

Roman WYŻGOLIK

Instytut Automatyki, Zakład Systemów Pomiarowych

Politechnika Śląska

SPRZĘTOWE I POROGRAMOWE METODY POLEPSZANIA WYKRYWALNOŚCI ZJAWISK MIKROSEJSMOLOGICZNYCH W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. Eksploatacja górnicza wiąże się z występowaniem różnorodnych zagrożeń, których wykrywanie i przewidywanie można oprzeć na badaniach geofizycznych. W tym celu monitoruje się stan górotworu – mas skały i ziemi nad wyrobiskiem. Polega to między innymi na rejestracji sygnałów sejsmicznych, tzw. sejsmogramów, wywołanych naprężeniami i mikropeknięciami w górotworze. Nasłuch prowadzi się w sposób ciągły, rejestruje się zaś zjawiska o energii przekraczającej pewną ustaloną wartość. Sygnały zarejestrowane dla tych zjawisk poddaje się następnie przetwarzaniu w celu określenia parametrów zjawiska, między innymi lokalizacji jego ogniska oraz oceny energii.

W artykule przedstawione zostaną problemy związane z aparaturą pomiarową oraz oprogramowaniem, wykorzystywanymi w systemach rejestracji zjawisk sejsmicznych pracujących w kopalniach węgla kamiennego. Przedstawiane problemy dotyczyć będą jednego z kilku systemów, obecnie najbardziej zaawansowanego, jakie stosowane są w polskim górnictwie. Mimo różnorodnych trudności system ten ciągle jest rozwijany i daje szerokie możliwości nie tylko rozbudowy sprzętowej, ale i prowadzenia badań naukowych nad metodami detekcji i identyfikacji zjawisk sejsmicznych.

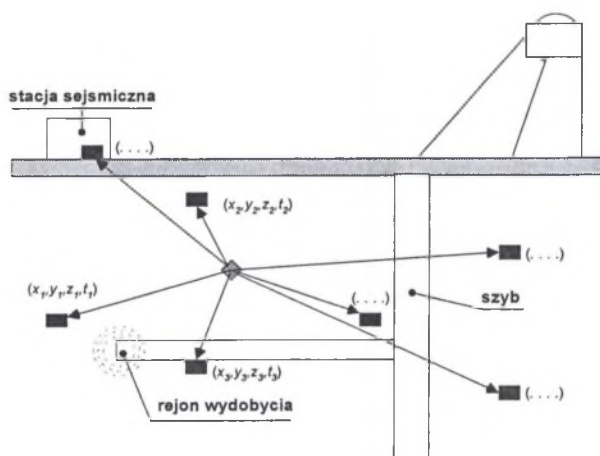
HARDWARE AND SOFTWARE METHODS OF SEISMIC EVENT DETECTION IMPROVEMENT IN POLISH COAL MINES

Summary. Coal mining leads to arising the varied of dangers which detection and prediction can be based on geophysical investigations. For this purpose, the state of the rock-mass is monitored. The seismic signals (seismograms) – the effect of the rock mass vibration and tremors – are registered using dedicated hardware. The seismic data are transmitted continuously and the events of fixed, minimum value of energy are detected and stored. Then the location of them and the energy calculation is performed.

In this paper the problems connected with the hardware and the software working in coal mine stations are presented. Discussed problems are focused on particular system, one from the many various systems working in Polish coal mines. At this time it is one of the most advanced. Against many difficulties, this system is still developed towards better versions and gives ability for the wide range of scientific investigations on methods of detection and identification of the seismic events.

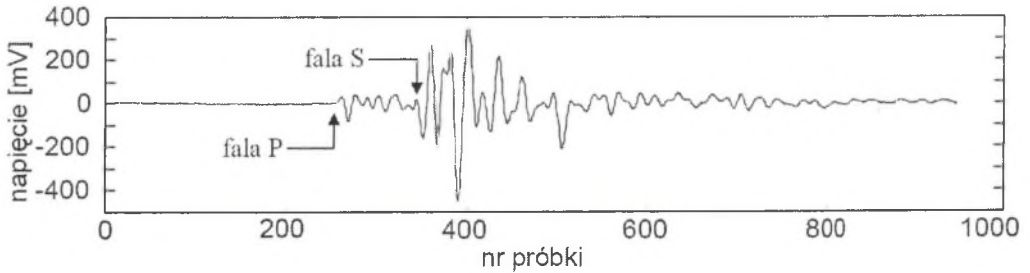
1. WSTĘP

Eksploatacja górnicza wiąże się z występowaniem różnorodnych zagrożeń, których wykrywanie i przewidywanie można oprzeć na badaniach geofizycznych. Dominującym problemem jest powstawanie naprężeń w rejonie eksploatacji, co stwarza zagrożenie w postaci możliwości pojawienia się silnego wstrząsu czy tąpnięcia. Ponieważ zagadnienie przewidywania tego typu zjawisk nie zostało do końca rozwiązane, więc istnieje konieczność ciągłego monitorowania stanu górotworu (mas skały i ziemi nad wyrobiskiem). Monitoring polega między innymi na rejestracji zjawisk sejsmicznych, wywołanych naprężeniami i mikropęknięciami w górotworze, które są źródłem sygnałów sejsmicznych, rejestrowanych w postaci sejsmogramów. Nasłuch prowadzi się w sposób ciągły, rejestruje się zaś zjawiska o energii przekraczającej pewną, ustaloną wartość. Sygnały zarejestrowane dla tych zjawisk poddaje się następnie przetwarzaniu w celu określenia parametrów zjawiska, między innymi lokalizacji jego ogniska oraz oceny energii. Uproszczony schemat prezentujący problem pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Zjawisko sejsmiczne i jego detekcja w sieci sejsmometrów
Fig. 1. Seismic event and it's detection in seismic system

Tąpnięcia stanowią jedno z największych zagrożeń występujących w kopalniach głębinowych. W celu oceny stopnia zagrożenia tąpnięciami wykorzystywane są metody analityczne i stochastyczne, bazujące na zapisach zjawisk sejsmicznych, rejestrowanych w kopalnianych stacjach tępnięć [5,6]. Zjawiska te rejestrowane są przez specjalne czujniki, zamieniające drgania mechaniczne podłoża, do którego są przytwierdzone, na sygnał elektryczny – najczęściej napięciowy. Powszechnie wykorzystuje się do tego celu sejsmometry, które są czujnikami prędkości przemieszczenia. W ostatnim czasie coraz popularniejsze stają się sejsmiczne czujniki przyspieszenia – akcelerometry, które ze względu na swoją konstrukcję umożliwiają łatwą budowę stanowisk trójskładowych. Sygnały z tych czujników zapisywane są w aparaturze rejestrującej i poddawane dalszej analizie. Przegląd stosowanej aparatury pomiarowej znaleźć można w [10], a w [12] zawarto szczegółowy opis propozycji cyfrowego systemu rejestracji wstrząsów. Przykładowy sejsmogram z zaznaczonym pierwszym wejściem fali P oraz S pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowy sejsmogram z wyraźnie widocznymi pierwszymi wejściami fal P oraz S
 Fig. 2. An example of the seismogram with clearly visible P and S waves

Fala P podłużna, jako że jej czoło przesuwa się równoległe do kierunku ruchu, podczas gdy fali poprzecznej S prostopadle, ma większą prędkość rozchodzenia się, przez co pojawia się w zapisie jako pierwsza. Takie rozdzielenie się fal możliwe jest, gdy czujnik znajduje się w wystarczającej odległości od źródła emisji. Zasadniczo do lokalizacji zjawiska sejsmicznego wykorzystać można czasy pierwszych wejść obu fal – wykorzystuje się wówczas metodę różnicy czasów wejścia fali P i S. Metoda ta daje dobre rezultaty, gdy zjawisko sejsmiczne zarejestrowane zostało na stanowiskach trójskładowych. Możliwe jest wtedy wyznaczenie pierwszego wejścia fali S z większą precyzją, co najczęściej nie jest możliwe dla zapisów jednoskładowych. Metody detekcji fal P i S w zapisach trójskładowych opisane zostały w pracach [8] oraz [19]. Podjęto również próby zastosowania do tego celu analizy falkowej [3, 17].

2. METODY POLEPSZANIA WYKRYWALNOŚCI ZJAWISK SEJSMICZNYCH

W kopalniach na stanowiskach jednoskładowych rejestruje się tylko składową pionową drgań – przez co trudno jest wyznaczyć poprawnie pierwsze wejście fali S. Metody lokalizacji ogniska zjawiska sejsmicznego, oparte na pierwszych wejściach fal P oraz inne, opisane zostały m.in. w pracach [14, 15, 17]. Dokładność lokalizacji ogniska zależy od wielu czynników zarówno programowych (software), jak i sprzętowych (hardware). Przede wszystkim należy zapewnić odpowiednio wysoką jakość rejestrowanych sygnałów oraz skuteczne metody detekcji pierwszych wejść fal P. Dążyć się też będzie do wykorzystania czujników trójskładowych. Tak więc wśród elementów mających wpływ na polepszenie wykrywalności zjawisk sejsmicznych wymienić można:

- metody sprzętowe
 - zwiększenie rozdzielczości przetwarzania analogowo – cyfrowego,
 - zwiększenie pasma częstotliwości aparatury rejestrującej zjawiska sejsmiczne,
 - wykorzystanie do rejestracji czujników trójskładowych,
- metody programowe
 - algorytmy identyfikacji zjawisk sejsmicznych,
 - nowe bądź ulepszone algorytmy detekcji pierwszych wejść fal P i S.

2.1. Metody sprzętowe

Pierwszym problemem, który należy postawić, jest zapewnienie odpowiedniej dynamiki przetwarzania. Związana jest ona z mocą sygnałów zjawisk sejsmicznych, którą można mierzyć w joulach J (moc związana z energią fal sejsmicznych) lub w jednostkach magnitudy (względna skala wielkości wstrząsów zaproponowana przez Richtera). Związek między tymi wielkościami jest znany, m.in. podają go S. Gibowicz oraz A. Kijko [9].

Wielkość najniższych zjawisk sejsmicznych zależna jest od poziomu dyskryminacji sieci sejsmologicznej. Obecnie najniższe zjawiska sejsmiczne, które rejestrowane są w polskich kopalniach, mają energie na poziomie $E_{min}=10^1$ J. Największe rejestrowane zjawiska mają energie na poziomie $E_{max}=10^{10}$ J. Zakres dynamiki opisany jest poniższym równaniem:

$$M = 10 \log \left[\frac{E_{max}}{E_{min}} \right] = 90 \text{ dB} \quad (1)$$

Jeśli uwzględnimy energię tła sejsmicznego E_0 , która jest na poziomie 10^{-2} J, to otrzymamy:

$$M_{max} = 10 \log \left[\frac{E_{max}}{E_0} \right] = 120 \text{ dB} \quad (2)$$

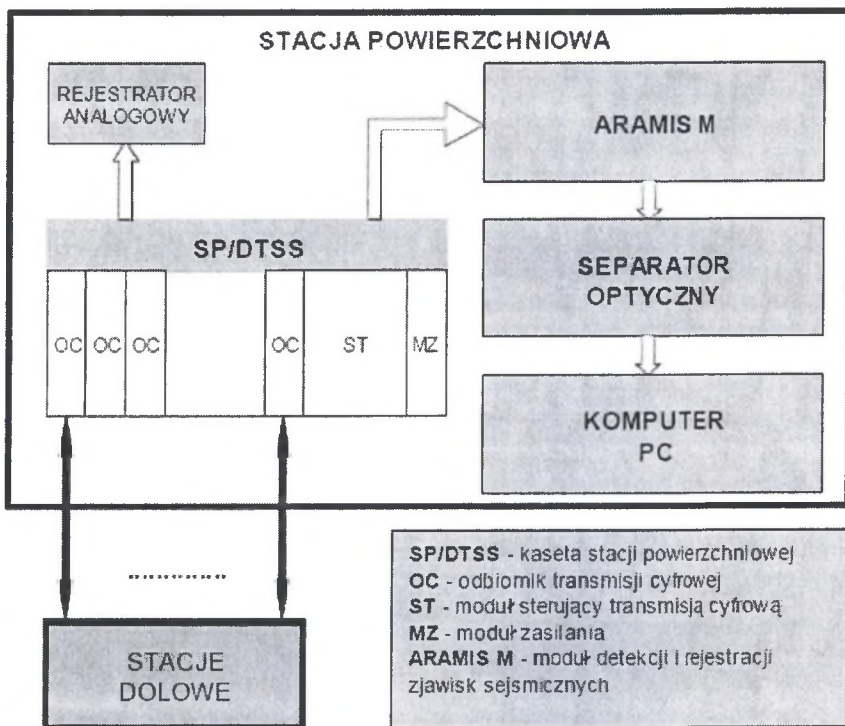
Zatem, zakres przetwarzania przetwornika analogowo-cyfrowego powinien przynajmniej częściowo obejmować tło sejsmiczne. Podstawowe równanie łączące zakres dynamiki z rozdzielczością przetwarzania analogowo – cyfrowego ma postać następującą [18]:

$$M = 6n + 1.8 \text{ dB} \quad (3)$$

gdzie n – rozdzielczość przetwornika w bitach, stąd rozdzielczość przetwornika powinna wynosić od 15 do 20 bitów.

W obecnie stosowanej w kopalniach węgla kamiennego aparaturze najlepsza dynamika przetwarzania wynosi 100 dB. Aby zapewnić taką dynamikę, konieczne było stworzenie systemu rejestracji zjawisk sejsmicznych z cyfrową transmisją danych. Trzeba zdawać sobie sprawę z tego, że sygnały przesyłane są na znaczne odległości – do 10 km. W przypadku starszych systemów, z transmisją analogową, dynamika toru transmisyjnego znacznie ograniczała możliwość uzyskania wymaganej rozdzielczości przetwarzania. Ponadto, spełnić należy rygorystyczne warunki dotyczące pracy urządzeń w strefach zagrożonych wybuchem. W oparciu o pracę [12] jak i późniejsze opracowania, w Centrum EMAG stworzono system z cyfrową transmisją danych – Aramis DTSS. Schemat blokowy tego systemu pokazano na rys. 3. Korzyści płynące z systemu cyfrowego leżą głównie w zachowaniu jednorodności próbkowanych danych sejsmicznych. Dodatkowo, wszystkie stacje dołowe synchronizowane są zegarem GPS z dokładnością do 100 ns.

Zjawiska sejsmiczne przetwarzane są z rozdzielczością 16-bitową w stacjach dołowych i transmitowane są do kasyety powierzchniowej SP/DTSS. W kasecie umieścić można maksymalnie 16 modułów odbiorników cyfrowych OC – każdy moduł stanowi osobny kanał pomiarowy. Z kasyety SP/DTSS sygnały przesyłane są do modułu Aramis-M, którego zadaniem jest wykrycie zjawiska sejsmicznego (co najmniej na kilku kanałach przekroczony musi zostać próg dyskryminacji). Następnie sygnały przesyłane są do komputera PC, gdzie następuje dalsze ich przetwarzanie – lokalizacja ogniska zjawiska sejsmicznego, ocena energii zjawiska. Zarejestrowane zjawiska mogą być dodatkowo wydrukowane na analogowym rejestratorze.

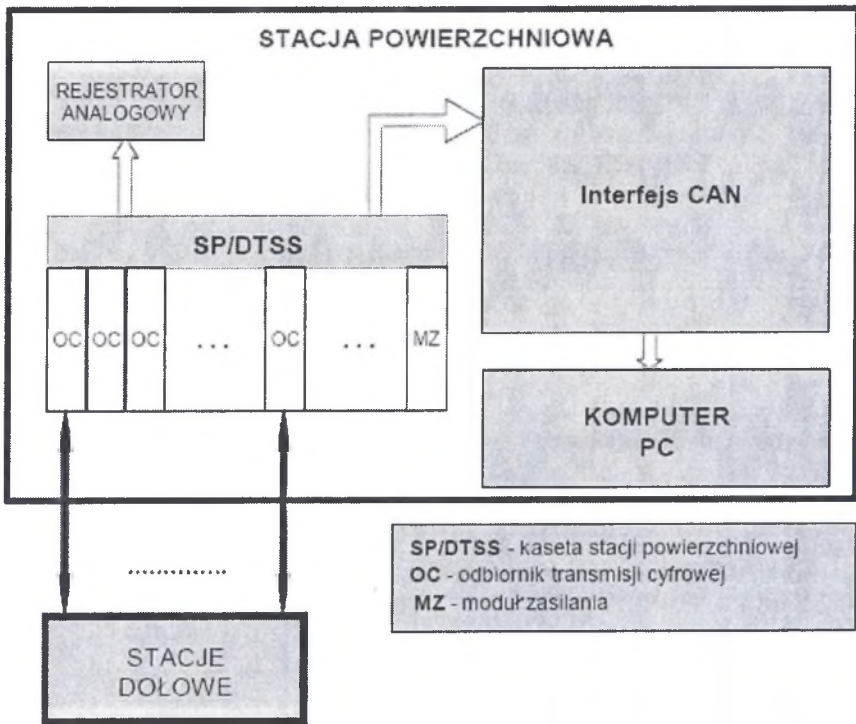


Rys. 3. Struktura systemu rejestracji zjawisk sejsmicznych Aramis-DTSS

Fig. 3. Structure of the Aramis-DTSS seismic event acquisition system

Aktualnie prowadzone są przez autora, we współpracy z KWK „Wujek”, prace nad ulepszeniem systemu. Ideą jest eliminacja modułu Aramis-M, który gubi niektóre słabsze zjawiska sejsmiczne. Obecnie wykonany został prototyp modułu odbiornika cyfrowego OC wyposażony w magistralę CAN (Controller Area Network), który umożliwi bezpośrednią transmisję danych do komputera PC [4]. Daje to duże możliwości zastosowania bardziej złożonych metod identyfikacji zjawisk sejsmicznych i detekcji pierwszych wejść fal P, które implementowane będą w oprogramowaniu komputera PC. Dalszą, spodziewaną korzyścią z modyfikacji będzie możliwość transmisji sygnałów z czujników dwu- i trójściłkowych w szerszym paśmie częstotliwości. Wykorzystanie do rejestracji zjawisk sejsmicznych czujników trójściłkowych oraz procesorów sygnałowych umożliwi w przyszłości budowę stacji dołowych, które będą w stanie zlokalizować zjawisko sejsmiczne in-situ. W perspektywie przewiduje się również zastosowanie w stacjach dołowych 22-bitowego przetwornika analogowo – cyfrowego, co pozwoli na rejestrację zjawisk sejsmicznych o mniejszych energiach, niż dotychczas są rejestrowane (zwykle 10^2 J).

Schemat zmodyfikowanego systemu pokazano na rys. 4. Należy zaznaczyć, że system jest ciągle w fazie rozwoju i testów, stąd też ze względu na wymagania w zakresie iskrobezpieczeństwa nie jest podłączony fizycznie do pracującej sieci sejsmometrów (stacji dołowych). W chwili obecnej komunikacja pomiędzy odbiornikami cyfrowymi a komputerem PC odbywa się za pośrednictwem interfejsu CAN-USB (ze względu na konieczną w fazie projektowania mobilność systemu). Docelowo będzie to karta CAN-PCI zainstalowana w komputerze PC. Widać, że wprowadzenie magistrali i interfejsu CAN spowodowało również



Rys. 4. Struktura systemu rejestracji zjawisk sejsmicznych Aramis-DTSS po modyfikacji
 Fig. 4. Structure of the Aramis-DTSS seismic event acquisition system, after the hardware modification

wyeliminowanie modułu sterującego transmisją cyfrową oraz separatora optycznego (obecnie wbudowany on jest w interfejs CAN).

2.2. Metody programowe

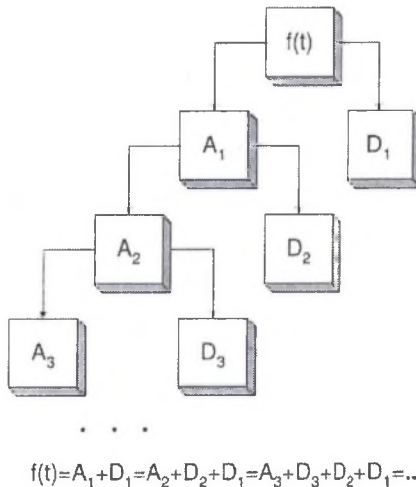
Dokładność lokalizacji ogniska zjawiska sejsmicznego w dużej mierze zależy od precyzji wyznaczenia czasów pierwszych wejść fal P w zarejestrowanych sejsmogramach. W ocenie tych czasów geofizyk wspomagany jest przez algorytm automatycznej detekcji, zaimplementowany w programie obsługującym sieć sejsmometrów. Algorytm ten bardzo dobrze spełnia swoje zadanie w przypadku zjawisk, dla których zarejestrowane sejsmogramy mają odpowiednio dużą amplitudę - wówczas pierwsze wejście fali P jest wyraźne, natomiast w przypadku zapisów o małej amplitudzie poziom szumu jest na tyle wysoki, że skutecznie utrudnia automatyczną detekcję pierwszego wejścia fali.

Istnieje wiele metod, na których bazują algorytmy automatycznej detekcji pierwszego wejścia fali P w sygnale sejsmicznym. Metody te są powszechnie znane i ich opis znaleźć można w literaturze [1, 2, 7, 11], aczkolwiek w praktyce są one modyfikowane do istniejących potrzeb, tak aby uzyskać ich optymalną skuteczność. Algorytmy bazujące na tych metodach rzadko są udostępniane, gdyż są chronione przez firmy produkujące aparaturę do rejestracji i lokalizacji zjawisk sejsmicznych.

Zaproponowana została przez autora inna od obecnie stosowanej metoda detekcji pierwszego wejścia fali P, oparta na analizie falkowej [21,22]. Przeanalizowano możliwości wykorzystania dyskretnej postaci tej metody, zwanej analizą wielorozdzielczą (spotyka się

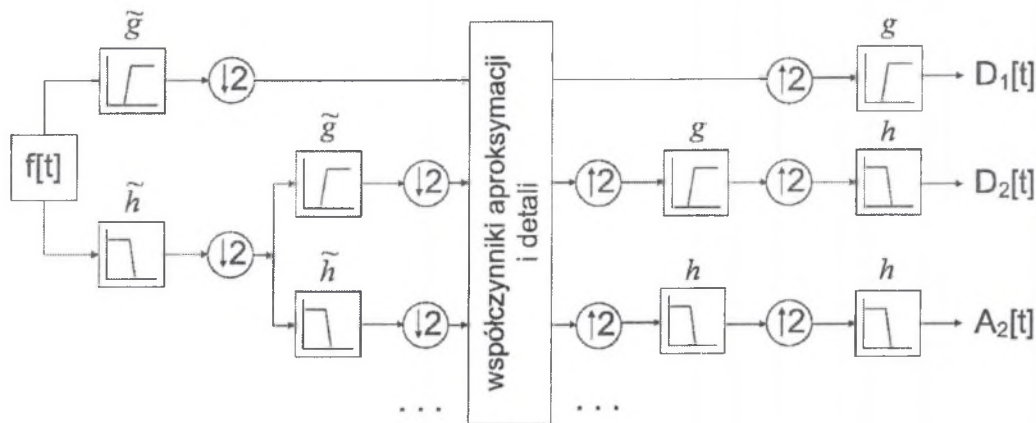
również nazwę analiza wieloskalowa [20]). Metoda ta jest użyteczna, szczególnie w tych przypadkach, gdy fala P w zapisie sygnału sejsmicznego ma niewielką amplitudę lub wręcz cały zapis ma małą amplitudę. W takim wypadku stosowany dotychczas algorytm nie radzi sobie z poprawnym określeniem pierwszego wejścia. Może ono być na tyle niejednoznaczne, że nawet geofizyk pracujący na kopalnianej stacji tapani ma problemy z poprawnym określeniem początku fali P. Zwykle takie sygnały są odrzucane.

Wykorzystanie w przetwarzaniu sygnału analizy wielorozdzielczej umożliwia przedstawienie analizowanego sygnału w postaci sumy jego reprezentacji zgrubnej i szczegółowej, na wielu poziomach rozdzielczości. Reprezentacja zgrubna nazywana jest aproksymacją sygnału na danym poziomie rozdzielczości, a reprezentacja szczegółowa – detalami na danym poziomie rozdzielczości. Detale zawierają składowe wysokoczęstotliwościowe zawarte w sygnale z wyższego poziomu rozdzielczości, natomiast aproksymacje obrazują wygładzoną wersję tegoż sygnału. Schematycznie proces uzyskiwania aproksymacji i detali pokazano na rys. 5. Nazwijmy ten proces dekompozycją sygnału na aproksymacje i detale. W wyniku dekompozycji sygnał, np. dla poziomu trzeciego, przedstawić można jako sumę aproksymacji i detali z tego poziomu oraz detali z poziomów poprzednich (drugiego i pierwszego). Metoda ta, zaproponowana przez Mallata [13], jest rekurencyjna – dla każdego następnego poziomu dekompozycji sygnałem wejściowym jest aproksymacja z poziomu poprzedniego. W literaturze nosi ona nazwę algorytmu Mallata lub w literaturze anglojęzycznej *pyramid algorithm* lub *tree algorithm*.



Rys. 5. Dekompozycja sygnału na aproksymacje A_i oraz detale D_i
 Fig. 5. Signal decomposition to approximations A_i and details D_i

Proces uzyskiwania aproksymacji i detali jest dwuetapowy. Wykorzystywane są banki filtrów dekompozycji i rekonstrukcji, stworzone w oparciu o daną falkę i stowarzyszoną z nią funkcję skalującą. Pominięte zostaną tu wzory opisujące odpowiednie zależności pomiędzy tymi funkcjami oraz wiążące ze sobą obie grupy filtrów. Zależności te znaleźć można w podanych w spisie literatury pozycjach na temat falek. Na rys. 6 pokazano jedynie w sposób graficzny przedstawiony proces dekompozycji i rekonstrukcji analizowanego sygnału.

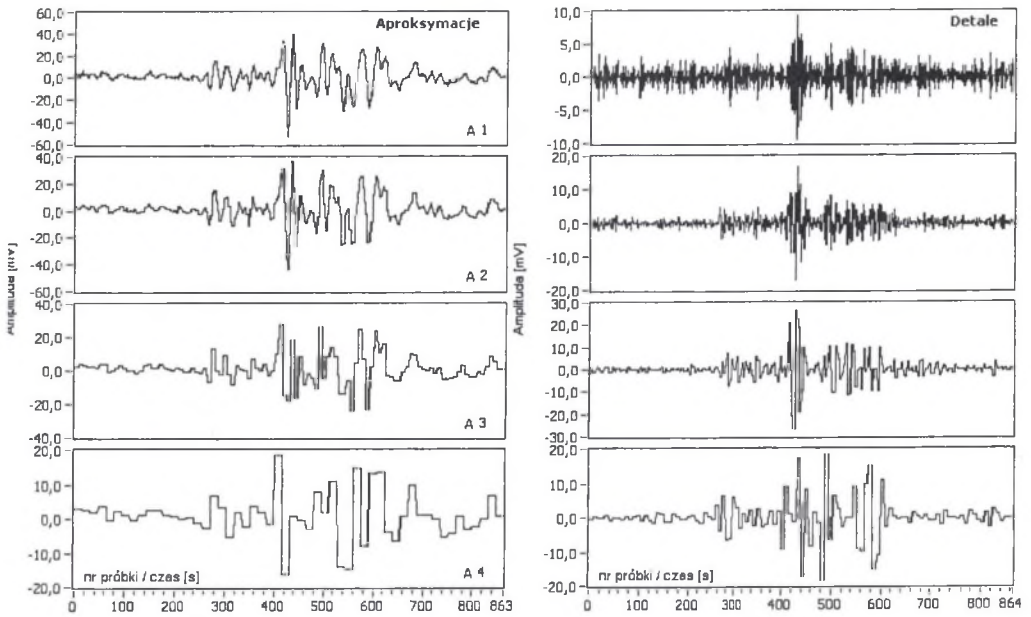


Rys. 6. Sposób otrzymywania aproksymacji i detali z wykorzystaniem banków filtrów dekompozycji i rekonstrukcji, \tilde{g}, \tilde{h} to odpowiednio górno- i dolnoprzepustowy filtr dekompozycji, a g, h odpowiadające im filtry rekonstrukcji

Fig. 6. Method of approximation and details calculation with decomposition and reconstruction filter banks, \tilde{g}, \tilde{h} are high- and lowpass decomposition filters respectively, g, h are corresponding reconstruction filters

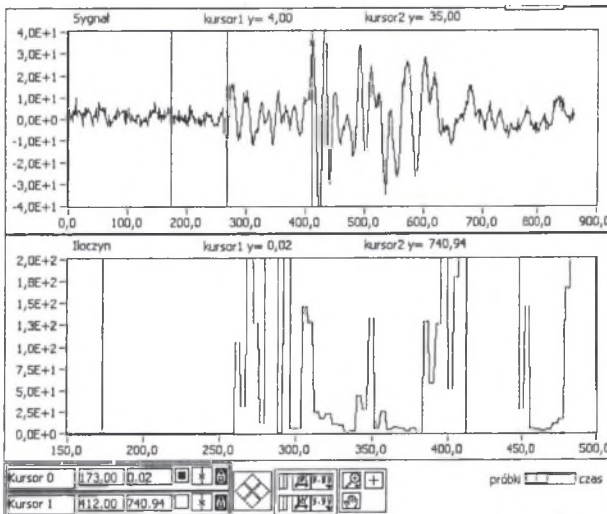
Ponieważ w detalach, z reguły na pierwszych dwóch poziomach dekompozycji, silnie objawia się szum występujący w sygnale, można je pominąć w procesie odtwarzania sygnału. W odniesieniu do rys. 5 można zamiast procedury $f[t]=A_3+D_3+D_2+D_1$ zastosować następujące sumowanie: $f^*[t]=A_3+D_3+D_2$, pomijając detale z poziomu pierwszego, które zawierają najwięcej szumów. Jest to dość radykalny sposób redukcji szumów, jaki można przeprowadzić przed samą procedurą detekcji pierwszego wejścia fali P. Praktycznie lepiej jest stosować filtrację dolnoprzepustową lub też filtrację opartą na analizie falkowej. Zaletą podejścia falkowego jest fakt redukcji szumów w całym paśmie częstotliwości – stosowane metody eliminacji progowej działają na detalach ze wszystkich poziomów dekompozycji. Oczywiście, należy pamiętać, że nie ma jednej idealnej metody filtracji, tak więc i ta ma swoje ograniczenia. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w podanych w spisie literatury pozycjach dotyczących analizy falkowej.

Do detekcji pierwszego wejścia można wykorzystać detale uzyskane w procesie analizy wielorozdzielczej. Zauważyć można mianowicie, iż pojawienie się sygnału sejsmicznego skutkuje wzrostem amplitudy detali na poszczególnych poziomach dekompozycji. Dobre rezultaty otrzymuje się przemnażając przez siebie moduły detali z wybranych poziomów dekompozycji. Do dekompozycji sygnału wykorzystano falkę Haara, która ma najbardziej zwarty nośnik spośród znanych falek, dana jest też w postaci analitycznej. Przykład dekompozycji sygnału sejsmicznego pokazano na rys. 7. Widać dużą zawartość szumu w detalach na pierwszym poziomie dekompozycji, stąd w procedurze detekcji pierwszego wejścia fali P, której rezultat pokazany jest na rys. 8, zostały one pominięte. Oba rysunki powstały z wykorzystaniem oprogramowania (w środowisku LabVIEW), jakie zostało stworzone przez autora jako element wspomaganie geofizyka w wyznaczaniu chwili pierwszych wejść fal P w słabych sygnałach sejsmicznych [23].



Rys. 7. Dekompozycja sygnału sejsmicznego o małej amplitudzie na aproksymacje i detale, wykorzystano falekę Haara

Fig. 7. Signal decomposition of low – amplitude seismic signal to approximation and details, Haar wavelets have been used



Rys. 8. Rezultat detekcji pierwszego wejścia fali P – wykorzystano detale z poziomów 2, 3 i 4

Fig. 8. An example of the P phase arrival time detection – details from 2, 3 and 4th levels have been used

3. PERSPEKTYWY ROZWOJU I WNIOSKI KONCOWE

Istotnym zagadnieniem jest automatyczna identyfikacja zjawisk sejsmicznych. Jak już wspomniano, obecnie stosowany system ze względu na ograniczenia sprzętowe wykorzystuje prostą metodę detekcji – dyskryminację progową. Typowo przyjmuje się, że jeżeli nastąpi przekroczenie progu dyskryminacji w co najmniej 4 kanałach pomiarowych, to sygnał pochodzi od zjawiska sejsmicznego i zostaje zarejestrowany. Pomija się w ten sposób zjawiska słabe, które zarejestrowane zostałyby tylko na jednym czy dwóch kanałach. Z drugiej strony, zmniejszając w obecnym systemie liczbę kanałów, w których musi zajść przekroczenie progu dyskryminacji, narażamy się na rejestrację zjawisk fałszywych (praca kombajnu, kolejka podziemna). Opisana w rozdziale 4.1 modyfikacja sprzętowa pozwala na poszukiwanie innych metod identyfikacji zjawisk sejsmicznych. W chwili obecnej są one jeszcze w fazie pomysłów i studiów literaturowych. Wydaje się, że możliwe jest do tego celu wykorzystanie analizy widma sygnału sejsmicznego, które różni się w znacznym stopniu od widma zjawisk fałszywych. Ponadto, duże nadzieje wiąże się z metodami opartymi na sieciach neuronowych. Na przykład, J. Niewiadomski podaje w [16] wyniki detekcji sygnałów sejsmicznych z wykorzystaniem sieci neuronowych. Jednakże algorytm ukierunkowany był na wykrywanie wszystkich zjawisk w obecności dużego szumu pomiarowego, wymaga więc modyfikacji do przedstawionych w tym artykule potrzeb.

Możliwości rozwoju systemu od strony sprzętowej są bardzo duże, m.in.:

- wykorzystanie interfejsu USB2 celem dalszego zwiększenia szybkości transmisji od kasyety SP/DTSS do komputera PC,
- zastąpienie komputera PC systemem PXI,
- modyfikacja stacji dołowych – wyposażenie ich w czujniki trójukładowe i procesor DSP.

Modyfikacje sprzętowe pociągają zaś za sobą możliwości badań nad nowymi, bardziej złożonymi metodami numerycznego przetwarzania rejestrowanych sygnałów.

Literatura

1. Allen R.: *Automatic earthquake recognition and timing from single traces*. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 68(5), 1978, p. 1521–1532.
2. Allen R.: *Automatic phase pickers: their present use and future prospects*. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 72(6), 1982, p. 225–241.
3. Anant K. S., Dowla F. U.: *Wavelet transform methods for phase identification in three-component seismograms*. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 87(6), 1997, p. 1598–1612.
4. Augustyniak A.: *Wykorzystanie magistrali CAN w powierzchniowych stacjach systemu rejestracji tępań z cyfrową transmisją danych*. Praca dyplomowa, Politechnika Śląska, Gliwice 2004.
5. Cianciara B., Cianciara A., Dworak M.: *Wybrane zagadnienia oceny zagrożenia tąpniętami – funkcja ryzyka*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 9–10, 1995, s. 93–97.
6. Cianciara B., Cianciara A., Isakow Z.: *Modele źródeł emisji sejsmicznej w warunkach górnictwa podziemnego*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 6–7, 1997, s. 149–153.
7. Cichowicz A., Kopystyński L.: *Algorithm for the determination of the first approach of P-wave*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Ac. Sci., Vol. 96, 1975, p. 121–130.
8. Cichowicz A.: *An automatic s-phase picker*. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 83, 1993, p. 180–189.
9. Gibowicz S. J., Kijko A.: *An introduction to mining seismology*. Academic Press, New York 1994.
10. Isakow Z., Cianciara B.: *Wkład centrum EMAG w rozwój systemów do oceny zagrożenia tąpniętami oraz kontroli oddziaływania eksploatacji podziemnej na powierzchnię obszaru górniczego*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 9–10, 2000, s. 146–159.

11. Joswig M.: *Pattern recognition for earthquake detection*. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 80(1), 1990, p. 170–186.
12. Koza J.: *Sposób pomiaru parametrów fal sejsmicznych w oparciu o urządzenie koncentrujące informacje połączone z maszyną cyfrową*. Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Instytut Automatyki, 1991.
13. Mallat S.: *A Wavelet Tour of Signal Processing, second edition*. Academic Press, London 1999.
14. Marcak H., Zuberek W.: *Geofizyka górnicza*. Śląskie Wydawnictwa Techniczne, Katowice 1994.
15. Niewiadomski J.: *Application of neural networks to seismic source location* (streszczenie), *Publs.Inst. Geoph. Pol. Ac.Sci.*, tom M-22(310), 1999, p. 170–170.
16. Niewiadomski J.: *Detekcja sygnałów sejsmicznych na zasumianych sejsmogramach*. *Publs. Inst. Geoph. Pol. Ac. Sci.*, tom M-24 (340), 2002, s. 73–80.
17. Oonincx P. J.: *Automatic phase detection in seismic data using the discrete wavelet transform*. Report PNA-R9811, Centrumvoor Wiskunde en Informatica, Netherlands, 1998.
18. Sahner G.: *Digitale Messverfahren*. VEB Verlag, Berlin 1979.
19. Wang J., Teng T.: *Identification and picking of s phase using an artificial neural network*. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 87, 1997, p. 1140–1149.
20. Wojtaszczyk P.: *Teoria Falek*. PWN SA, Warszawa 2000.
21. Wyżgolik R.: *Analiza falkowa w aproksymacji sygnałów sejsmicznych o małych amplitudach*. *Publs. Inst. Geoph. Pol. Ac. Sci.*, tom M-24(340), 2002, s. 81–93.
22. Wyżgolik R.: *Determination of P phase arrival in low-amplitude seismic signals from coal-mines with wavelets*. *Proceedings of EUSIPCO'2002*, vol. 3, p. 363–366.
23. Wyżgolik R.: *Wykorzystanie metod analizy falkowej do detekcji pierwszego wejścia składowej pionowej sygnału sejsmicznego*. Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Instytut Automatyki, Gliwice 2003.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Remigiusz Rak

Wpłynęło do Redakcji dnia 7 grudnia 2004

Abstract

Coal mining leads to arising the varied of dangers. One of the most important is seismic events due to stress. Fig. 1 presents simplified idea of seismic event detection in coal mine. This events – mainly rock mass vibration and tremors – can produce rock bursts. The prediction of occurrence of mining rock bursts is indisputable the most important for the safety of mining and protection of human lives. Therefore important is to record these events and localize them. Various apparatus work at mining tremor stations to register this events.

A seismic signal, which contain an information about seismic event, consist of several different phases (waves), amongst them significant are the P phase and S phase. An example of seismic signal is depicted in Fig. 2. These phases are commonly used in seismic event localization. To do this we need the times of arrival of the P and S phases. Accurate time arrival determination of these two phases is important in exact localization. In coalmines registered are only one-component seismograms in practice (typically from 8 up to 16 channels), therefore mainly the P phase times arrival are used in localization method.

To improve the identification of seismic events and the detection of P phases in seismic signals we try to develop new hardware and software solutions. For example – to increase the A/D resolution and the frequency bandwidth, to use 3 component sensors and new algorithms for seismic event detection and P phase arrival time detection.

To set a proper A/D resolution we need to now the minimum and maximum energy of the seismic events we want to register (in Polish coal mines) – Eq. (1) and (2) gives the answer.

Thus the requirement is 15 to 20 bits. One of the best system, currently in use, have 16 bit resolution and gives about 100 dB dynamic range. The system consist of seismic stations which work underground and the upper station equipped with digital receivers and seismic event detection system. The structure of this system is presented in Fig. 3.

We do efforts to improve the system. Currently we work, in conjunction with “Wujek” Coal Mine (in Katowice) to introduce the CAN (Controller Area Network) to the upper station. The structure of the new system is presented in Fig. 4. CAN eliminates Aramis-M module and increases the transmission speed from SP/DTSS to the PC computer. Moreover, more sophisticated seismic event detection algorithms could be used to improve the system reliability (the older system losses some low energy seismic events).

The software methods are focused on wavelet multiresolution analysis – MRA, which is applied to the P phase arrival detection in low amplitude seismic signals. The idea is presented in Fig. 5 and Fig. 6. Applying MRA to low amplitude, therefore noisy seismic signal, we can notice that details at first few levels of decomposition contain much noise (see Fig. 7), but at subsequent levels we can notice the jump of details at the moment of P phase arrival. By rejecting details at first few levels of decomposition and multiplying the absolute values of details at subsequent levels, we can gain the effect of details jump. The example result of P phase arrival detection is presented in Fig. 8.