

# Sygnaly kataklizmu

TOMASZ ERNST  
Instytut Geofizyki  
Polskiej Akademii Nauk, Warszawa  
ternst@igf.edu.pl

**Trzęsienia ziemi wydają się nagłe i nieprzewidywalne, ale takie nie są. Poprzedzają je liczne zjawiska, które choć dla człowieka są niewyczuwalne, mogą być rejestrowane przez czułe urządzenia i interpretowane przy pomocy złożonych metod matematycznych**

Do problemu przewidywania trzęsień ziemi ogólnie rzecz biorąc podchodzi się dwojako. Z jednej strony istnieje bardzo rozpowszechniona, dobrze rozwinięta i wiarygodna metoda predykcji oparta na statystyce. W tej metodzie sejsmolodzy, poprzez analizę historii wstrząsów sejsmicz-

nych w danym regionie w kontekście jego budowy tektonicznej, są w stanie obliczyć prawdopodobieństwo wystąpienia wstrząsu o danej sile w danym przedziale czasu w przyszłości. Nie daje ona jednak ani ścisłej lokalizacji trzęsienia, ani precyzyjnego terminu jego wystąpienia. Dlatego od lat próbuje się innego podejścia do problemu, szukając zjawisk bezpośrednio poprzedzających trzęsienie ziemi (tzw. prekursorów).

Poszukiwanie bezpośrednich prekursorów trzęsień ziemi jest dziedziną bardzo rozległą, w której stosuje się metody kompleksowe oparte na różnorodnych obserwacjach i pomiarach. Jednym z głównych nurtów są badania oparte na obserwacjach zmienności pól fizycznych na powierzchni Ziemi, takich jak pola elektryczne i magnetyczne. Choć rezultaty tych badań są obiecujące, to w niezmiernie złożonych warunkach tektonicznych, z jakimi zwykle mamy do czynienia – a także wobec ograniczonej liczby instalowanych urządzeń pomiarowych – często nie wystarczają one do jednoznacznego określenia związków między zmia-

## Instalacja sprzętu pomiarowego w terenie



Waldemar Józwiak



nami parametrów fizycznych w litosferze, a obserwowaną później sejsmicznością.

### Elektryczne sygnały ze skał

Przed wystąpieniem trzęsienia ziemi, w skałach kumulują się znaczne naprężenia mechaniczne, będące wynikiem ruchów tektonicznych. Towarzyszą im różnorodne zjawiska fizyczne, które staramy się zaobserwować. Jednym z nich mogą być duże zmiany wartości przewodnictwa elektrycznego kompleksów skalnych, a także rozkładu przestrzennego tego przewodnictwa w skorupie ziemskiej w rejonie epicentrum. Teoretyczne obliczenia modelowe przeprowadzone dla struktur dwuwymiarowych pokazały, że takie zmiany mogą być obserwowane na powierzchni ziemi tylko w niewielkiej odległości od epicentrum. Dlatego bardzo istotne w badaniach prekursorów jest użycie dużej liczby przyrządów i prowadzenie ciągłej rejestracji w wielu miejscach jednocześnie. Stosowana aparatura powinna być wystarczająco czuła i przystosowana do ciągłej i długotrwałej pracy w terenie.

Innym efektem towarzyszącym wzrostowi naprężeń prowadzącemu do uwolnienia energii sejsmicznej jest generowanie impulsów elektrycznych w obszarze epicentralnym. Pod wpływem narastania naprężeń, w ośrodku skalnym następują zmiany strukturalne polegające na zwiększeniu gęstości liniowych defektów (dyslokacji) w sieci

krystalicznej minerałów. W ten sposób, jeszcze przy zachowaniu ciągłości ośrodka, powstają deformacje wiązań między atomami w strukturze kryształów. Jako że naprężenia są obecne w całym ośrodku skalnym, sąsiadujące ziarna mineralne oddziałują na siebie nawzajem, propagując defekty w postaci tzw. ciągów dyslokacji, będących zarodkiem uskoku. W takich miejscach naprężenia zbliżają się do granicy wytrzymałości ośrodka. W miarę narastania naprężeń prowadzi to w końcu do lokalnego zerwania wiązań krystalicznych i pęknięcia ziarna mineralnego lub wielu ziaren powiązanych ciągiem dyslokacji. Tak zaczyna się trzęsienie ziemi.

Powstawanie dyslokacji w sieciach krystalicznych z reguły wiąże się z wytworzeniem pewnego wypadkowego ładunku elektrycznego, który w momencie pęknięcia kryształu zostaje uwolniony w postaci impulsu.

### Rozszyfrowywanie sygnałów

W poszukiwaniu prekursorów trzęsień ziemi jednym z najważniejszych problemów jest znalezienie właściwej metody przetwarzania zebranych danych pomiarowych, mającej na celu oddzielenie sygnałów o różnym pochodzeniu. Przy standardowej rejestracji zmian przewodnictwa elektrycznego oraz pola elektrycznego i magnetycznego, otrzymuje się nałożone na siebie wpływy różnych zjawisk. Zidentyfikowanie poszukiwanych sygnałów zależy więc od

Superczuła aparatura do pomiaru pól elektromagnetycznych w podłożu skalnym



Janusz Meranuk



skutecznego odfiltrowania ich od reszty za pomocą złożonych algorytmów numerycznych. Takie algorytmy opracowaliśmy we własnym zakresie.

Zmiany pola elektrycznego mierzonego na powierzchni ziemi są liniowo powiązane ze zmianami poziomych składowych pola magnetycznego poprzez zjawisko indukcji elektromagnetycznej w skorupie i płaszczu Ziemi. Co więcej, propagacja impulsów zapowiadających trzęsienie ziemi jest ściśle związana z budową geologiczną w bezpośrednim otoczeniu miejsca prowadzenia pomiarów, a więc mają one charakter lokalny. Z tego względu nawet gęste rozmieszczenie urządzeń pomiarowych w terenie nie gwarantuje zarejestrowania poszukiwanych sygnałów.

Dokładność filtrowania zależy przede wszystkim od stosunku sygnałów do szumów. Najkorzystniejsza sytuacja zachodzi w okresach dużej aktywności sejsmicznej. Dla zarejestrowanych wtedy danych błędy obliczeń są małe, a otrzymane wartości wiarygodne. Przetworzone przez algorytm dane mogą jednak zawierać nie tylko sygnały związane z czynnikami tektonicznymi, które nas interesują i które badamy, ale także inne, niepożądane sygnały, na przykład zakłócenia przemysłowe. Aby tych drugich było jak najmniej, staramy się zawsze instalować naszą aparaturę pomiarową w miejscach znacznie oddalonych od źródeł potencjalnych zakłóceń.

Oprócz analizy indukcyjnych i nieindukcyjnych składowych pola elektromagnetycznego, obiecujące dla przewidywania trzęsień ziemi wydają się pomiary wektora pola geomagnetycznego. Wektor geomagnetyczny jest uzależniony od budowy geologicznej w bardziej regionalnej niż lokalnej skali, dlatego też jest mniej wrażliwy na niewielkie lokalne zmiany przewodnictwa.

### Nasze próby

W ciągu ostatnich 15 lat braliśmy udział w trzech dużych projektach badawczych, związanych z poszukiwaniem prekursorów trzęsień ziemi w rejonach sejsmicznych, przy zastosowaniu oryginalnej metodyki. Projekty te były realizowane w różnych rejonach Europy w ścisłej współpracy z lokalnymi ośrodkami naukowymi: w latach 1987-88 w rejonie Friuli w północnych Włoszech, w latach 1992-94 w rejonie L'Abruzzo w środkowych Włoszech, oraz w rejonie Sterea Ellas w Grecji w 1997 roku. Opracowaniem zebranych danych zajmował się głównie nasz Instytut, wykorzystując nasze oryginalne oprogramowanie.

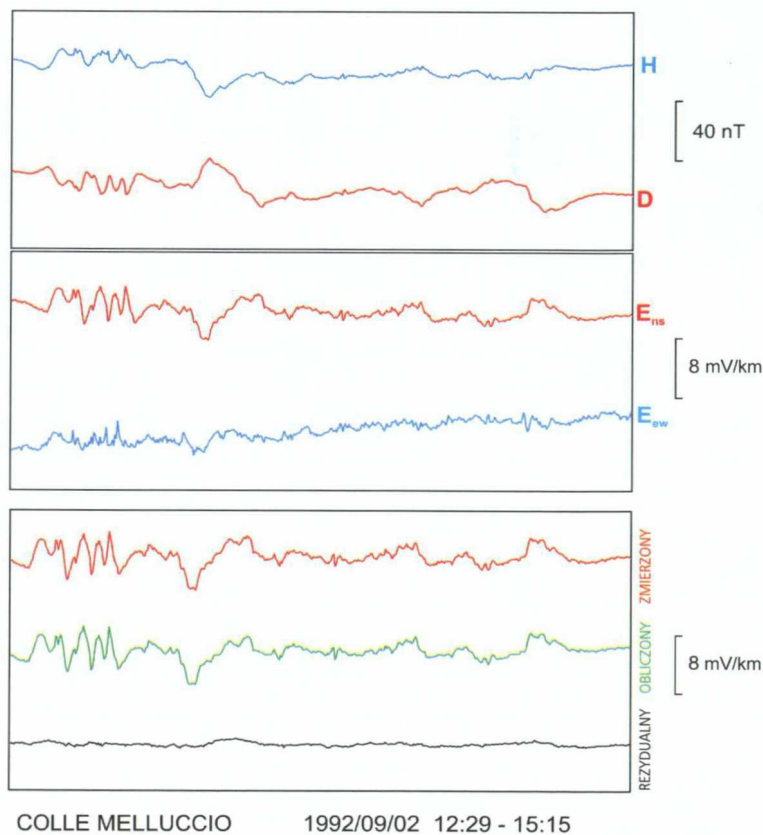
Niestety podczas wszystkich naszych kampanii pomiarowych aktywność sejsmiczna była znacznie niższa od przeciętnej. Mimo to udało się uzyskać wiele interesujących rezultatów. W rejonie Friuli zaobserwowaliśmy znaczny wzrost wariancji sygnałów rezidualnych w okresie poprzedzającym silne trzęsienie Ziemi. W jednym przypadku udało się tam nawet wyodrębnić wspólny sygnał o charakterze regionalnym, czyli zarejestrowany jednocześnie w dwóch punktach pomiarowych oddalonych od siebie o 50 km. W rejonie L'Abruzzo w Apeninach analiza nu-

meryczna wykazała znaczące zmiany składowych rezidualnych, skorelowane z występowaniem silnych wstrząsów. Badania w Grecji ostatecznie dowiodły, że analiza sygnałów rezidualnych jest lepszym narzędziem do poszukiwania prekursorów niż bezpośrednia analiza mierzonych zmian oporności lub wektora geomagnetycznego.

W przypadku słabych trzęsień wszystkie zmiany analizowanych wielkości mieściły się w granicach błędów pomiarowych i obliczeniowych. Oznacza to konieczność prowadzenia dalszych badań w rejonach o większej aktywności sejsmicznej i w miarę możliwości pozbawionych zakłóceń przemysłowych. ■

### Chcesz wiedzieć więcej?

- Joźwiak W., Meyer K., Ernst T. (1992). Numerical modeling of 2-D electric conductivity variation in earthquake preparatory areas. *Geophysica*, t. 28, nr 1-2, s. 15-28.
- Ernst T., Jankowski J., Rozłuski C., Teisseyre R. (1993). Analysis of the electromagnetic field recorded in the Friuli seismic zone, northeast Italy. *Tectonophysics*, 224, s. 141-148.
- Ernst T., Teisseyre R., Meloni A., Palangio P., Marchetti M. (1994). Magnetotelluric studies in the Central Apennines, 1992-1993. *Acta Geophysica Polonica*, t. 42, nr 3, s. 209-228.
- Ernst T. (2005). Electrical conductivity inhomogeneities in Greece on the west margin of the Anatolian Fault. *Acta Geophysica Polonica*, vol. 53, No. 1, pp. 103-114.



Przykład zmian horizontalnych składowych pola magnetycznego i elektrycznego zarejestrowanych przed wstrząsem sejsmicznym w środkowych Włoszech