

ALEKSANDER GUTERCH, RUFIN MATERZOK, JAN PAJCHEL, EDWARD PERCHUĆ

Instytut Geofizyki PAN

SEJSMICZNA STRUKTURA SKORUPY ZIEMSKIEJ WZDŁUŻ VII PROFILU MIĘDZYNARODOWEGO W ŚWIETLE BADAŃ METODĄ GŁĘBOKICH SONDOWAŃ SEJSMICZNYCH

UKD 551.14/15:550.62/642:550.834.32:551.242.5 + 551.243 (438 profil Snieżka — Rawicz — Toruń)

Badania skorupy i górnego płaszcza Ziemi metodami sejsmologii eksplozywnej są objęte w Europie trzema programami badawczymi, których realizacja opiera się na ścisłej współpracy międzynarodowej. Są one realizowane w ramach projektów głębokich sondowań sejsmicznych w Europie południowo-zachodniej, północno-zachodniej oraz środkowej i wschodniej. Badania skorupy i górnego płaszcza Ziemi na profilach sejsmicznych w środkowej i wschodniej Europie zostały zainicjowane przez Komisję Geofizyczną Karpacko-Balkańskiej Asocjacji Geologicznej na VI Kongresie w Krakowie w 1963 r. Całość tych badań w Europie koordynowana jest przez Europejską Komisję Sejsmologiczną, a ponadto przez komisję Akademii Nauk ds Geofizyki Planetarnej (KAPG) w Europie Wschodniej. Z sieci profili głębokich sondowań sejsmicznych w środkowej i wschodniej Europie trzy przechodzą przez Polskę. Jednym z nich jest VII profil międzynarodowy, którego lokalizację przedstawiono na ryc. 1, wraz z innymi profilami GSS, wzdłuż których przeprowadzono lub aktualnie prowadzi się badania głębokiej struktury skorupy ziemskiej. Długość profilu VII na obszarze Polski wynosi około 520 km.

Systematyczne badania skorupy i górnego płaszcza Ziemi metodami sejsmologii eksplozywnej na VII profilu międzynarodowym zostały wykonane przez Instytut Geofizyki PAN w latach 1970—73. Profil ten w założeniach wstępnych przechodził przez obszar Polski oraz Czechosłowacji (w przybliżeniu wzdłuż linii: Pisek — Nymburg — Snieżka — Rawicz — Toruń — północna granica państwa) i dalej w ZSRR, w rejonie Kaliningradu. W strefie granicznej w rejonie Sudetów pomiary sejsmiczne wykonano współpracując z Instytutem Geofizyki w Brnie. Wykonane w latach 1971—72 pomiary sejsmiczne na południowym przedłużeniu profilu VII, bezpośrednio poza granicami CSRS, RFN (przez grupy pomiarowe uniwersytetu w Monachium), związały go z systemem profili alpejskich. Jednocześnie w 1973 r. VII profil międzynarodowy został przedłużony na terytorium ZSRR. W strefie granicznej pomiary zostały wykonane przez Instytut Geofizyki PAN i Gornyj Institut w Leningradzie.

Przedłużając profil VII dalej na N można będzie uzyskać wiązanie z bardzo interesującymi profilami GSS wykonanymi w ZSRR na tarczy bałtyckiej. Jest to zatem jeden z najdłuższych profili głębokich sondowań sejsmicznych skorupy ziemskiej, przecinający wszystkie najważniejsze jednostki tektoniczne

od Europy północno-wschodniej do południowej. Profil VII będzie bazą dla przyszłych projektowanych już głębokich sondowań sejsmicznych dolnej litosfery i astenosfery, w których polski odcinek profilu, podobnie jak i przy badaniach skorupy ziemskiej, będzie miał podstawowe znaczenie. Projekt ten będzie realizowany przy szerokiej współpracy międzynarodowej.

W latach 1970—71 badania na profilu VII były finansowane wyłącznie przez Polską Akademię Nauk (Problem Resortowy PAN nr 13) przy współpracy ze Zjednoczeniem Górnictwa Naftowego reprezentowanym przez Przedsiębiorstwo Geofizyki Górnictwa Naftowego w Krakowie. Począwszy od 1972 r. badania te były także częściowo finansowane przez Centralny Urząd Geologii.

Prace terenowe wykonywały zespoły sejsmiczne PGGN w Krakowie, PPG oraz okresowo przez PGGN w Toruniu, przy współudziale pomiarowych grup sejsmicznych i sejsmograficznych Instytutu Geofizyki PAN.

POZYCJA TEKTONICZNA PROFILU VII W POLSCE

Międzynarodowy profil VII biegnie na obszarze Polski w przybliżeniu wzdłuż linii Snieżka — Legnica — Gostyń — Września — Toruń — północna granica państwa i dalej na obszarze ZSRR w rejonie Kaliningradu. Profil ten przecina regiony geologiczne należące do trzech dużych jednostek tektonicznych, których granice nie są ściśle ustalone. Na NE profil VII przechodzi przez obszar starej platformy europejskiej. Dokładne określenie SW granicy platformy stanowi jeden z ważniejszych problemów tektonicznych Europy. Ogólnie granicę tę wyznacza znana w literaturze tektoniczna linia Teisseyre'a lub równoważna jej linia Tornquista biegnąca w przybliżeniu w kierunku NW—SE. Linia ta przecina profil VII nieco na S od Torunia. Podejmowane ostatnio liczne badania geologiczne i geofizyczne, mające na celu dokładne określenie granicy starej platformy europejskiej, nie dały jednoznacznej odpowiedzi. Stąd, w dalszym ciągu tej pracy przyjmujemy za J. Znoska (32) określenie nie linii, lecz strefy linii Teisseyre'a-Tornquista.

Obszar położony na SW od strefy linii Teisseyre'a-Tornquista również nie ma jednoznacznie ustalonej pozycji tektonicznej. Przedstawiane w literaturze poglądy są często (przynajmniej częściowo) rozbieżne zarówno w szczegółach zasięgu jednostek tektonicz-

nych, jak i w ich nazewnictwie. Według W. Pożaryskiego (22, 23) na SW od platformy prekambryjskiej rozciąga się przegłębienie perykratoniczne, a następnie platforma epiwaryscyjska z elementem brzeżnym Masywu Czeskiego (Sudety) i zapadliskiem śródogórskim. Platforma epiwaryscyjska południowo-wschodniej Polski składa się z odsłoniętego cokołu (masyw waryscyjski) oraz z płyty. W cokole waryscyjskim wydziela się trzy główne jednostki tektoniczne, z których Sudety Zachodnie przecina profil VII. Pokrywa płyty jest pochylona w kierunku północnym. Rów przedgórski Waryscyjdów, jeśli występuje, to wchodzi w skład przegłębienia perykratonicznego.

Inne nieco poglądy na tektonikę tego obszaru są sformułowane w pracach J. Znoski (31, 32), według którego na W od linii tektonicznej Teisseyre'a rozciąga się platforma paleozoiczna i dalej górotwór paleozoiczny (Sudety Zachodnie, blok przedsudecki). Platforma paleozoiczna (monoklina przedsudecka, niecka mogileńska, część kujawska wału środkowopolskiego i niecka brzeżna) zbudowana jest z dwóch pięter strukturalnych. Dolne piętro tworzy uszytowane, sfałdowane i częściowo zmetamorfizowane podłoże paleozoiczne o konsolidacji kaledońskiej i waryscyjskiej, natomiast górne — pokrywa osadowa. Podłoże platformy paleozoicznej przyrasta do starej platformy europejskiej wzdłuż strefy wgłębnej rozłamu tektonicznego, który po skonsolidowaniu się podłoża paleozoicznego (po jego spenepienizowaniu i nakryciu pokrywą osadową) przekształcił się w szew tektoniczny. Strefa rozłamu tektonicznego tworzy granicę między platformą prekambryjską a paleozoiczną. Platforma paleozoiczna podlegała staro- i młodooalpejskim ruchom synorogenicznym, o czym świadczy charakterystyczna dla tego obszaru tektonika dysjunktywna i salinarna.

TECHNIKA I METODYKA POMIARÓW

Pomiary prowadzono przy użyciu wielokanałowych aparatów refrakcyjnych typu „Poisk KMPW” oraz specjalnych 6-kanałowych aparatów niskoczęstotliwościowych IGF PAN. Stosowano geofony NC-2 o częstotliwości około 2,3 Hz oraz częściowo geofony typu SPEN-1 (10 Hz). Odległości między geofonami wynosiły 100, 120 i 20 m. Pomiary prowadzono metodą profilowania ciągłego dla interwałów odległości od około 50 lub 0 do około 180—220 km od punktów strzałowych. Odległości między punktami strzałowymi wynosiły od 60 do 90 km. Wielkość ładunków materiałów wybuchowych zmieniała się od 300 do 1200 kg dynamitu. Ładunki odpalano w otworach o głębokości 30—40 m, grupowanych powierzchniowo.

Stosowany schemat pomiarowy wystarczał dla dokładnego określenia struktury dolnej strefy skorupy ziemskiej, łącznie z granicą Moho. Inne, płytsze nieciągłości, a zwłaszcza granicę podłoża skonsolidowanego można było określać z mniejszą dokładnością lub tylko w przybliżeniu.

Jednocześnie z ciągłymi pomiarami sejsmicznymi prowadzono dla wybranych gałęzi hodografów punktowe rejestracje przy użyciu sejsmografów o częstotliwości około 1 Hz. Maksymalne powiększenie sejsmografów wynosiło 200 000 i było wystarczające dla poprawnej rejestracji fal do odległości około 110 km od punktów strzałowych. Rejestracje prowadzone przy użyciu sejsmografów były podstawą dla dynamicznej kalibracji fal odbitych występujących w przedziale odległości od około 50 do około 110 km. Wszystkie rejestracje skalowano sekundowymi sygnałami czasu czechosłowackiej radiostacji „OMA” (50 kHz).

UWAGI O NATURZE GRANIC SEJSMICZNYCH W SKORUPIE ZIEMSKIEJ

W sejsmicznym polu falowym (przy badaniach skorupy ziemskiej metodami sejsmologii eksplozyjnej) szczególnie wyraźnie i powszechnie zaznaczają się dwie nieciągłości, którymi są powierzchnia pod-

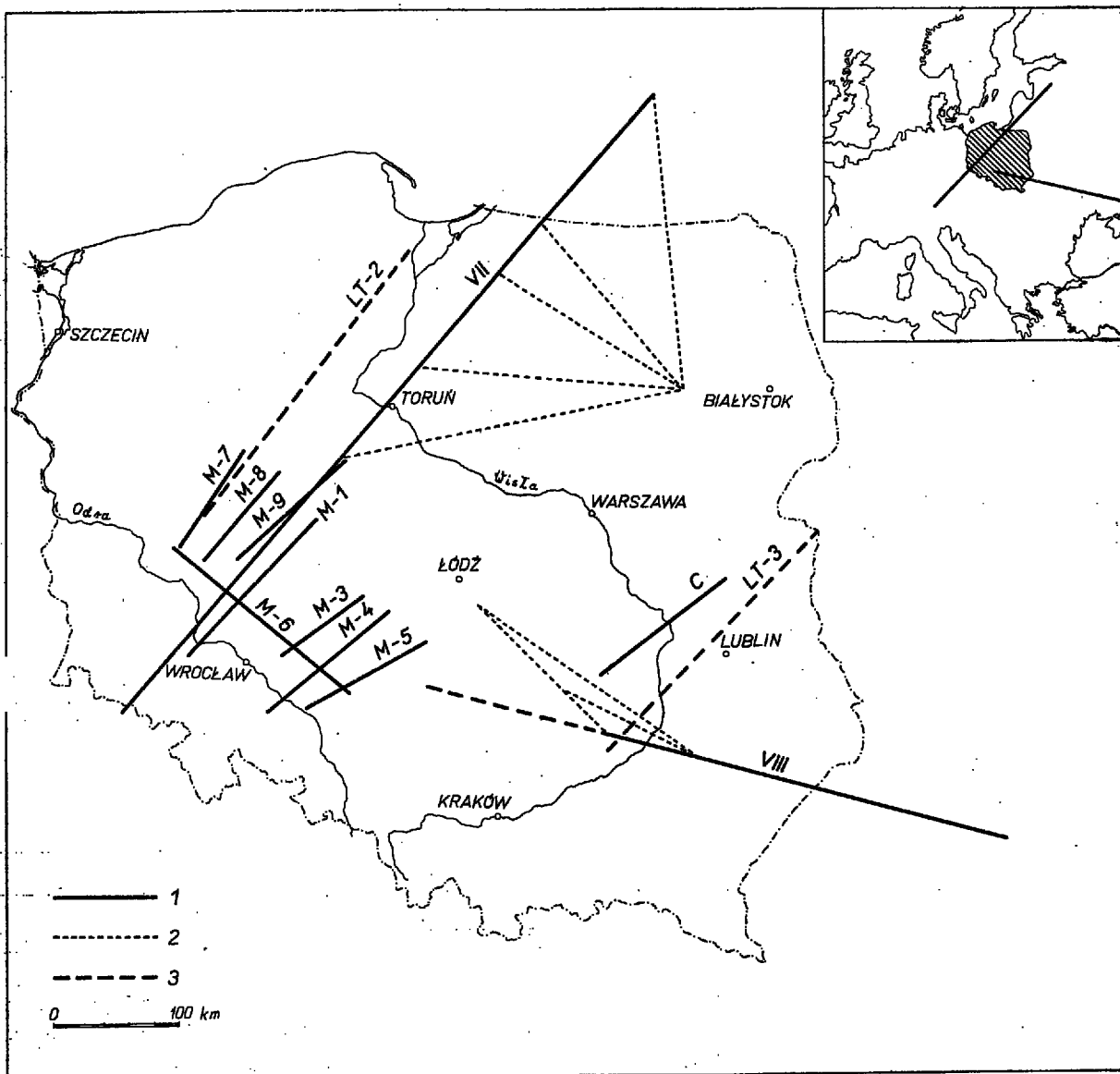
łoża skonsolidowanego oraz granica Moho. Od powierzchni podłoża skonsolidowanego rejestruje się w ogólności fale refrakcyjne, które w przeważającej większości przypadków mają charakter fal refragowanych w ośrodku o małym gradiencie prędkości. Tego typu fale będziemy nazywać falami „słabo refragowanymi”. Z nieciągłością Moho wiążą się zarówno fale refrakcyjne, jak i odbite. Te ostatnie mają podstawowe znaczenie reperowe w sejsmicznych badaniach skorupy i górnego płaszcza Ziemi. Fale odbite od granicy Moho przede wszystkim rejestruje się w obszarze okołokrytycznym i zakrytycznym. Znane są również przykłady, jakkolwiek nieliczne, rejestracji fal odbitych w znacznej części lub w całym obszarze przed punktem krytycznym.

Między powierzchnią skonsolidowanego podłoża a nieciągłością Moho występują różnorodne granice sejsmiczne, które nie mają jednak ustalonych i powszechnie powtarzalnych charakterystyk zarówno falowych, jak i kinematycznych. Jeśli powierzchnia podłoża skonsolidowanego najczęściej charakteryzuje się prędkością fal podłużnych 6,0—6,2 km/s, a dla nieciągłości Moho analogiczna typowa wartość wynosi 8,0—8,2 km/s, to ewentualne granice sejsmiczne w skonsolidowanym kompleksie skorupy ziemskiej mogą przyjmować wszystkie wartości od około 6,3 km/s do około 7,8 km/s. Trudno więc określić dokładnie jaka wartość prędkości fal podłużnych określa tzw. granicę Konrada, czyli powierzchnię „warstwy bazaltowej”, albo granicę między piętrami granitowo-gnejsowym i granulitowo-zasadowym w petrologiczno-fizycznym modelu skorupy ziemskiej (W. W. Bielewska, 2).

Jeżeli mimo tych trudności stosuje się nazwę granicy Konrada, to ma ona znaczenie umowne i bardzo przybliżone, ponadto granica ta często określona jest tylko na podstawie kryteriów falowych i wyznacza jedynie poziom szybszego wzrostu prędkości fal podłużnych z głębokością. Stąd wiązanie daleko idących wniosków tektonicznych z miąższościami tzw. pięter: „granitowego” i „bazaltowego” budzi istotne zastrzeżenia. Zgodnie z nowszymi wynikami badań fizyki wnętrza Ziemi granica Konrada powinna oznaczać najczęściej jedynie pewną prędkość fal P lub strefę przejściową określoną przedziałem zmian prędkości fal podłużnych.

Charakter fal sejsmicznych związanych z granicami w skonsolidowanym kompleksie skorupy ziemskiej jest bardzo często trudny do określenia. Najczęściej jednak fale te mają charakter fal odbito-zalanych, jest to rezultat słabej na ogół stratyfikacji prędkościowej ośrodka skorupowego. Pełny obraz tzw. dyskretnej struktury skorupy ziemskiej komplikują również występujące w niej strefy obniżonych i podwyższonych prędkości fal sejsmicznych. Wybór zasad postępowania metodycznego przy interpretacji złożonego obrazu pola falowego, występującego w głębokich sondowaniach sejsmicznych, uzależniony jest od charakterystycznych cech nieciągłości oraz struktury fizycznej danego bloku skorupy ziemskiej. Duża różnorodność i zmienność tektonofizycznych własności skorupy ziemskiej powodują, że metody całego procesu interpretacji należy zmieniać elastycznie i dostosowywać do zmieniającego się obrazu pola falowego.

Natura głębokich granic sejsmicznych w skorupie ziemskiej jest specyficzna i w niczym niepodobna do granic stratygraficznych oraz litologicznych, występujących w seriach osadowych. Ta odmiennność wynika stąd, iż najprawdopodobniej są to granice typu fazowego. Uwaga ta dotyczy przede wszystkim nieciągłości Moho. Interpretacja silnych fal odbitych od granicy Moho w obszarze okołokrytycznym i zakrytycznym pozwala sądzić, że w przeważającej większości przypadków jest to strefa wielokilometrowa, w której ogólnie można określić jedną, dwie lub więcej nieciągłości. Wskazanie która z nich stanowi podłoże skorupy ziemskiej jest często problemem bardzo trudnym; rozwiązanie tego komplikuje się w świetle ostatnich wyników badań z zakresu petrologii eksperymentalnej, dotyczących przejść fazowych w warunkach wysokich ciśnień i temperatur. Zagadnienie to było dyskutowane w pracach A. Gu-



Ryc. 1. Lokalizacja profili sejsmicznych

1 — profile, wzdłuż których określano głęboką strukturę skorupy ziemskiej na podstawie ciągłego podłużnego profilowania sejsmicznego, 2 — profile, wzdłuż których wykonano punktowe, niepodłużne sondowanie sejsmiczne, 3 — profile sejsmiczne, wzdłuż których wykonano pomiary GSS w 1974 r.

Fig. 1. Location of the DSS international profile VII.

1 — refraction lines for continuous seismic profiling (international and regional profiles); 2 — refraction lines for special point seismic profiling; 3 — DSS profiles carried out in 1974.

tercha, R. Materzoka, J. Pajchla (11, 13) w odniesieniu do głębokiej struktury skorupy ziemskiej monokliny przedsudeckiej.

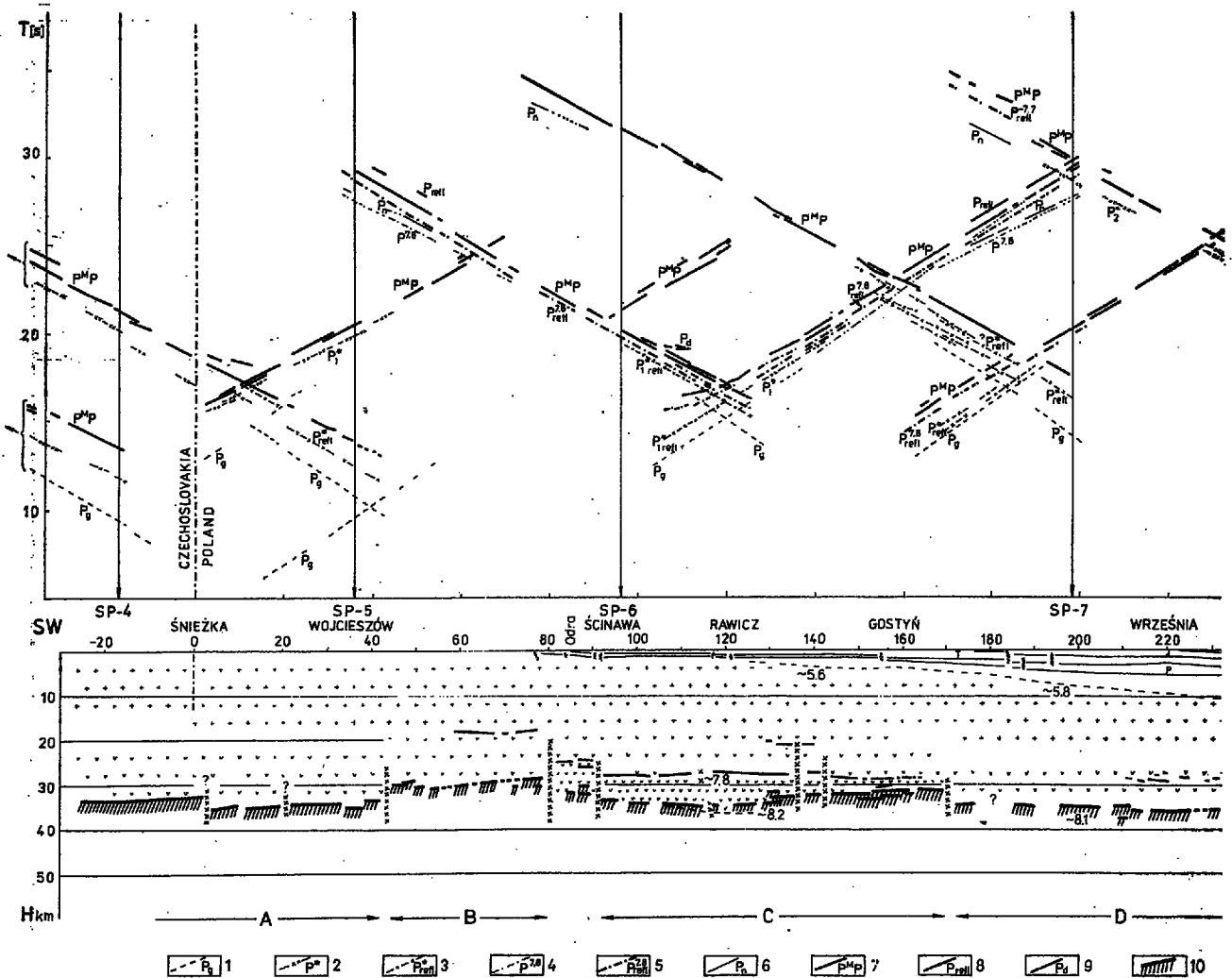
Trudności w określeniu natury granicy Moho wzrastają ze zwiększeniem się dokładności w realizacji złożonych systemów pomiarowych. Często obserwowany nieciągły i niesystematyczny charakter zapisu fal odbitych od Moho, silne tłumienie jednych faz i pojawianie się nowych, odzwierciedla rzeczywisty charakter dolnej granicy skorupy ziemskiej, będącej w rezultacie skomplikowaną strefą przejścia do górnego płaszczka Ziemi.

W. B. Sołogub i A. B. Czekunow (29) na podstawie analizy licznych materiałów sejsmicznych (w podsumowaniu kolejnego etapu badań skorupy ziemskiej metodą GSS na Ukrainie) wyróżniają 3 typy strefy przejściowej między skorupą a górnym płaszczem Ziemi: 1) przejście ostre charakteryzujące się 2—3 fazową rejestracją fal odbitych; granica Moho jest wówczas stosunkowo ściśle zdefiniowana, ale jest to przypadek rzadko spotykany; 2) strefę przejściową między skorupą a górnym płaszczem charakteryzują grupy fal odbitych o rozciągłości od 0,5 do

1,0 s i więcej; miąższość strefy przejściowej jest wtedy oceniana na od 2—5 km do 10—15 km; 3) w strefie przejścia wyróżnia się dwie lub więcej nieciągłości, każda z nich może być przyjęta na podstawie swoich własności kinematycznych i dynamicznych za dolną granicę skorupy ziemskiej.

Do podobnych wniosków o strukturze i miąższości strefy przejściowej między skorupą a górnym płaszczem Ziemi prowadzą studia nad określeniem funkcji ciągłego rozkładu prędkości z głębokością. Tego rodzaju wyniki badań przedstawiono w pracach P. Giese i in. (6), K. Bram, P. Giese (4), P. Giese, A. Stein (7). W wymienionych pracach geofizyków RFN granica Moho definiowana jest jako strefa największych gradientów prędkości albo jako głębokość, na której prędkość rośnie szybko od około 7,5 km/s do około 8,1—8,5 km/s.

Rezultatem szczegółowej interpretacji licznych grup fal odbitych w strefie przejściowej między skorupą a górnym płaszczem są przekroje skorupy ziemskiej z granicą Moho nieciągłą, wielokrotną lub też z występującymi w jej pobliżu licznymi innymi nieciągłościami, rozmieszczonymi w wielokilometro-



Ryc. 2. Hodografy i przekrój skorupy ziemskiej wzdłuż VII profilu międzynarodowego GSS.

1 — fale refrakcyjne od podłoża skonsolidowanego, 2—3 — fale refrakcyjne i odbite od nieciągłości we wnętrzu skorupy, 4 i 5 — fale refrakcyjne i odbite od nieciągłości interpretowanej, jako górna granica strefy przejściowej skorupa/górny płaszcz, 6 i 7 — fale refrakcyjne i odbite od

nieciągłości Moho, 8 — fale odbite od nieciągłości poniżej granicy Moho, 9 — fale dyfrakcyjne, 10 — granica Moho, 11 — inne granice, 12 — granica podłoża skonsolidowanego, 13 — granice stratygraficzne, 14 — prędkość graniczna w km/s, 15 — górna część skorupy, 16 i 17 — dolna część skorupy lub 17 — strefa przejściowa skorupa/górny płaszcz, 18 — głębokie rozłamy i zaburzenia tektoniczne, 19 — uskoki geologiczne, 20 — wysady solne, 21 — granice bloków skorupy ziemskiej.

wym przedziale głębokości. Taki obraz podłoża skorupy ziemskiej pozornie tylko sugeruje niejednoznaczność i fragmentaryczność wyników badań, w rzeczywistości zaś obraz ten bardzo dobrze odzwierciedla skomplikowaną naturę strefy przejściowej między skorupą a górnym płaszczem Ziemi.

ZASADY INTERPRETACJI

Interpretując wyniki badań na VII profilu międzynarodowym opierano się w szerokim zakresie zarówno na falowych, jak i prędkościowych kryteriach korelacji oraz interpretacji wydzielonych grup falowych. Podstawowych informacji o morfologii głębokich granic w skorupie ziemskiej, łącznie z granicą Moho (= strefy przejściowej), dostarczyła interpretacja fal odbitych. Fale refrakcyjne rejestrowane na krótkich odcinkach (w pierwszych impulsach) dostarczają jedynie informacji o prędkościach granicznych. Ponadto przy ogromnie złożonym charakterze głębokich granic sejsmicznych, a szczególnie nieciągłości Moho, interpretacja fal refrakcyjnych generalizuje i upraszcza rzeczywisty obraz głębokiej struktury skorupy ziemskiej.

Hodograf fal odbitych od głębokich granic w skorupie ziemskiej jest zwykle wielofazowy, nieciągły i często składa się z elementarnych gałęzi zachodzą-

cych na siebie. Generalizacja takiego hodografu (jeśli niekiedy stosowana) jest nieuzasadniona, bo obca naturze granicy Moho. Wychodząc z tego stwierdzenia przy opracowywaniu wyników badań na VII profilu stosowano zasadę interpretacji wszystkich wyróżnionych gałęzi elementarnych. Częściową generalizację, opartą także na kryteriach falowych, stosowano jedynie dla wydzielenia odpowiednio długich odcinków hodografów w celu określenia średnich prędkości. Zasady doboru parametrów fizycznych i dynamicznej klasyfikacji grup falowych oraz granic w skonsolidowanym kompleksie skorupy ziemskiej, stosowane w niniejszej pracy, zostały przedstawione w publikacji A. Gutercha (10).

Dla określenia prędkości efektywnych i średnich stosowano różne metody znane w literaturze geofizycznej. Najlepsze wyniki otrzymywane stosując wyrażenia podane przez A. W. Jegorkina (9). Prędkości średnie dla fal załamanych można obliczyć wykorzystując wyrażenie empiryczne podane przez W. U. Pawlenkową i T. W. Smielianską (21). Wzór ten jest kombinacją wyrażenia na prędkość średnią i głębokość do granicy załamującej, podanego przez O. K. Kondratiewa i A. G. Gamburcewa oraz metody średnich prędkości pozornych.

Dysponując systemem hodografów, mających punkty wzajemne oraz hodografy nabeżne można wyznaczyć przybliżony rozkład izolinii prędkości rze-

- c) fale refrakcyjne i odbite od nieciągłości interpretowanej jako górna granica strefy przejściowej między skorupą a górnym płaszczem Ziemi (np. fale P_{ref}^* , P_{ref}^{*2}) w obszarze jej występowania;
- d) fale refrakcyjne i odbite od nieciągłości interpretowanej jako granica Moho (P_n ; P_{MP});
- e) fale refrakcyjne i odbite od granicy występującej w górnym płaszczu, blisko nieciągłości Moho (P_1 ; P_{ref1}), rejestrujące się tylko fragmentarycznie;
- f) fale typu fal dyfrakcyjnych, występujące w licznych strefach głębokich rozłamów stwierdzonych na VII profilu.

Schematyczne hodografy wymienionych grup falowych przedstawiono na ryc. 2.

Grupa fal P_g . Są to fale refrakcyjne od strefy podłoża skonsolidowanego. Stosowany schemat rejestracji był niewystarczający dla ilościowej interpretacji natury fali P_g , ponieważ odległości między punktami strzałowymi wynosiły 70–80 km.

Grupa fal P^* , P_{ref}^* . Fale te związane są z granicami występującymi wewnątrz skonsolidowanego kompleksu skorupy ziemskiej. W odległości 60–100 km od punktu strzałowego mają one charakter fal odbitych, w dalszych odległościach przechodzą w fale refrakcyjne lub odbito-załamane. Ich prędkości graniczne poza platformą europejską wynoszą od około 6,5 km/s do około 7,0 km/s. Są one rejestrowane w krótkich interwałach odległości i tylko na niektórych odcinkach profilu. Fale refrakcyjne P^* mają na ogół niskie amplitudy, a ich interpretacja jest trudna i niepewna, natomiast fale odbite P_{ref}^* , w przedziale odległości około 60–100 km, charakteryzują się wyraźnymi amplitudami. Najogólniej przyjmując, poza obszarem platformy prekambryjskiej, fale P^* i P_{ref}^* są związane prawdopodobnie ze strefą podwyższonych prędkości we wnętrzu skorupy ziemskiej, którą można identyfikować umownie z powierzchnią warstwy „bazaltowej”.

Na obszarze starej platformy europejskiej zinterpretowano dwie wyraźne fale refrakcyjne (P_1^* i P_2^*) i odpowiadające im fale odbite (P_{ref1}^* i P_{ref2}^*) od nieciągłości występujących w skonsolidowanym kompleksie skorupy ziemskiej. Fale refrakcyjne P_1^* , o naturze bliskiej falom czołowym, mają prędkości około 6,7 km/s i można je wiązać z granicą, którą nazywa się często powierzchnią piętra „bazaltowego”; natomiast fale P_2^* o naturze fal słaborefragowanych charakteryzują się prędkością znacznie większą, wynoszącą około 7,2 km/s. Obie fale refrakcyjne P_1^* i P_2^* rejestrują się wyłącznie w dalszych impulsach. Obserwowane cechy kinematyczno-dynamiczne układu falowego fal P_1^* i P_{ref1}^* oraz P_2^* i P_{ref2}^* można było wytłumaczyć za pomocą modeli teoretycznych.

Grupy fal refrakcyjnych i odbitych w strefie podłoża skorupy ziemskiej. W rejonie monokliny przedsudeckiej w podłożu skorupy ziemskiej stwierdzono występowanie dwóch wyraźnych nieciągłości sejsmicznych o prędkościach około 7,8 km/s oraz 8,2 km/s. Przyjęto, iż właściwą granicę Moho tworzy nieciągłość 8,2 km/s. Obie fale refrakcyjne P_{ref}^* i P_n mają podobne amplitudy. Fala refrakcyjna P_{ref}^* była rejestrowana w pierwszych impulsach już w odległości około 135 km od punktu strzałowego. Późniejsze impulsy refrakcyjne o prędkości 8,2 km/s odpowiadające fali P_n , były rejestrowane od około 0,3 do 0,2 s po falach P_{ref}^* . Obie fale refrakcyjne charakteryzowały się niskimi amplitudami i były łatwe do rozdzielania.

Od obu nieciągłości zarejestrowano także bardzo wyraźne fale odbite o amplitudach tego samego rzędu. W większości przypadków fale te były tak łatwe do rozdzielania, że niemożliwe było nie interpretować ich jako niezależnych refleksów, mimo niewielkiej różnicy czasu między nimi. Fale P_{ref}^* charakteryzują się zwykle krótkim zapisem 2–3 fazowym sugerującym, iż odpowiada im ostra granica nieciągłości. Fale odbite od nieciągłości 8,2 km/s (P_{MP}) mają charakter rozciągnięty, wielofazowy a zatem odpowiadająca im granica powinna mieć naturę „warstwowo-dyfuzyjną”. Wyznaczone dwie nieciągłości

w podłożu skorupy ziemskiej w rejonie monokliny przedsudeckiej określają prawdopodobnie (wyjątkowo dokładnie) górną i dolną granicę strefy przejściowej między skorupą a górnym płaszczem Ziemi.

Podobny obraz falowy występuje w strefie linii Teisseyre’a-Tornquista, z którą wiąże się przede wszystkim dwie wyraźne fale odbite od nieciągłości, o prędkościach granicznych szacowanych na około 7,6–7,7 km/s i 8,3–8,4 km/s. Fale odbite w obszarze okotokrytycznym miały podobne amplitudy, a fale refrakcyjne zostały zarejestrowane tylko na krótkich interwałach odległości i stąd ich prędkości określono niedokładnie. Obie granice w strefie linii Teisseyre’a-Tornquista wyznaczono na podstawie interpretacji fal odbitych.

Grupa fal P_{ref1} . Jest to grupa fal odbitych od nieciągłości lokalnie występujących poniżej granicy Moho. Fale te były rejestrowane zwykle we fragmentach, na końcowych interwałach rejestracyjnych. Mają one amplitudy wyraźnie mniejsze niż fale odbite od granicy Moho.

Struktura pola fazowego, którą obserwuje się na VII profilu w Polsce, upoważnia do wydzielenia kilku bloków skorupy ziemskiej o zasadniczo odmiennych własnościach fizycznych. Granice bloków – strefy głębokich rozłamów są źródłem licznych fal dyfrakcyjnych i zaburzeń pola falowego. Znikają jedne fale, a pojawiają się inne o innych własnościach dynamicznych i kinematycznych.

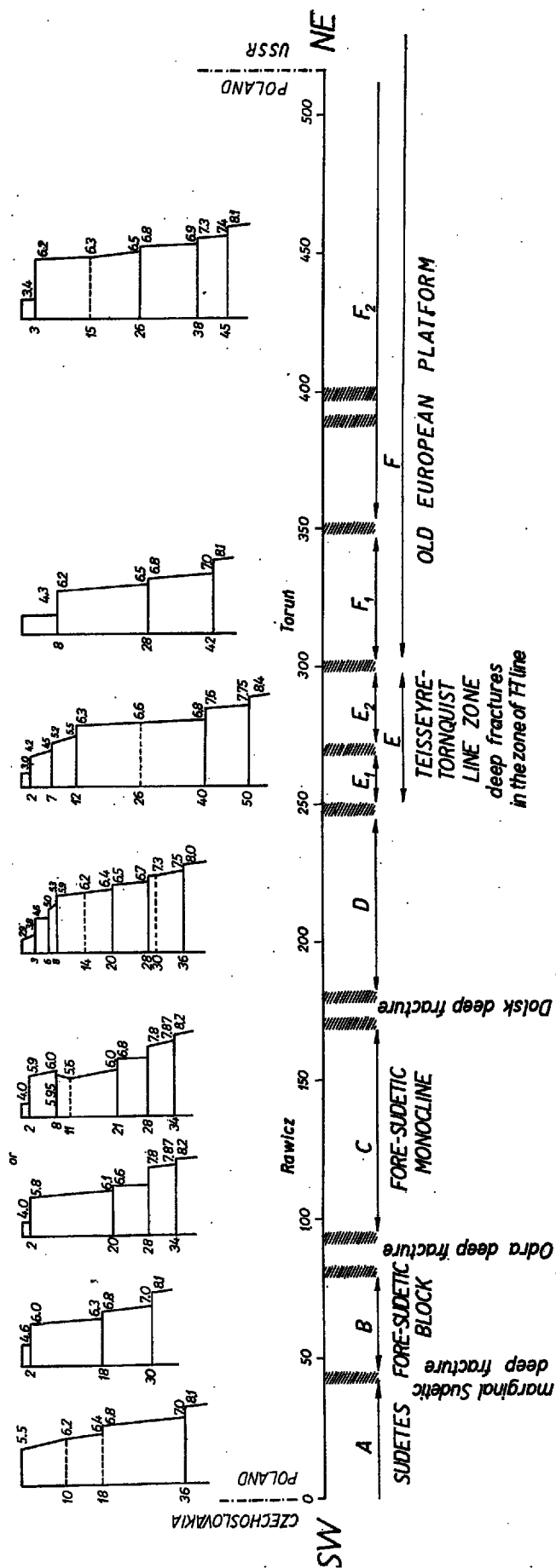
Uzupełnieniem przedstawionego opisu własności pola falowego jest charakterystyka spektralna rejestrujących się fal, mająca duże znaczenie dla określenia natury głębokich granic sejsmicznych. Wyniki otrzymane w południowej i środkowej części profilu świadczą o wyraźnych różnicach częstotliwości rezonansowej fal odbitych od granic w podłożu skorupy ziemskiej. Dla przykładu, fala P_{ref1}^* z PS-5 do odległości 90 km ma widmo o szerokości 8–16 Hz i częstotliwości rezonansowej $f_r = 11–13$ Hz. W tym samym interwale odległości fala P_{MP} ma widmo o szerokości 8–13 Hz i $f_r = 9–10$ Hz. Powyżej 90 km od PS-5 widma obu fal przesuwają się w stronę niższych częstotliwości i mają odpowiednio dla fali P_{ref1}^* szerokość 5–14 Hz i $f_r = 8$ Hz oraz dla fali P_{MP} 5–9 Hz i $f_r = 6–7$ Hz. Podobną charakterystykę częstotliwościową pola falowego przeprowadzono także dla innych gałęzi hodografów.

Szczegółowe studia częstotliwościowe pola falowego na VII profilu są przedmiotem oddzielnej pracy.

STRUKTURA SKORUPY

Wstępne wyniki badań skorupy ziemskiej na VII profilu były publikowane w pracach: A. Gutercha i in. (12) oraz B. Beránka i in. (3; wspólna praca polsko-czechosłowacka). Pełny przekrój skorupy ziemskiej wzdłuż VII profilu w Polsce przedstawiono na ryc. 2. Miąższość skorupy ziemskiej wzdłuż tego profilu zmienia się od około 30 km w rejonie bloku przedsudeckiego do 42–45 km pod starą platformą europejską. W strefie linii Teisseyre’a-Tornquista miąższość ta osiąga anomalną wartość około 50 km. Tak duża zmiana głębokości granicy Moho, wynosząca około 20 km na stosunkowo niewielkim obszarze, świadczy o wybitnie blokowej strukturze skorupy ziemskiej wzdłuż profilu VII.

Powierzchnia podłoża skonsolidowanego na przedstawionym przekroju skorupy ziemskiej ma w SW oraz środkowej części charakter schematyczny i została częściowo przyjęta na podstawie opracowania S. Marka i S. Młynarskiego (20) oraz J. Skurupy (26). Natomiast na NE części profilu podłoża skonsolidowane określono kierując się interpretacją wystarczająco szczegółowych materiałów głębokich sondowań sejsmicznych, jakie otrzymano w tym rejonie. Opracowanie S. Marka i S. Młynarskiego (20) oparte było na danych z profilu refrakcyjnego, biegnącego równoległe do profilu VII w odległości około 8–10 km. Granice stratygraficzne, które przedstawiono na przekroju z profilu VII (ryc. 2) również naniesiono na podstawie wymienianej już pracy S. Marka i S. Młynarskiego.



Ryc. 3. Modelowa reprezentacja i podział na bloki głębokiej struktury skorupy ziemskiej wzdłuż VII profilu międzynarodowego.

Szczegółowa interpretacja materiałów głębokich sondowań sejsmicznych pozwoliła na określenie szeregu bloków skorupy, które oznaczono na ryc. 2 kolejno od A do F. Modelowo-fizyczną reprezentację głębokiej struktury skorupy ziemskiej wzdłuż profilu VII przedstawiono na ryc. 3.

GŁĘBOKIE STRUKTURY BLOKÓW SKORUPY ZIEMSKIEJ

Sudety i blok przedsudecki. Schemat pomiarowy GSS, który zrealizowano w rejonie Sudetów przy współpracy Instytutu Geofizyki z Brna, okazał się niewystarczający dla dokładnego określenia struktury skorupy ziemskiej. Uzyskane materiały, wskutek ogromnie złożonej budowy Sudetów, mogły być jedynie podstawą dla określenia morfologii głębokiego podłoża skorupy ziemskiej. Innych granic nie można było określić w sposób jednoznaczny.

Główny blok sudecki oznaczony literą A (ryc. 2) jest ograniczony od SW (na terenie CSRS) głębokim rozłamek w rejonie Łaby, a od NE głębokim rozłamek zlokalizowanym na 43 km profilu VII. Ten ostatni rozłamek zgadza się w przybliżeniu z lokalizacją znanego w geologii brzeżnego uskoku sudeckiego. Stąd w dalszej części pracy będziemy go nazywać brzeżnym rozłamek sudeckim. W odległości około 3 i 21 km od Śnieżki, wzdłuż profilu VII, stwierdzono występowanie dalszych dwóch głębokich rozłamek, które jednak nie zostały dostatecznie udokumentowane, z powodu niewystarczających sejsmicznych materiałów rejestracyjnych. Maksymalna miąższość skorupy ziemskiej pod Sudetami, wynosząca około 35–36 km, została stwierdzona między Śnieżką a głębokim brzeżnym rozłamek sudeckim. Występujący między brzeżnym rozłamek sudeckim a głębokim rozłamek zlokalizowanym w rejonie Odry (80–90 km profilu) blok przedsudecki B jest wyraźnie podniesiony w stosunku do Sudetów. Głębokość granicy Moho na obszarze bloku przedsudeckiego wynosi ok. 30 km. W związku z tym można przyjąć, że główny górotwór sudecki posiada korzeń, zanurzający się jednak na bardzo nieznaczną głębokość w stosunku do bloków z nim sąsiadujących. Warto również podkreślić, iż maksymalna głębokość granicy Moho pod Sudetami występuje wyraźnie na NE od Śnieżki — jest więc niezgodna z położeniem geograficznym głównego pasma sudeckiego.

Monoklina przedsudecka. Obszar zawarty między głębokim rozłamek występującym w rejonie Odry (80–90 km profilu) a głębokim rozłamek zlokalizowanym w rejonie Dolska (170 km profilu) tworzy kolejny blok skorupy ziemskiej oznaczony literą C (ryc. 2). Rozłamek, a raczej strefa rozłamek „Odry”, o szerokości około 10–12 km, korzeniami przenika w głąb dolnej litosfery. W strefie rozłamek nieciągłości Moho jest rozmyta i trudna do określenia. Zarejestrowane serie fal dyfrakcyjnych, związane z tą strefą, świadczą o wybitnie zdyslokowanym charakterze tego obszaru. Silne lokalne nieciągłości refleksyjne występujące w strefie rozłamek „Odry”, znacznie powyżej granicy Moho, można interpretować jako wynik intruzji materiału z górnego płaszcza w głąb skorupy ziemskiej. Głęboki rozłamek „Odry” jest zgodny z lokalizacją dyslokacji znanej w geologii tego obszaru pod nazwą uskoku „Odry”.

Północne ograniczenie opisywanego bloku skorupy ziemskiej stanowi wymieniony już rozłamek z rejonu Dolska (170 km profilu) o amplitudzie zmian głębokości Moho około 2,5 do 3 km, ze zrzutem na NE. Głębokość granicy Moho w bloku C zmienia się od około 32 do około 34 km. Wewnątrzskorupowa strefa podwyższonych prędkości, którą można identyfikować z tradycyjnym pojęciem powierzchni warstwy „bazaltowej”, znajduje się na głębokości około 18–20 km. Z granicą tą wiążą się zarówno fale odbite, jak i refrakcyjne rejestrujące się tylko fragmenta-

Fig. 3. Model representation and the block division of the deep structure of the Earth's crust along the international profile VII.

rycznie ($v_p \approx 6,7$ km/s). W przedziale głębokości od około 10 do 18 km występuje prawdopodobnie strefa obniżonych prędkości. Interpretacja tej strefy jest jednak trudna i ciągle jeszcze niejednoznaczna, stąd nie umieszczono jej na omawianym przekroju skorupowym, podając ją jedynie jako jedno z możliwych rozwiązań modelowych (ryc. 3).

Duże znaczenie mają również głębokie rozłamy z rejonu Gostynia (140 km profilu). Ze strefą tą wiążą się serie silnych fal dyfrakcyjnych oraz fale proste odbite od elementów powierzchni nieciągłości nachylonych pod dużym kątem ($30-40^\circ$). Tego typu powierzchnie występują zarówno poniżej nieciągłości Moho, jak i we wnętrzu skonsolidowanego kompleksu skorupowego. Przypuszcza się, że ten specyficzny typ dyslokacji może odpowiadać procesowi wewnętrznej erozji litosfery.

Najbardziej charakterystycznym elementem opisywanego bloku skorupy ziemskiej (C) jest występowanie w podłożu skorupy tego obszaru dwóch wyraźnych nieciągłości sejsmicznych o prędkościach około 7,8 km/s oraz 8,2 km/s. Nieciągłości te określają prawdopodobnie górną i dolną granicę strefy przejściowej między skorupą a górnym płaszczem Ziemi. Miąższość strefy przejściowej zmienia się tu od około 3 do 10 km. W świetle nowszych wyników badań z petrologii eksperymentalnej strefę przejściową między skorupą a górnym płaszczem Ziemi można interpretować jako skomplikowaną strefę transformacji fazowych, najogólniej przyjmując, typu bazalt-eklogit. K. Ito i G. C. Kennedy (17, 18) stwierdzili, iż tego typu transformacja nie tylko jest możliwa, jak dowiodły tego wcześniejsze prace (30, 25) ale, że zachodzi ona w warunkach ciśnienia i temperatur, bliskim dolnej skorupie i powierzchni górnego płaszczu Ziemi.

Cytowane eksperymenty wykazały dokładnie, że transformacja bazalt-eklogit jest wyraźnie dwustopniowa: od bazaltu do granulitu granatowego i od granulitu granatowego do eklogitu. Dwa stopnie transformacji powinny wytwarzać dwie nieciągłości sejsmiczne: w dolnej skorupie i górnym płaszczu. Nieciągłości te są bądź ostre, bądź rozmyte, wreszcie jedna może być rozmyta, a druga ostra. Charakter nieciągłości zależy od składu mineralnego „bazaltu” ulegającego transformacji fazowej. W rejonie monokliny przedsudeckiej pierwsza nieciągłość (7,8 km/s) jest ostra, druga zaś (8,2 km/s) ma charakter raczej dyfuzyjny lub „warstwowo-dyfuzyjny”. Całkowita miąższość strefy przejściowej jest nieco mniejsza niż przewidują to eksperymenty K. Ito i G. C. Kennedy'ego (17, 18). Tę rozbieżność można byłoby tłumaczyć podwyższonym reżimem cieplnym Ziemi obserwowanym w rejonie monokliny przedsudeckiej. Wyższe temperatury zmniejszają bowiem rozmiary przestrzenne dwustopniowej transformacji bazalt-eklogit. Bardziej szczegółowo zagadnienie to było już dyskutowane przez autorów tej pracy (11, 13).

W ogólności, petrologiczna interpretacja wyników sejsmicznych badań strefy przejściowej skorupa/płaszcz na gruncie transformacji fazowej typu bazalt-eklogit jest jeszcze bardzo złożona i niejednoznaczna. Proces powstawania eklogitów w przyrodzie, jak tego dowiodły badania K. Smulikowskiego (27), jest także bardzo złożony. Szczegółowe badania licznych wtrąceń eklogitowo-amfibolitowych w kryształniku śnieżnickim, prowadzone przez K. Smulikowskiego (28) dowiodły możliwości powstawania eklogitów ze skał pochodzenia suprakrystalnego, w tym także osadowego. W pewnym stopniu tę pozorną sprzeczność tłumaczą badania laboratoryjne, dowodzące, iż prędkości fal sprężystych w eklogitach skorupowych są znacznie mniejsze niż w eklogitach z górnego płaszczu Ziemi.

Obszar położony na SW od strefy linii Teisseyre'a-Tornquista. Obszar zawarty między rozłamek rejonu Dolska (170 km profilu) a głębokim rozłamek zlokalizowanym na 248 km profilu (około 20 km na S od linii Mogilno — Strzelno) tworzy kolejny blok skorupy ziemskiej oznaczony symbolem D (ryc. 2). Miąższość skorupy ziemskiej jest tu nieco

większa i wynosi około 36 km. Własności sejsmicznych pól falowych są zasadniczo odmienne od przedstawionych dla monokliny przedsudeckiej. W strefie D brak tak charakterystycznej dla obszaru przedsudeckiego granicy 7,8 km/s.

W strefie D występuje prawdopodobnie jeszcze jeden głęboki rozłam w interwale od około 208 do 215 km profilu. Jest to rozłam szczególny, który nie został zaznaczony na przekroju skorupowym, z powodu zbyt słabego udokumentowania materiałami pomiarowymi. O jego istnieniu świadczą serie silnych fal odbitych, których interpretacja daje liczne granice stromo nachylone. Dla potwierdzenia realności istnienia tych granic i związanego z nimi głębokiego rozłamu należałoby przeprowadzić dodatkowe pomiary sejsmiczne. Przypuszcza się, że granice stromo nachylone i towarzyszący im głęboki rozłam wchodzi prawdopodobnie w strefę stropową podłoża skonsolidowanego pod kątem około $30-40^\circ$.

Strefa linii Teisseyre'a-Tornquista. Określenie głębokiej struktury skorupy i górnego płaszczu Ziemi w tej strefie jest głównym problemem w badaniach na profilu VII. Kwestia ta ogólnie wiąże się z zagadnieniem określenia SW brzegu starej platformy europejskiej. Stwierdzono tu (odcinek E na ryc. 2) występowanie 3 głębokich rozłamów o fundamentalnym znaczeniu dla tektoniki tego obszaru. Rozłamy te występują na profilu VII kolejno: około 20 km na SW od Mogilna, między Mogilnem a Inowrocławiem oraz między Inowrocławiem a Toruniem. W pierwszej części tej strefy (E_1) występują dwie wyraźne nieciągłości sejsmiczne w dolnej skorupie, na głębokości około 40 km oraz około 50 km. Od obu nieciągłości przede wszystkim zarejestrowano silne fale odbite. Prędkości fal refrakcyjnych dla pierwszej nieciągłości zostały oszacowane na około 7,7 km/s oraz dla drugiej, głębszej, na około 8,3 do 8,4 km/s. Opierając się na kryteriach falowych oraz prędkościowych — słabiej udokumentowanych (z powodu krótkich gałęzi hodografu fal refrakcyjnych) przyjęto za dolną granicę skorupy ziemskiej nieciągłość występującą na głębokości około 50 km.

Obszar zawarty między obiema granicami nieciągłości można interpretować jako dobrze zdefiniowaną strefę przejściową między skorupą a górnym płaszczem. Ma ona jednak inny charakter niż strefa przejściowa występująca w rejonie monokliny przedsudeckiej. W tym przypadku górna i dolna granica strefy przejściowej skorupa/górny płaszcz znajduje się na dużych głębokościach, odpowiednio 40 i 50 km. Obie granice są raczej ostre. Jeśli przyjąć za podstawę interpretacji proces transformacji fazowej typu bazalt-eklogit, przedstawiony w pracach K. Ito i G. C. Kennedy'ego (17, 18), to wówczas należy stwierdzić, że w tym przypadku strefa ta mogła powstać w innych warunkach ciśnienia i temperatur niż w rejonie monokliny przedsudeckiej. Tam czynnikiem decydującym w procesie ewentualnej transformacji fazowej mógł być podwyższony reżim cieplny, natomiast w strefie linii Teisseyre'a-Tornquista zasadnicze znaczenie przy formowaniu strefy przejściowej między skorupą a górnym płaszczem (na drodze transformacji fazowej typu bazalt-eklogit) mógł mieć lokalny wzrost ciśnienia. Głębokość występowania podłoża skonsolidowanego w tej strefie osiąga wartość maksymalną i wynosi prawdopodobnie około 12 km.

Podstawowym problemem jest teraz określenie typu struktury skorupy ziemskiej występującej w strefie linii Teisseyre'a-Tornquista, mechanizmu jej utworzenia oraz przestrzennej rozciągłości. Problem ten był już dyskutowany w pracach A. Gutercha (8, 9) na podstawie wstępnych wyników badań skorupy ziemskiej w tym rejonie, wykonanych metodą GSS w latach 1965—66. Analizując te wyniki oraz niektóre inne dane geofizyczne stwierdzono anomalny charakter struktury skorupy ziemskiej tej strefy, wyrażający się m.in. dużymi głębokościami granicy Moho, szacowanymi wówczas na około 48—51 km. W wymienionych już pracach wyrażony był pogląd o istnieniu ukrytego systemu ryftowego w strefie brzeżnej platformy europejskiej. Fragmentaryczny charakter wyników głębokich sondowań sejsmicznych, u-

zyskanych do 1967 r., nie pozwolił jeszcze na dokładniejsze określenie tektonofizycznych własności skorupy ziemskiej w tym rejonie.

Na podstawie nowych wyników badań przedstawionych w tej pracy, proponujemy tymczasowo (z punktu widzenia fizyki wnętrza Ziemi) dla wyróżnionej strefy linii Teisseyre'a-Tornquista, przyjęcie określenia ogólnego — rowu tektonicznego, o cechach ryftu wewnątrzkontynentalnego. Za takim określeniem przemawiają także m.in. słabe wstrząsy sejsmiczne, jakkolwiek nieliczne, które występowały wzdłuż całej tej strefy. Bardziej szczegółową i jednoznacznie klasyfikacją struktury skorupy ziemskiej w strefie linii Teisseyre'a-Tornquista można będzie przeprowadzić po zakończeniu badań na VIII profilu międzynarodowym oraz na profilach regionalnych LT-2 i LT-3 (ryc. 1).

Ważnym zagadnieniem jest próba określenia genezy sił, które mogły doprowadzić w złożonym procesie geodynamicznym, do powstania opisanego wyżej bloku skorupy ziemskiej. Wydaje się, iż w przypadku struktury strefy linii Teisseyre'a-Tornquista zasadnicze znaczenie mogło mieć współdziałanie dwóch mechanizmów. Są to procesy transformacyjne w dolnej skorupie i w całym górnym płaszczu oraz niewielkie ruchy tensyjne, zachodzące pod wpływem sił skierowanych pionowo. Te ostatnie są adekwatne hipotezie ryftowej.

Stara platforma europejska. Wymieniony już wielokrotnie głęboki rozłam, zlokalizowany między Inowrocławiem a Toruniem (około 300 km profilu), stanowiący NE granicę strefy linii Teisseyre'a-Tornquista, ma zasadnicze znaczenie dla problemu określenia brzegu starej platformy europejskiej. Na NE od tego rozłamu obserwowane sejsmiczne pola fałowe oraz odpowiadająca im struktura skorupy mają już charakter podobny do struktury skorupy ziemskiej starych platform prekambryjskich. Stąd rozłam ten można przyjąć za wyraźną granicę, która określa (w strefie głębokiego podłoża skorupy ziemskiej) brzeg platformy europejskiej w tym rejonie. Oczywiście przedmiotem dalszej dyskusji jest problem genetycznej zależności, między tak określonym brzegiem platformy a całą strefą rowu tektonicznego (blok E) — strefą linii Teisseyre'a-Tornquista. W interpretacji geologicznej W. Pożaryskiego (24) strefa ta leży w obrębie aulakogenu środkowopolskiego.

Głębokość granicy Moho w bloku F rośnie w kierunku północnym od około 42 km (Toruń) do około 45 km. W skonsolidowanym kompleksie skorupowym na obszarze platformy występuje wyraźna granica sejsmiczna na głębokości około 30 km o prędkości około 6,7 km/s, którą można identyfikować umownie z tradycyjnym określeniem powierzchni warstwy „bazaltowej”. W obrębie platformy występuje ponadto pewne zróżnicowanie w głębokiej strukturze skorupy ziemskiej. Na NE od głębokiego rozłamu zlokalizowanego w rejonie Wąbrzeźna (około 362 km profilu), a bardziej zdecydowanie od głębokich rozłamów wykrytych na 384 i 395 km profilu, w dolnym piętrze skorupy ziemskiej, na głębokości około 36–38 km, występuje jeszcze jedna granica sejsmiczna o prędkości około 7,2 km/s.

Pełny obraz głębokiej struktury skorupy ziemskiej starej platformy europejskiej wzdłuż NE odcinka profilu VII (blok F₂ na ryc. 2) zawiera granicę podłoża krystalicznego (Vg 6,2 km/s), granicę charakterystyczną dla powierzchni tzw. warstwy „bazaltowej” (Vg 6,7 km/s, nieciągłość 7,2 km/s) oraz granicę Moho o prędkości około 8,1–8,2 km/s. Jest to więc skorupa z kilkoma piętrami strukturalnymi, bardzo wyraźnie i zdecydowanie rozpoziomowana w porównaniu ze strukturami skorupowymi położonymi na NW od strefy linii Teisseyre'a-Tornquista. Natura nieciągłości 7,2 km/s nie jest jasna. Jeśli przyjąć za podstawę klasyfikacji fizyczno-petrologiczny model kontynentalnej skorupy ziemskiej, proponowany przez W. W. Biełousowa (2), wówczas nieciągłość 7,2 km/s byłaby granicą piętra zbudowanego ze skał facji granulitowej i intruzji gabra.

Modelowo-fizyczne przedstawienie głębokiej struktury skorupy ziemskiej wzdłuż VII profilu. Głęboka struktura skorupy i górnego płaszczu wzdłuż VII pro-

filu została przedstawiona na ryc. 3 w postaci ośmiu optymalnych modeli fizycznych, charakteryzujących kolejne bloki skorupowe, od Sudetów do NE części starej platformy europejskiej. Modele te zostały opracowane na podstawie porównania danych kinematycznych i jakościowego oszacowania elementów dynamicznych sejsmicznego pola fałowego, obserwowanego na profilu VII, z polami fizycznymi wynikającymi z obliczeń teoretycznych. Obliczenia teoretyczne kinematyki i dynamiki fal sejsmicznych dla wybranych modeli skorupowych przeprowadzono na podstawie wyrażenia promieniowej dynamicznej teorii rozchodzenia się fal sejsmicznych w ośrodkach niejednorodnych, przedstawionych w pracy A. S. Aleksiejewa i B. J. Gielczńskiego (1). Należy podkreślić, iż przedstawione modele zawierają (w porównaniu z przekrojem skorupy ziemskiej) pewne elementy fizyczne wynikające jedynie z rozważań teoretycznych.

Modelowo-fizyczna charakterystyka struktury skorupy ziemskiej wzdłuż VII profilu podkreśla wyjątkowo przejrzyste pełne zróżnicowanie głębokich struktur skorupowych na terenie Polski, wzdłuż kierunku SW—NE. Jest to struktura skorupowa o charakterze wybitnie blokowym.

PODSUMOWANIE

Przedstawiony obraz głębokiej struktury górnej litosfery, wzdłuż profilu VII w Polsce, jest wyłącznie wynikiem interpretacji głębokich sondowań sejsmicznych. Istnieją liczne regionalne prace geofizyczne oparte na interpretacji danych sejsmiczno-refrakcyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych, gdzie przedstawiono poglądy na budowę podłoża skonsolidowanego i krystalicznego, a w których sformułowano hipotezy określające głębokie granice niektórych jednostek tektonicznych. Na tym etapie interpretacji nie przeprowadzono porównań wyników głębokich sondowań sejsmicznych z innymi danymi geofizycznymi. Uważamy, iż porównanie takie będzie uzasadnione dopiero po zakończeniu programu głębokich sondowań sejsmicznych na kilku profilach regionalnych i przedstawieniu ogólnego obrazu blokowego podziału skorupy ziemskiej całego obszaru Polski.

Podstawowe wyniki głębokich sejsmicznych badań skorupy ziemskiej wzdłuż profilu VII można przedstawić w poniższych punktach:

a. Miąższość skorupy ziemskiej zmienia się wzdłuż profilu VII w Polsce od około 30 km w rejonie bloku przedsudeckiego do około 50 km w strefie linii Teisseyre'a-Tornquista.

b. Wykryto wiele głębokich rozłamów, dzielących skorupę ziemską na bloki o zróżnicowanej strukturze fizycznej. Głębokie rozłamy zlokalizowane w strefie linii Teisseyre'a-Tornquista mają fundamentalne znaczenie dla problemu określenia brzegu starej platformy europejskiej w tym rejonie.

c. Stwierdzono, że struktura fizyczna skorupy i górnego płaszczu w strefie linii Teisseyre'a-Tornquista ma wybitnie anomalny charakter, najogólniej przyjmując, typu rowu tektonicznego o cechach wewnątrzkontynentalnych systemów ryftowych.

d. Na obszarze przedsudeckim określona została dokładnie dolna i górna granica strefy przejściowej między skorupą a górnym płaszczem. Podjęto próbę interpretacji tej strefy na gruncie procesów transformacyjnych, najogólniej przyjmując typu gabro-eklogit.

PERSPEKTYWY DALSZYCH BADAŃ

W ramach programu badań skorupy i górnego płaszczu metodą głębokich sondowań sejsmicznych zostaną wykonane pomiary na następnych profilach przecinających strefę brzezną starej platformy europejskiej. Celem tych prac są dalsze studia nad strukturą skorupy ziemskiej w strefie linii Teisseyre'a-Tornquista.

Realizując powyższy program w 1974 r. wykonano pomiary sejsmiczne na profilach LT-2 (Poznań — Starogard Gd.) i LT-3 (Terespol — Staszów)

przedstawionych na ryc. 1. Niezależnie od programu głębokich sondowań sejsmicznych, na wymienionych profilach Instytut Geologiczny zrealizował dokładne refrakcyjne studia podłoża skonsolidowanego. Zestawienie wyników badań na profilach VII, VIII i C oraz na profilach regionalnych LT-2 i LT-3, uzupełnionych studiami refrakcyjnymi podłoża skonsolidowanego, prawdopodobnie pozwoli już na określenie ogólnej orientacji przestrzennej strefy linii Teisseyre'a-Tornquista w Polsce. Jednym z podstawowych problemów oczekujących na rozwiązanie będzie odpowiedź na pytanie — czy istnieje związek lub jaka jest relacja między anomalną głęboką strukturą skorupy stwierdzoną w strefie linii Teisseyre'a-Tornquista na profilu VII oraz wybitnie anomalną strukturą skorupową obserwowaną wzdłuż profilu VIII i C.

W latach następnych profil LT-3 powinien być przedłużony w kierunku SW aż do przecięcia Karpat na obszarze CSRS. Planuje się, że w strefie granicznej pomiary zostaną wykonane przez Instytut Geofizyki PAN przy współpracy z Instytutem Geologicznym w Warszawie oraz przez Instytut Geofizyki w Brnie. Przedłużony zostanie również VIII profil międzynarodowy w kierunku zachodnim do rejonu Częstochowy.

Kontynuowane będą także studia nad interpretacją przedkrytycznych fal odbitych od głębokich granic nieciągłości w skorupie ziemskiej. Fale takie rejestrują się na niektórych profilach refrakcyjnych wykonywanych dla celów badań podłoża skonsolidowanego przez Instytut Geologiczny i górnictwo naftowe.

W latach 1975—76 podjęte zostaną przez Instytut Geofizyki PAN badania struktury dolnej litosfery przy szerokiej współpracy międzynarodowej, wzdłuż geotraversu, którego podstawą będzie profil VII. Dla realizacji tego programu przygotowuje się w Instytucie Geofizyki PAN specjalne 3-kanalowe zestawy aparaturowe z sejsmografami o częstotliwości około 1 Hz z zapisem magnetycznym i z możliwością odzwierciedlenia cyfrowego. Rozważa się również możliwość głębokich sondowań dolnej litosfery wzdłuż profilu VIII.

Podziękowania

Wykonane w latach 1970—73 badania skorupy i górnego płaszczka ziemi metodą głębokich sondowań sejsmicznych były finansowane głównie, jak już wspomniano we wstępie, przez Polską Akademię Nauk w ramach problemu resortowego PAN nr 13 (13-II-1). Począwszy od 1972 r. badania te były częściowo finansowane także przez CUG z funduszy i przy współpracy z IG. Instytut Geofizyki PAN niniejszym składa podziękowanie Centralnemu Urzędowi Geologii i Instytutowi Geologicznemu za umożliwienie rozszerzenia i przyspieszenia realizacji programu badań głębokich struktur skorupy ziemskiej metodą GSS na obszarze Polski.

Instytut Geofizyki PAN składa podziękowania Zjednoczeniu Górnictwa Naftowego oraz Dyrekcji Przedsiębiorstwa Geofizyki Górnictwa Naftowego w Krakowie, za wieloletnią pomoc, życzliwość i efektywną współpracę przy realizacji programu badań skorupy ziemskiej na VII profilu międzynarodowym. Składamy podziękowania mgr inż. S. Toponkiewiczowi, kierującemu X Grupą Sejsmiczną PGGN—Kraków za wyjątkowo efektywne prowadzenie terenowych sejsmicznych prac pomiarowych. Dziękujemy Przedsiębiorstwu Poszukiwań Geofizycznych za udział w terenowych pracach pomiarowych w latach 1972—73.

LITERATURA

- Aleksiejew A. S., Gielczinski B. J. — O luzewom metodie wycislenia polej w skuczaje nieodnorodnych sried s kriwoliniejnymi granicami razdieła. W: „Woprosy dinamiczeskoj tieorii rasprostranienija siejsmiczeskich wołn”, wyp. III, (red.) G. J. Pietraszen, Leningrad, 1959.
- Bielousew W. W. — Ziemnaja kora i wierchniaja mantija materikow. Izd. „Nauka”, 1966.
- Beránek B., Mayerová M., Zouneková and Guterch A., Materzok R., Pajchel J. — Results of deep seismic soundings along international profile VII in Czechoslovakia and Poland. *Studia géoph. et géod.*, 1973, vol. 17.
- Bram K., Giese P. — Die Geschwindigkeitsverteilung der P welle in der Erdkruste im Raum Augsburg (Süd-Deutschland). *Ergebnisse und Vergleich zweier seismischer Messungen. Z. f. Geophysik*, 1968, 34.
- Giese P. — The structure of the Earth's crust in the Central Europe. Paper presented at the 10th General Assembly of the European Seismological Commission, Leningrad, 1968.
- Giese P., Prodehl C., Behnke C. — Ergebnisse refraktionsseismischer Messungen 1965 zwischen dem Französischen Zentralmassiv und den Westalpen. *Z. f. Geophysik*, 1967, 33.
- Giese P., Stein A. — Versuch einer einheitlichen Auswertung tiefenseismischer Messungen aus dem Bereich zwischen der Nordsee und den Alpen. *Ibidem* 1971, 37.
- Guterch A. — Geophysical characteristics of the deep structure of the Earth crust in Poland. *Bull. Acad. Pol. Sci., Sér. Sci. géol. et géogr.* 1968, No. 3.
- Guterch A. — Notes concerning the structures of the Earth's crust in Poland, Paper presented at the X Assembly of the European Seismological Commission in Leningrad, 1968.
- Guterch A. — Kinematics and dynamics of seismic waves in selected heterogeneously stratified models of the continental Earth's crust. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.*, 1970, vol. 39.
- Guterch A., Materzok R., Pajchel J. — Seismic structure of the Moho-discontinuity in the region of the fore-Sudetic monocline. Paper presented at the XII Assembly of the European Seismological Commission in Braşov, 1974.
- Guterch A., Materzok R., Pajchel J. — Preliminary results of deep seismic soundings on the southern part of international profile VII. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.*, 1973, vol. 60.
- Guterch A., Materzok R., Pajchel J. — Structure of the upper mantle in the region of the fore-Sudetic monocline. In: *Revue des problèmes géologiques des zones profondes de l'écorce terrestre en basse Silésie. XV^e session de l'AZO-PRO*, réd. K. Smulikowski, Warszawa, 1973.
- Guterch A., Materzok R., Pajchel J., Perchuć E. — Seismic refraction studies of the Earth's crust and upper mantle on the international profile VII (preliminary results). *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.* (in press), 1973.
- Guterch A., Materzok R., Pajchel J., Perchuć E. — Crustal structure from deep seismic sounding along international profile VII on the territory of Poland. Paper presented at the 14th General Assembly of the European Seismological Commission in Trieste (in press), 1974.
- Guterch A., Materzok R., Pajchel J., Perchuć E. — Strojenije ziemnoj kory wdol VII mieđunarodnogo profila GSZ na territorii Polski. *Geofiz. zbornik* (w druku), 1974.
- Ito K., Kennedy G. C. — The fine structure of the basalt-eclogite transition. *Mineral. Soc. Amer. Spec. Pap.*, 1970.
- Ito K., Kennedy G. C. — An experimental study of the basalt-garnet granulite-eclogite transition in "The Structure and Physical Properties of the Earth's Crust". *Geophys. Monogr.*, vol. 14, ed. J. G. Heacock, 1971.
- Jegorkin A. W. — Analiz tocznosti opriedienienija skorostnych parametrow razrieza ziemnoj kory po godografam otrazennych wołn. *Fizika Ziemli* 1966, nr 9.
- Marek S., Miynarski S. — Przekrój sejsmiczno-geologiczny Kowary — Inowrocław — Prabuty. *Arch. Inst. Geofiz. PAN*, 1973.

21. Pavlenkova H. J., Smielyanskaya T. V. — The nature of the group of reflected seismic waves from the base of the Earth's crust. *Izv. Earth Physics*, 1970, no. 1.
22. Pożaryski W. — Podział obszaru Polski na jednostki tektoniczne. *Prz. geol.*, 1969, nr 2.
23. Pożaryski W. — Main Pre-Alpine tectonics elements of Poland. *Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci.*, 1973, vol. 60 (in press).
24. Pożaryski W. — Structure of the Earth's crust along international profile VII on the territory of Poland. Part II — Geological interpretation of DSS profile VII, 1974 (in press).
25. Ringwood A. E., Green D. H. — An experimental investigation of the gabbro-eclogite transformation and some geophysical implications. *Tectonophysics*, 1966, nr 3.
26. Skorupa J. — Mapa sejsmiczna Polski. Wyniki regionalnych prac refrakcyjnych prowadzonych w związku z rozpoznaniem głębokiego podłoża. IG, 1974.
27. Smulikowski K. — An attempt at eclogite classification. *Bull. Acad. Pol. Sci., Sér. Sci. géol. géogr.*, 1964, no. 1.
28. Smulikowski K. — Eclogites of the Śnieżnik Mts. in the Sudets. *Geol. Sudetica*. 1967, vol. III.
29. Sollogub V. B., Chekunov A. V. — The crustal structure of Central and Southeastern Europe based on the results of explosion seismology (The Soviet Union part). *Geofizikai Közlemények, Special edition, Budapest*, 1973.
30. Yoder H. S., Tilley C. E. — Origin of basaltic magmas: an experimental study of natural and synthetic rock systems, *Jour. Petrol.*, 1962, no. 3.
31. Znosko J. — Jednostki tektoniczne Polski i ich stanowisko w tektonice Europy. *Kwart. geol.*, 1966, nr 3.
32. Znosko J. — Pozycja tektoniczna obszaru Polski na tle Europy. *Biul. Inst. Geol.*, nr 251, 1970.

SUMMARY

The paper presents final results of refraction investigations of the earth's crust and upper mantle along international profile VII in the region of Poland. The profile intersects the Sudetes, the fore-Sudetic region and the Old European Platform with its marginal zone. It was found that the crustal thickness changes approximately from 30 km in the „Odra” deep fault zone to 50 km in the zone of the Teisseyre-Tornquist line (marginal zone of the European Platform). A series of deep fractures dividing the crust into blocks and smaller segments of diversified physical structure was found. The deep fractures located in the zone of the Teisseyre-Tornquist line are of fundamental importance for delineating the European Platform boundary in this region. The physical structure of the earth's crust in the zone of the Teisseyre-Tornquist line was found to have a clearly anomalous nature, being similar to crustal structures of intracontinental rift systems. In the fore-Sudetic region, the upper and lower boundaries of the transition zone between the crust and the upper mantle were accurately determined. An attempt was made to interpret this zone on the basis of transformation processes of gabbro-eclogite type. More detailed results were given in papers A. Guterch et al. (15, 16).

РЕЗЮМЕ

В работе представлены результаты глубинных сейсмических зондирований коры и верхней мантии Земли вдоль VII международного профиля на территории Польши длиной около 520 км. Этот профиль пересекает на территории Польши Судеты, Предсудетскую зону, а также Европейскую платформу и ее граничную зону. Определено, что толщина земной коры меняется вдоль VII профиля с около 30 км в зоне глубинного разлома Одры до около 50 км в зоне линии Тейссера-Торнквиста (граничная зона Европейской платформы). Одновременно был обнаружен ряд глубинных разломов, которые разделяют земную кору на блоки с четко выраженными различными физическими структурами. Глубинные разломы, выявленные в зоне линии Тейссера-Торнквиста, имеют фундаментальное значение для определения границы Европейской платформы в юго-западной Европе. Определено, что физическая структура коры и верхней мантии Земли в зоне линии Тейссера-Торнквиста имеет чрезвычайно аномальный характер и напоминает структуру коры внутриконтинентальных рифтовых систем. В Предсудетской моноклинали четко выделены нижняя и верхняя границы переходной зоны между корой и верхней мантией Земли. Сделана попытка интерпретации этой зоны на основании трансформационных процессов типа габбро-эклогит.

Более полные результаты исследования строения земной коры вдоль VII международного профиля ГСЗ представлены в работах (15, 16).