

Głęboka struktura Ziemi w świetle badań metodami sejsmologii eksplozyjnej

Doc. dr hab. Aleksander GUTERCH

Wstępne badania głębokiej struktury skorupy i górnego płaszczka Ziemi w strefie brzeżnej platformy prekambryjskiej Wschodniej Europy na obszarze Polski zostały przeprowadzone w latach 1964–1965. Szczegółowe prace badawcze, które doprowadziły do określenia głębokiej struktury Ziemi w tym rejonie, zostały wykonane w Instytucie Geofizyki PAN w latach 1971–1974 przez zespół w składzie:

doc. dr A. Guterch,
mgr inż. R. Materzok,
mgr J. Pajchel, mgr E. Perchuć.

Powszechnie znanym paradoksem jest stwierdzenie, że aktualnie znamy o wiele dokładniej własności fizyczne przestrzeni okołoziemskiej na wysokości sięgającej wielu setek km niż strukturę wewnętrzną Ziemi na głębokości rzędu kilku km. Sytuacja ta jest wynikiem nie tylko dużej atrakcyjności programu badań kosmicznych, ale także niezwykle dużych trudności, jakie występują w badaniach głębokich stref Ziemi.

Koncentracja wysiłków oraz zwrócenie uwagi dużych ośrodków naukowych na całym świecie — jakie zaznaczyło się w ostatnim 10-leciu — na badania fizyki wnętrza Ziemi przyniosło wręcz rewelacyjne zmiany określane często mianem rewolucji w naukach o Ziemi. Zmiany te były w dużym stopniu zasługą Międzynarodowego Programu Badań Górnego Płaszczka Ziemi, który aktualnie jest kontynuowany w ramach międzynarodowego Projektu Badań Geodynamicznych. Przedmiotem intensywnych badań jest przede wszystkim skorupa i górny płaszcz Ziemi sięgający do głębokości około 700 km. W górnym płaszczu zachodziły i zachodzą istotne procesy fizyczne, które kształtowały i kształtują współczesne oblicze powierzchni Ziemi.

Osiągnięcia, które są wynikiem realizacji wymienionych wyżej programów badawczych, zainspirowały liczne projekty badań teoretycznych, modelowych i laboratoryjnych, przy szerokim zastosowaniu osiągnięć i metod fizyki wysokich ciśnień. W rezultacie przedstawiono nowe fizyczno-matematyczne modele całej Ziemi oraz poszczególnych jej stref. Należy podkreślić, że sukcesy, które osiągnięto, były w dużym stopniu wynikiem nie tylko intensyfikacji i koncentracji badań w zakresie fizyki litosfery, ale także szerokiego zastosowania matematyczno-fizycznych metod badawczych.

Wiodącą rolę w badaniach głębokich struktur skorupy i górnego płaszczka Ziemi spełnia sejsmologia. Jej narzędziem badawczym są fale sejsmiczne rozchodzące się we wnętrzu Ziemi we wszystkich kierunkach z obszaru ich generacji. Fale sejsmiczne niosą informacje o własnościach fizycznych ośrodka, o „defektach” występujących w jego strukturze i o nieciągłościach parametrów sprężystych we wnętrzu Ziemi. Przedmiotem szczególnych zainteresowań fizyki wnętrza Ziemi są przede wszystkim powierzchnie nieciągłości parametrów sprężystych, nazywane granicami sejsmicznymi. Na granicach tych prędkości fal podłużnych zmieniają się skokowo o około 0,5 do 1,5 km/s. Fale sprężyste padając na granice sejsmiczne ulegają normalnym procesom odbicia–załamania i wracają na powierzchnię Ziemi, gdzie są rejestrowane na stacjach sejsmologicznych lub przez aparaty sejsmiczne ustawione specjalnie wzdłuż określonego kierunku, czyli wzdłuż tzw. profilu badań.

Prędkości fal sejsmicznych pod kontynentami rosną w ogólności od około 3–4 km/s w warstwach przypowierzchniowych do około 8,0 km/s na głębokościach rzędu 40 km i do około 13,6 km/s w centrum Ziemi. Jest to jednak tylko ogólna tendencja, gdyż w rzeczywistości we wnętrzu Ziemi oprócz wspomnianych już granic sejsmicznych występują także strefy inwersji prędkości. Natura głębokich granic sejsmicznych nie jest jeszcze dostatecznie jasna. Dominuje pogląd, że granice sejsmiczne występujące na głębokościach kilkudziesięciu i kilkuset km są „frontami” procesów fazowych zachodzących w określonych warunkach ciśnienia i temperatury. W wyniku procesu fazowego zmienia się skład mineralogiczny materii bez zmiany składu chemicznego. Tego typu procesy fazowe są realizowane w warunkach laboratoryjnych.

W procesie złożonej interpretacji sejsmicznego pola falowego otrzymuje się dane o granicach sejsmicznych i głębokiej strukturze Ziemi. Fale sejsmiczne spełniają więc w fizyce wnętrza Ziemi rolę podobną do promieni Röntgena w fizyce ciała stałego.

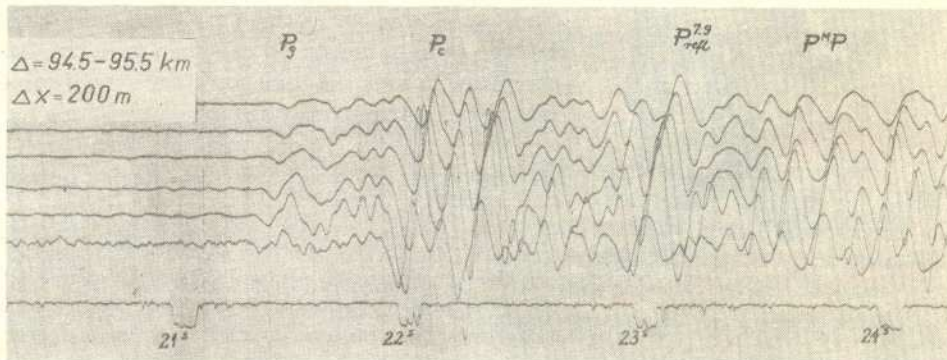
Źródłem fal sejsmicznych są przede wszystkim ogniska trzęsień ziemi. Są to jednak źródła niekontrolowane i stąd dwa podstawowe parametry — czas i współrzędne — są znane tylko w przybliżeniu, często niewystarczającym dla dokładnego określenia struktury Ziemi. Dlatego też, szczególnie w ostatnich kilkunastu latach, rozwinęły się metody tzw. sejsmologii eksplozyjnej, która dla celów badawczych skorupy i górnego płaszczka Ziemi stosuje eksplozje



Skorupa ziemna jest zewnętrzną powłoką Ziemi; jej dolną granicę określa tzw. nieciągłość Mohorovičića. Na granicy Mohorovičića prędkość sprężystych fal podłużnych wzrasta skokowo od około 7,0 km/s do około 8,0–8,3 km/s.

chemiczne i jądrowe będące źródłem fal sejsmicznych. W tym przypadku obydwa wymienione wyżej parametry (czas i współrzędne) można poznać praktycznie z dowolną dokładnością. Wielkości ładunków wybuchowych są funkcją odległości punktów rejestracji od źródła fal. Przy badaniach skorupy ziemskiej, sięgającej średnio do głębokości około 40 km, maksymalne wielkości ładunków wynoszą około 1500 do 2000 kg dla rejestracji w odległości około 250 do 300 km. Przykład rejestracji fal sejsmicznych załamanych i odbitych od nieciągłości występujących na obszarze przedsudeckim w Polsce przedstawiono na rys. 1.

Rys. 1. Przykład rejestracji fal sejsmicznych wzbudzonych przy pomocy ładunku dynamitu $Q = 500$ kg
 Δ — odległość od punktu wybuchu,
 Δx — odległość między odbiornikami drgań sejsmicznych,
 P_g — fala załamana na granicy sejsmicznej położonej na głębokości około 5 km,
 P_c — fala odbita na granicy sejsmicznej położonej na głębokości około 18 km,
 $P_{7,9}^{refl}$ — fala odbita na granicy sejsmicznej, charakteryzującej się prędkością fal podłużnych 7,9 km/s i położonej na głębokości około 28 km,
 $P^{M}P$ — fala odbita od podłoża skorupy ziemskiej (= granica Mohorovičića) charakteryzującej się prędkością fal podłużnych 8,2 km/s i położonej na głębokości około 33 km,
 21^s — czas w sekundach

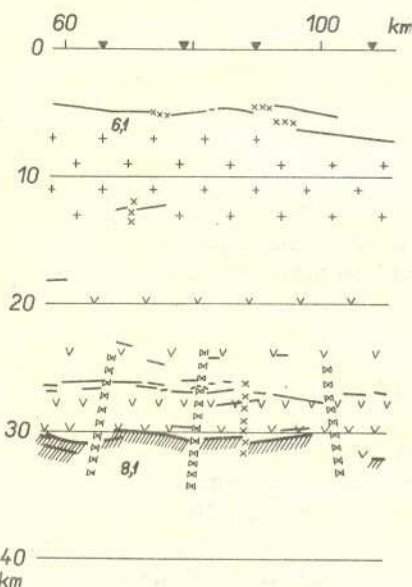


Obraz falowy jest wynikiem rejestracji przeprowadzonej w odległości 94,5 km od źródła drgań, w którym dokonano eksplozji około 500 kg dynamitu. Głęboką strukturę skorupy ziemskiej na wymienionym obszarze można scharakteryzować na przykładzie wycinka przekroju skorupy, przedstawionego na rys. 2. Jest to przykład wyjątkowo złożonej i skomplikowanej struktury podłoża skorupy ziemskiej, unikalny w skali europejskiej. Obok wielu granic sejsmicznych, na wymienionym obszarze występują niezwykle liczne tzw. głębokie rozłamy tnące strukturę skorupy, a będące jak gdyby „defektami” jej budowy. Dla tego typu struktury ośrodka przedstawiono pogląd, że jest ona wynikiem procesu wewnętrznej erozji przez analogię do procesów erozyjnych na powierzchni Ziemi. Oczywiście, źródłem wewnętrznej erozji skorupy ziemskiej są procesy fizyczne zachodzące w jej wnętrzu.

Prowadzone przez Instytut Geofizyki PAN, na szeroką skalę zakrojone badania wewnętrznej struktury Ziemi metodami sejsmologii eksplozyjnej, wzdłuż tzw. VII profilu międzynarodowego biegnącego przez obszar Polski, Związku Radzieckiego, Czechosłowacji i Republiki Federalnej Niemiec, dostarczyły unikalnych informacji o głębokiej strukturze skorupy ziemskiej. Część profilu przechodząca przez obszar Polski wzdłuż kierunku Śnieżka (w Sudetach)–Toruń–Kaliningrad w ZSRR, ma wyjątkowe znaczenie. Na obszarze Polski przecinają się bowiem trzy wielkie jednostki tektoniczne Europy. Stąd głęboka budowa skorupy i górnego płaszczka na terenie Polski jest kluczem do zrozumienia wielu zasadniczych procesów kształtujących kontynent europejski. W tej sytuacji obszar Polski jest jak gdyby naturalnym laboratorium do badań procesów fizycznych zachodzących w górnym płaszczu Ziemi oraz na styku wielkich bloków skorupy ziemskiej.

Najbardziej interesującą strefę wzdłuż VII profilu międzynarodowego wykryto na obszarze środkowej Polski w rejonie Inowrocławia. (Fragment budowy skorupy ziemskiej w tym rejonie przedstawiono na IV str. okładki). Występuje tutaj głęboki rów tektoniczny o szerokości około 50 km i amplitudzie zmian grubości skorupy ziemskiej około 12 km. Podłoże skorupy ziemskiej znajduje się w tym rejonie na ogromnej głębokości, bo wynoszącej około 50 km. Wymieniony rów tektoniczny ograniczony jest głębokimi rozłamami, których lokalizacja ma zasadnicze znaczenie dla określenia południowo-zachodniego brzegu tzw. platformy prekambryjskiej wschodniej Europy. Jest to problem, którego rozwiązania poszukuje się już od kilkudziesięciu lat.

Niezwykle skomplikowany obraz falowy, jaki otrzymano w badaniach sejsmicznych w tym rejonie, długo nie mógł być jednoznacznie zinterpretowany. Dopiero niespodziewane wydzielenie pewnego typu fali sejsmicznej, którą zinterpretowano jako falę odbitą, pozwoliło na lokalizację granicy sejsmicznej na głębokości około 50 km, stanowiącej podłoże skorupy ziemskiej w tym rejonie. Wyniki przedstawionych badań sejsmicznych są podstawą dla prac nad określeniem dynamiki procesów kierujących rozwojem Ziemi. Na szczególne podkreślenie zasługuje również ich duże znaczenie dla geologii surowcowej.



Rys. 2. Przykład złożonej struktury skorupy ziemskiej na obszarze przedsudeckim w Polsce
 Oznaczenia jak na IV stronie okładki, oraz
 +++ — tzw. warstwa granitowa,
 v v v — tzw. warstwa bazaltowa z dolną strefą przejściową między skorupą i górnym płaszczem Ziemi.