

JERZY JANKOWSKI

Czy badania głębokich struktur geologicznych mogą mieć znaczenie praktyczne?

Od wielu lat toczy się dyskusja o użyteczności badań podstawowych dla społeczeństw, które to badania są finansowane przez państwo. Często zadawane są pytania, w jakim stopniu badania podstawowe odpowiadają zapotrzebowaniu społecznemu i jak wiele środków finansowych należy przeznaczać na ich prowadzenie. Wiele rządów ogranicza finansowanie badań podstawowych, zapominając, że społecznie użyteczny rezultat tych badań może się okazać dopiero po kilkudziesięciu latach. Przykładem takim jest np. fizyka, gdzie prowadzone w ubiegłym wieku badania – w szczególności w zakresie fizyki ciała stałego, optyki molekularnej, fizyki jądrowej czy w zakresie eksperymentów kosmicznych – doprowadziły do opracowania technologii, które całkowicie odmieniły nasze życie. Postęp ten oczywiście nie byłby możliwy bez wyprzedzających badań podstawowych. Zwolennicy ograniczania badań podstawowych zdają się zapominać, że często granica pomiędzy tymi studiami a ich aplikacją bywa bardzo cienka. Nie docenia się również faktu, że badania podstawowe stanowią ważny wkład w rozwój cywilizacyjny świata.

W niektórych dyscyplinach, jak np. w biologii molekularnej czy fizyce, związek między badaniami podstawowymi a aplikacyjnymi jest już oczywisty. W tak jednak fascynującej dyscyplinie jak astrofizyka trudno go się jeszcze dopatrzeć. W całym spektrum innych dyscyplin związki takie istnieją w sposób bardziej oczywisty, choć dla rozwoju tych dyscyplin nie powinno się ich traktować jako warunków koniecznych dla podejmowania decyzji o ich finansowaniu. Bardzo często, a może nawet jest to regułą, korzyści płynące z wyników badań pojawiają się dość nieoczekiwanie.

W artykule tym chciałbym zająć się bliżej sytuacją w naukach o Ziemi, przede wszystkim w geofizyce. Geofizyka sztywnej Ziemi i geologia nie znajdują się na liście priorytetowej dyscyplin badawczych. Jest to niewątpliwie związane z faktem, że przewidywany w latach pięćdziesiątych kryzys surowcowy nie okazał się zbyt dotkliwy. Jestem jednak przekonany, że badania podstawowe związane z tą dyscypliną nauk o Ziemi będą się rozwijać na świecie bardzo dynamicznie, gdyż ta problematyka jest żywa, aktualna i bardzo perspektywiczna. Twarda Ziemia jest obiektem zainteresowania zarówno geologii, jak też geofizyki. Geolodzy uzyskują informacje z bezpośrednich badań powierzch-

niowych bądź też z wierceń. Niestety, przytłaczająca ilość wierceń to odwierty płytkie. W Europie są tylko dwa supergłębokie odwierty: najgłębszy na świecie na półwyspie Kola (12,3 km) i drugi w Niemczech zwany KTB (9,1 km). Tak więc większość informacji o budowie Ziemi i procesach zachodzących w jej wnętrzu uzyskuje się z pomiarów geofizycznych. Geofizyka dysponuje szeregiem metod, takich jak np. metody sejsmiczne, grawimetryczne, magnetyczne, geoelektryczne, termiczne. Interpretacja danych uzyskiwanych z pomiarów polega na ogół na konstrukcji modelu numerycznego. Niestety w niektórych przypadkach konstrukcja modelu nie jest jednoznaczna. Niewątpliwie najprecyzyjniejsze informacje uzyskuje się z sejsmiki refleksyjnej. Jednak jej ograniczeniem jest mały zasięg głębokościowy, co najwyżej do kilkudziesięciu kilometrów. Za to tych ograniczeń nie ma sejsmika refrakcyjna. To na podstawie danych z rozchodzenia się fal we wnętrzu Ziemi mamy np. informacje, że Ziemia składa się z jądra wewnętrznego i zewnętrznego, górnego i dolnego płaszcza oraz skorupy. Dla zrozumienia geodynamiki Ziemi oprócz poznania elementów jej budowy istotne jest odtworzenie przeszłej dynamiki zmian. W tym bardzo istotną rolę odgrywają badania magnetyczne, w szczególności paleomagnetizm. Teoria tektoniki płyt, największe odkrycie w geologii w drugiej połowie XX wieku, oparta jest na analizie pola magnetycznego na profilach przecinających Atlantyk. Jest to tzw. hipoteza Vine'a-Matthewsa-Morleya o rozszerzaniu się dna oceanu i tworzeniu się nowej skorupy oceanicznej oraz dryfcie kontynentów. Analiza wielu profili pokazywała, że w zarejestrowanym polu magnetycznym istnieją liniowe anomalie, symetryczne względem pewnej linii, którą interpretowano jako ryft transoceaniczny; Było to mocnym dowodem na to, że wylewająca się na powierzchnię lava w momencie stygnięcia zamraża istniejące wtedy pole magnetyczne. Następnie dryfujące od ryftu fragmenty skorupy generują obserwowane anomalie. Jako ciekawostkę można podać, że magnetometr, który wykorzystywano w tych badaniach, był skonstruowany do wykrywania łodzi podwodnych. Wspomniany ruch kontynentów, o prędkości kilku cm na rok, można dziś mierzyć bezpośrednio dzięki kolosalnej dokładności systemów GPS. Pomiar paleomagnetyczny okazał się bardzo pomocny dla odtworzenia ruchów płyt kontynentalnych w przeszłości geologicznej.

Pomimo ciągłego postępu nie udało się jednak wytłumaczyć wielu bardzo istotnych zjawisk. Poniżej w telegraficznym skrócie je omówię. Nie potrafimy precyzyjnie zbudować modelu generacji pola magnetycznego i jego powolnych zmian, w tym zdarzającego się od czasu do czasu odwrócenia się biegunów, choć niektóre modele nieźle zjawisko to tłumaczą. Takie własności pola magnetycznego tłumaczy się modelem dynama, które tworzy prądy konwekcyjne płynące na granicy ciekłego jądra. Odwrócenia biegunów nie są ściśle periodyczne w czasie; nie potrafimy ich przewidywać, choć w historii Ziemi zdarzało się to wielokrotnie. Nie wiemy też, jak takie zmiany wpływają na życie na Ziemi. Wspomniałem, że jednym z najważniejszych odkryć drugiej połowy XX wieku

była teoria płyt tektonicznych, spowodowała ona jednak cały szereg nowych pytań. Jaki jest mechanizm tych ruchów i jaka jest niezbędna do tego energia? Dlaczego w niektórych przypadkach kolizja dwu płyt prowadzi do ruchów górotwórczych, zaś w innych następuje tylko dokowanie? Dlaczego płyty kontynentalne wykonywały tak skomplikowane ruchy? Próba odpowiedzi na te pytania prowadzi do konieczności przyjęcia istnienia komórek konwekcyjnych we wnętrzu Ziemi oraz stwierdzenia, że model o kulistej symetrii Ziemi jest tylko pierwszym przybliżeniem, gdyż Ziemia stanowi raczej formę trójwymiarową. Nie ma też pełnej teorii ruchów górotwórczych oraz powstawania i ewolucji wielkich basenów osadowych. Wiele już wiemy o mechanizmach powstawania trzęsień Ziemi, dalecy jednak jesteśmy od możliwości ich przewidywania, podobnie jest także z wybuchami wulkanów. Wątpliwości dotyczą nie tylko budowy i dynamiki wnętrza Ziemi, ale także genezy niektórych surowców. Na przykład, dwadzieścia lat temu powszechny był pogląd, że gaz i ropa są pochodzenia organicznego, a obecnie coraz więcej badaczy optuje za ich nieorganicznym pochodzeniem. W tym krótkim artykule nie sposób przedstawić całości problematyki badania wnętrza Ziemi, a te wspomniane problemy uważam za najistotniejsze. Reasumując, nasza wiedza o wnętrzu Ziemi jest stosunkowo skąpa, znacznie szybciej poznajemy mikroświat czy też odkrywamy budowę wszechświata niż procesy, które zachodziły i zachodzą we wnętrzu naszego globu.

Omówmy teraz aplikacyjne zastosowania geofizyki. Chciałbym od razu zaznaczyć, że podział na geofizykę podstawową i stosowaną nie jest ostry, często się one przeplatają. Geofizyka stosowana to przede wszystkim prospekcja, czyli poszukiwanie struktur, w których mogą znajdować się surowce użyteczne. Metody używane w prospekcji mają te same podstawy fizyczne, jak te stosowane w badaniach podstawowych, niemniej mają też one swoją specyfikę. Z reguły są to prace regionalne, dotyczące fragmentu badania górnych warstw skorupy ziemskiej i stosuje się w nich często sztuczne źródła sygnałów. Przykładem takim są badania sejsmiczne, gdzie źródłem sygnałów są eksplozje materiału wybuchowego bądź potężne wibratory. Od badań prospekcyjnych oczekujemy dużych dokładności dotyczących struktury badanego obszaru. Bezspornie najlepszą metodą jest sejsmika refleksyjna. To rezultaty uzyskane tą metodą doprowadziły do odkrycia licznych złóż ropy i gazu. Metody pól potencjalnych, grawimetria i magnetyka są bardzo pomocne przy podziale tektonicznym rejonu. Na ich podstawie można okonturowywać struktury geologiczne, jednak dla ustalenia modeli wglębnej budowy geologicznej mają one znaczenie pomocnicze. Badania elektromagnetyczne ustępują dokładnością sejsmicie. Z dwu odmian metod sejsmicznych – refleksyjnej i refrakcyjnej – ta druga może przynosić informacje z większych głębokości, ale ma mniejszą rozdzielczość. Badania elektromagnetyczne również mają niewielką rozdzielczość, za to znaczny zasięg głębokościowy. Osobnym działem geofizyki stosowanej są pomiary otworowe. Są takie dziedziny, o których trudno powiedzieć, czy są one podstawowe czy stosowane. Przykładem

takim jest sejsmologia górnicza czy też określanie ryzyka sejsmicznego przed budową dużych konstrukcji inżynierskich np. przed budową elektrowni jądrowej. Choć geofizyka prospekcyjna zajmuje się budową geologiczną struktur płytkich, musi być powiązana także z budową całej skorupy ziemskiej.

W dalszym ciągu tego artykułu podam przykład, jak badania takie, podstawowe i aplikacyjne, mogą się przeplatać. Ten przykład będzie dotyczył rejonu Polski. Dla jego zrozumienia potrzebna jest pewna, minimalna chociaż, znajomość specyfiki budowy geologicznej naszego kraju. W rejonach styku dwu platform powstały wielkie baseny osadowe o głębokości rzędu 20 km. W centralnej Polsce jest to tzw. Basen Polski, będący częścią basenu permskiego, w południowej to basen związany z Karpatami. Oba baseny są największymi w sensie rozciągłości i głębokości w Europie. W budowie geologicznej i w stopniu rozpoznania bardzo się różnią. Basen Polski jest bardzo dobrze rozpoznany do warstwy cechsztynu, w środkowej części basenu to głębokości rzędu 7 km. Cechsztytu to głównie warstwa soli, która stanowi znakomity reflektor dla sejsmiki refleksyjnej, jak już wspomniałem najdokładniejszej metody geofizycznej. W rejonie tym jest też znaczna ilość wierceń, w części centralnej nie przybijają one jednak cechsztynu.

Budowa basenu związanego z Karpatami jest inna. Dominują tam warstwy fliszowe o bardzo dużej miąższości. Istnienie tych warstw skutkuje obecnością wielu lokalnych reflektorów fal sejsmicznych, co w znacznym stopniu ogranicza możliwości sejsmiki. Pewne istotne informacje mamy z kilku głębokich wierceń wykonanych poza centralną częścią basenu. Reasumując, informacje o budowie niższych partii basenów uzyskiwane przez przedsiębiorstwa prospekcyjne są jednak skąpe. Pewną wiedzę przyniosły tu badania podstawowe prowadzone w Instytucie Geofizyki PAN, których celem było badanie budowy skorupy. Mam tu na myśli przede wszystkim badania metodami sejsmologii eksplozyjnej, wykonane w ramach wielkich międzynarodowych projektów POLONAISE, CELEBRATION, SUDETES. Kierownikiem tych wielkich projektów był prof. Guterch, i to jemu głównie należy zawdzięczać, że Polska należy do krajów o najlepiej rozpoznanej budowie skorupy nie tylko w Europie, ale w całym świecie. Profile wykonane w ramach tych projektów przecinają wspomniane wielkie baseny osadowe. Ich rezultaty wskazują, że w Basenie Polskim pod warstwą cechsztynu znajduje się kompleks skał o prędkościach charakterystycznych dla skał osadowych, sięgając, w centralnej części, prawie 20 km. Bardzo dużą miąższość skał osadowych dokumentują także profile karpackie. Co ciekawsze, w podstawowych zarysach, wyniki sejsmologiczne zgodne są, z wynikami sondowań geomagnetycznych i magnetotelurycznych. Obie metody, sejsmiczna i elektromagnetyczna, nie mają jednak zbyt dużej rozdzielczości i jednoznaczności; mogą one dokumentować tylko zasadnicze rysy budowy geologicznej. Lokalizacja osi maksymalnej miąższości osadów jest w pełni zgodna, i na głębokościach od 7 do 20 km w metodzie sejsmicznej identyfikowane są skały o prędkości 5,9 km/s (5,8-6,0),

a w metodach elektromagnetycznych o oporności właściwej rzędu ok. 2Ω . Ta ostatnia informacja jest szczególnie istotna, ponieważ te bardzo niskie oporności świadczą, że występują tam skały porowate wypełnione zmineralizowaną wodą. Powstaje pytanie, czy ta informacja o skałach występujących w dolnej części basenów może mieć znaczenie praktyczne? Dwadzieścia lat temu odpowiedź byłaby negatywna. Pamiętam opinię z lat sześćdziesiątych czołowego polskiego górnika, członka naszej Akademii, Bolesława Krupińskiego – który twierdził, że to, co kryje się poniżej 4 km, nie interesuje górników. Stwierdzenie takie może być prawdziwe, gdy myślimy o surowcach stałych, ale nie dla ropy i gazu. W ostatnim dwudziestolecu zmieniły się zasadniczo poglądy na istnienie, a także na opłacalność wydobycia gazu i ropy z tak dużych głębokości. Ta rewolucyjna zmiana poglądów zaczęła się w Stanach Zjednoczonych. Obecnie w Stanach wykonuje się rocznie ok. 300 głębokich odwiertów (powyżej 4,5 km), których celem jest znalezienie i eksploatacja głębokich złóż gazu. Czołowi eksperci przewidują, że w drugiej połowie XXI wieku gaz ziemny będzie głównym surowcem energetycznym. Wiercenia prowadzone są w wielu stanach, tam gdzie występują duże baseny sedimentacyjne. Prace te prowadzi wszystkie duże firmy naftowe. W ostatnich dniach cały świat obiegła sensacyjna wiadomość, że koncern BP w Zatoce Meksykańskiej nawiercił na głębokości 10,5 km bogate złoża ropy. Dwadzieścia lat temu taka wiadomość byłaby potraktowana jako kaczka dziennikarska. Zmienia ona zasadniczo nasze poglądy na rozmieszczenie ropy i gazu w Ziemi.

Wróćmy teraz do przykładu z Polski. Na naszym terytorium leżą częściowo dwa największe w Europie baseny sedimentacyjne. Badania geofizyczne prowadzone w ramach prac podstawowych pozwalają na stwierdzenie, że w dolnej części tych basenów występują skały porowate nasycone fluidami. Cały ten kompleks ma miąższość rzędu kilku kilometrów. Wydaje się możliwe, że w górnej części tej warstwy, w lokalnych pułapkach tektonicznych, zebrał się gaz. Stwierdzenie, czy tak jest, wymaga jednak dalszych badań, a przede wszystkim przeprowadzenia głębokich wierceń. Przedstawiony przykład pokazuje, że oprócz oczywistych powiązań między badaniami *stricte* poznawczymi a aplikacyjnymi, jakie występują w naszych badaniach, możemy mieć również związki zupełnie nieoczekiwane. Wykonując geofizyczne badania głębokich struktur w skorupie ziemskiej, nie spodziewaliśmy się przecież uzyskać wskazanych wyżej informacji istotnych dla geologii naftowej. Mamy nadzieje, że nasze wnioski przyczynią się do większego zaangażowania się w ten problem przedsiębiorstw naftowych. To, że w naukach o Ziemi istnieją ścisłe związki pomiędzy badaniami podstawowymi a stosowanymi, wydaje się oczywiste, przedstawiony przykład dowodzi, że badania, które miały na celu zadania poznawcze, mogą się okazać bardzo istotnymi dla gospodarki kraju. Można sobie wyobrazić, jak zmieniłaby się sytuacja gospodarcza i polityczna Polski, gdyby rzeczywiście odkryto na jej terytorium duże, głębokie złoża gazu ziemnego.

**Is the research of deep-seated geological structures useful
from practical point of view?**

Similarities and differences between basic and application-oriented research in geophysics are discussed. Particular attention is drawn to the fact that some results of basic research may turn out to be useful from practical point of view. This is illustrated by the example of the lithosphere investigations in Poland. Poland is a site of two huge sedimentary basins, the Polish Basin and the Carpathians. Surveys of the lower parts of these basins, as performed with two methods, explosive seismology and electromagnetic sounding, revealed the presence of porous rocks, which may suggest their reservoir-like nature.

Key words: pure and applied geophysics, sedimentary basin, deep natural gas