

BADANIA STREF KONCENTRACJI ŹRÓDEŁ EMISJI SEJSMOAKUSTYCZNEJ W OKRESACH POPRZEDZAJĄCYCH MOMENTY WYSTĄPIENIA SILNYCH WSTRZĄSÓW

**Investigations of the concentration zones
of seismoacoustic emission sources in the periods preceding
the moment of occurrence of strong shocks**

Ewa Xenia TAKUSKA-WĘGRZYN

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Geofizyki;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: xenia@geol.agh.edu.pl*

Abstract: A method of prediction of an occurring shock on the basis of seismoacoustic emission has been given. The method is based on determination of zones of the sources of seismoacoustic phenomena. These zones with appropriate probability determinate a place of a future shock. In this paper a practical verification of this interpretations method of the emission recorded in the mine ZG “Rudna” has been presented.

Key words: shocks, seismoacoustics, sources of seismoacoustic phenomena

Słowa kluczowe: wstrząsy, sejsmoakustyka, źródła zjawisk sejsmoakustycznych

WPROWADZENIE

Teoretyczne podstawy sposobów oceny stanu górotworu w kopalniach podziemnych oparte są na teoriach opisujących przebieg procesu pękania skał. W szczególności bazują na nich sposoby interpretacji geofizycznych danych pomiarowych oraz kryteria oceny stopnia zagrożenia tąpnięciami. Odnosi się to między innymi do metody sejsmologicznej i sejsmoakustycznej. Zgodnie z instrukcją stosowania metody sejsmoakustycznej w KWK (Kornowski 1993), interpretacja sprowadza się do badania: przebiegu aktywności emisji, oraz energii wyzwalanej w określonych przedziałach czasu, jak również energii sumarycznej. Dla tych sposobów interpretacji podejmowane są od szeregu lat próby opracowania kryteriów oceny zagrożenia tąpnięciami. Jednak z praktyki przemysłowej wynika, że uzyskiwane na tej drodze oceny są mało efektywne. Dlatego istnieje ciągła potrzeba prowadzenia badań, które umożliwią inne, bardziej dogłębne spojrzenie na strukturę danych pomiarowych oraz sposoby ich interpretacji.

Z geomechaniki wiadomo, że procesy pękania górotworu posiadają charakter losowy o dużej dyspersji, oraz znacznej zmienności ich przebiegu w tzw. punktach bifurkacyjnych (Goszcz 1999, Jaeger & Cook 1971). Dodatkowo pęknięcie nie jest zjawiskiem podlegającym bezpośrednim obserwacjom. Procesy pęknięcia można jednak obserwować pośrednio, rejestrując wywołaną nimi emisję sejsmoakustyczną. Należy jednak podkreślić, że w praktyce górniczej rejestrowana (zgodnie z instrukcją) emisja sejsmoakustyczna zawiera z reguły bardzo wysoki poziom zakłóceń i szumu. Powiększa to znacznie dyspersję, a tym samym zmniejsza efektywność ocen uzyskiwanych w wyniku stosowania wymienionych wyżej sposobów interpretacji. W tych warunkach autor pracy jeszcze raz podejmuje problematykę badania przestrzennego grupowania się zjawisk sejsmoakustycznych (pęknięcie górotworu) w okresach poprzedzających momenty wystąpienia silnych wstrząsów.

W pracy Takuska-Węgrzyn (1998) przedstawiono teoretyczne aspekty sposobów interpretacji opartych na badaniu grupowania się zjawisk sejsmoakustycznych, głównie w odniesieniu do czasu ich występowania. Natomiast w tej pracy zasadniczym zagadnieniem jest praktyczna weryfikacja możliwości wyznaczania przestrzennego rozkładu grupowania się źródeł zjawisk w okresach poprzedzających momenty wystąpienia silnych wstrząsów. Stanowi to podstawę do oceny strefy koncentracji źródeł, która określa, z pewnym prawdopodobieństwem, miejsce wystąpienia przyszłego wstrząsu. Na podstawie rejestracji odpowiednim układem pomiarowym sygnałów sejsmoakustycznych, prowadzona jest detekcja zjawisk, a następnie identyfikacja ich źródeł, czyli wyznaczanie współrzędnych w układzie płaskim (x, y, t_0) . Aby móc to realizować, czyli wyznaczać czasowo-przestrzenne współrzędne źródeł, układ pomiarowy powinien składać się z więcej niż czterech czujników. Natomiast sygnały, na podstawie których identyfikowane są zjawiska, powinny być zarejestrowane na co najmniej czterech czujnikach. Spełnienie tego warunku powoduje, iż prawie na pewno rejestrujemy zjawiska, które reprezentują pęknięcia górotworu. Dodatkowo rozmiary tych pęknięć muszą być odpowiednio duże. W przypadku układu pomiarowego, który był wykorzystywany do prowadzenia badań, szacowana energia zjawisk przekraczała wartość $1E2$ [J], ponieważ odległość pomiędzy czujnikami była rzędu dwustu metrów. Schemat rozmieszczenia czujników przedstawiono na figurze 1. Należy podkreślić, że lokalizacja nie musiała być prowadzona bardzo precyzyjnie. Zastosowano najprostsze metody standardowe, ponieważ ich celem było określenie tylko stref koncentracji źródeł pęknięć. Przykładowe wyniki badania strefy koncentracji omawianych źródeł, w okresie poprzedzającym moment wystąpienia wstrząsu o energii równej $1.9 E6$ [J] przedstawiono na figurze 2, natomiast przykładowy wykres dobowej aktywności sejsmoakustycznej na tle aktywności sejsmologicznej w badanym rejonie kopalni „Rudna” na figurze 3.

Następnym zagadnieniem, które uzupełnia wyniki prowadzonych badań, jest interpretacja czasu wystąpienia pęknięć. Jako wyniki badań w tym zakresie przedstawiono przykłady obrazujące czasowe grupowanie się zjawisk sejsmoakustycznych w okresach przed i po wystąpieniu silnych wstrząsów. W tym przypadku istnieje większe prawdopodobieństwo niż w poprzednim, wystąpienia zakłóceń, które nie są związane z pękaniem górotworu. Aby zapewnić odpowiednią rozdzielczość przebiegu krzywej będącej miarą grupowania, należy dysponować odpowiednio dużą liczebnością, czyli aktywnością zjawisk. Spełnienie tego warunku wymusza prowadzenie detekcji zjawisk wówczas, gdy sygnał został zarejestrowany nawet przez jeden czujnik. Jest to okoliczność, która obniża efektywność ocen zagrożenia.

W przypadku warunków sejsmicznych ZG „Rudna”, gdzie były prowadzone badania, aktywność emisji jest relatywnie bardzo niska, dlatego konieczny jest taki tok postępowania. W sytuacji, gdyby aktywność była dużo wyższa, wówczas była by możliwa energetyczna selekcja zjawisk, co znacznie by podniosło efektywność ocen zagrożenia. Teoretycznie poprawa omawianej efektywności jest możliwa do przeprowadzenia, pod warunkiem odpowiedniego zaprojektowania układu pomiarowego. Konieczne jest wówczas, aby czujniki były mocowane parami, gdzie odległość w parach jest rzędu 50÷100 m. Jednak w praktyce nie jest to zawsze, ze względów technicznych, możliwe do realizacji. W związku z tym badania, z konieczności, musiały być prowadzone na materiale pomiarowym jaki był dostępny do uzyskania. Wyznaczanie stref przestrzennej koncentracji źródeł wraz z oceną stopnia czasowego grupowania się zjawisk jest bardzo przydatnym elementem w problematyce oceny zagrożenia tąpniętami oraz predykcji wstrząsów.

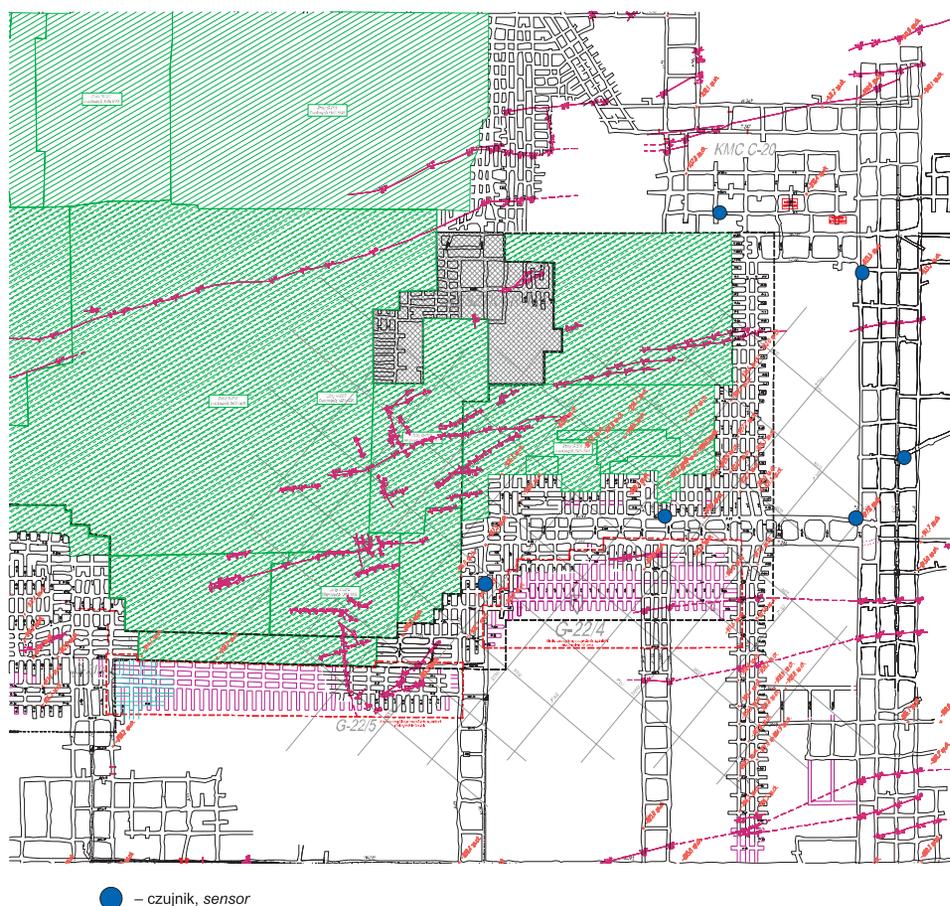


Fig. 1. Schemat rozmieszczenia czujników w oddziale G-22/4, ZG „Rudna”

Fig. 1. Schema of the sensors distribution in region G-22/4, ZG “Rudna”

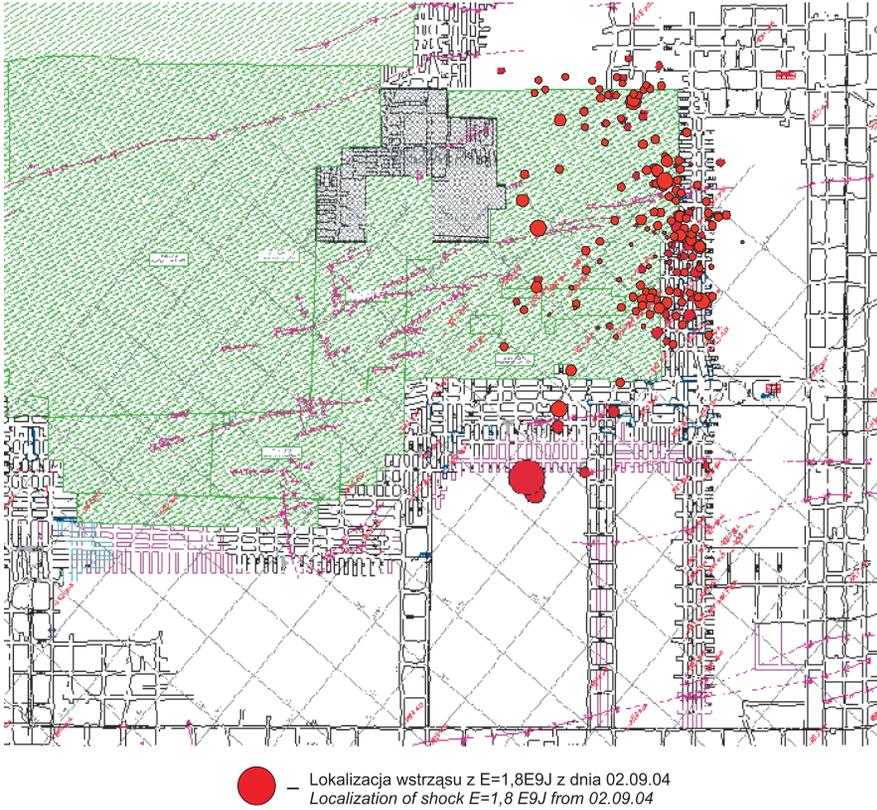


Fig. 2. Lokalizacja źródeł zjawisk sejsmoakustycznych w okresie 28.09.04-02.09.04, pole G-22/4, ZG „Rudna”. Największym kółkiem zaznaczono lokalizację wstrząsu z $E=1.8E9J$ z dnia 02.09.04

Fig. 2. The seismoacoustic sources localization in the period from 28.09.04 to 02.09.04. The largest circle appoints the localization of the shock with energy $E=1.8E9J$ which occurs in 02.09.04, area G-22/4, ZG “Rudna”

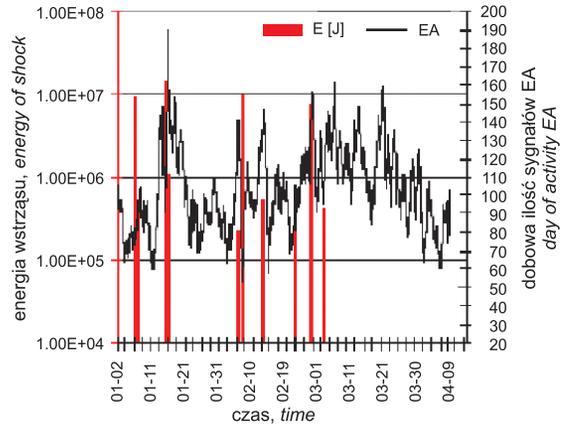


Fig. 3. Przykładowy wykres dobowej aktywności sejsmoakustycznej na tle aktywności sejsmologicznej, pole G-22/4, ZG „Rudna”

Fig. 3. The example of the seismoacoustic day-activity plot together with the seismological activity in the area G-22/4, ZG “Rudna”

WYZNACZANIE STREF KONCENTRACJI ŹRÓDEŁ EMISJI SEJSMOAKUSTYCZNEJ

Źródła sejsmoakustyczne będące przedmiotem rozważań utożsamiane są z pęknięciami górotworu. Ich lokalizacja prowadzona była na podstawie emisji rejestrowanej układem pomiarowym składającym się z sześciu czujników jednoskładowych zainstalowanych w stropie wyrobiska, a odległości między czujnikami wynosiły około 200 m. Schemat rozmieszczenia czujników na tle wyrobiska przedstawiono na figurze 1. Poprawna rejestracja emisji, dla potrzeb lokalizacji w tych warunkach, wymaga odpowiedniego pasma częstotliwościowego kanałów pomiarowych. Pasma to powinno być zawarte w zakresie od kilkunastu do około 500 Hz tak, aby sygnały pochodzące od poszczególnych zjawisk mogły być rejestrowane, przez co najmniej cztery czujniki. Związane jest to z tym, że rozmiary, jak i energia zjawisk wywołanych pękaniem górotworu są odwrotnie proporcjonalne do częstotliwości (Gibowicz 1986). Wynika stąd, że dolna granica pasm f_d jest odwrotnie proporcjonalna do promienia obserwacyjnego r_d , czyli: $r_d = \alpha \cdot f_d^{-1}$. Innymi słowy, dolna granica pasma określa dolny zakres energii zjawisk, których sygnały mogą być zarejestrowane w odległości d porównywalnej z promieniem r_d . W przypadku omawianego układu pomiarowego ocenia się, że energia zjawisk, które mogły być zarejestrowane na minimum czterech czujnikach musiała być większa od $1E2$ [J]. Zjawiska te energetycznie porównywalne są ze śladami rejestrowanymi przez system sejsmologiczny. Do rejestracji sygnałów bez zniekształceń, w tym zakresie częstotliwościowym, konieczny jest układ pomiarowy o wysokiej dynamice, rzędu 100 dB. Uzyskiwany w ten sposób materiał pomiarowy, umożliwia właściwą ocenę lokalizacji źródeł zjawisk sejsmoakustycznych.

Pomijając problemy związane z dokładnością lokalizacji, możliwe było wyznaczenie stref koncentracji omawianych źródeł. Należy nadmienić, że ze względu na stosunkowo duże odległości pomiędzy czujnikami, lokalizowane były źródła zjawisk o stosunkowo dużych energiach, porównywalnych ze śladami. Nie daje to jednak zadawalającej dokładności (w przypadku małej liczby czujników występują duże błędy lokalizacji) niemniej umożliwia to wyznaczenie stref koncentracji źródeł.

Jak wiadomo, na błąd w ocenie położenia źródła zjawiska mają wpływ następujące czynniki:

- nieadekwatny do rzeczywistości model górotworu, jaki został przyjęty do obliczeń,
- niska jakość danych pomiarowych użytych do interpretacji, niska dynamika aparatury pomiarowej,
- uproszczenia procedur lokalizacji ogniska wstrząsu (np. linearyzacja).

W praktyce kolejność wyżej wymienionych czynników odzwierciedla stopień trudności związany z ich eliminacją w trakcie interpretacji. Generalnie, najmniej wiadomo o rzeczywistej budowie ośrodka geologicznego, w którym propaguje fala sejsmiczna.

Znaczne uproszczenie modelu ośrodka (np. poprzez założenie jednorodności i izotropowości) powoduje wzrost błędu lokalizacji. Z drugiej strony, zastosowanie modelu górotworu bardziej zbliżonego do rzeczywistości prowadzi w trakcie obliczeń do wzrostu liczby parametrów charakteryzujących ten model. Wiąże się to ze znaczną komplikacją algorytmu obliczeniowego oraz stosowaniem większej ilości czujników rejestrujących emisję.

Drugi z czynników odpowiedzialny za błąd w ocenie położenia ogniska wstrząsu jest związany z błędem identyfikacji fali P oraz zniekształceniem zapisu spowodowanym używaniem do pomiarów czujników o niskiej dynamice i nieliniowych torach.

W efekcie uznano, że nie dyskwalifikuje to idei interpretacji, ponieważ jej celem jest wyznaczenie stref koncentracji źródeł emisji. Dlatego też zastosowano standardowe sposoby lokalizacji używane w praktyce górniczej (Drzęźła 1995). Na figurze 2 przedstawiono przykładowy rozkład źródeł sygnałów sejsmoakustycznych w okresie przed wystąpieniem wstrząsu o energii $E=1.8E9$ [J] z dnia 2.09.04. Na rysunku tym zaznaczono miejsce wystąpienia tego wstrząsu. Należy stwierdzić, że wyznaczone na podstawie sejsmoakustyki strefy koncentracji źródeł umożliwiają ocenę miejsca wystąpienia przyszłych wstrząsów.

PODSUMOWANIE

W pracy tej przedstawiono sposób predykcji miejsca wystąpienia wstrząsu, analizując przestrzenne grupowanie się źródeł zjawisk sejsmoakustycznych. Na podstawie rozkładu zlokalizowanych źródeł określa się strefę ich koncentracji. Granice strefy wyznacza się w miejscach, gdzie występuje wzrost zagęszczenia źródeł, przekraczający gęstość rozkładu równomiernego. Natomiast rozkład równomierny jest wyznaczany w okresach, w których panuje niski stan zagrożenia tąpnięciami. Z geomechaniki wiadomo, że przed wystąpieniem wstrząsu, w obszarze źródłowym ma miejsce grupowanie się źródeł zjawisk sejsmicznych (Goszcz 1999). Wynika stąd, że przyszły wstrząs będzie zlokalizowany, z określonym prawdopodobieństwem, w obszarze strefy koncentracji źródeł. Omawiany sposób interpretacji został zweryfikowany w Oddziale G-22/4 ZG „Rudna” przed wystąpieniem wstrząsu o energii $1.8E9$ [J] z dnia 2.09.04. Sposób ten może okazać się przydatny w rozwiązywaniu zagadnień związanych predykcją wstrząsów pod warunkiem, że w wyrobisku będzie możliwe zainstalowanie odpowiedniego układu pomiarowego.

Praca była prezentowana na VII Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „Geofizyka w geologii, górnictwie i ochronie środowiska” organizowanej z okazji jubileuszu 90-lecia AGH na WGGiOŚ.

LITERATURA

- Goszcz A., 1999. *Elementy mechaniki skał oraz tąpnięcia w polskich kopalniach węgla i miedzi*. PAN IGSMiE, Kraków, 5–237.
- Jaeger C. & Cook N.G.W., 1969. *Fundamentals of Rock Mechanics*. Chapman and Hall, London, 5–20.
- Kornowski J., 1993. *Sejsmoakustyczne metody oceny stanu zagrożenia tąpnięciami – podstawy i perspektywy*. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej CPPGSMiE PAN, 65–81.
- Gibowicz S., 1989. Mechanizm ognisk wstrząsów górniczych. *Publication Institute of Geophysics*, Z.M-13(221).
- Takuska-Węgrzyn E.X., 1998. Sposób oceny zagrożenia tąpnięciami oparty na analizie grupowania się zjawisk sejsmoakustycznych. *Geologia (kwartalnik AGH)*, 24, 2, 127–136.