

UKD 550.834.5.05.001.6:551.736.022.4:550.34 .09 .46+550.347.2/.42(438.211-0)

Tadeusz KRYNICKI

## Granice sejsmiczne w świetle wyników prac metodyczno-doświadczalnych uzyskanych w rejonie Bydgoszczy

Na znacznym obszarze polskiego basenu permskiego dotychczasowe wyniki uzyskiwane metodą refleksyjną z kompleksu podcechsztyńskich utworów osadowych ze względu na niską jakość nie mogą być podstawą właściwego ukierunkowania badań poszukiwawczych. W artykule wykazano, że istnieje możliwość zwiększenia zasięgu głębokościowego metody refleksyjnej, pod warunkiem zastosowania odpowiednich parametrów pomiarów. Omówiono wyniki prac metodyczno-doświadczalnych z rejonu Bydgoszczy, zaliczanego do trudnych pod względem warunków sejsmogeologicznych. Szczególną uwagę zwrócono na granice związane z podcechsztyńskimi utworami osadowymi i na granice głębsze, łącznie ze strefą nieciągłości Moho. W świetle uzyskanych danych stwierdzono, że zwiększenie zasięgu głębokościowego metody refleksyjnej można osiągnąć przy istotnym obniżeniu kosztów pomiarów.

### WSTĘP

Na przeważającej części obszaru polskiego basenu permskiego wyniki uzyskiwane metodą refleksyjną, mimo stosowania złożonych, a zarazem i kosztownych pomiarów, pozwalają na stosunkowo dobre rozpoznanie budowy geologicznej w zasadzie tylko utworów mezozoicznych i w mniejszym stopniu cechsztyńskich. Podejmowane od lat przedsięwzięcia polegające na zwiększeniu krotności profilowania i doskonaleniu programów przetwarzania cyfrowego nie przyczyniły się jak dotychczas do istotnego podniesienia jakości wyników refleksyjnych od utworów podcechsztyńskich, w których mogą występować złoża mineralne, a zwłaszcza bituminy.

Jednocześnie wraz ze wzrostem krotności profilowania nastąpił częściowo spadek zainteresowania tym, co rejestruje się na taśmach. Przyczyn takiej sytuacji jest kilka. Do najważniejszych zaliczyć trzeba przypisywanie zbyt dużego znaczenia cyfrowemu przetwarzaniu danych sejsmicznych, a szczególnie sumowaniu, co pociągnęło za sobą wzrost krotności profilowania. Na wyborze metodyki pomiarów zaważyła także błędna ocena własności sprężystych utworów cechsztyńskich, powszechnie uważanych za ekranujące energię fal sejsmicznych. Na me-

todykę badań refleksyjnych w jakimś stopniu rzutowało dążenie wykonawców do uzyskania dobrych wyników ekonomiczno-finansowych przedsięwzięcia fizycznych, nie tylko poprzez obniżenie kosztów prac sejsmicznych, ale i w krotności profilowania. Z podobnych pobudek unikano prac doświadczalnych jako mniej opłacalnych.

Tymczasem coraz pilniejszym zadaniem jest zwiększenie zasięgu głębokościowego metody refleksyjnej obejmującego podcechsztyński kompleks osad. W związku z tym opracowano program prac metodyczno-doświadczalnych, wykonano w rejonie Bydgoszczy. Uzasadnieniem powstania takiego programu były przesłanki teoretyczne oraz wyniki wstępnych prac doświadczalnych (T. Krynicki, 1981, 1982). Dane uzyskane podczas prac metodyczno-doświadczalnych potwierdzają możliwość zastosowania metody refleksyjnej w badaniach osad i utworów podcechsztyńskich oraz granic głębszych w skorupie ziemskiej.

W artykule skupiono uwagę na porównaniu obrazu falowego zarejestrowanego przy różnych parametrach wzbudzenia na odcinku przekroju sejsmicznego o długości ponad 7 km.

### LOKALIZACJA PRAC METODYCZNO-DOŚWIADCZALNYCH ORAZ ZAKRES I SPOŚÓB POMIARÓW

W wyborze rejonu prac metodyczno-doświadczalnych kierowano się przede wszystkim pilną potrzebą zwiększenia zasięgu głębokościowego metody refleksyjnej na południowo-zachodnim skraju platformy prekambryjskiej w świetle wyników wierceń badawczych. Oprócz tego uzyskanie refleksów podcechsztyńskich na sejsmogramach wstępnych prac doświadczalnych wykonanych w 1980 r. (T. Krynicki, 1982) zachęcało do zaprojektowania badań w rejonie Bydgoszczy – Torunia (fig. 1). Ponadto założono, że przedcechsztyńskie granice sejsmiczne rejestrowane na północnym wschodzie basenu permskiego winno się obserwować także w obszarze głębszego występowania podłoża skonsolidowanego, pod warunkiem zastosowania odpowiedniej metodyki prac polowych. Ujmując w dużym uproszczeniu problem wyników podcechsztyńskich w basenie permskim, można stwierdzić, że na W i SW od Wisły obserwuje się ich pogorszenie.

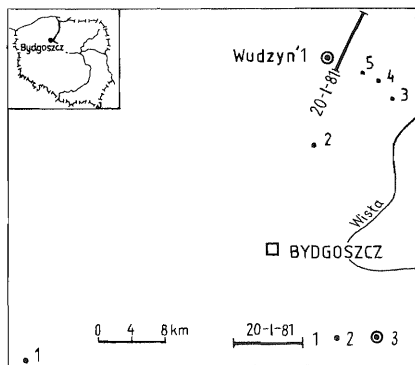


Fig. 1. Szyk sytuacyjny prac metodyczno-doświadczalnych

Location sketch map of the methodological and experimental surveys

1 – profil metodyczny; 2 – miejsca wykonania pomiarów doświadczalnych; 3 – głębokości wierceń  
1 – methodological profile; 2 – places at which experimental measurements were taken; 3 – boreholes

Opracowując program prac metodyczno-doświadczalnych przyjęto także w nawiązaniu do publikacji T. Krynickiego (1981), że utwory cechsztyńskie nie stanowią zasadniczej przeszkody w uzyskaniu granic głębokich. Oprócz tego Bydgoszczy i Torunia wydaje się interesujący ze względu na wyniki regionalne

badań refrakcyjnych (J. Skorupa, 1974) oraz głębokich sondowań sejsmicznych (A. Guterch i in., 1975). Na lokalizację prac wpłynęły także przyczyny organizacyjne związane z miejscem przebywania polowych zespołów sejsmicznych. Lokalizację prac metodyczno-doświadczalnych przedstawia fig. 1.

Zakres badań w poszczególnych punktach oraz cel pomiarów był różny. Wstępne prace doświadczalne w punktach 1–5 miały przede wszystkim sprawdzić słuszność założeń teoretycznych co do możliwości zwiększenia zasięgu głębokościowego metody refleksyjnej i uzyskania fal odbitych od granic podpermskich, jak również poprawy wyników z kompleksu cechsztyńskiego. Założenia teoretyczne oraz wybrane przykłady wyników z przedziału występowania skał osadowych uzyskane podczas wstępnych prac doświadczalnych omówiono skrótowo w artykule T. Krynickiego (1982), co pozwala na zorientowanie się w charakterze obrazu falowego. W związku z tym w dalszych rozważaniach zostanie pominięty opis wyników wstępnych prac doświadczalnych, z wyjątkiem refleksów powstałych na głębokich granicach w skorupie ziemskiej. Trzeba podkreślić, że fale odbite w strefie przed punktem krytycznym od głębokich granic stanowiły cel uboczny tych prac, a metodyka pomiarów polowych dobierana była pod kątem potrzeb rozpoznania budowy podcechsztyńskich utworów osadowych.

Na podstawie wyników wstępnych prac doświadczalnych wykonano prace metodyczne na odcinku profilu 20-I-81, uprzednio odstrzelonym metodą standardową, optymalną dla tego rejonu. Polegała ona na stosowaniu 24-krotnego profilowania i grupowania 24 geofonów oraz przeważnie 3 otworów, rozmieszczonych na bazie 20–30 m. Odległości między otworami wahały się od 10 do 15 m. Podczas prac metodycznych zmniejszono krotność profilowania do 12 oraz znacznie wydłużono bazy grupowania otworów. Pozostałe parametry wzbudzenia i odbioru fal, poza zmianą czasu rejestracji, były podobne do parametrów stosowanych w pracach rutynowych. Na podstawie refleksów zarejestrowanych podczas wstępnych prac doświadczalnych przyjęto, że zmniejszenie krotności profilowania nie tylko nie spowoduje pogorszenia wyników przedstawionych na przekrojach sejsmicznych, ale przyczyni się do ich poprawy wskutek zmiany parametrów grupowania otworów. Jednocześnie dla umożliwienia porównania wyników uzyskanych przy 24-krotnym profilowaniu stosowanym w pracach rutynowych, podczas prac metodycznych odcinek profilu 20-I-81 zawarty między PS 308 a PS 236 odstrzelono dwukrotnie przy zastosowaniu każdorazowo 12-krotnego pokrycia i różnego usytuowania bazy otworów względem rozstawu geofonów. Przy 12-krotnym pokryciu w pierwszym przypadku otwory były rozmieszczone na bazach równoległych, w drugim zaś na prostopadłych w stosunku do kierunku profilu, co pozwoliło na ocenę wpływu umiejscowienia grup otworów na uzyskiwane wyniki (fig. 2a, b). Długości baz wzbudzenia ustalono na podstawie danych wstępnych prac doświadczalnych. Trzeba przy tym podkreślić, że metodyka prac polowych zarówno podczas wstępnych prac doświadczalnych, jak i późniejszych – metodycznych wykonanych na profilu 20-I-81, była dobrana w zasadzie pod kątem poprawy refleksów cechsztyńskich i głębszych, ale pochodzących z kompleksu utworów osadowych. Na południowo-zachodnim i północno-wschodnim odcinku przekroju metodycznego 20-I-81 (fig. 2) krotność pokrycia była mniejsza od 12. Fakt ten należy mieć na uwadze przy ocenie wyników. W przypadku badania tylko granic głębokich występujących w skorupie ziemskiej, niektóre parametry wzbudzenia i odbioru należałoby jeszcze dokładniej określić pracami doświadczalnymi. Prace te winny iść w kierunku zwiększenia długości bazy wzbudzenia, odległości między kanałami oraz wydłużenia gałęzi hodografów. Mimo to wyniki uzyskane w rejonie Bydgoszczy świadczą, że metoda reflek-

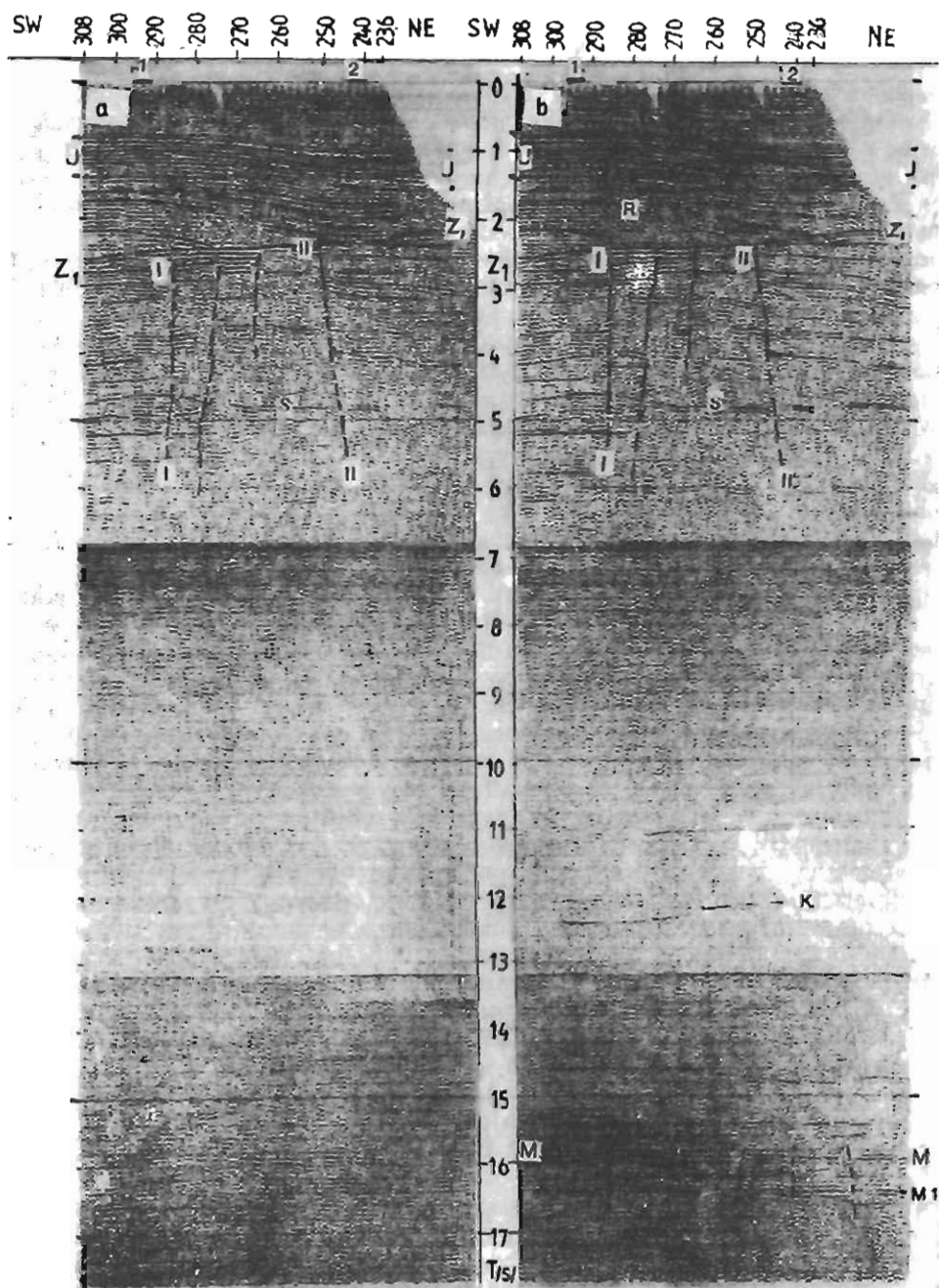


Fig. 2. Przekrój czasowy z wykonaną interpretacją  
Time section and its interpretation

Grupowanie otworów: a - równoległe, b - prostopadłe;  $J, Z_1, S, K, M, M_1$  - granice odbijające;  $R$  - fala, prawdopodobnie odbita refrakcją; I-I, II-II - strefy tektoniczne; 12-krotne pokrycie; 1, 2 - odcinki wykonania analizy prędkości

Borehole grouping: a - parallel, b - perpendicular;  $J, Z_1, S, K, M, M_1$  - reflecting boundaries;  $R$  - wave presumably related to reflected refractory wave; I-I, II-II - tectonic zones; 12-fold coverage; 1, 2 - sections covered by velocity analysis

syjna może być ważnym źródłem informacji o charakterze głębokich granic, aż do nieciągłości Moho włącznie i – co szczególnie należy podkreślić – nawet w obszarze znacznych miąższości utworów osadowych.

### GRANICE SEJSMICZNE OBRAZUJĄCE BUDOWĘ PERMO-MEZOZOIKU

W rejonie prac metodyczno-doświadczalnych miąższość skał osadowych, określona na podstawie metody refrakcyjnej, wynosi około 10 km (J. Skorupa, 1974), zaś spąg cechsztynu występuje na głębokości średnio 5 km (R. Dadlez, 1980). W świetle dotychczasowych wyników metody refleksyjnej można przyjąć, że w rejonie Bydgoszczy granica  $Z_1$  jest granicą najgłębszą, związaną z kompleksem permomezozoiku. Porównując obraz falowy na poszczególnych przekrojach czasowych, otrzymanych przy zastosowaniu odmiennych parametrów wzbudzenia, daje się zauważyć duże podobieństwo w zaleganiu granic odbijających, chociaż można zaobserwować także pewne różnice w zapisie sejsmicznym (fig. 2, 3). Na przekroju czasowym uzyskanym z zastosowaniem pomiarów rutynowych (fig. 3) wyznaczono (H. Grzesik, T. Białek, 1981) szereg granic wyraźnie zapisanych, związanych z utworami kredy i jury. Utwory te tworzą fleksurę w okolicy PS 280 i PS 270. Przyspągowa, sejsmiczna granica jurajska południowo-zachodniej części przekroju 20-I-81 ma czas rejestracji 1,4 s, zaś w pobliżu PS 250 wzrasta on do 1,6 s i jest to najgłębsze występowanie granicy jurajskiej wyznaczonej na przekroju czasowym (fig. 3). Granice sejsmiczne w przystropowej partii utworów kredy i jury charakteryzują się dobrą dynamiką zapisu, ich interpretacja jest łatwa i pewna. Interpretacja granic związanych z przyspągową częścią jury wymaga większego doświadczenia wskutek zaniku poszczególnych faz fal odbitych oraz ich interferencji. Mimo to wykonaną interpretację (H. Grzesik, T. Białek, 1981) należy uważać za poprawną, jeśli ma się do dyspozycji tylko przekrój czasowy o podobnym zapisie obrazu falowego (fig. 3). Z kolei granice triasowe i cechsztyńskie nie wyróżniają się dynamiką z ogólnego tła zapisu. Na przekroju (fig. 3) interpretacja w zasadzie wykonana jest na podstawie położenia faz fal z reguły występujących na krótkich odcinkach, rzadko przekraczających kilkadziesiąt kanałów. W oparciu o takie wyniki trudno jest mówić o budowie kompleksu triasowo-cechsztyńskiego. Na przekroju (fig. 3) wyznaczono prawie poziomo leżące granice triasowe i cechsztyńskie, z wyjątkiem granicy  $Z_1$  spływającej się na NE. W południowo-zachodniej części przekroju od PS 290 do PS 250 widoczne są fale o znacznych gradientach, które zinterpretowano (H. Grzesik, T. Białek, 1981) jako zakłócające. W pobliżu PS 250 wyznaczono uskok częściowo zaburzający utwory jury, a także cały kompleks triasowo-cechsztyński.

Wyniki uzyskane z zastosowaniem zaproponowanej przez autora artykułu i wyżej omówionej metodyki prac polowych przedstawiają przekroje czasowe (fig. 2, 4). Fig. 4 obrazuje przekroje czasowe niezinterpretowane, co ułatwia zorientowanie się w charakterze obrazu falowego, natomiast fig. 2 ilustruje te same przekroje z interpretacją geofizyczno-geologiczną. Miąższość poszczególnych kompleksów skalnych przyjęto podobną jak na fig. 3, co umożliwi porównanie wyników uzyskanych różną metodyką pomiarów, ale przy zastosowaniu tych samych programów przetwarzania i poprawek statycznych oraz kinematycznych. Porównując przekroje sejsmiczne przedstawione na fig. 2–4 trzeba stwierdzić, że dynamika zapisu granic refleksyjnych na przekrojach uzyskanych przy wzbudzaniu fal na wydłużonych bazach grupowania otworów jest lepsza (fig. 2, 4).

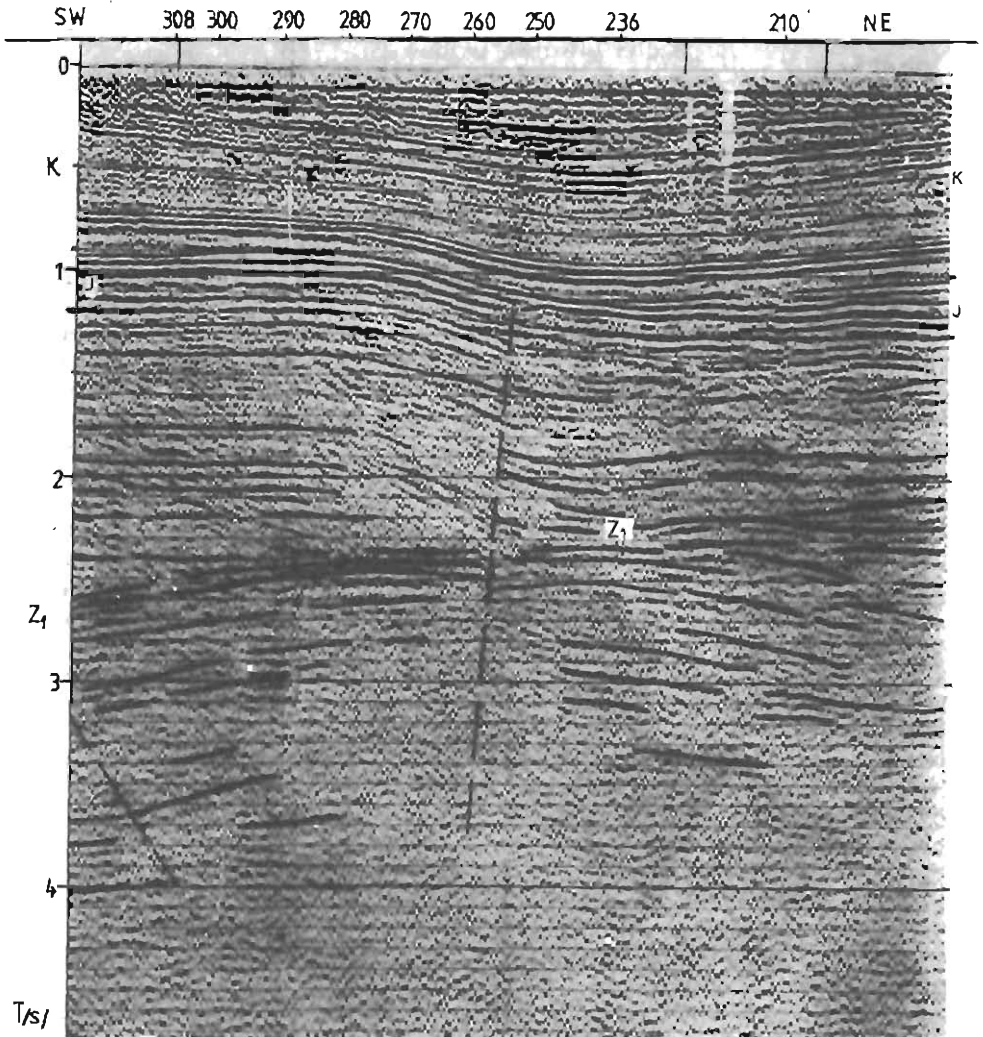


Fig. 3. Wyniki uzyskane przy zastosowaniu standardowego wzbudzenia i 24-krotnego pokrycia  
Results obtained with the used of standard induction and 24-fold coverage

Objaśnienia jak na fig. 2

Explanations as given in Fig. 2

Jednocześnie w przypadku usytuowania otworów równoległe do rozstawu geofonów (fig. 2a, 4a) najpłytsze granice związane z utworami kredy są nieczytelne. Przyczyną tego jest kształtowanie się czoła fal padających na granice odbijające. Zjawisko to szerzej omówiono na przykładzie wyników z Lubelszczyzny (T. Krynicki, 1980). Mimo pewnych różnic w obrazie falowym w zasadzie wszystkie granice kredowe i jurajskie na poszczególnych przekrojach (fig. 2, 3) tworzą zbliżony obraz strukturalny i stopień trudności ich interpretacji jest podobny. Wyrazistość zapisu granic kredowych na całym przekroju jest prawie stała (fig. 2b, 3), nato-

miast intensywność fal odbitych od granic jurajskich zmienia się i najmniej dynamiczne są one między PS 250 a PS 240. Ponadto na NE od PS 250 w przedziale czasu 1,4–1,6 s występuje lokalna zmiana równoległości faz fal jurajskich, najlepiej widoczna na fig. 4b. Wydaje się, że jej przyczyną są warunki wgłębne. Na podobne zmiany charakteru zapisu należy zwracać uwagę, gdyż powodem ich mogą być pewne obiekty geologiczne natury litologiczno-facialnej.

Granice triasowe, szczególnie cechsztyńskie, wyznaczono nieco inaczej na przekroju uzyskanym tradycyjnym sposobem wzbudzania (fig. 3) i na przekrojach odstrzelonych z zastosowaniem długich baz (fig. 2). Jest to spowodowane w pewnej mierze niejednakową wyrazistością zapisu granic na przekrojach. Różnice w ich interpretacji dotyczą ciągłości korelacji granic oraz ich upadów. Obraz budowy geologicznej triasu i cechsztynu na przekroju (fig. 2) jest pełniejszy i pewniejszy. Spośród granic występujących w triasie i cechsztynie dynamiką zapisu wyróżnia się granica  $Z_1$ , która wynurza się w kierunku NE. Takie jej położenie wskazuje na wydatne zmniejszenie miąższości utworów triasowych i cechsztyńskich z SW na NE. Zmiana miąższości tych utworów widoczna jest w SW i środkowej części profilu 20-I-81. Na NE od PS 236 trudno jest jednoznacznie określić granicę  $Z_1$  wskutek interferencji fal w przedziale czasu 2,2–2,4 s. Charakterystyczne jest występowanie w środkowej części przekroju 20-I-81 od PS 280 do PS 250 fali oznaczonej symbolem  $R$ , najlepiej widocznej na fig. 2b. Ponieważ przekrój 20-I-81 (fig. 2b) uzyskano przy zastosowaniu schematu grupowania otworów w znacznie większym stopniu niż pozostałe grupy otworów tłumiącego fale boczne, należy sądzić, że fala  $R$  rozprzestrzeniła się w płaszczynie przekroju. O naturze tej fali trudno sądzić tylko na podstawie jednego przekroju. Fala  $R$  może być odbitą refrakcją lub falą odbitą od płaszczyzny kontaktu utworów w strefie tektonicznie zaburzonej, czy też prosto od granicy dwóch warstw. Podobny charakter zapisu ma także fala występująca na odcinku przekroju od PS 308 do PS 280 na czasie około 2,2–2,4 s. Możliwość wyodrębnienia na przekroju takich fal o odmiennym ułożeniu osi fazowych w stosunku do refleksów płytszych i głębszych wskazuje, że zastosowany schemat grupowania otworów sprzyja osłabieniu fal wielokrotnych, które czynią zapis mało czytelny (fig. 3). Trzeba przyznać, że na podstawie tylko jednego przekroju czasowego trudno wnioskować o wpływie grupowania otworów na intensywność fal wielokrotnych. W południowo-zachodniej części przekroju należy liczyć się z możliwością występowania refleksów wielokrotnych, co zostanie szerzej omówione w dalszej części artykułu.

## PODCECHSZTYŃSKI KOMPLEKS UTWORÓW OSADOWYCH

W dotychczasowej praktyce badań refleksyjnych, szczególnie wykonywanych w centralnej części basenu permskiego, tylko sporadycznie wyznacza się na przekrojach granice podcechsztyńskie. Trzeba przy tym podkreślić, że nawet tam gdzie są one wyznaczane, ze względu na niską dynamikę zapisu i liczne przerwy w korelacji, granice te winny być zaliczone do umownych, a więc przedstawiających niewielką wartość dokumentacyjną. Przykładem zapisu takich granic podcechsztyńskich może być wstępnie opracowany przekrój czasowy 20-I-81 (fig. 3), na którym wyznaczono (H. Grzesik, T. Białek, 1981) szereg refleksów poniżej granicy  $Z_1$ , w większości w przedziale czasu 2,4–3,3 s, a w kilku przypadkach i głębiej.

Fale, na podstawie których można określić zaleganie podcechsztyńskich granic odbijających, korelują się na stosunkowo krótkich odcinkach, co utrudnia

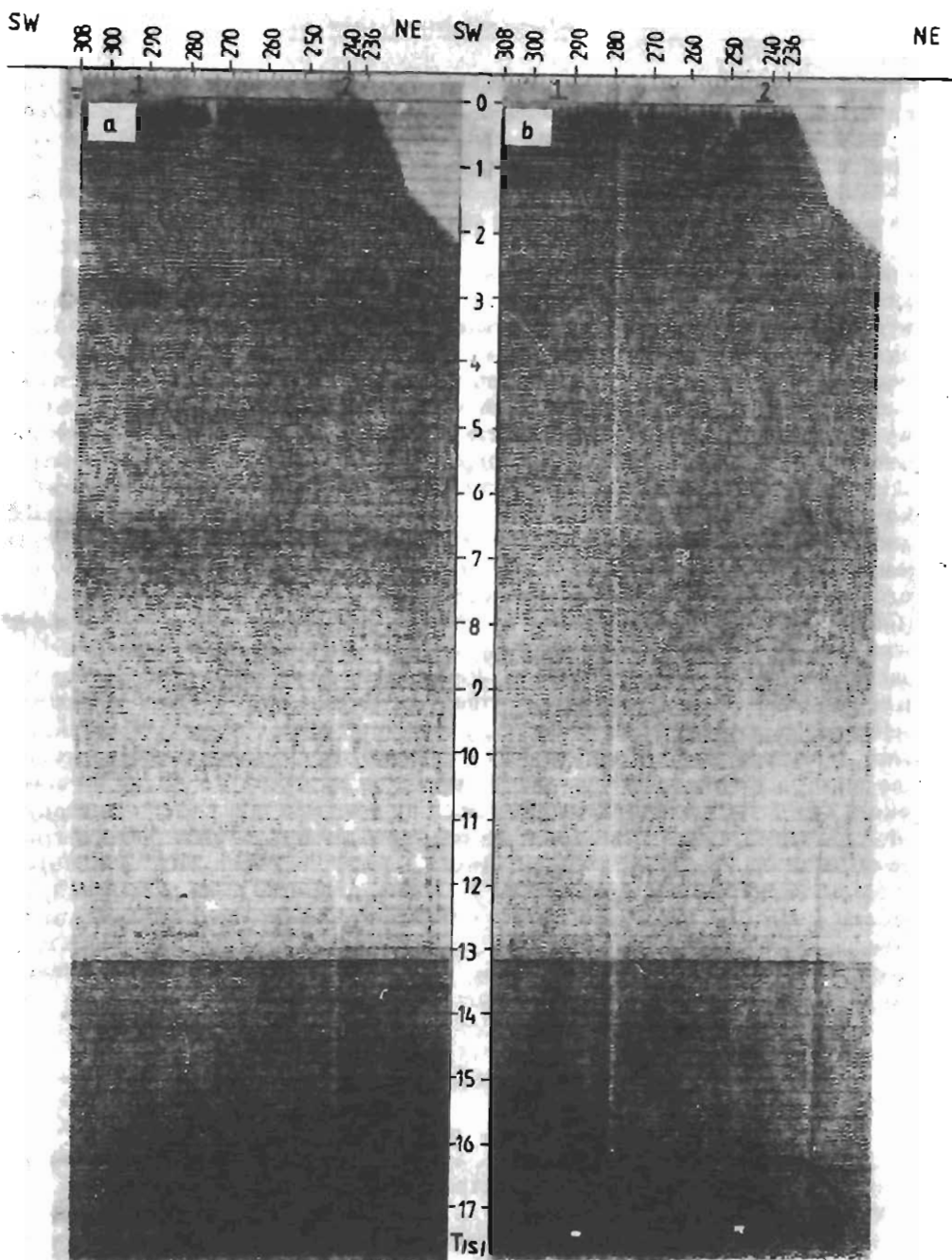


Fig. 4. Przekrój czasowy uzyskany przy grupowaniu otworów: a – równoległym, b – prostopadłym do rozstawu geofonów

Time section obtained with the use of borehole grouping: a – parallel, b – perpendicular to spacing of geophones

Objaśnienia jak na fig. 2

Explanations as given in Fig. 2



ich interpretację. Mimo trudności w interpretacji obrazu falowego na przekroju (fig. 3) można zauważyć, że granice podcechszyńskie tworzą antyklinę, w centralnej części zaburzoną uskokowo. Za podstawę wyznaczenia tutaj uskołu posłużył brak refleksów w środkowej części struktury. Poniżej omówionych granic podcechszyńskich na przekroju 20-I-81 brak jest fal, które miałyby cechy fal odbitych niosących informację geologiczną. Przypomnijmy, że czas zapisu fal na taśmach wynosił 5 s.

Zastosowanie innej metodyki prac polowych na wybranym odcinku profilu metodycznego 20-I-81 przyczyniło się do istotnej poprawy wyników sejsmicznych z podcechszyńskiego kompleksu osadowego (fig. 2, 4). Poprawa wyników polega przede wszystkim na zwiększeniu zasięgu głębokościowego metody refleksyjnej i to w obszarze uznawanym przez sejsmików za trudny do badań. Ponadto fale odbite od granic podcechszyńskich charakteryzują się na tyle dobrą intensywnością, że wyodrębnienie ich z ogólnego tła zapisu na przekrojach nie stwarza kłopotów. Oprócz tego, w porównaniu z przekrojem uzyskanym tradycyjną metodyką (fig. 3), granice sejsmiczne występują na dłuższych odcinkach (fig. 2). Rozpatrując wyniki charakteryzujące budowę geologiczną osadowego kompleksu podcechszyńskiego, należy uwzględnić możliwość powstawania refleksów wielokrotnych, mogących nakładać się na rzeczywiste fale odbite. W przypadku nałożenia się fal rzeczywistych i wielokrotnych interpretacja przekroju będzie utrudniona. Dla ułatwienia rozpoznania refleksów wielokrotnych wykonano analizę prędkości, polegającą na sumowaniu kilkunastu tras znajdujących się między PS 300 i PS 290 oraz PS 240 i PS 250 z zastosowaniem stałych wartości poprawek kinematycznych dla przedziału czasu od 0 do 9 s. Poprawki kinematyczne obliczono dla 24 prędkości zmieniających się od 1900 do 5500 m/s. Trasy wybrane do analizy oznaczono linią poziomą wykreśloną w górnej części przekroju (fig. 2, 4).

Na podstawie sumowania tras można stwierdzić, że na południowo-zachodnim odcinku przekroju należy liczyć się z refleksami wielokrotnymi odbitymi od stropu jury i prawdopodobnie spągu strefy małych prędkości. Na odcinku przekroju zawartym między PS 300 a PS 290 istnieją wyjątkowo korzystne warunki dla powstawania refleksów wielokrotnych, gdyż na podstawie analizy prędkości można wyznaczyć fale odbite od stropu jury aż 6-krotnie. Jednocześnie na tych samych czasach, na których trzeba się liczyć z obecnością refleksów wielokrotnych (np. 3,1 i 3,9 s), na przekrojach sejsmicznych (fig. 2) w kilku przypadkach występują także rzeczywiste fale odbite. Biorąc za podstawę tylko dane analizy prędkości, prawdopodobne jest występowanie refleksów rzeczywistych również w przedziałach czasu 3,8–4,0 oraz 4,6–4,8 s. Trzeba tu jednak zaznaczyć, że prędkości dla refleksów głębokich przy stosowanych długościach rozstawów są mało dokładne. W nawiązaniu do ogólnego układu granic mezozoicznych i podcechszyńskich należy sądzić, że refleksy wielokrotne mimo wszystko mają znaczenie podrzędne i nie będą utrudniały interpretacji przekrojów sejsmicznych na większych obszarach. Potwierdzeniem tego może być północno-wschodni odcinek przekroju 20-I-81 zawarty między PS 240 a PS 250, na którym na podstawie analizy prędkości prawie wszystkie refleksy podcechszyńskie trzeba zaliczyć do rzeczywistych.

Charakteryzując wyniki metodycznych badań refleksyjnych dotyczących budowy geologicznej osadowego kompleksu podcechszyńskiego ważne jest określenie jego miąższości lub przedziału czasowego występowania granic odbijających z nim związanych. W świetle wyników metody refrakcyjnej (J. Skorupa, 1974) podłoże skonsolidowane w rejonie prac metodycznych leży na głębokości około

10 km. W związku z tym można uważać, że fale odbite od granic na podobnej głębokości winny mieć czas rejestracji bliski 4,6–5,0 s. Bardziej jednoznaczne określenie czasu rejestracji będzie możliwe po dokładniejszym określeniu prędkości średnich przebiegu fal sprężystych w utworach podcechszyńskich. Na przekrojach czasowych (fig. 2) w przedziale czasu 4,6–5,0 s występują fale, z których jedna oznaczona symbolem *S* może być uważana za leżącą blisko granicy refrakcyjnej związanej z podłożem skonsolidowanym (J. Skorupa, 1974). Trzeba odnotować, że z powodu zbyt krótkiego odcinka przekroju czasowego (fig. 2) trudno jest dokładnie porównywać wyniki metody refleksyjnej i refrakcyjnej.

Biorąc za podstawę uzyskany obraz falowy w przedziale czasu występowania utworów podcechszyńskich, przekrój czasowy 20-I-81 (fig. 2) można podzielić na 3 części. W południowo-zachodniej części, mniej więcej do PS280, obserwuje się szereg refleksów o wyraźnych amplitudach, jednocześnie wielofazowych. Wielofazowość ta prawdopodobnie została spowodowana nałożeniem się refleksów wielokrotnych na refleksy rzeczywiste. Fale-odbite, niezinterferowane, mają na ogół 2–3 fazy. Tak więc interferencja fal na tym odcinku przekroju może nieco zniekształcać obraz strukturalny. Ułożenie refleksów wskazuje na wynurzenie się podcechszyńskich utworów paleozoicznych w kierunku NE. Można przyjąć, że ta partia przekroju kończy się na linii uskoku I–I. Środkowa część przekroju, zawarta między strefami tektonicznymi I–I i II–II, wyróżnia się najmniejszą liczbą granic sejsmicznych, przy czym dynamika ich zapisu jest niewielka. Granice te leżą tutaj prawie poziomo i korelują się na bardzo krótkich odcinkach. Ponadto obserwuje się fale o dużych gradientach, zwłaszcza w przedziale czasu 4,0–4,6 s. Przyczyną złożonego obrazu falowego wydaje się być skomplikowana tektonika kompleksu podcechszyńskiego. Północno-wschodnia część przekroju 20-I-81 (fig. 2) charakteryzuje się, podobnie jak część południowo-zachodnia, dużą liczbą fal odbitych, ale mających 2, rzadziej 3 fazy. Rozdzielczość fal jest dobra, co ułatwia ich interpretację. W tej części przekroju granice sejsmiczne spływają się ku SW. Rozpatrując wyniki uzyskane podczas prac metodycznych można stwierdzić, że osadowe utwory podcechszyńskie tworzą antyklinę w centralnej części zaburzoną tektonicznie (fig. 2). Zaburzenia te wyznaczono na podstawie zmiany charakteru zapisu granic, przerw w korelacji fal oraz odmiennych upadów warstw na poszczególnych odcinkach przekroju. Brak granic przewodnich, a przede wszystkim siatki profilów sejsmicznych, utrudnia interpretację obrazu tektonicznego. Mimo to wydaje się, że amplitudy uskoków, jak można sądzić na podstawie granicy *S*, są niewielkie, zaś liczba zaburzeń tektonicznych prawdopodobnie jest większa w porównaniu z liczbą wyznaczoną na przekroju (fig. 2). Trzeba podkreślić, że omawiany odcinek przekroju metodycznego zlokalizowano w obszarze złożonej budowy geologicznej nawet utworów triasowo-cechszyńskich.

## GLĘBOKIE GRANICE SEJSMICZNE

Wszystkie granice sejsmiczne poniżej stropu podłoża skonsolidowanego, którym na przekroju (fig. 2) jest prawdopodobnie granica *S*, umownie określa się jako głębokie. Jednocześnie powstają wątpliwości, czy terminem granice sejsmiczne można nazywać strefy kontaktu skał skonsolidowanych o odmiennych własnościach sprężystych. Niemniej dla jasności, a może nawet bardziej uproszczenia opisu obrazu falowego poniżej stropu podłoża skonsolidowanego, należy pozostać przy nazwie granice sejsmiczne, mimo iż mogą one różnić się swym charakterem od granic utworów osadowych. Podobnie inna może być przyczyna przerw w

korelacji głębokich fal odbitych, a także pionowych przesunięć faz fal. Przerwy w połączeniu z przemieszczeniem faz fal — obserwowane na przekrojach sejsmicznych w utworach osadowych — interpretowane są jako uskoki, a najczęściej wskutek złożoności obrazu falowego — strefy tektonicznie zaburzone lub strefy nieciągłości korelacji. Wydaje się, że dopiero po nagromadzeniu większej ilości materiałów sejsmicznych dotyczących głębokich granic oraz wykonaniu pomiarów i obliczeń na modelach, geologiczna interpretacja obrazu falowego będzie bardziej jednoznaczna. Stąd też właściwsze będzie pokazanie możliwości jednoczesnej rejestracji fal płytkich i głębokich przy zastosowaniu odpowiedniej metodyki prac polowych, natomiast interpretacja geologiczna obrazu falowego może być pobieżna i, jak się wydaje, bez uszczerbku dla charakterystyki głębokich granic sejsmicznych. Najistotniejszy jest bowiem fakt zarejestrowania fal odbitych od głębokich granic w strefie przed punktem krytycznym i to wówczas, gdy obiekt badań stanowią utwory osadowe o znacznej miąższości.

Na podstawie porównania obrazu falowego na przekrojach poniżej granicy *S* (fig. 2) należy uznać, że jest on nieco czytelniejszy w przypadku prostopadłego usytuowania grup otworów względem rozstawu niż w przypadku usytuowania równoległego. Przyczyną tego może być pogorszenie się warunków wzbudzania przy grupowaniu równoległym, wskutek wcześniejszego odpalania dużej ilości ładunków podczas prac rutynowych o wysokiej krotności profilowania. Wyniki dotyczące głębokich granic sejsmicznych uzyskane metodą refleksyjną są zróżnicowane pod względem charakteru zapisu na przekroju czasowym (fig. 2b). W południowo-zachodniej części przekroju w przedziale czasu 5–8 s zarejestrowano kilka fal. Granicę na czasie około 5,2 s na podstawie analizy prędkości należy zaliczyć do rzeczywistych. Pozostałe fale, a przynajmniej większość z nich, o na ogół niskiej dynamice zapisu, wydają się być wielokrotne. Trzeba przy tym odnotować, że analiza prędkości jest mało dokładna dla fal głębokich przy stosowanych długościach rozstawów geofonów. Na północny wschód od PS280 liczba fal głębokich w przedziale 5–8 s wyraźnie maleje wraz ze zmniejszeniem ich dynamiki. Wyznaczenie granicy *S* w tej części przekroju również jest mniej pewne, czego przyczyną może być złożona tektonika. Za taką hipotezą przemawiają liczne przerwy w korelacji fal oraz pionowe przemieszczania poszczególnych ich faz, zwłaszcza fali *S*. Jednak ze względu na zbyt krótki odcinek przekroju oraz niską jakość wyników trudno wysuwać wnioski geologiczne, a nawet i geofizyczne, dotyczące budowy kompleksu skalnego zawartego w przedziale czasu 5–8 s.

Podobnie słabe fale występują w środkowej części przekroju na czasie około 11 i 12,2 s, czyli na głębokości odpowiednio bliskiej 30 i 34 km. Obydwie fale łatwiej jest korelować wykorzystując kryterium zgodności faz niż dynamiki zapisu. Trzeba jednak podkreślić, że przekrój przedstawiony na fig. 4 odtworzono w paśmie przenoszenia częstotliwości korzystnym dla fal odbitych od granic utworów osadowych. W związku z tym dynamika fal wiązanych z głębokimi granicami może być obniżona. Potwierdzeniem tego jest zapis granicy *K* na fig. 5 najlepiej widocznej na sejsmogramach 1 i 2, a więc przy zastosowaniu filtrów przepuszczających niskie częstotliwości. Głębsza z omawianych granic zapada na SW (fig. 2). Nadmienimy, że granicę na podobnej głębokości i takim samym kierunku upadu uzyskano na VII międzynarodowym profilu w rejonie Torunia na bloku  $F_1$  (A. Guterch i in., 1975). Prawdopodobnie jest to granica Conrada, chociaż dla udokumentowania tej sugestii nie wystarcza tak krótki odcinek przekroju sejsmicznego.

Spośród fal głębokich, które zdecydowanie wyróżniają się wyrazistością zapisu na przekroju oraz stosunkowo krótkimi przerwami w korelacji, są fale w interwale czasu 15,6–16,5 s, a najwyraźniejszą z nich oznaczoną symbolem *M*

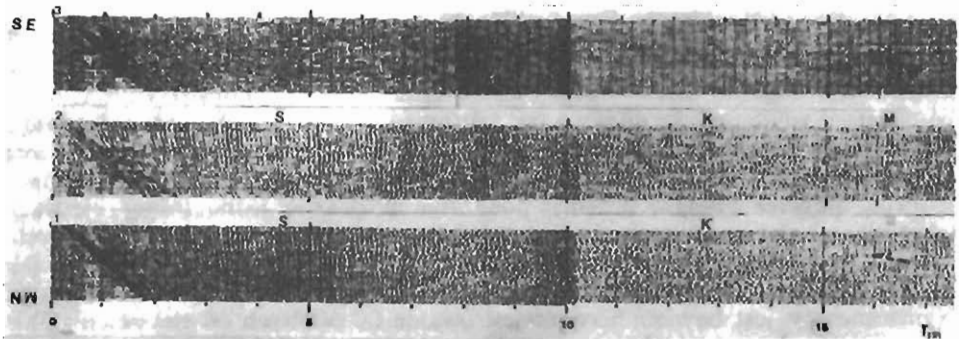


Fig. 5. Sejsmogram uzyskany w punkcie doświadczalnym 5 odtworzony w pasmach częstotliwości: 1 – 8–125 Hz; 2 – 5,8–20,30 Hz; 3 – 9,15–40,60 Hz

Sejsmogram obtained at the experimental point 5, replayed in frequency bands: 1 – 8–125 Hz; 2 – 5,8–20,30 Hz; 3 – 9,15–40,60 Hz

Objaśnienia jak na fig. 2

Explanations as given in Fig. 2

można uznać za przewodnią. Przyjmując prędkość średnią rozchodzenia się tych fal w ośrodku skalnym równą 5500–5700 m/s, można obliczyć, że są one odbite od granic zalegających na głębokościach od około 43 do 47 km, przy czym granica *M* występuje mniej więcej w środku wymienionego interwału głębokości, czyli średnio na 45 km. Należy podkreślić, że fala *M* widoczna jest nawet na pojedynczych sejsmogramach i to w dodatku odtworzonych przy zastosowaniu stosunkowo szerokopasmowego filtra 8–62 Hz (fig. 6), nie zapewniającego dostatecznego tłumienia fal zakłócających. Było to możliwe wskutek odpalania małych ładunków nie wzbudzających intensywnych fal zakłócających. Ponadto przyjęty schemat grupowania otworów sprzyjał wzmocnieniu sygnałów użytecznych. Na podstawie charakteru zapisu fal odbitych, tj. dynamiki i położenia poszczególnych faz fal na przekroju można stwierdzić, że granica *M*, w porównaniu z innymi granicami występującymi w skorupie ziemskiej, ma najbardziej stałe własności sprężyste na całej długości omawianego odcinka przekroju. Niemniej jednak obserwuje się kilka przerw w korelacji fali *M* połączonych w większości przypadków z pionowymi przesunięciami faz wynoszącymi 30–40 ms, czyli około 90–110 m, najlepiej widocznymi na przekroju w powiększonej skali (fig. 7). Podobne przesunięcia faz fal odbitych od granic utworów osadowych interpretowane są jako uskoki. Tak więc, gdyby uznać zasady interpretacji obrazu falowego odnoszące się do granic utworów osadowych również słuszne dla granic głębokich, wówczas można by twierdzić, że w miejscach pionowych przemieszczeń faz fal następują skokowe zmiany własności sprężystych skał lub nawet strefy tektoniczne. Bardziej prawdopodobna wydaje się być hipoteza o obecności stref zaburzonych. Przemawia za nią fakt występowania w tych samych punktach strzałowych przerw w korelacji innych granic blisko położonych, jakkolwiek trudno dla nich ustalić kierunki przesunięć faz fal, jak to miało miejsce w przypadku granicy *M*. Na podstawie tej granicy można wyznaczyć 4 punkty, w których obserwuje się pionowe przesunięcia faz fal (fig. 7). Przerwy w korelacji fali *M* w tych miejscach są niewielkie i wahają się od 100 do 300 m, co wskazuje na nagłe zmiany własności sprężystych skał tworzących granicę *M*. Fakt ten może być uważany za dodatkowe kryterium do traktowania pionowych przesunięć faz fal jako przesunięć tektonicznych. Oprócz tego na podstawie tak wąskich stref przerw

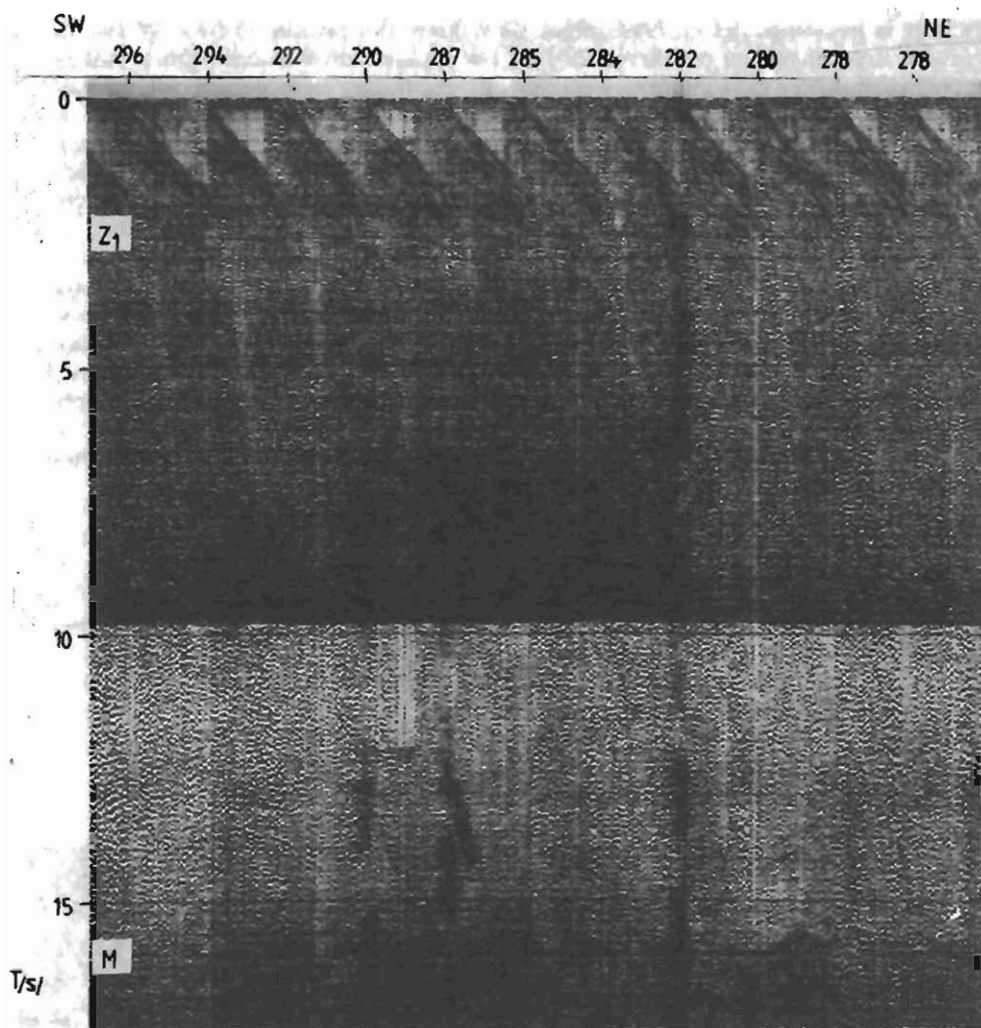


Fig. 6. Sejsmogramy, ilustrujące zapis granicy *M*, odtworzone w paśmie częstotliwości 8–62 Hz  
 Seismograms replayed in frequency band 8–62 Hz, showing the record of the Moho discontinuity

Objaśnienia jak na fig. 2

Explanations as given in Fig. 2

w korelacji fal można sądzić, że profil 20-I-81 usytuowany jest prawie prostopadle do przebiegu ewentualnych linii występowania przemieszczeń tektonicznych w rejonie prac metodyczno-doświadczalnych. W związku z tym można założyć, że strefy nieciągłości korelacji fali *M* mają kierunek NW–SE. Prawdopodobnie dlatego fali *M* nie zarejestrowano w punktach 3 i 4, natomiast w punkcie 5, położonym najbliżej profilu 20-I-81, fala *M* jest widoczna wyraźnie (fig. 5). Jednocześnie na sejsmogramie tym łatwo zauważyć przesunięcie faz fali *M*, przy czym wielkość przesunięcia jest podobna do przesunięć obserwowanych na przekroju 20-I-81 (fig. 7). Granica *M* po obu stronach wspomnianego przesunięcia faz za-

znaczono na sejsmogramie 1 ma różne upady (fig. 5). Na SE od przesunięcia leży prawie poziomo, zaś na NW słyca się w kierunku profilu 20-I-81. W świetle wyników uzyskanych na przekroju 20-I-81 i w punkcie doświadczalnym 5 można uważać, że granica  $M$  ma charakter złożony, przejawiający się w pionowych przesunięciach oraz zmianie upadów. Podobne przesunięcia faz fali  $M$  zarejestrowano w okolicy Chełma na profilu o kierunku NE-SW (T. Krynicki, praca w druku). W związku z tym wydaje się, że zjawisko przesunięć faz fal odbitych od głębokich granic, a szczególnie od granicy  $M$ , może występować na znacznych obszarach.

Na podstawie wyników uzyskanych na przekroju 20-I-81 (fig. 7) widać, że granica  $M$  ma urozmaiconą morfologię, najpłycej zalega w pobliżu PS 280, najgłębiej zaś w środkowej części przekroju. Przyjmując prędkość średnią 5600 m/s, różnica w głębokości występowania granicy  $M$  w wymienionych miejscach wynosi około 250 m. Granica  $M$  generalnie zapada na NE od PS 280. Pozostałe fale głębokie, w tym także fala  $M_1$ , mają bardziej złożony charakter zapisu. Przerwy w korelacji tych fal są liczne, często zmienia się intensywność ich zapisu, a ponadto niekiedy występuje nierównoległość faz fal. Jednocześnie fale te w porównaniu z falą  $M$  mają słabszą dynamikę. Układ poszczególnych faz fal wskazuje

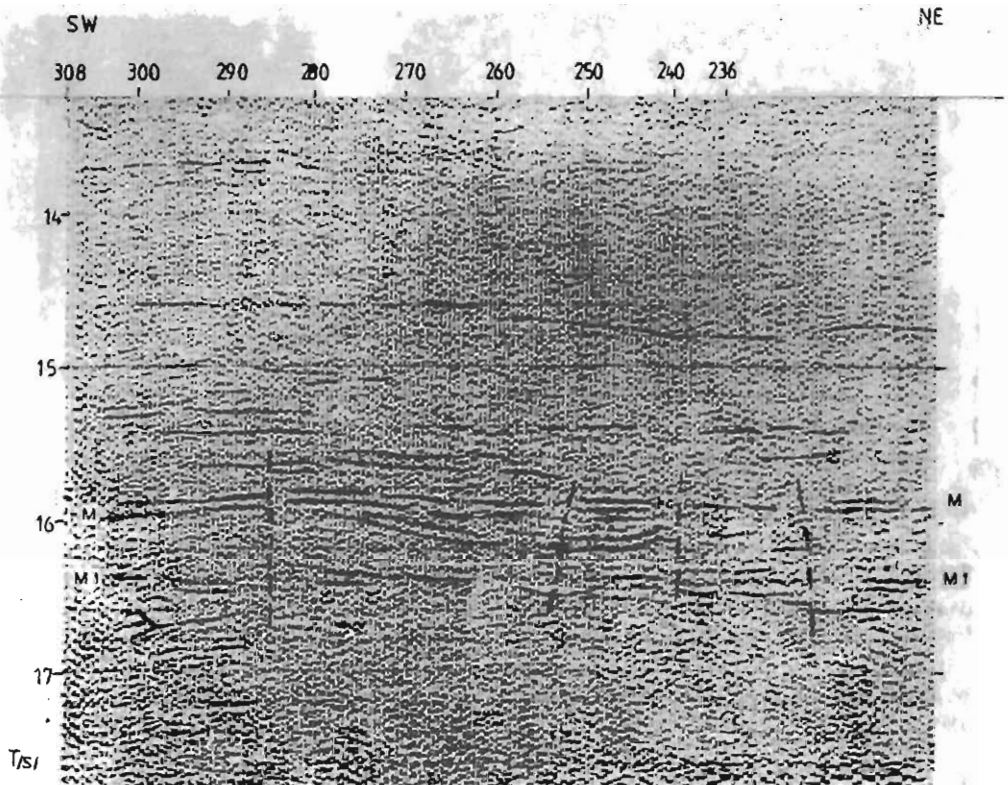


Fig. 7. Obraz falowy obrazujący strefę nieciągłości Moho uzyskany podczas prac metodycznych  
Wave image of the Moho discontinuity, obtained in the course of methodological works

Objasnienia jak na fig. 2

Explanations as given in Fig. 2

na zróżnicowanie upadów głębokich granic sejsmicznych. Wszystko to świadczy o skomplikowanej budowie strefy nieciągłości Moho w rejonie prac metodyczno-doświadczalnych.

Charakteryzując głębokie granice sejsmiczne, wydaje się uzasadnione rozważenie związku między nimi a nadkładem, w tym przede wszystkim skał osadowych. Porównując wyniki uzyskane w różnych przedziałach głębokościowych dają się zauważyć pewne cechy wspólne, chociaż występują wyraźne niezgodności w położeniu granic. Do tych ostatnich należy zaliczyć przede wszystkim odmienny generalny kierunek upadu granicy  $Z_1$  względem granicy  $M$ , a także  $S$ , oraz utworów jury i kredy. Oprócz tego utwory podcechszyńskie tworzą antyklinę, której szczyt przypada w pobliżu PS260. Tektonika tej antykliny jest urozmaicona. Na podstawie granicy  $S$  można wyznaczyć niewielką antyklinę z maksimum w okolicy PS290, której skrzydło północno-wschodnie wydaje się być zaburzone tektonicznie. Granica  $M$  najpłycej zalega w PS280, w którym występuje wyraźne pionowe przesunięcie faz fali  $M$ . Od PS280 granica  $M$  zapada w obydwu kierunkach, tj. na SW i NE.

Niezwykle interesujące i mogące mieć duże znaczenie praktyczne, zwłaszcza w przypadku przyjęcia teorii nieorganicznego pochodzenia węglowodorów, jest ustalenie i uzasadnienie podstaw do łączenia pionowych przesunięć faz fali  $M$  ze strefami tektonicznymi występującymi w nadkładzie. Na podstawie wyników przedstawionych na przekroju sejsmicznym nie można wykluczyć takiego związku. Dla ustalenia bardziej jednoznacznej zależności niezbędne jest jednak nagromadzenie większej liczby danych uzyskanych metodą refleksyjną w strefie przed punktem krytycznym. Należy oczekiwać, że ilość informacji będzie szybko wzrastać, gdyż Instytut Geologiczny i Instytut Geofizyki PAN zleciły Przedsiębiorstwu Badań Geofizycznych prace refleksyjne dla rozpoznania budowy geologicznej utworów podcechszyńskich i głębokich granic, łącznie ze strefą nieciągłości Moho.

## WNIOSKI

Wyniki uzyskane podczas prac metodyczno-doświadczalnych upoważniają do stwierdzenia, że istnieją możliwości zwiększenia zasięgu głębokościowego metody refleksyjnej z jednoczesną poprawą wyrazistości zapisu granic wiązanych z utworami mezozoiku i cechsztynu.

Zastosowane parametry wzbudzenia i odbioru podczas prac metodycznych w obszarze Bydgoszczy należy uważać za bliskie optymalnych, gdyż zarejestrowano fale odbite od płytkich i głębokich granic sejsmicznych. Grupowanie otworów na bazach prostopadłych do rozstawu geofonów jest korzystniejsze od grupowania otworów na bazach równoległych.

Wyniki prac metodycznych potwierdziły słuszność założeń teoretycznych co do możliwości zmniejszenia krotności profilowania z 24 do 12 z jednoczesną poprawą wyrazistości zapisu granic sejsmicznych. Pozwoli to na istotne obniżenie kosztów badań refleksyjnych, prowadzonych nie tylko w obszarze basenu permskiego. W świetle wyników prac metodyczno-doświadczalnych, utwory cechsztyńskie nie stanowią zasadniczej przeszkody w badaniach głębokich granic metodą fal odbitych. Powstały zatem możliwości znacznego rozszerzenia zakresu stosowania metody refleksyjnej. Mimo że wykonano stosunkowo niewiele prac metodyczno-doświadczalnych, to uzyskano nowe dane o budowie utworów triasowych, cechsztyńskich, a przede wszystkim głębszych, łącznie ze strefą nieciągłości Moho.

W związku z tym można uznać, że badania refleksyjne w basenie permskim winny być kontynuowane metodyką podobną do metodyki przyjętej w rejonie Bydgoszczy. W świetle założeń teoretycznych stosowane parametry wzbudzenia na profilu metodycznym będą zbliżone do parametrów optymalnych również w przypadku prac wykonywanych w innych obszarach Polski, chociaż winny być obliczane w zależności od celu badań oraz własności sprężystych ośrodka skalnego i w razie potrzeby korygowane.

Wyniki uzyskane podczas prac metodyczno-doświadczalnych wskazują na możliwość pełnego rozpoznania budowy geologicznej bardzo miąższego kompleksu skalnego metodą refleksyjną i poprawnego ukierunkowania badań geologicznych.

Na zakończenie należy odnotować, że omówiony obraz falowy, jak również podane wnioski, oparto na przekrojach wstępnie opracowanych. Stąd też wykonaną na przekrojach interpretację winno się traktować także jako tymczasową. Mimo to uzyskane wyniki z zastosowaniem nowej metodyki pomiarów potwierdzają znaczne możliwości metody refleksyjnej w badaniach budowy geologicznej utworów paleozoicznych i głębszych. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że jakość ich poprawi się na przekrojach sporządzonych w wersji końcowej. W związku z tym można oczekiwać, że nawet 6–8-krotne profilowanie będzie wystarczające dla rozwiązania przyszłych zadań geologicznych, co uczyni tę metodę jeszcze bardziej konkurencyjną pod względem kosztów nie tylko w stosunku do wierceń, ale i innych prac geofizycznych.

Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych  
Warszawa, ul. Stalingradzka 34  
Nadesłano dnia 3 lutego 1982 r.

## PIŚMIENNICTWO

- DADLEZ R. (1980) – Tektonika wału pomorskiego. *Kwart. Geol.*, **24**, p. 741–764, nr 4.
- GRZESIK H., BIAŁEK T. (1981) – Dokumentacja badań sejsmicznych wykonanych na terenie Rejonu Bydgoszczy. Arch. Przeds. Bad. Geofiz. Warszawa.
- GUTERCH A., MATERZOK R., PAJCHEL J., PERCHUĆ E. (1975) – Sejsmiczna struktura skorupy ziemskiej wzdłuż VII profilu międzynarodowego w świetle badań metodą głębokich sondowań sejsmicznych. *Prz. Geol.*, **23**, p. 153–163, nr 4.
- KRYNICKI T. (1980) – Efekt statystyczny grupowania geofonów i otworów na długich bazach. *Tech. Poszuk. Geol.*, **19**, p. 1–6, nr 6.
- KRYNICKI T. (1981) – Utwory cechsztyńskie a problem uzyskiwania głębokich granic sejsmicznych metodą refleksyjną. *Kwart. Geol.*, **25**, p. 335–249, nr 2.
- KRYNICKI T. (1982) – Wybrane zagadnienia metodyki prac polowych w badaniach geologicznych utworów paleozoicznych metodą refleksyjną. *Kwart. Geol.*, **26**, p. 217–229, nr 1.
- KRYNICKI T. (praca w druku) – Efektywność grupowania otworów na długich bazach w badaniach głębokich granic sejsmicznych. *Geof. Stosowana*, nr 1 (1982).
- SKORUPA J. (1974) – Mapa sejsmiczna Polski. Wyniki regionalnych prac refrakcyjnych prowadzonych w związku z rozpoznaniem głębokiego podłoża. Inst. Geol. Warszawa.



Тадеуш КРЫНИЦКИ

**СЕЙСМИЧЕСКИЕ ГРАНИЦЫ В СВЕТЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
МЕТОДИКО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПО РАЙОНУ БЫДГОЩИ**

**Резюме**

На большой территории польского пермского бассейна результаты, получаемые методом отраженных волн от подцехштейнового осадочного комплекса, ввиду их низкой качественности, не могут служить базой для надлежащей направленности геологических поисковых работ. В статье показано, что существует возможность увеличить глубину проникновения отраженных волн, при условии использования соответствующих параметров измерения. Рассмотрены результаты методико-испытательных работ, полученных по району Быдгощи, считающемуся трудным по сейсмогеологическим условиям. Особое внимание обращено на границы, связанные с подцехштейновыми осадочными породами и на более глубокие границы, включая зону нарушений Мохо. В свете полученных данных установлено, что увеличение глубины, достижимой методом отраженных волн возможно при значительном понижении стоимости измерительных работ.

Tadeusz KRYNICKI

**SEISMIC BOUNDARIES IN THE LIGHT OF METHODOLOGICAL-EXPERIMENTAL  
SURVEYS IN THE BYDGOSZCZ REGION**

**S u m m a r y**

In a large part of the Permian Basin in Poland, results hitherto obtained for the sub-Permian complex of sedimentary rocks with the use of the reflection method appear to be of insufficient quality for appropriate direction of further geological-prospecting works. The paper shows that depth range of the reflection method may be increased, providing that appropriate parameters of measurements are used. There are discussed the results of methodological-experimental surveys carried out in the Bydgoszcz region, one of the areas with trouble some seismicogeological conditions. A special attention is paid to boundaries regarded as related to sub-Zechstein sedimentary deposits as well as deeper-seated ones, including Moho discontinuity. In the light of the obtained data, it is possible both to increase depth range of the reflection method and to reduce costs of the surveys.