 0,69a_1 + 1,00a_2 &= 0,24 \end{aligned}$$

którego rozwiązaniem są parametry filtra predykcyjnego $a_0 = 0,81$, $a_1 = -0,199$, $a_2 = 0,054$.

Splatając szereg prognozujący z wyliczonym filtrem otrzymujemy wartość wyprognozowaną energii dla przyszłej jednostki czasu

$$E(t+1) = a_0E(t) + a_1E(t-1) + a_2E(t-2) = 1,9$$

Ze względu na dużą ilość skomplikowanych obliczeń w przypadku prognozy na danych rzeczywistych, w Laboratorium Sejsmoakustyki GIG powstał program predykcyjny, który zastosowano do analizy danych z kopalni dla celów tej publikacji.

W programie można wydzielić kilka bloków związanych z kolejnymi etapami w procesie predykcji:

- wprowadzanie szeregu czasowego i jego wstępna obróbka (w tym odejmowanie średniej),
- wyznaczanie parametrów filtra optymalnego (długość oraz wartość współczynników),
- realizacja prognozy jako splotu szeregu prognozującego z szeregiem współczynników filtra predykcyjnego,
- wyznaczanie błędów predykcji (różnica pomiędzy wartościami wejściowymi, a wyprognozowanymi) oraz wielkości statystycznych takich jak: średnia, odchylenie standardowe oraz przedziały ufności dla rozkładu gaussowskiego przy zadanym współczynniku ufności.

3. Prognoza intensywności energii sejsmicznej na danych obserwacyjnych z kopalni

Podstawową bazę danych pomiarowych stanowi zbiór obserwacji sejsmoakustycznych i sejsmologicznych z ZG „Piekary”. Od kilku lat w Zakładzie tym wyznacza się energię emisji sejsmoakustycznej rejestrowaną aparaturą PRS w jednostkach mianowanych, czyli dżulach. Stworzyło to możliwość - ze względu na addytywność tak wyznaczonej energii z energią wstrząsów górniczych - wykorzystania sumarycznej energii wstrząsów i energii sejsmoakustycznej w zadaniu predykcji. Udostępniony przez kopalnię zbiór danych stanowi czterdziesto-czterodniowy ciągły zapis godzinowych rejestracji sejsmoakustycznych prowadzonych dwoma geofonami w systemie TSA/PRS dla śc.231 w pokładzie 510 w okresie od 6.07.1998 – 19.08.1998 oraz 76 elementowy zbiór wstrząsów o energiach $10^2 - 10^4$ J związanych ze śc.231.

Geofony „obserwowały” ścianę 231 z dwóch przyścianowych chodników tj. geofon 12 z upadowej 35 – badawczej, a geofon 13 z upadowej 36 – badawczej.

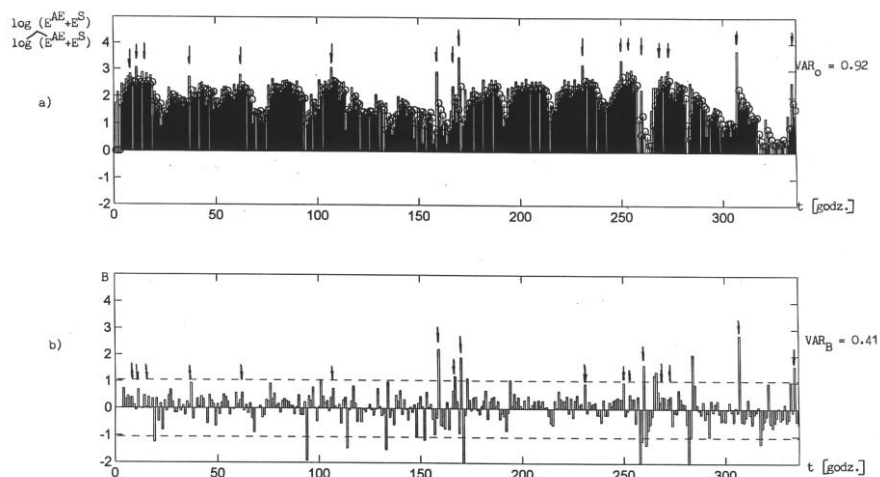
W celu uzyskania szeregów czasowych przydatnych do prognozy każdy ze zbiorów energii sejsmoakustycznych zsumowano z godzinowym szeregiem energii wstrząsów, a następnie tak uzyskane wyniki zlogarytmowano. W ten sposób otrzymano dwa podstawowe zbiory danych liczebności 1056 próbek każdy.

Oprócz danych godzinowych przygotowano również zbiory 2,4 i 8-godzinowe sumując, przed zlogarytmowaniem wartości energii sejsmologiczno – sejsmoakustycznej, odpowiednio w oknach 2, 4 i 8 – godzinowych.

Na tak przygotowanych danych przeprowadzono próby prognozy liniowej programem predykcyjnym. Wyniki prognozy przedstawiono na rysunkach (od 3.1 do 3.8) oraz w tabeli 3.1. Wszystkie rysunki zostały skonstruowane w taki sam sposób tzn:

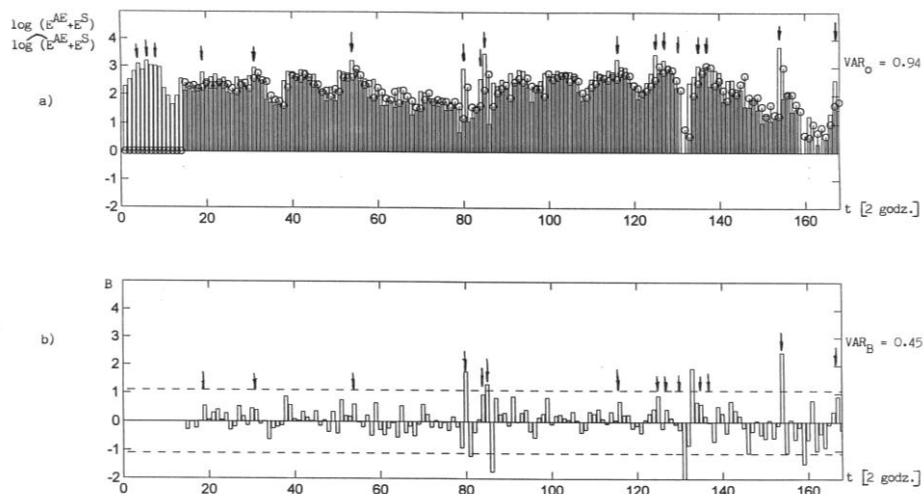
- a) w górnym rzędzie przedstawiono dwa nakładające się na siebie przebiegi:
 - słupkowy – przedstawia oryginalną, zlogarytmowaną wartość sumarycznej energii sejsmologicznej i sejsmoakustycznej w odpowiednim oknie czasowym (1, 2, 4, 8 godz.),
 - gałązkowy (kółka) – wartość wyprognozowana sumarycznej energii.
- b) w dolnym rzędzie znajduje się słupkowy wykres błęd prognozy B wraz z zaznaczonymi, przerywaną linią, przedziałami ufności.

Na rysunkach zaznaczono dodatkowo strzałkami wstrząsy, które kopalniana stacja geofizyczna zaliczyła do wstrząsów lokalnych, związanych z danym wyrobiskiem. Z prawej strony rysunków zamieszczono wartości wariancji (dla 44 – dniowego okresu obserwacji) – u góry (VAR_0) dla zbioru danych oryginalnych, u dołu (VAR_B) dla zbioru błędów predykcji.



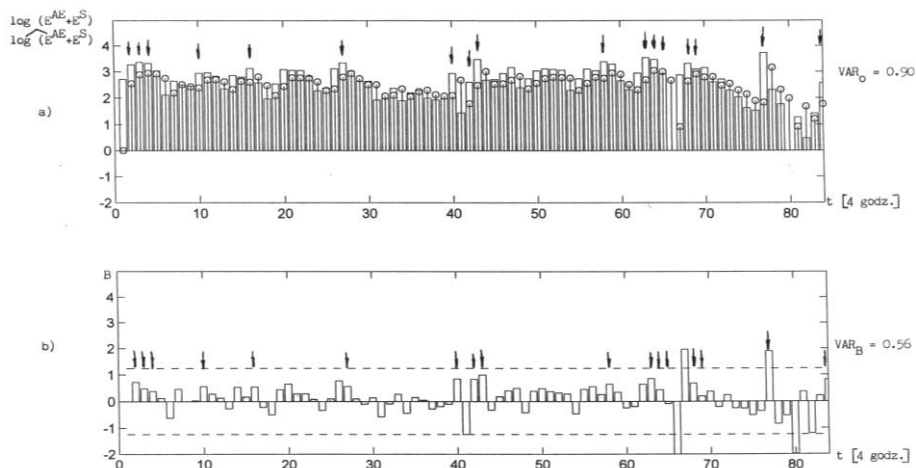
Rys. 3.1 a) Zmiany w okresie dwutygodniowym zlogarytmowanej sumy energii sejsmoakustycznej i energii wstrząsów oraz zmiany wartości wyprognozowanych filtrem predykcyjnym o długości $n=3$. b) Zmiany błędów prognozy. Wstrząsy zaznaczono strzałkami - ZG „Piekary”, sc.231 w pokł.510, geofon nr 12, 6.07.1998-19.08.1998, okno 1-godz.

Fig. 3.1 a) Changes during two weeks of observed logarithmic energy seismoacoustic and microseismological and predicted energy for filter $n=3$. b) Changes in time of prediction errors (with tremors marked by arrows) „Piekary” coal mine, longwall 231/510, geophone no 12, 6.07.1998 – 19.08.1998, window – 1 hour



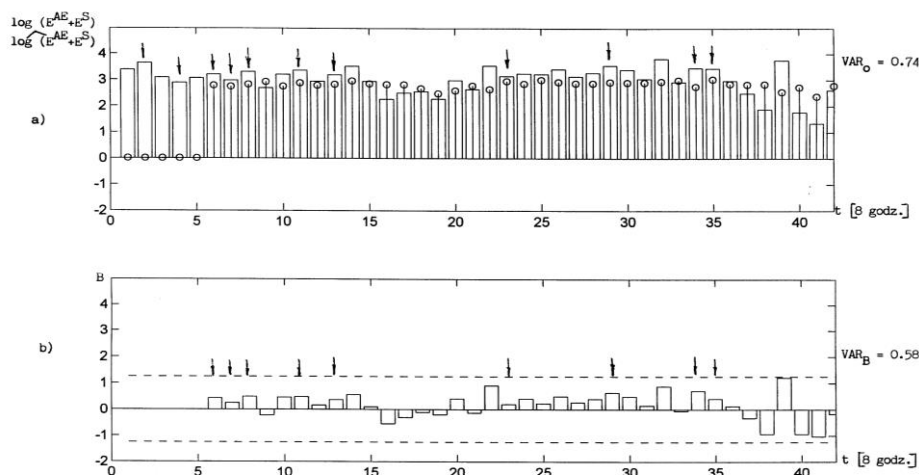
Rys. 3.2 a) Zmiany w okresie dwutygodniowym zlogarytmowanej sumy energii sejsmoakustycznej i energii wstrząsów oraz zmiany wartości wyprognozowanych filtrem predykcyjnym o długości $n=14$. b) Zmiany błędów prognozy. Wstrząsy zaznaczono strzałkami. ZG „Piekary”, sc.231 w pokł.510, geofon nr 12, 6.07.1998-19.08.1998, okno 2-godz.

Fig. 3.2 a) Changes during two weeks of observed logarithmic energy seismoacoustic and microseismological and predicted energy for filter $n=14$. b) Changes in time of prediction errors (with tremors marked by arrows). „Piekary” coal mine, longwall 231/510, geophone no 12, 6.07.1998 – 19.08.1998, window – 2 hours



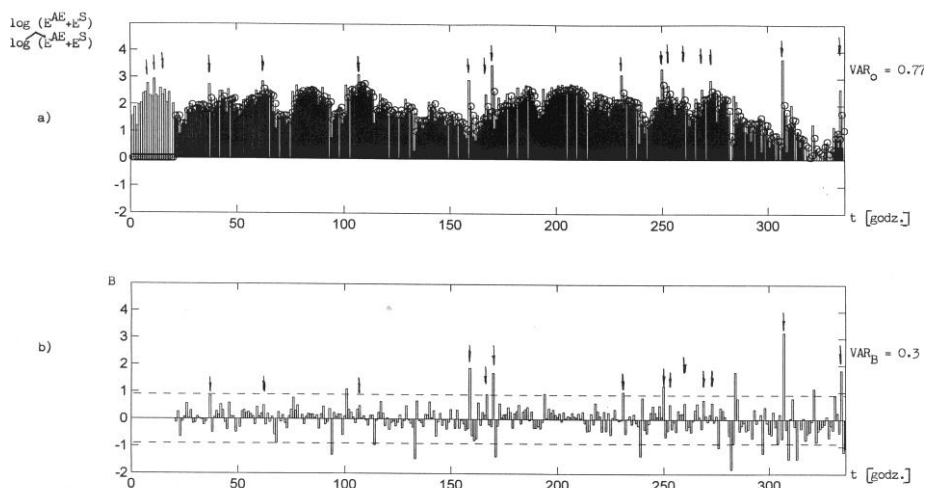
Rys. 3.3 a) Zmiany w okresie dwutygodniowym zlogarytmowanej sumy energii sejsmoakustycznej i energii wstrząsów oraz zmiany wartości wyprognozowanych filtrem predykcyjnym o długości $n=1$. b) Zmiany błędów prognozy. Wstrząsy zaznaczono strzałkami. ZG „Piekary”, sc.231 w pokł.510, geofon nr 12, 6.07.1998-19.08.1998, okno 4-godz.

Fig. 3.3 a) Changes during two weeks of observed logarithmic energy seismoacoustic and microseismological and predicted energy for filter $n=1$. b) Changes in time of prediction errors (with tremors marked by arrows). „Piekary” coal mine, longwall 231/510, geophone no 12, 6.07.1998 – 19.08.1998, window – 4 hours



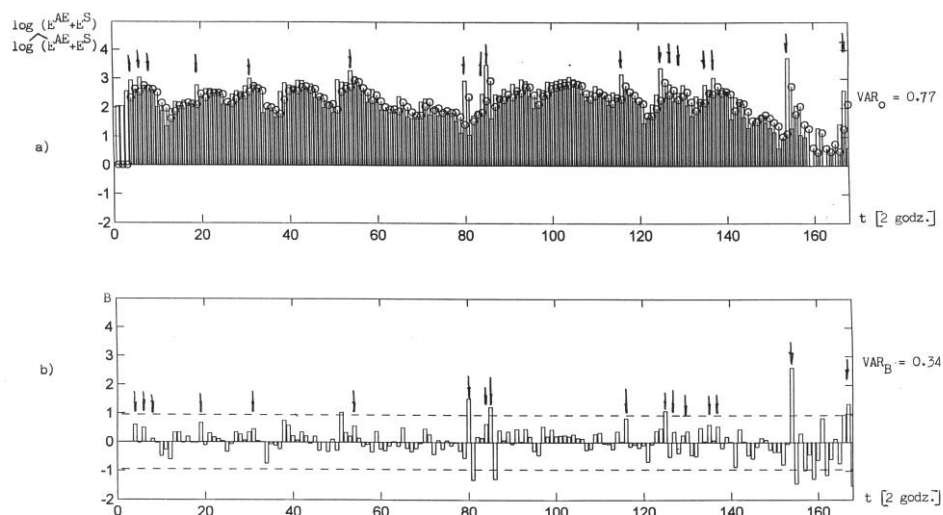
Rys. 3.4 a) Zmiany w okresie dwutygodniowym zlogarytmowanej sumy energii sejsmoakustycznej i energii wstrząsów oraz zmiany wartości wyprognozowanych filtrem predykcyjnym o długości $n=5$. b) Zmiany błędów prognozy. Wstrząsy zaznaczono strzałkami. ZG „Piekary”, sc.231 w pokł.510, geofon nr 12, 6.07.1998-19.08.1998, okno 8-godz.

Fig. 3.4 a) Changes during two weeks of observed logarithmic energy seismoacoustic and microseismological and predicted energy for filter $n=5$. b) Changes in time of prediction errors (with tremors marked by arrows). „Piekary” coal mine, longwall 231/510, geophone no 12, 6.07.1998 – 19.08.1998, window – 8 hours



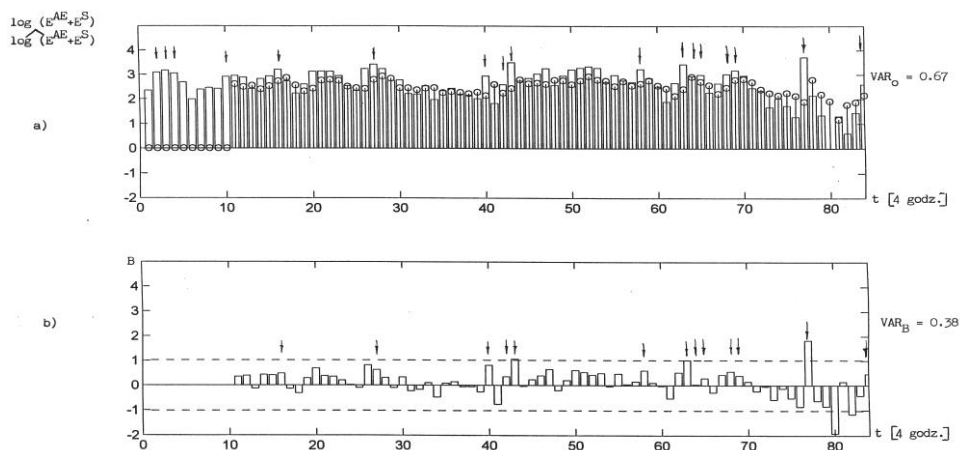
Rys. 3.5 a) Zmiany w okresie dwutygodniowym zlogarytmowanej sumy energii sejsmoakustycznej i energii wstrząsów oraz zmiany wartości wyprognozowanych filtrem predykcyjnym o długości $n=20$. b) Zmiany błędów prognozy. Wstrząsy zaznaczono strzałkami. ZG „Piekary”, sc.231 w pokł.510, geofon nr 13, 6.07.1998-19.08.1998, okno 1-godz.

Fig. 3.5 a) Changes during two weeks of observed logarithmic energy seismoacoustic and microseismological and predicted energy for filter $n=20$. b) Changes in time of prediction errors (with tremors marked by arrows). „Piekary” coal mine, longwall 231/510, geophone no 13, 6.07.1998 – 19.08.1998, window – 1 hour



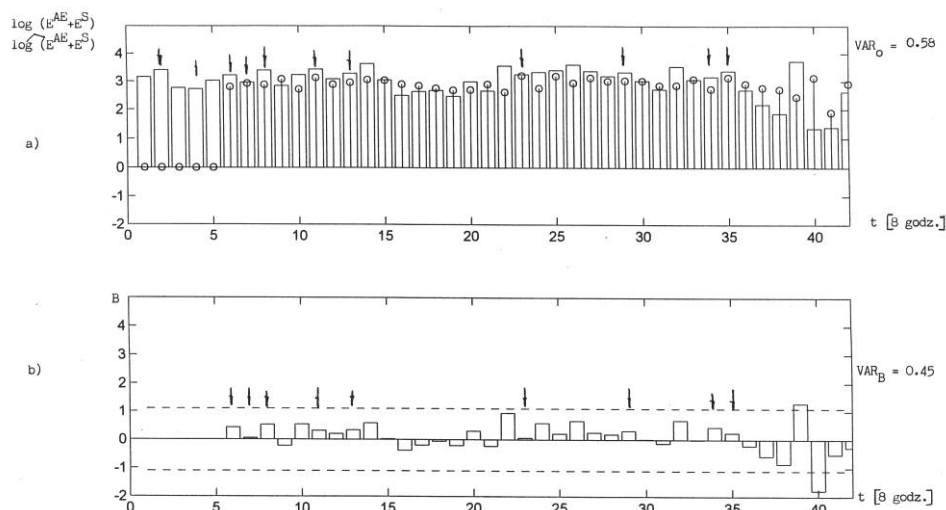
Rys. 3.6 a) Zmiany w okresie dwutygodniowym zlogarytmowanej sumy energii sejsmoakustycznej i energii wstrząsów oraz zmiany wartości wyprognozowanych filtrem predykcyjnym o długości $n=3$. b) Zmiany błędów prognozy. Wstrząsy zaznaczono strzałkami. ZG „Piekary”, sc.231w pokł.510, geofon nr 13, 6.07.1998-19.08.1998, okno 2-godz.

Fig. 3.6 a) Changes during two weeks of observed logarithmic energy seismoacoustic and microseismological and predicted energy for filter $n=3$. b) Changes in time of prediction errors (with tremors marked by arrows). „Piekary” coal mine, longwall 231/510, geophone no 13, 6.07.1998 – 19.08.1998, window – 2 hours



Rys. 3.7 a) Zmiany w okresie dwutygodniowym zlogarytmowanej sumy energii sejsmoakustycznej i energii wstrząsów oraz zmiany wartości wyprognozowanych filtrem predykcyjnym o długości $n=10$. b) Zmiany błędów prognozy. Wstrząsy zaznaczono strzałkami. ZG „Piekary”, sc.231w pokł.510, geofon nr 13, 6.07.1998-19.08.1998, okno 4-godz.

Fig. 3.7 a) Changes during two weeks of observed logarithmic energy seismoacoustic and microseismological and predicted energy for filter $n=10$. b) Changes in time of prediction errors (with tremors marked by arrows). „Piekary” coal mine, longwall 231/510, geophone no 13, 6.07.1998 – 19.08.1998, window – 4 hours



Rys. 3.8 a) Zmiany w okresie dwutygodniowym zlogarytmowanej sumy energii sejsmoakustycznej i energii wstrząsów oraz szereg wartości wyprognozowanych filtrem predykcyjnym o długości $n=5$. b) Zmiany błędów prognozy. Wstrząsy zaznaczono strzałkami. ZG „Piekary”, sc.231w pokł.510, geofon nr 13, 6.07.1998-19.08.1998, okno 8-godz.

Fig. 3.8 a) Changes during two weeks of observed logarithmic energy seismoacoustic and microseismological and predicted energy for filter $n=5$. b) Changes in time of prediction errors (with tremors marked by arrows). „Piekary” coal mine, longwall 231/510, geophone no 13, 6.07.1998 – 19.08.1998, window – 8 hours

W celu określenia jakości prognozy dla każdego szeregu wyznaczono iloraz wariancji $I=VAR_B/VAR_0$ - czym mniejsza jego wartość tym lepsza prognoza. Wartości te zostały zestawione w tabeli 3.1.

Tabela 3.1

Zestawienie wyników prognozy jako wariancji (VAR_0) dla zbioru danych oryginalnych oraz (VAR_B) dla zbioru błędów predykcji na danych z ZG „Piekary”

Table 3.1

Results of linear prediction comparing variance of original data (VAR_0) and variance (VAR_B) of linear prediction errors (data from coal mine „Piekary”)

			VAR_0	VAR_B	VAR_B/VAR_0
ZG „Piekary”	Geofon 12	1	0.92	0.41	0.45
		2	0.94	0.45	0.48
		4	0.90	0.56	0.62
		8	0.74	0.58	0.78
	Geofon 13	1	0.77	0.33	0.39
		2	0.77	0.34	0.44
		4	0.67	0.38	0.57
		8	0.58	0.45	0.78

Analizując wartości w tabeli zauważamy, że wyznaczone ilorazy wariancji mają tendencję wzrostową wraz ze wzrostem okna czasowego zsumowanych energii, niezależnie od czujnika.

Minimalne wartości osiągnięto dla szeregu godzinowego utworzonego dla sejsmoakustyki z geofonu nr 13, gdzie wariancja błędu prognozy nie przekracza 40% wariancji szeregu wejściowego. Natomiast prognoza w przedziałach zmianowych jest praktycznie nieużyteczna ponieważ prognozujemy prawie z 80% błędem.

Należy pamiętać o stwierdzeniu, że prognoza dobra to przede wszystkim użyteczna prognoza czyli istotny (dla praktyków), w końcowym efekcie, jest przedział czasowy dla którego podajemy prognozę. Nie prognozowano w oknie czasowym mniejszym niż 1 godzina, np. 30 min. Przede wszystkim ze względu na trudności z uzyskaniem danych pomiarowych w tak krótkim oknie. Możemy jedynie mieć nadzieję, że wyniki w oknie 30 - minutowym, zgodnie z zauważoną tendencją mogły być jeszcze lepsze.

Należy również podkreślić znaczenie przerywanych linii na dolnych rysunkach. Zaznaczono nimi gaussowskie przedziały ufności dla wyestymowanych błędów prognozy. Na wszystkich rysunkach przy ich wyznaczaniu przyjęto 90% współczynnik ufności. Interpretujemy je w ten sposób, że dla wyprognozowanej średniej wartości energii sejsmicznej mamy 90% pewność, że jej wartość zarejestrowana znajdzie się w obliczonym przedziale wartości.

4. Podsumowanie

1. W związku z fizycznym podobieństwem mechanizmów powstawania emisji sejsmoakustycznej oraz wstrząsów sformułowane zagadnienie prognozy intensywności uwalniania energii sejsmicznej w kolejnych odcinkach dotyczy oceny najbardziej prawdopodobnej wartości całkowitej energii sejsmicznej wydzielonej w nadchodzącej jednostce czasu na podstawie parametrów sejsmoakustycznych.

2. Zaadoptowano teorię prognozy liniowej jako predykcji całkowitej sumarycznej energii sejsmologiczno - sejsmoakustycznej w przyszłej jednostce czasu np. godzinie na podstawie ciągu poprzednio zmierzonych wartości (tzw. model mieszany).

3. Przeprowadzono obliczenia programem predykcyjnym na bazie kilkudziesięciodniowych danych z ZG „Piekary”. Zbiory te obejmowały sumaryczne energie sejsmoakustyczne z sejsmologicznymi. Oryginalne zbiory obejmowały obserwacje jednogodzinowe. Grupując w czasie otrzymano obserwacje 2, 4 i 8 godzinowe. Obserwacje sejsmoakustyczne pochodziły zawsze z dwu geofonów obserwujących (z przeciwległych chodników) tę samą ścianę i dotyczyły energii.

4. Uzyskane wyniki prognozy:

a) liniowa prognoza dotycząca modelu mieszanego sejsmologiczno – sejsmoakustycznego w oknie godzinowym dała najlepsze wyniki. Średniokwadratowy błąd prognozy dla danych z ZG „Piekary” nie przekroczył 45% wariancji procesu prognozowanego czyli sumy energii sejsmicznych i sejsmologicznych.

b) dla prognoz i danych wielogodzinowych (2, 4, i 8 godz.) błąd prognozy wyraźnie wzrasta wraz z wielkością okna czasowego. Przy oknie 8 godz. wartość błędu średnio-kwadratowego jest równy 78% wariancji procesu prognozowanego w przypadku jednego jak i drugiego geofonu. Wskazuje to na możliwość bardzo korzystnego sposobu poprawy wyników poprzez skrócenie okna rejestracji np. do 30 minut. Pomiary wskazują, że poprawi to dokładność statystyczną jak i dokładność określenia zagrożenia w czasie.

Literatura

- [1] Akaike H. 1969: Fitting autoregressive models for prediction., Ann. Inst. Statist. Math., v. 21.
- [2] Akaike H. 1974: A New Look at the Statistical Model Identification., IEEE AC-19, December 1974.
- [3] Box G.E.R., Jenkins G.M. 1970: Time Series Analysis, Forecasting and Control.
- [4] Gibowicz S., Kijko A. 1994: An Introduction to Mining Seismology, Academic Press.
- [5] Kolmogoroff A.N. 1941: Interpolation and Ekstrapolation von Stationaren zufalligen Folgen., Bull. Acad. Sci.
- [6] Kornowski J., Kurzeja J. 1999: Funkcje korelacji emisji sejsmoakustycznej i sejsmologicznej oraz możliwości ich wykorzystania, Mat. Symp. Warsztaty'99, Kraków 1999.
- [7] Kornowski J., Kurzeja J. 2000: Korelacja energii wstrząsów górniczych z emisją sejsmoakustyczną i ocena możliwości jej wykorzystania w matematycznych modelach prognozy, Mat. Konf. XXIII Zim. Szkoły Mech. Górniczej.
- [8] Lasocki S. 1995: Predykcja zagrożenia sejsmicznego, Rozdz. 7.2 w: Poradnik geofizyka górniczego, Tom 2, Bibl. Szk. Ekspł., CPPGSMiE PAN, Kraków.
- [9] Robinson E. 1967: Statistical communication and detection, Hafner Publ. Co., New York.
- [10] Marczak H., Zuberek W. 1994: Geofizyka Górnicza, Śl. Wyd. Techn., Katowice.
- [11] Wiener N. 1949: The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series with Engineering Applications., J. Wiley, New York.
- [12] Wprowadzenie do analizy ryzyka – materiały szkoleniowe, AEA Technology – Consulting, Risley, Warrington, UK.

Seismoacoustic prediction of emission energy in time – series data from coal-mine „Piekary”

Simple method of linear prediction has been used to predict cumulated in Δt intervals (for $\Delta t=1,2,4,8$ hours) logarithmic energies of joint (seismoacoustic and seismic) emission. Given the 44 – days of hourly (AE and seismic) observations (1056 energy values of each) from a single longwall at „Piekary” coal – mine it has been found that, for hourly data, more than 50% of observation variance (on log scale) can be predicted with prediction quality deteriorating with observation interval increasing, as illustrated in the last column of the Table 3.1. At all the Figs. 3.1-3.8 predicted data (with circles) are superimposed on to the original summed observations and, at the lower part of figure, prediction errors with 90% confidence intervals are shown. As the method used has been a very simple one, the results are considered promising and the more elaborate studium is planned.

Przekazano: 29 marca 2001