

Monitoring zagrożenia sejsmicznego obszaru Polski

Jacek Trojanowski¹, Beata Plesiewicz¹, Aleksander Guterch¹, Marek Grad²



J. Trojanowski



B. Plesiewicz



A. Guterch



M. Grad

W lipcu 2008 r. rozpoczęto realizację przedsięwzięcia badawczego pt. *Monitoring zagrożenia sejsmicznego obszaru Polski*. Projekt jest realizowany przez Instytut Geofizyki PAN na zlecenie ministra środowiska, ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Zlecenie obejmuje wykonanie i uruchomienie nowoczesnej aparatury sejsmicznej oraz przeprowadzenie badań sejsmiczności obszaru Polski. W dniu 8 lipca 2008 r. w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk odbyła się na ten temat konferencja prasowa, zorganizowana z inicjatywy podsekretarza stanu, głównego geologa kraju, dr. Henryka Jacka Jezierskiego.

Monitoring sejsmiczny zostanie przeprowadzony w dwóch etapach.

□ Etap I obejmie południową Polskę, z uwzględnieniem następujących regionów:

- a) Podhale i Spisz — w szczególności basen orawsko-nowotarski;
- b) Beskid Sądecki — w szczególności rejon Krynica–Wysowa;
- c) Beskid Śląski — w szczególności rejon Cieszyn–Bielsko-Biała;
- d) Sudety — w szczególności rejon brzeźny uskołu sudeckiego i Kotliny Kłodzkiej;

□ Etap II obejmie centralną i północną Polskę, z uwzględnieniem następujących regionów:

- a) Suwalszczyzna — w szczególności region bliski elektrowni jądrowej w Ignalinie na Litwie;
- b) Pomorze Zachodnie — w szczególności rejon kołobrzesko-koszaliński;
- c) wybrane rejony strefy tektonicznej Teisseyre'a-Tornquista na obszarze centralnej Polski;
- d) tereny proponowane do lokalizacji elektrowni jądrowej w Polsce.

Polska leży z dala od znanych sejsmicznych regionów Ziemi, jednak słabe wstrząsy sejsmiczne występują na obszarze naszego kraju, przede wszystkim w południowym pasie Polski, w rejonie Karpat i Sudetów. Warto przypomnieć, że 30 listopada 2004 r. na Podhalu nastąpił silny wstrząs sejsmiczny, o magnitudzie $M = 4,4$. Trzęsienie spowodowało szkody budowlane w obszarze epicentralnym i zostało odczute aż po Kraków, Gliwice i Racibórz. Seria wstrząsów następczych trwała jeszcze blisko rok. Niestety,

z powodu braku lokalnej sieci stacji sejsmicznych o dostatecznej czułości aparatury, udało się zarejestrować tylko wstrząsy o magnitudzie $M > 1,8$ i zlokalizować wstrząsy o magnitudzie $M > 2,5$.

Najbardziej spektakularnym wydarzeniem sejsmicznym ostatnich lat, odczutym na obszarze Polski, były dwa trzęsienia ziemi w obwodzie kaliningradzkim Federacji Rosyjskiej. Trzęsienia kaliningradzkie z września 2004 r., o magnitudzie $M = 5,0$ i $M = 5,2$, były pełnym zaskoczeniem dla sejsmologii europejskiej, gdyż wystąpiły w rejonie uważanym dotąd za asejsmiczny. Najbliższą stacją sejsmologiczną, która zarejestrowała kaliningradzkie trzęsienia ziemi, była stacja Instytutu Geofizyki PAN w Suwałkach, odległa od epicentrum o około 230 km. Wstrząsy sejsmiczne spowodowały znaczne szkody budowlane w Kaliningradzie i okolicy, były wyraźnie odczute w północno-wschodniej Polsce, w Estonii, Finlandii, na Białorusi oraz w Szwecji.

To tylko dwa charakterystyczne przykłady z ostatnich lat, wskazujące na potrzebę prowadzenia systematycznego monitoringu sejsmicznego kraju.

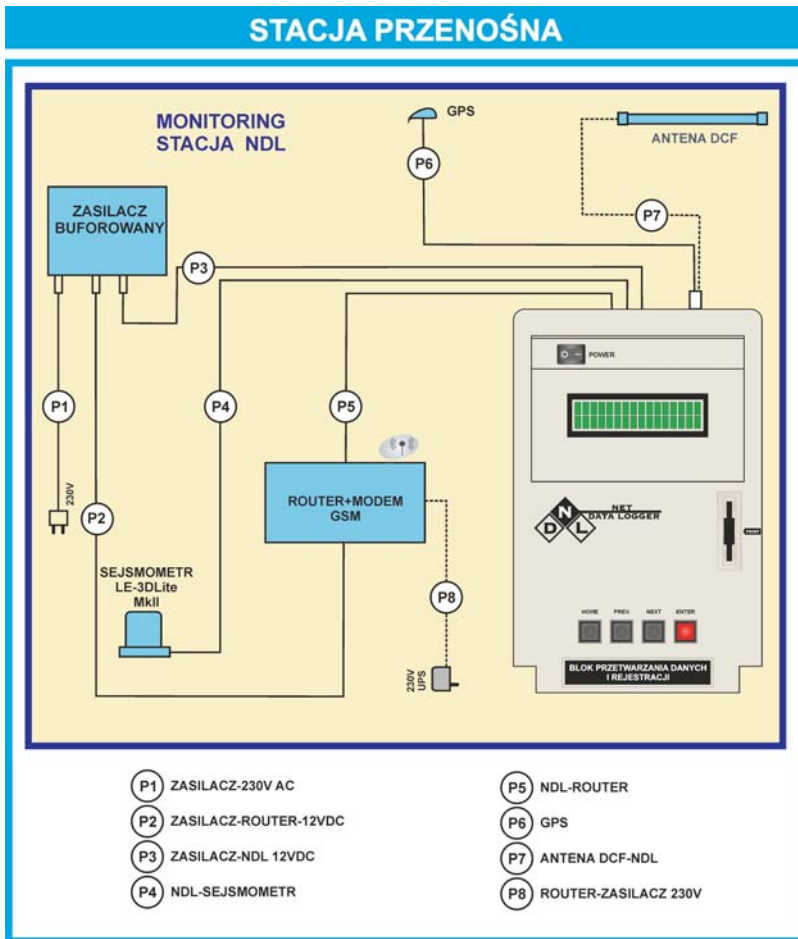
Nie zdajemy sobie sprawy z faktu, że również bardzo słabe wstrząsy sejsmiczne, nawet te nieodczuwalne przez człowieka, mogą stanowić poważne zagrożenie dla wysoko wyspecjalizowanych obiektów technicznych. Obecnie jest to szczególnie ważny problem, w związku z debatą w sprawie przyszłości energetyki jądrowej w naszym kraju oraz lokalizacją składowisk odpadów jądrowych. Dotąd monitoring sejsmiczny Polski był prowadzony przez 8 obserwatoriów sejsmologicznych Instytutu Geofizyki PAN. Ta sieć stacji sejsmologicznych, przeznaczona do innych celów, wchodzi w skład światowej sieci sejsmologicznej i jest zbyt uboga do dokładnego określenia lokalnej aktywności sejsmicznej obszaru Polski. W związku z tym, w celu poszerzenia wiedzy o sejsmiczności, a nawet mikro-sejsmiczności naszego kraju konieczne było uruchomienie monitoringu sejsmicznego obszaru Polski.

Cel przedsięwzięcia

Celem *Monitoringu zagrożenia sejsmicznego obszaru Polski* jest określenie hazardu sejsmicznego, czyli prawdopodobieństwa wystąpienia wstrząsu sejsmicznego na danym obszarze. W ramach tego przedsięwzięcia będą monitorowane jedynie wstrząsy naturalne z epicentrami występującymi na obszarze Polski lub w strefach granicznych. Lokalne wstrząsy górnicze, indukowane działalnością eksploatacyjną, mają własne specjalistyczne sieci sejsmiczne. Rejestrowane przez nową sieć monitoringu sejsmicznego wstrząsy górnicze i telesejsmiczne nie będą analizowane,

¹Instytut Geofizyki, Polska Akademia Nauk, ul. Księcia Janusza 64, 01-452 Warszawa; jtroj@igf.edu.pl, bples@igf.edu.pl, aguterch@igf.edu.pl

²Instytut Geofizyki, Uniwersytet Warszawski, ul. Pasteura 7, 02-093 Warszawa, mgrgrad@mimuw.edu.pl



Ryc. 1. Schemat blokowy stacji przenośnej typu NDL

trzech składowych przestrzennych ZNE; blok przetwarzania danych i rejestracji; GPS lub DCF i router z modemem. Blok przetwarzania danych i rejestracji służy do przetwarzania analogowego sygnału z sejsmometru na sygnał cyfrowy, do zapisu danych w odpowiednim formacie w pamięci urządzenia oraz do przygotowania danych do transmisji przez Internet. Wszystkie te funkcje realizuje wielofunkcyjny rejestrator typu NDL, skonstruowany w Instytucie Geofizyki PAN do zastosowań w szeroko pojętej geofizyce. Jest to urządzenie spełniające najwyższe normy technologiczne i wytrzymałościowe, co sprawia, że stacja może być umieszczana w trudnych warunkach terenowych — znosi niskie temperatury, wilgoć oraz zapylenie. W celu umożliwienia analizy danych z wielu stacji konieczne jest zsynchronizowanie ich w czasie, co zapewniają odbiorniki GPS lub DCF. Bezprzewodową łączność ze stacją oraz transmisję danych do centrum monitoringu w Warszawie zapewnia szerokopasmowy Internet w sieci telefonii komórkowej GSM. W przypadku przerwy w transmisji, dane są zapisywane w pamięci wewnętrznej (około 60 dni) i przesyłane po odzyskaniu

jednak dane o tych wstrząsach będą gromadzone i udostępniane zainteresowanym. Analiza lokalnych naturalnych wstrząsów sejsmicznych będzie podstawą do możliwie najdokładniejszego określenia czasu i epicentrum wstrząsu. W tym celu stacje sejsmiczne są rozstawiane co około 20–30 km. Należy dodać, że stacje te są w pełni mobilne. Można je przemieścić i zainstalować w ciągu 48 godzin w rejonie, w którym wystąpił nieoczekiwany wstrząs sejsmiczny, celem zarejestrowania wstrząsów następczych. Umożliwi to określenie mechanizmu wstrząsu i powiązanie go ze strukturą geologiczną w rejonie ogniska.

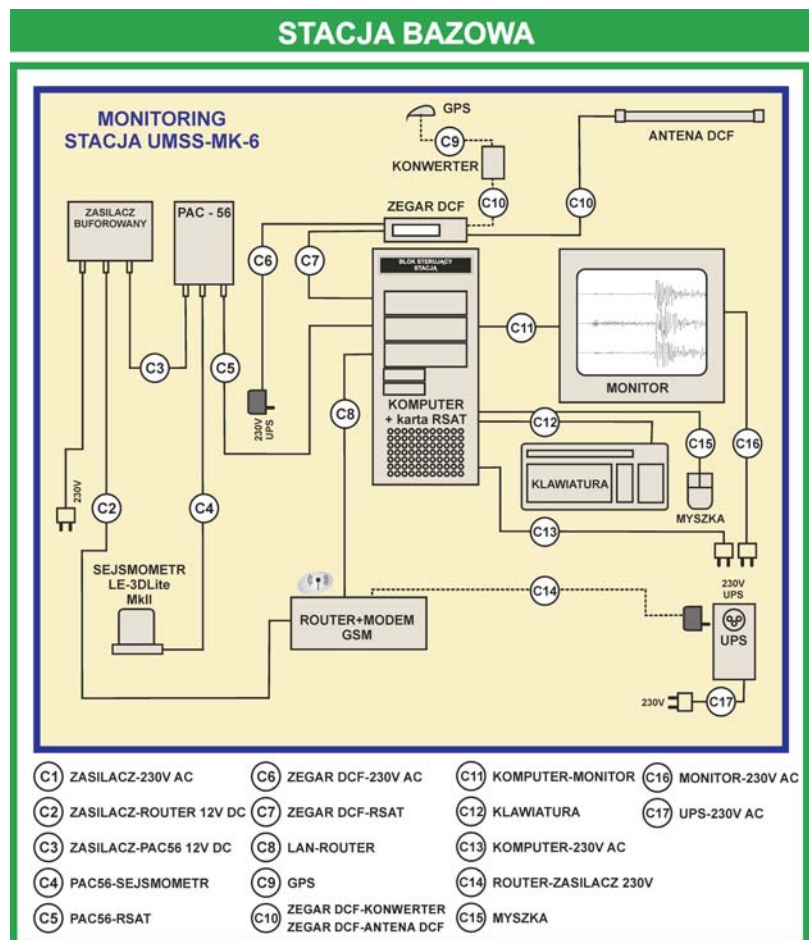
Aparatura sejsmiczna

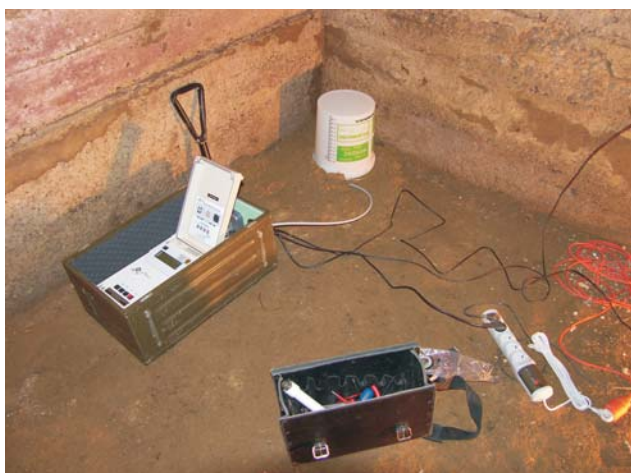
W ramach projektu skonstruowano specjalistyczną aparaturę sejsmiczną i opracowano system transmisji danych w czasie rzeczywistym. W skład całego układu wchodzi 20 stacji przenośnych typu NDL (ryc. 1) oraz 4 stacje bazowe typu MK-6 (ryc. 2).

Najważniejszymi elementami stacji przenośnej są: krótkookresowy sejsmometr Lenartz LE-3DLite, który rejestruje ruch w



Ryc. 2. Schemat blokowy stacji bazowej typu MK-6





Ryc. 3. Przenośna stacja sejsmiczna w trakcie instalacji. Sejsmometr umieszczono pod pojemnikiem, w celu uniknięcia uszkodzeń. W metalowej skrzyni znajduje się pozostała część aparatury z wyjątkiem anten, które są wyprowadzone na zewnątrz pomieszczenia

łącności lub odczytywane przez serwisanta. Wszystkie elementy stacji, z wyłączeniem sejsmometru oraz anten, znajdują się w metalowej skrzyni, która dodatkowo zabezpiecza cały zestaw przed uszkodzeniami (ryc. 3).

Sieć sejsmiczna

Podstawowym celem projektu jest zebranie danych do opracowania sejsmiczności obszaru całej Polski. Ze względu na to, że realizatorzy projektu mają do dyspozycji tylko 24 stacje sejsmiczne, monitoring zostanie przeprowadzony w dwóch etapach. Do końca listopada 2008 r. rozstawiono 21 stacji sejsmicznych na obszarze południowej Polski (ryc. 4).

Trudnym problemem jest wybór odpowiednich miejsc do instalowania stacji — wolnych od zakłóceń, z dala od linii kolejowych, dróg i zakładów przemysłowych. Zdarza się często, że po założeniu stacji w miejscu pozornie spełniającym kryteria, rejestruje ona zakłócenia od urządzeń technicznych odległych nawet o wiele kilometrów, o których istnieniu nie wiadomo w momencie instalacji aparatury. Powoduje to konieczność natychmiastowych zmian lokalizacji stacji, celem wyboru miejsc spełniających odpowiednie warunki „ciszy sejsmicznej”.

Nowa sieć sejsmiczna została zarejestrowana pod nazwą PD — *Polish Seismic Monitoring Network* przez *Incorporated Research Institutions for Seismology* — organizację zajmującą się m.in. przydzielaniem nazw dla sieci sejsmicznych i stacji sejsmicznych. Nie zarejestrowano jednak poszczególnych stacji, ponieważ z założenia jest to sieć mobilna. Jej poszczególne stacje nie będą pracowały w wybranych miejscach dłużej niż dwa lata. Z seismologicznego punktu widzenia stacja to nie tylko aparatura, lecz aparatura w konkretnym miejscu, zatem przenosząc aparaturę w inne miejsce należy zlikwidować jedną stację, a zarejestrować drugą, o nowej nazwie. Dopuszczalne są tylko nazwy stacji składające się z czterech znaków alfanumerycznych, co daje możliwość określenia dużej liczby unikatowych nazw w przyszłości. Lokalizacje i nazwy stacji w południowej Polsce przedstawiono w tab. 1 i na ryc. 4.

Tab. 1. Lokalizacja i nazwy stacji sejsmicznych sieci monitoringu sejsmicznego

Lp.	Miejscowość	Nazwa stacji	Szer. geogr. N [stopnie]	Dług. geogr. E [stopnie]
1	Lutowiska	LUTW	49,2416	22,6860
2	Hołczków	HOLU	49,5797	22,3318
3	Rzepedź wieś	RZEP	49,3899	22,1001
4	Szklary	SZKL	49,4731	21,8087
5	Bóbrka	BOBR	49,6171	21,7072
6	Pagorzyna	PAGO	49,6915	21,3281
7	Ropki	ROPK	49,4637	21,1334
8	Żegiestów	ZEGI	49,3686	20,7918
9	Łabowa	LABO	49,5168	20,8312
10	Stronie	STRO	49,6249	20,5259
11	Wilczyce	WILC	49,6679	20,1801
12	Sierockie	SIER	49,3642	19,9582
13	Stare Bystre	STBY	49,4298	19,9397
14	Ciche	CICH	49,3944	19,8705
15	Skawica	SKAW	49,6467	19,6598
16	Zagórze	ZAGR	49,8277	19,5532
17	Rychwałdek	RYCH	49,6798	19,2846
18	Dębowiec	DEBO	50,5948	17,1076
19	Wrzosówka	WRZO	50,3805	16,9034
20	Srebrna Góra	SRGO	50,5769	16,6587
21	Mniszków	MNIS	50,8560	15,9425



Ryc. 4. Lokalizacje stacji sejsmicznych należących do sieci monitoringu sejsmicznego

Dane sejsmiczne są archiwizowane w formacie *Mini-Seed* na serwerze znajdującym się w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Pracownicy Sekcji Monitoringu Sejsmicznego Instytutu Geofizyki PAN analizują rejestracje z każdego dnia, identyfikując zapisy różnego typu, zarówno telesejsmiczne, regionalne, jak i lokalne. Sieć sejsmiczna PD rejestruje dużą liczbę trzęsień ziemi. Głównie są to zjawiska o magnitudzie $M > 4,8$ stopnia, które wystąpiły w dowolnym miejscu Ziemi. Rocznie liczba wstrząsów tego typu wynosi około 1000, natomiast wstrząsów regionalnych, z rejonu Europy, o magnitudach $M > 3,4$, rejestruje się znacznie więcej, bo około 10 000 rocznie, a liczbę zjawisk sejsmicznych o magnitudach M rzędu 1 do 2 określa się już w milionach.

Przykłady pierwszych rejestracji

Przykładowy zapis telesejsmicznego trzęsienia z rejonu Wysp Kurylskich przedstawiono na ryc. 5. Odległość epicentralna wynosi około 80 stopni. Zapis jest równie wyraźny na prawie wszystkich stacjach. Różnice w czasie przyścia fali sejsmicznej są rzędu kilku sekund. Jest to charakterystyczne dla wstrząsów telesejsmicznych, których epicentrum było bardzo daleko, czasem prawie na antypodach. W takim przypadku fala sejsmiczna nadchodzi niemal prostopadle do podłoża skorupy ziemskiej i dlatego jest rejestrowana przez wszystkie stacje w podobnym czasie. Inaczej wygląda zapis wstrząsów regionalnych, nadchodzących z odległości rzędu kilkuset kilometrów.

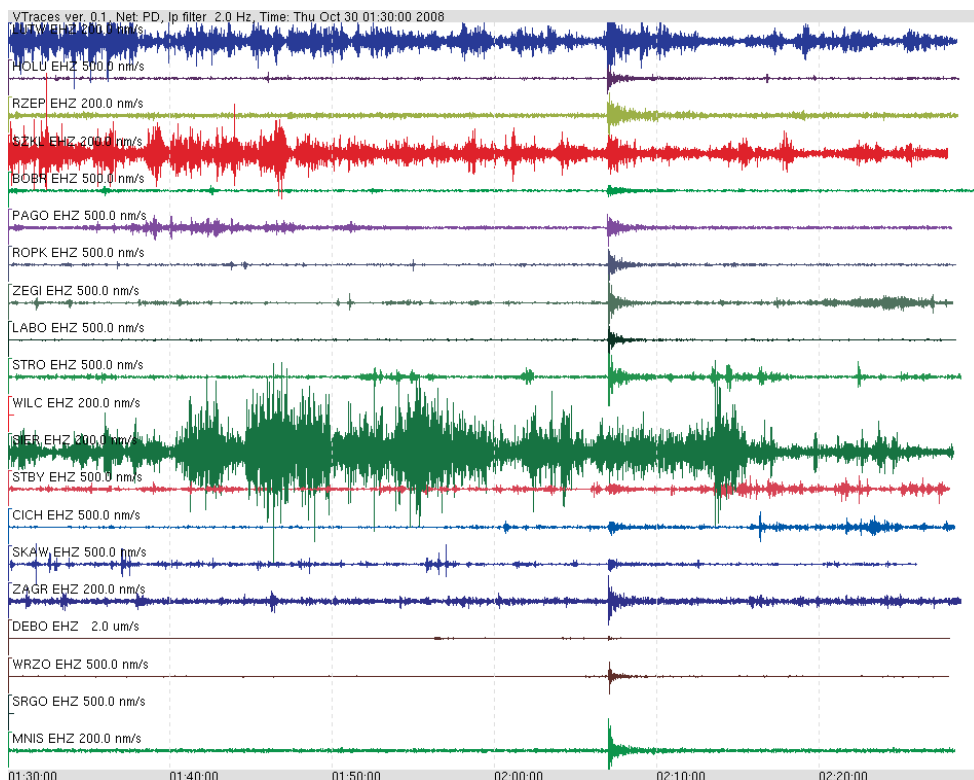
Jako przykład wstrząsu lokalnego przedstawiono zapis wstrząsu z rejonu Lubina (ryc. 6). Widać wyraźnie różnicę w czasach przyścia fali sejsmicznej do poszczególnych stacji. Różnica czasu pomiędzy przyściem fali do skrajnych stacji wynosi około minuty. Wyraźne jest również

osłabienie sygnału w miarę wzrostu odległości od epicentrum.

Trzecim rodzajem wstrząsów, które są w centrum uwagi Sekcji Monitoringu Sejsmicznego IGF PAN, są wstrząsy naturalne, których epicentra znajdują się na obszarze Polski lub w strefie granicznej. Na obszarze Polski są to na ogół wstrząsy bardzo słabe, o magnitudach M rzędu 1–2, które są rejestrowane tylko przez najbliższe stacje — znajdujące się w odległości kilkudziesięciu kilometrów. Ich identyfikacja nie jest łatwa. Przykładem jest zapis wstrząsu wywołanego przez wybuch w kamieniołomie Lipowica (ryc. 7). Wstrząs został zarejestrowany tylko przez najbliższe stacje (SZKL, RZEP, HOLU, BOBR, PAGO — patrz tab. 1). Jego naturalnym odpowiednikiem byłby wstrząs o magnitudzie $M = 1,3$.

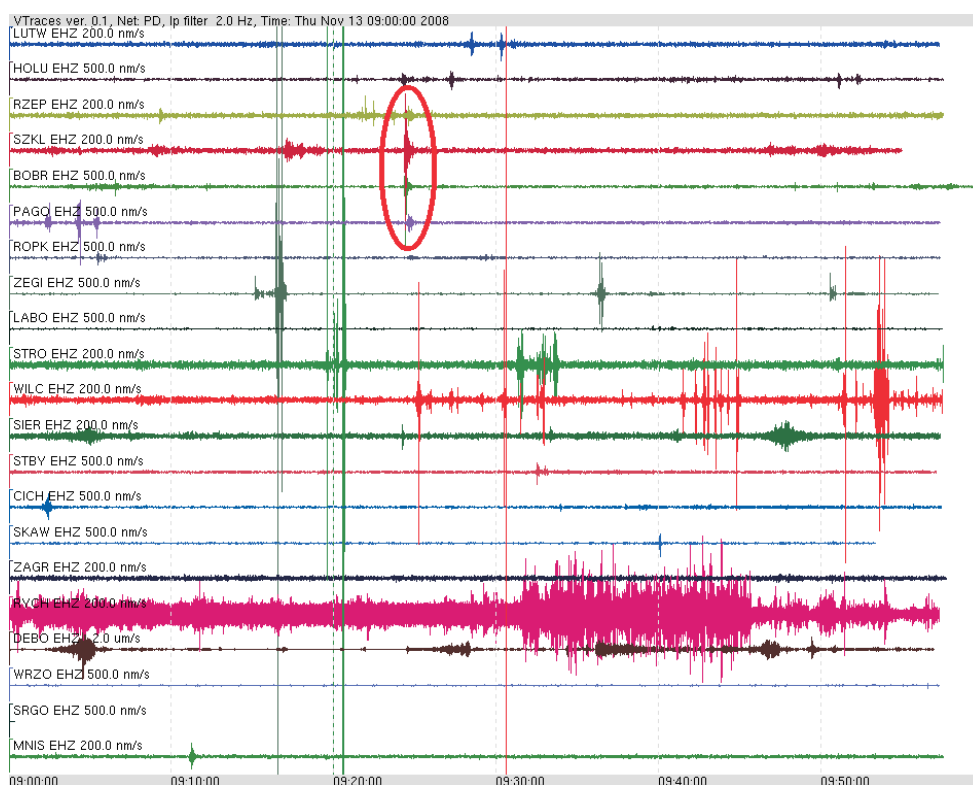
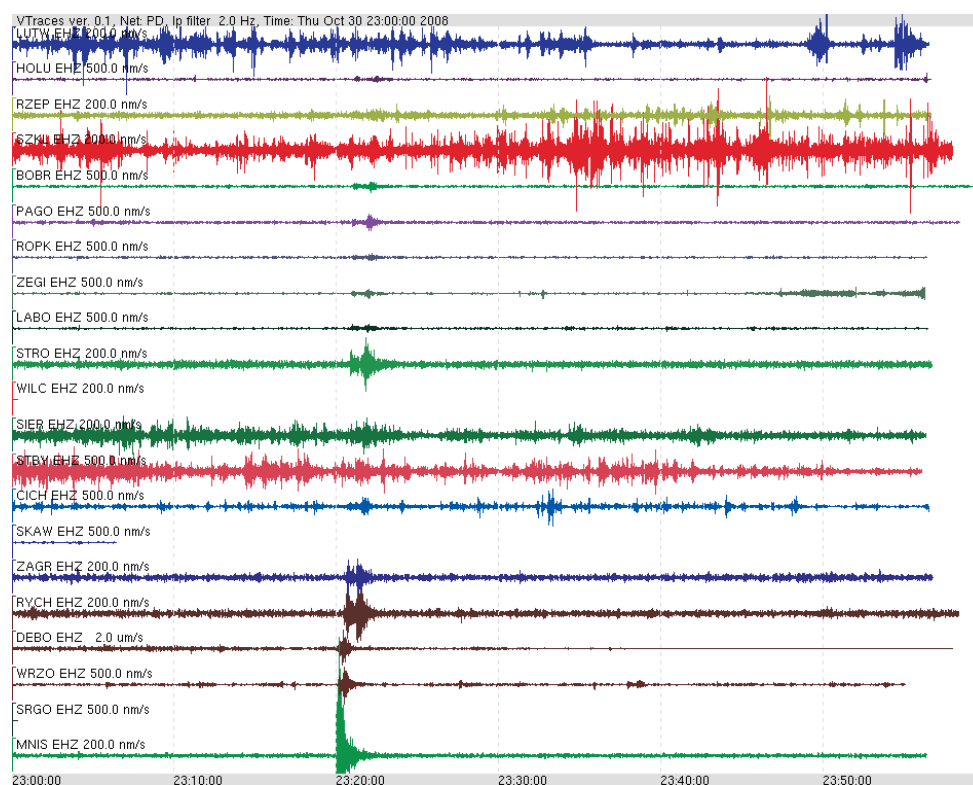
Podane przykłady zapisów sejsmicznych przedstawiają godzinne rejestracje ze wszystkich stacji znajdujących się w sieci monitoringu sejsmicznego. Transmisja danych odbywa się w systemie *on-line*, który pozwala na bieżąco, w laboratorium, kontrolować sejsmiczność monitorowanego obszaru. Tego typu bezpośrednie rejestracje zawierają wiele szumów i nie są dokładne. W celu precyzyjnej analizy zapisu wykorzystuje się więc program *SWIP* — *Seismic Waves Interpretation Programme*, autorstwa dr. Jana Wiszniewskiego z Instytutu Geofizyki PAN oraz opracowany przez Klausa Stammlera program *Seismic Handler Motif*, który jest powszechnie wykorzystywany w wielu europejskich ośrodkach sejsmologicznych. Programy te umożliwiają filtrowanie sygnału sejsmicznego oraz dokładną analizę zapisu, w tym wyznaczanie faz sejsmicznych, określenie przybliżonego epicentrum wstrząsu, a także jego wielkości.

Uruchomiony system monitoringu sejsmicznego pozwoli nie tylko na opracowanie map sejsmiczności bada-



Ryc. 5. Przykład rejestracji dalekiego trzęsienia ziemi z rejonu Wysp Kurylskich, 30.10.2008, godz. 01:55 UTC (uniwersalny czas koordynowany), magnituda $M = 5,5$

→
Ryc. 6. Przykład rejestracji lokalnego wstrząsu sejsmicznego z rejonu Lubina, 30.10.2008, godz. 23:19 UTC, magnituda $M = 2,8$



Ryc. 7. Przykład rejestracji wstrząsu wywołanego wybuchem w kamieniołomie w Lipowicy k. Dukli, 13.11.2008, godz. 09:24 UTC, magnituda $M = 1,3$

nych rejonów Polski, ale również na zebranie wielu bardzo interesujących nowych danych do badań neotektonicznych oraz badań struktury skorupy i górnego płaszcza Ziemi i ich związku z geologią obszaru.

Realizacja projektu

Zadania związane z monitoringiem sejsmicznym obszaru Polski są realizowane przez mgr. Jacka Trojanowskiego i mgr Beatę Plesiewicz, we współpracy z Zakładem

Sejsmologii i Samodzielną Pracownią Głębokich Struktur w Instytucie Geofizyki PAN. Za konstrukcję aparatury, roztawianie stacji sejsmicznych oraz serwis techniczny całej sieci odpowiada zespół Działu Konstrukcji Aparatury Geofizycznej Instytutu Geofizyki PAN. Merytoryczną kontrolę nad realizacją całego przedsięwzięcia sprawuje specjalnie powołana rada, do której należą: prof. dr hab. Marek Grad, prof. dr hab. Aleksander Guterch, doc. dr hab. Wojciech Dębski, mgr inż. Marian Hościłowicz, mgr inż. Jerzy Suchcicki i dr Cezary Rozłuski.