

Arykan KISŁOW

PRACE REFRAKCYJNE W SYNEKLIZIE PERYBAŁTYCKIJE

(5 fig.)

*СЕЙСМИЧЕСКИЕ РАБОТЫ МЕТОДОМ ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН
В БАЛТИЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЕ*

(5 фиг.)

Treść: Metodą sejsmiczno-refrakcyjną wyznaczono na badanym obszarze granicę sejsmiczną o $v_{gr} = 6000$ m/s. 2980 oznaczeń ciężarów objętościowych próbek skalnych pozwoliło określić własności sprężyste poszczególnych zespołów litologicznych. Wykreślono mapy izobat granicy $v_{gr} = 6000$ m/s oraz przeprowadzono próbę korelacji poziomów sejsmicznych w profilu W—E na podstawie obliczonych współczynników załamania.

Badania sejsmiczne metodą refrakcyjną na obszarze syneklizy perybałtyckiej rozpoczęło w 1959 r. Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych w Warszawie. Zastosowano uproszczony system sondowań składający się z dwóch zbieżnych profilów o długości gałęzi hodografów do kilku kilometrów, co umożliwiło wstępne rozpoznanie krystalicznego podłoża na obszarze jego najpłytszego występowania. Zadanie to było znacznie ułatwione ze względu na bezpośrednie zaleganie utworów krystalicznych pod piaszczysto-ilastymi utworami triasu. W tych warunkach współczynnik załamania p kształtował się w granicach 0,5—0,7.

W miarę wkraczania z badaniami na obszary głębszego występowania podłoża krystalicznego zastosowano bardziej skomplikowane układy rejestracji przy jednoczesnym wydłużeniu profilów do kilkunastu kilometrów. Do badań włączyło się Przedsiębiorstwo Geofizyki Górnictwa Naftowego w Krakowie i Toruniu. Pod koniec lat sześćdziesiątych w związku z poszukiwaniami za węglowodorami rozpoczęto intensywne prace wiertnicze. Jako podstawa do tych prac służyły głównie zdjęcia sejsmiczne refleksyjne uzupełnione materiałami refrakcyjnymi.

Dzięki pomiarom w głębokich odwiertach uzyskano dane dotyczące niektórych własności fizycznych skał (profilowania prędkości średnich — PP), co umożliwiło sprecyzowanie na profilach i mapach głębokości zalegania podłoża. Znacznym ułatwieniem przy interpretacji była laborato-

ryjne oznaczenia ciężarów objętościowych skał, wykonywane przez PPG, Zakład Opracowań Geologicznych ZGN „Geonafta” oraz PPN w Wołominie.

Wprowadzenie metody profilowania akustycznego (PA) umożliwiło bardziej dokładną lokalizację wszystkich możliwych granic sejsmicznych.

Obszar syneklizy perybałtyckiej można na podstawie stopnia obecnego geofizycznego i geologicznego rozpoznania podłoża podzielić na dwie części: wschodnią — gdzie wykonano kilkadziesiąt odwiertów, oraz zachodnią — na której geologiczne zbadanie starszych warstw i podłoża ogranicza się do wąskiej przybrzeżnej strefy Morza Bałtyckiego, w środkowej zaś głębszej części istnieje tylko jeden odwiert do podłoża (Kościerzyna). Takie nierównomierne rozmieszczenie głębokich odwiertów na obszarze syneklizy jest przyczyną trudności korelacji i śledzenia fal załamanych na sejsmogramach. Dość odmienne warunki sedimentacji w obu częściach syneklizy spowodowały istnienie dodatkowych granic sejsmicznych w utworach kambru o stosunkowo wysokich zdolnościach załamujących i to sprawiło trudność przy identyfikacji fal odbitych od podłoża krystalicznego oraz stwarzało możliwość popełnienia poważniejszych błędów przy korelacji granic sejsmicznych.

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ KOMPLEKSU DOLNO-PALEOZOICZNEGO

Stratygrafia utworów dolnopaleozoicznych syneklizy perybałtyckiej została dość dobrze rozpoznana dzięki pracom radzieckim i polskim, przede wszystkim jednak we wschodniej części, gdzie wykonano liczne wiercenia (Bałaszow i i., 1971; Bielajewa, Niewolin, 1972; Kor'kutis, 1971; Kuzik, 1970; Ruchowiec, 1970; Sarkisow, Gołowin, 1970; Skorupa, 1970; Stolarczyk, Tyski, 1972). Ku zachodowi od wyniesienia suwalskiego, na którym bezpośrednio na utworach prekambriu leżą utwory triasu, kolejno zjawiają się osady wieku paleozoicznego, w których istnieją wszakże duże luki sedimentacyjne (całkowity brak osadów dewonu na całym obszarze oraz eokambriu w części wschodniej). Na wschodzie i na północy syneklizy w dolnym paleozoiku przeważały warunki płytkiego morza i wykształcił się zatokowy charakter linii brzegowej.

Warunki tektoniczne również na ogół nie są zbyt skomplikowane. Obszar syneklizy podlegał tak regionalnym, jak i lokalnym ruchom, o czym świadczą miejscowe szybkie zmiany miąższości kambru oraz liczne dyslokacje. Amplitudy pionowych przemieszczeń warstw są na ogół niewielkie w porównaniu z innymi obszarami i dochodzą lokalnie do 200—250 m, zazwyczaj jednak nie przekraczają 80—100 m. Na podstawie materiałów wiertniczych należy przyjąć, że obszar syneklizy ma wyraźną blokową budowę (Głady — Zarzeczce).

Przeważające kierunki dyslokacji są zbliżone do rozciągłości warstw i w ogólnych zarysach podkreślają szeroki synklinalny charakter syneklizy o osi SW—NE, przechodzącej w przybliżeniu przez Kościerzynę — Zatokę Gdańską. W ogólnym obrazie syneklizy wyniesienie suwalskie stanowi zamknięcie od południa obszernej syneklizy litewskiej z analogicznymi cechami budowy tektonicznej (Bielażewa, Niewolin, 1972).

Wyraźne granice sejsmiczne w dolnopaleozoicznych utworach stwierdzono w sylurze, ordowiku, kambrze oraz w stropie prekambriu (Bałaszow i i., 1971; Stolarczyk, Tyski, 1972; Vertikalnyje sejsmiczeskie profilirovanija, 1969). Ich jakość jest nieraz bardzo wysoka, chociaż położenie w przekrojach poszczególnych serii wydaje się ulegać zmianom (fig.2).

CHARAKTERYSTYKA WŁASNOŚCI SPRĘŻYSTYCH UTWORÓW PALEOZOICZNYCH

Ocena własności sprężystych skał paleozoicznych obszaru syneklizy może być przeprowadzona na podstawie analizy pomiarów ciężarów objętościowych oraz danych profilowań akustycznych w odwiertach (PA). Ich statystyczne opracowanie w postaci krzywych wariacyjnych daje dobrą charakterystykę gęstości występujących rodzajów skał. Kształt krzywej wariacyjnej niejednokrotnie może dostarczyć dodatkowych informacji nie tylko o stanie jednorodności składu litologicznego, lecz i szybkości przebiegów procesów niszczenia skały (na podstawie porównania charakteru obu gałęzi krzywej).

Na fig. 1 przedstawiono rozkłady ciężarów objętościowych utworów paleozoicznych na obszarze syneklizy bałtyckiej. Do konstrukcji krzywych wariacyjnych wykorzystano materiały pomiarów wykonanych przez Instytut Geologiczny, Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych, Przedsiębiorstwo Poszukiwań Naftowych — Kraków oraz Pracownię Zakładu Opracowań Geologicznych ZGN „Geonafta” w Krakowie. Łączna ilość pomiarów w utworach paleozoicznych wynosi 1980. Dla niektórych serii osobno na rysunku zaznaczono dane dla odwiertu Kościerzyna (oznaczone symbolem K).

P r e k a m b r. Krzywa wariacyjna jest bardzo szeroka i składa się w zasadzie z kilku odcinków, których maksima są charakterystyczne dla różnych typów skał.

Granodioryty i gabra mają maksimum o wartości 2,69 G/cm³, gnejsy oraz bazalty — 2,89—2,92 G/cm³, noryty — ok. 3, 10 G/cm³, zaś ruda ilmeno-magnetytowa — 3,65—3,80 G/cm³. Jest oczywiste, że zawartość cięższych składników decyduje o ogólnym ciężarze objętościowym danego środowiska skalnego.

E o k a m b r. Ilość pomierzonych prób wynosi 1518. Zasadnicze maxi-

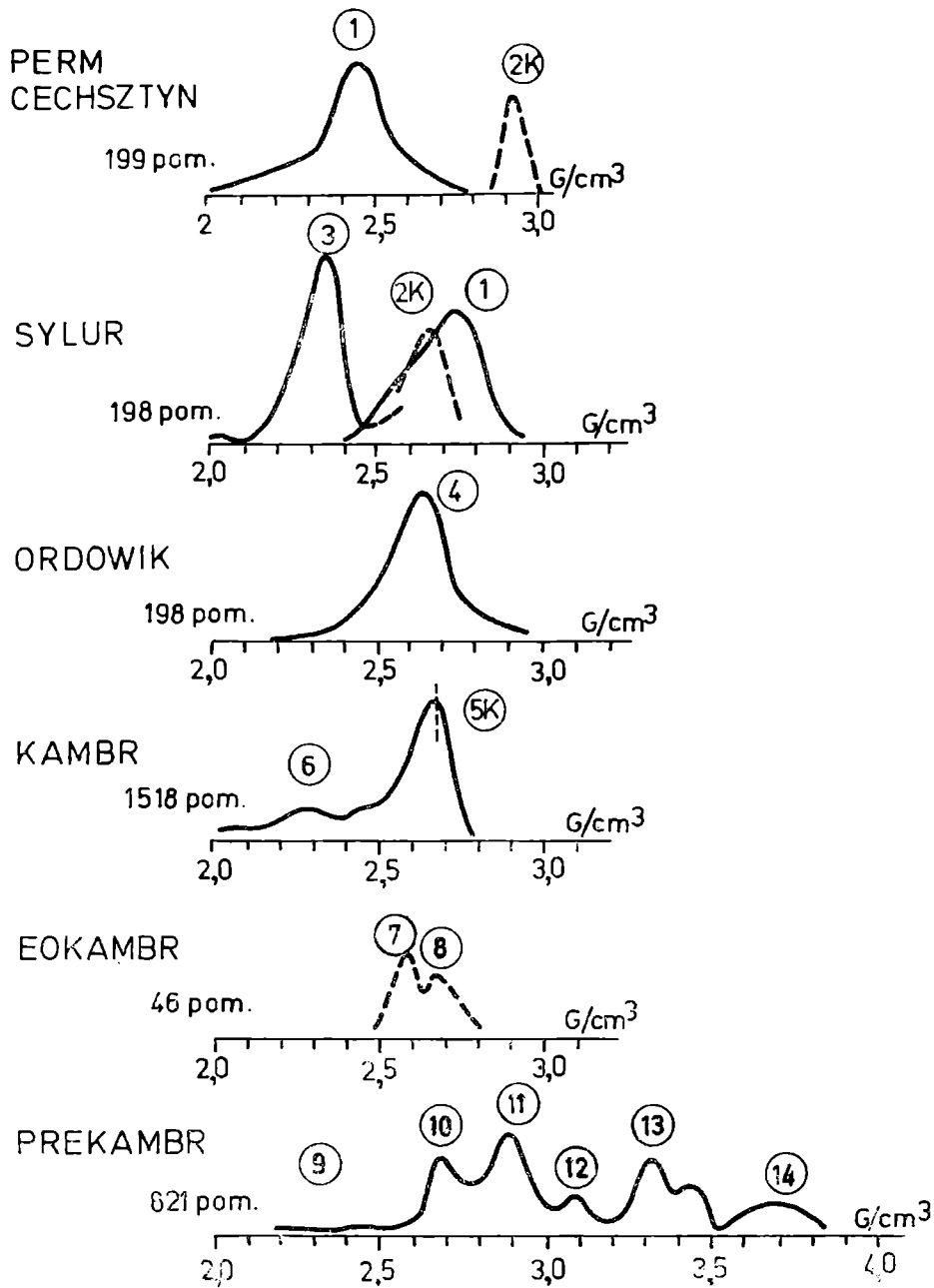


Fig. 1. Rozkład ciężarów objętościowych dla utworów paleozoicznych na obszarze syneklizy bałtyckiej. 1 — wapień; 2 — dolomity; 3 — iłowce; 4 — mułowce i wapień; 5 — piaskowce kwarcytowe, mułowce, węglany; 6 — piaskowce porowate; 7 — piaskowce; 8 — łupki; 9 — tufity, łupki, piaskowce; 10 — granodioryty, gabra; 11 — gnejsy, bazalty; 12 — nority; 13 — nority z rudą żelazną; 14 — ruda ilmeno-magnetytowa; K — dane dla odwiertu Kościerzyna

Фиг. 1. Распределение плотностей в палеозойских отложениях Балтийской синеклизы. 1 — известняки; 2 — доломиты; 3 — аргиллиты; 4 — алевролиты и известняки; 5 — кварцевые песчаники, алевролиты, карбонаты; 6 — пористые песчаники; 7 — песчаники; 8 — сланцы; 9 — туфы, сланцы, песчаники; 10 — гранодиориты, габбро; 11 — гнейсы, базальты; 12 — нориты; 13 — нориты с железной рудой; 14 — ильменито-магнетитовая руда; K — данные по скважине Косьежина

mum krzywej o wartości $2,68 \text{ G/cm}^3$ występuje dla piaskowców kwarcytowych mułowców oraz skał węglanowych. Dla piaskowców występują lokalne maksima około $2,30\text{—}2,45 \text{ G/cm}^3$. Stosunkowo mała wartość ciężaru objętościowego może być tłumaczona z jednej strony dużą porowatością skały, z drugiej zaś — daleko posuniętym zniszczeniem poszczególnych próbek.

O r o d o w i k. Krzywa wariacyjna dla osadów ordowiku jest względnie regularna, co wskazuje na daleko posuniętą jednorodność składu i gęstości skał. Maksimum dla mułowców i wapieni wynosi $2,65 \text{ G/cm}^3$, a więc niemal identycznie jak dla skał eokambru.

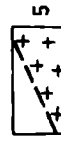
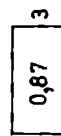
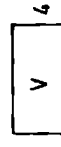
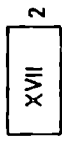
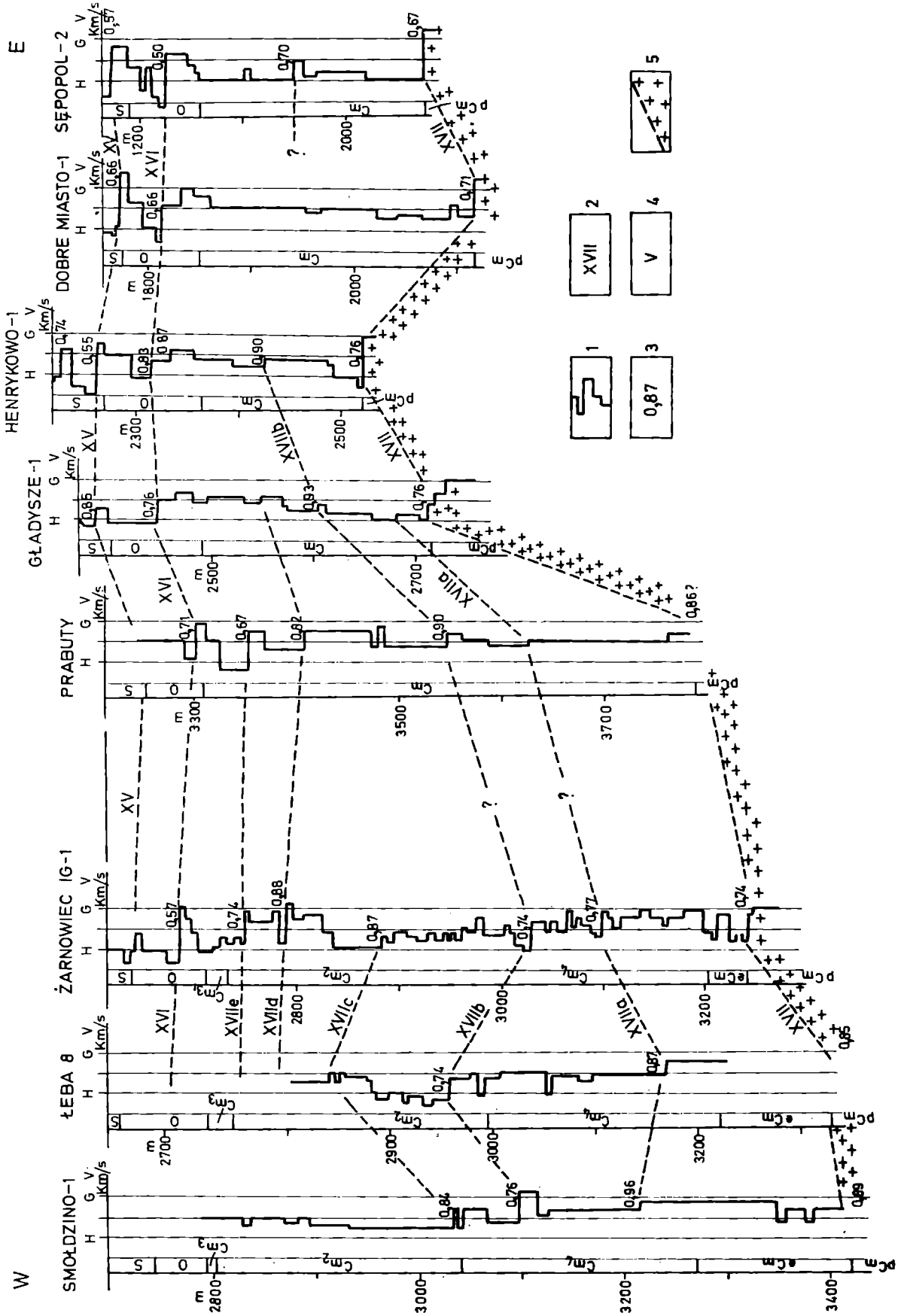
S y l u r. Krzywa jest wyraźnie dwudzielna: dla iłowców maksimum występuje dla około $2,37 \text{ G/cm}^3$, dla wapieni dolomitycznych zaś — około $2,75 \text{ G/cm}^3$. Materiały z odwiertu Kościerzyna (tylko 22 pomiary) wskazują na nieznacznie mniejsze ciężary objętościowe skał — około $2,68 \text{ G/cm}^3$, z czego można by wnioskować o mniejszej zawartości składnika dolomitycznego aniżeli we wschodniej części syneklizy, do której odnosi się sporządzona krzywa wariacyjna.

P e r m. Dominująca ilość próbek została pobrana z wapieni. Ekstremum krzywej przypada na wartość $2,47 \text{ G/cm}^3$. Dolomity reprezentowane były jedynie przez 10 próbek z odwiertu Kościerzyna. Wykazują one wysokie wartości — około $2,93 \text{ G/cm}^3$.

Na fig. 2 przedstawiono porównanie diagramów profilowania PA dla utworów dolnego paleozoiku na obszarze syneklizy wzdłuż przekroju o kierunku W-E. Diagramy profilowań, wykonane przez PGGN w Toruniu są przedstawione w schematycznej postaci ze wskazaniem wyraźniejszych zmian własności akustycznych. Cechy sprężystości skał są wyrażone w prędkościach przewodzenia drgań fal sprężystych o częstotliwościach akustycznych. Bardziej sprężyste skały odznaczają się wyższymi prędkościami drgań i na odwrót.

Analizując diagramy PA w kierunku wschodnim wyniesienia suwałskiego łatwo zauważa się w przekroju kilka dużych różnic w przewodzeniu drgań („progi akustyczne”). Te „progi” stanowią granice sejsmiczne, które mogą być śledzone w przekroju w sposób ciągły, zależnie od stosowanej metodyki rejestracji. Jakość granicy przy braniu za podstawę zdolności załamania fal sprężystych może być oceniana na podstawie współczynników odbicia lub — w naszym przyjęciu — załamania p . Im mniejsza jest wartość p , tym jakość granicy jest wyższa. W literaturze (B i e r z o n, 1962) jest przyjęty umowny podział: przy $p < 0,75$ — wyrazistość i jakość korelacji geologicznej granicy jest uważana za wysoką, przy $p > 0,75$ poprawność korelacji szybko maleje i praktycznie całkowicie zanika przy $p > (0,82\text{—}0,85)$.

Jak wynika z przekroju korelacyjnego, we wschodniej części syneklizy, najbliższej konturu zasięgu utworów kambru (Dobre Miasto i Sępól), występują trzy zasadnicze wyraźne granice: I — w spągowej części sylu-



XVII 2

V 4

1

0,87 3

5

ru, II — w środkowej części ordowiku oraz III — w stropie prekambriu (fig. 2). Biorąc za podstawę materiały pionowych profilowań sejsmicznych (PPS), w których poddano analizie i usystematyzowaniu granice sejsmiczne w przekroju utworów osadowych, należy przyjąć, że granica P₁₅ odpowiada wyżej wymienionej I, P₁₆ — granicy II oraz P₁₇ — granicy III. Wyrazistość wszystkich trzech granic jest bardzo wysoka (współczynnik załamania p ma zakres 0,50—0,71), zwłaszcza na północnym wschodzie w strefie płytszego występowania podłoża krystalicznego (Sępopol), gdzie wartości współczynnika p są najniższe. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że w kompleksie utworów kambru we wschodniej części syneklizy nie obserwowano wybijających się granic sejsmicznych lub też zaznacza się jedynie ich indywidualne występowanie (jest w Sępopolu, brak w Dobrym Mieście.)

Bardzo zbliżone stosunki sejsmogeologiczne występują w rejonie Prabuty — Henrykowo. Tutaj stają się jednak widoczne przypuszczalnie pewne drobne zmiany litofacjalne, które wpływają na położenie i jakość granic sejsmicznych. I tak w kambrze w Henrykowie granica XVII b jest jeszcze pojedyncza, lecz ku zachodowi zjawiają się dodatkowo XVII a, d i e. Granica XVII c nie jest jeszcze wyraźna i nie nadaje się do celów korelacji.

W ordowiku występuje dobra granica załamująca o niskich współczynnikach p (0,50—0,83). Jej położenie w przekroju stratygraficznym jest stałe we wschodniej części i zmienia się na obszarze Prabutów, gdzie występuje ona w spągu serii. Należy zaznaczyć, że jakość tej granicy na obszarze Henrykowo — Gładysze ulega pogorszeniu (współczynniki p wzrastają do 0,76—0,83).

Z przedstawionych przykładów wynika, że zagadnienie korelacji granic nie wszędzie jest łatwe i o poprawności korelacji muszą decydować przesłanki geologiczne. Ogólnie biorąc trudności korelacyjne wzrastają w kierunku zachodnim, w miarę wzrostu miąższości poszczególnych serii.

W rejonie Gładysze zauważa się w profilu poważniejsze zróżnicowanie rozwoju litofacjalnego osadów w związku z czym występują dodatkowe

Fig. 2. Schemat korelacyjny dla syneklizy bałtyckiej na podstawie profilowania akustycznego i materiałów sejsmiki refrakcyjnej. 1 — uproszczony wykres profilowania akustycznego odwiertu; 2 — granice korelacyjne według pionowych profilowań sejsmicznych; 3 — współczynniki załamania p ; 4 — prędkość fal akustycznych przy pomiarze w odwiertcie; 5 — podłoże krystaliczne o $v_{gr} \cong 6$ km/s

Фиг. 2. Корреляционная схема для Балтийской синеклизы по материалам акустического каротажа и метода преломленных волн. 1 — схематическая диаграмма акустического каротажа скважины; 2 — корреляционные границы по диаграммам вертикального сейсмического профилирования; 3 — коэффициенты преломления p ; 4 — скорость распространения звуковых волн при замере в скважине; 5 — кристаллический фундамент с $V_{gr} \cong 6$ км/с

granice, początkowo o gorszych własnościach załamujących, następnie jednak znacznie polepszających się.

Należy odnotować jako wspólne zjawisko, że na całym obszarze Prabuty — Henrykowo nie ma w osadach kambru jakiegokolwiek wyraźniejszej granicy, gdyż obserwowane wartości współczynnika p są stosunkowo bardzo wysokie (0,90—0,93), na podstawie których nie można oczekiwać występowania wyraźnych granic załamujących.

Na południowym obszarze środkowej części syneklizy (Prabuty) warunki sejsmogeologiczne w porównaniu z poprzednim obszarem prawie nie ulegają zmianom. W ordowiku nadal istnieje dobra granica załamująca (położona tutaj bliżej spągowej granicy kompleksu) i równocześnie zjawia się nowa — XV e, bardzo wyraźna ($p=0,67$) granica w stropowej części kambru. Ponadto występuje jeszcze inna granica (XVII d), ale stosunkowo mało wyraźna ($p=0,82$). Jeszcze mniej wyraźna granica ($p=0,90—0,93$) znajduje się w środkowej części kompleksu kambryjskiego, jednak nie może być ona przedmiotem korelacji na większym obszarze.

Ze względu na brak pomiarów PA w najniższej części kambru oraz górnej części prekambru nie ma bezpośredniej informacji co do wielkości współczynnika p . Jednakże przyjmując, że analogiczne do innych rejonów w serii prekambru występują wartości prędkości około 6100 m/s, wartość współczynnika p wyniesie według przewidywań około 0,86. Świadczy to raczej o bardzo małej wyrazistości granicy załamującej, trudnościach jej rejestracji sejsmicznej oraz niepewności korelacji pomiędzy poszczególnymi profilami. Ale z drugiej strony nie trzeba zapominać, że mogą występować sprzyjające czynniki w postaci niezgodności uwarstwienia oraz istnienia na granicy strefy niskich prędkości (strefa zwietrzenia w stropie prekambru), wskutek czego współczynnik może być znacznie korzystniejszy (analogicznie do obszaru nadbużańskiego).

Przejdźmy teraz do charakterystyki własności sprężystych skał w zachodniej części syneklizy perybałtyckiej, do czego posłużą pomiary w trzech odwiertach: Smołdzino, Łeba 8 oraz Żarnowiec IG-1.

Sytuacja geologiczna wymienionych odwiertów jest bardzo podobna. Niemniej jednak zarysowują się różnice w rozwoju litofacjalnym osadów, które powodują lokalne zmiany własności sprężystych. Ogólnie biorąc następuje wzrost własności w przekroju w dół. Równocześnie daje się zauważyć wzrost zróżnicowania w kierunku wschodnim — od Smołdzina do Żarnowca, co przypuszczalnie pozostaje w zależności od kierunku donoszenia materiału osadowego i panujących w okresie sedimentacji warunków głębokościowych. Na podstawie diagramów PA można sądzić, że np. w kambrze stopień niejednorodności osadów w rejonie Żarnowca był większy niż w rejonie Smołdzina, gdzie powstawały osady bardziej jednorodne.

Kwestia granic sejsmicznych w dolnopaleozoicznych kompleksach osadowych zachodniej części syneklizy przedstawia się bardziej skomplikowa-

nie niż we wschodniej. Powodem jest większe zróżnicowanie kompleksów pod względem własności sprężystych oraz występowanie zjawiska, którego nie obserwuje się na ogół we wschodniej części: daleko posunięty wpływ kompaktacji osadów. Na skutek tego na diagramach PA na wschodzie prawie nie obserwuje się np. dla osadów kambru przekraczania wartości 5000 m/s, gdy tymczasem w zachodniej, brzeżnej strefie dochodzą one w dolnej części kompleksu kambryjskiego do 5500—5700 m/s. Ten fakt można tłumaczyć też występowaniem drobnoziarnistego materiału osadowego z wysokim stopniem kompaktacji oraz domieszką substancji węglanowej.

W związku z wymienionym małym zróżnicowaniem osadów pozostaje ilość rejestrowanych granic sejsmicznych i ich jakość. We wschodniej części syneklizy w kompleksie kambryjskim nie rejestrowano żadnej wyraźniejszej granicy spełniającej warunek $p < 0,75$, jednak zjawiają się one w kierunku zachodnim w miarę pogłębiania zbiornika osadowego. I tak w Żarnowcu i Łebie granica XVII a i b mniej wyraźne na wschodzie tutaj mogą nawet posiadać znaczenie korelacyjne.

Na odcinku wybrzeża ilość granic w kambrze wzrasta do 5, przy czym wyrazistość ich pozostaje zmienna, i to w sposób dość prawidłowy. Maleje ona w kierunku zachodnim.

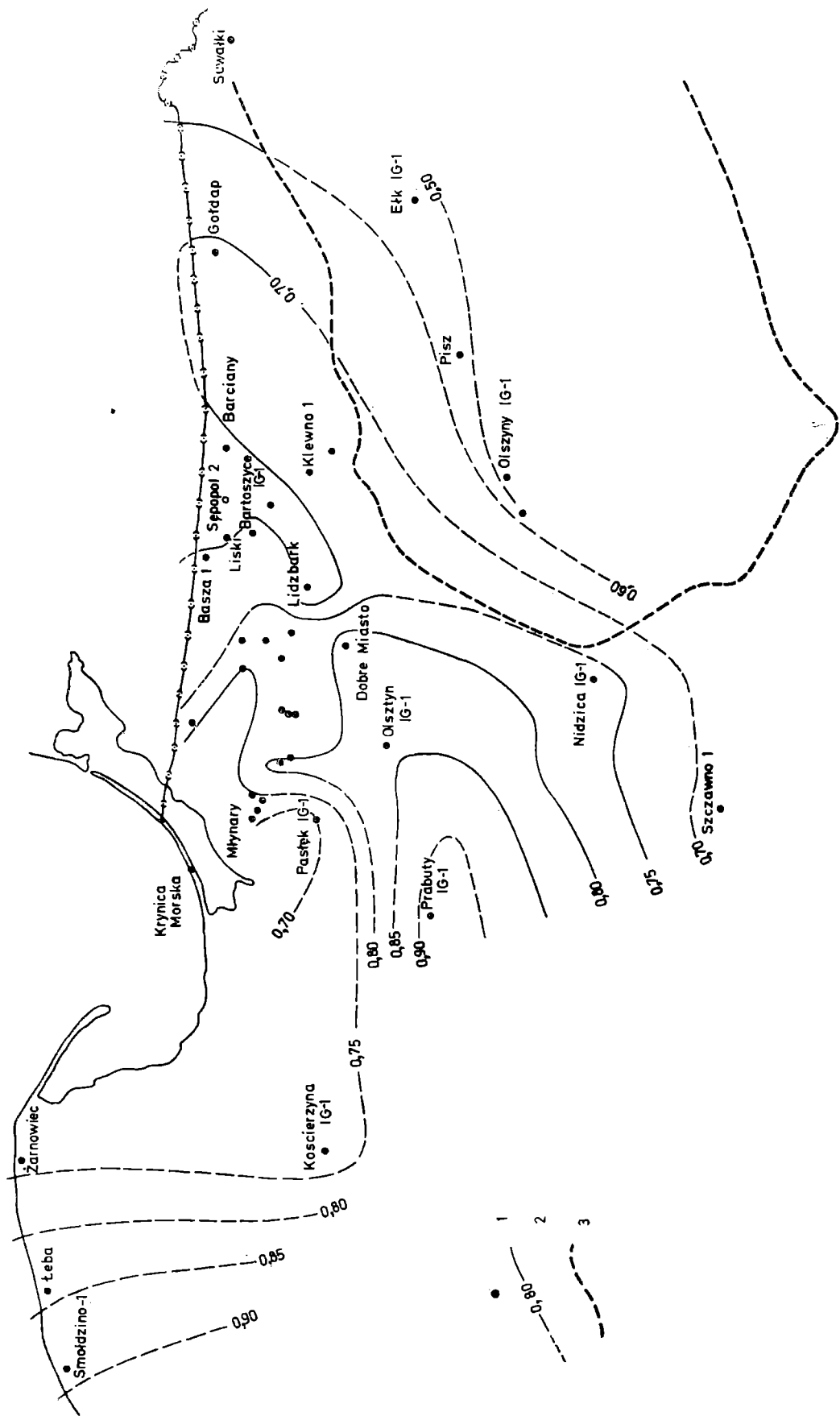
Brak jest danych dotyczących wykształcenia granicy w stropie prekambriu. Uwzględniono tylko jeden pomiar dla odwiertu Żarnowiec. Jednakże na podstawie regionalnych informacji w odniesieniu do własności sprężystych utworów prekambriu, w których prędkość rozchodzenia się fal sejsmicznych mieści się w granicach 6000—6200 m/s, oraz uzyskanych danych pomiarowych dla nadległego kompleksu eokambriu można wyliczyć prawdopodobne wartości dla p : dla odwiertu Łeba 8 — 0,83 i dla odwiertu Smołdzino — 0,89.

Zatem obserwuje się zupełnie wyraźne zjawisko pogarszania się jakości (wyrazistości) granic sejsmicznych w strefie nadmorskiej syneklizy w kierunku zachodnim od rejonu Żarnowca. Przyczyną jest wzrost jednorodności wykształcenia osadów.

ZAGADNIENIE ROZKŁADU PRĘDKOŚCI ŚREDNICH

Opracowanie właściwego rozkładu prędkości średnich stanowi czołowy problem przy interpretacji sejsmicznych materiałów. Wynika to z rozmieszczenia obszaru zdjęć w obrębie platformy rosyjskiej, odznaczającej się na ogół małymi amplitudami elementów strukturalnych i płaskim ułożeniem warstw.

Na podstawie pomiarów prędkości PP w odwiertach stwierdzono występowanie dość skomplikowanych form rozkładu, np. w rejonie Zaręby — Bartoszyce — Kętrzyn, związanych z ukształtowaniem powierzchni utworów prekambriu.



W innej pracy autora (Kisłowski, 1974) przedstawiono rozkład prędkości do powierzchni prekambriu, opracowany na podstawie dotychczas wykonanych diagramów PP w odwiertach.

Łącznie na obszarze syneklizy wykonano około 30 pomiarów PP do podłoża krystalicznego; dla 5 odwiertów, w których pomiary PP nie zostały doprowadzone do podłoża, zastosowano ekstrapolację krzywych i wartości. Odwierty z pomiarami PP do podłoża nie są rozmieszczone równomiernie na obszarze syneklizy i skupiają się w przeważającej większości we wschodniej części obszaru. Dlatego też najbardziej dokładny obraz rozkładu prędkości istnieje tylko dla obszaru Pasłek — Olsztyn — Kętrzyn. W części zachodniej obraz rozkładu jest niepewny i z konieczności posiada hipotetyczny charakter. Przez analogię do rejonu Zaręby — Bartoszyce — Kętrzyn można przypuszczać, że również i w zachodniej części syneklizy już przy stosunkowo nieznacznych zmianach gradientów poziomego i pionowego jest możliwe występowanie lokalnych skomplikowanych rozkładów prędkości.

ZAGADNIENIE JAKOŚCI GRANICY ZAŁAMUJĄCEJ W STROPIE PREKAMBRU

Analizując jakość uzyskiwanych materiałów refrakcyjnych na całym obszarze syneklizy pod względem wyrazistości zapisów, łatwości wydzielania na sejsmogramach pierwszych impulsów fal czołowych oraz stopnia pewności korelacji poszczególnych profilów zauważa się dużą różnorodność materiałów.

Z mapy rozkładu współczynnika p (fig. 3) wynika, że jego wielkość wzrasta równomiernie ze wschodu na zachód oraz z północy ku południowi. Ponadto wartość p rośnie ze wzrostem głębokości.

Wielkości współczynnika p wahają się od 0,43 (Olszyny) do 0,94 (Prabuty). Równocześnie ze wzrostem wartości p pogarsza się wyrazistość i jakość granicy.

To zjawisko jest zrozumiałe, jeżeli weźmie się pod uwagę fakt, że wzrost głębokości występowania utworów prekambriu wpływa na wzrost zwężłości utworów nadkładu, co powoduje wzrost stosunku v_1/v_2 (v_1 — prędkość rozchodzenia się fal sprężystych w warstwach nadkładu; v_2 — prędkość w utworach prekambriu). Oczywiście można liczyć się również

Fig. 3. Rozkład współczynnika załamania p dla stropu prekambriu na obszarze syneklizy bałtyckiej. 1 — odwierty; 2 — izolinie wartości współczynnika załamania p ; 3 — granica zasięgu utworów paleozoicznych

Фиг. 3. Распределение коэффициента преломления p для кровли отложений докембрия в Балтийской синеклизе. 1 — скважины; 2 — линии равных величин коэффициента преломления p ; 3 — граница распространения палеозойских отложений

ze zmianami w wartości v_2 jako zależnymi od składu petrograficznego, lecz one zmieniają się nieznacznie w granicach 200—300 m/s i nie odgrywają, jak się wydaje, dostrzegalnej roli.

MAPA POWIERZCHNI STROPOWEJ
UTWORÓW Z PRĘDKOŚCIĄ GRANICZNĄ $V_{gr} = 6000$ M/S

Na fig. 4 przedstawiono ukształtowanie powierzchni z prędkością graniczną $v_{gr} = 6000$ m/s, opracowane na podstawie profilowych zdjęć refrakcyjnych. Ze względu na charakter rozmieszczenia profilów, przy którym możliwe były przeoczenia lokalnych niewielkich form, mapa stanowi regionalne ujęcie ukształtowania podłoża.

Przy obecnej interpretacji jedną, szczególnie niekorzystną okolicznością było potwierdzone diagramami profilowań akustycznych PA (fig. 3), jednoczesne występowanie kilku wyraźnych granic sejsmicznych o wysokich, zbliżonych do występujących w podłożu krystalicznym. Mogło to powodować błędną korelację poziomów między zachodnią a wschodnią częścią syneklizy.

Konstrukcję mapy wykonano wykorzystując profile zinterpretowane metodą t_0 . Ten sposób okazał się znacznie prostszy i jednocześnie wystarczająco dokładny, uwzględniając regionalny charakter zdjęcia, jakość materiałów oraz metodykę obserwacji.

Na podstawie form ukształtowania powierzchni, zbadany obszar syneklizy można podzielić na dwie części: wschodnią — bardziej płaską, stanowiącą jak gdyby krezę oraz obniżoną — środkową i zachodnią. Część nadmorska, północna stanowi północno-zachodnie skrzydło obniżenia, pogłębiającego się w południowo-zachodnim kierunku o osi przechodzącej w przybliżeniu przez Kościerzynę—Gdańsk.

Izobata „3000 m” może stanowić umowną granicę zachodnią obszaru znajdującego się na bardziej sztywnym cokole platformowym, w którego obrębie występują małe miąższości osadów paleozoicznych i mezozoicznych. Wschodnia część syneklizy w granicach Polski stanowi najpłytszą część zbiornika osadowego. Przejściowo istniejące w dolnym kambrze wyniesienie ziamajtiskie, występujące na północ od suwalskiego, począwszy od środkowego kambru uległo obniżeniu i zalaniu wodami płytkiego morza (K o r k u t i s, 1971).

Środkowy, synklinalny obszar jest rozpoznany przy pomocy prac refrakcyjnych w bardzo małym stopniu — tylko w wąskim pasie nad Zatoką Gdańską.

Wyżej wzmiankowano o niejednorodnym wykształceniu litologiczno-fakcjnym utworów kambru na obszarze syneklizy. W środkowej i zachodniej części powstały osady o wysokiej sprężystości, występujące w kilku poziomach (fig. 3). Dane geologiczne uzyskane w głębokich wierceniach umożliwiają ocenę dokładności sporządzenia mapy oraz poprawność jej

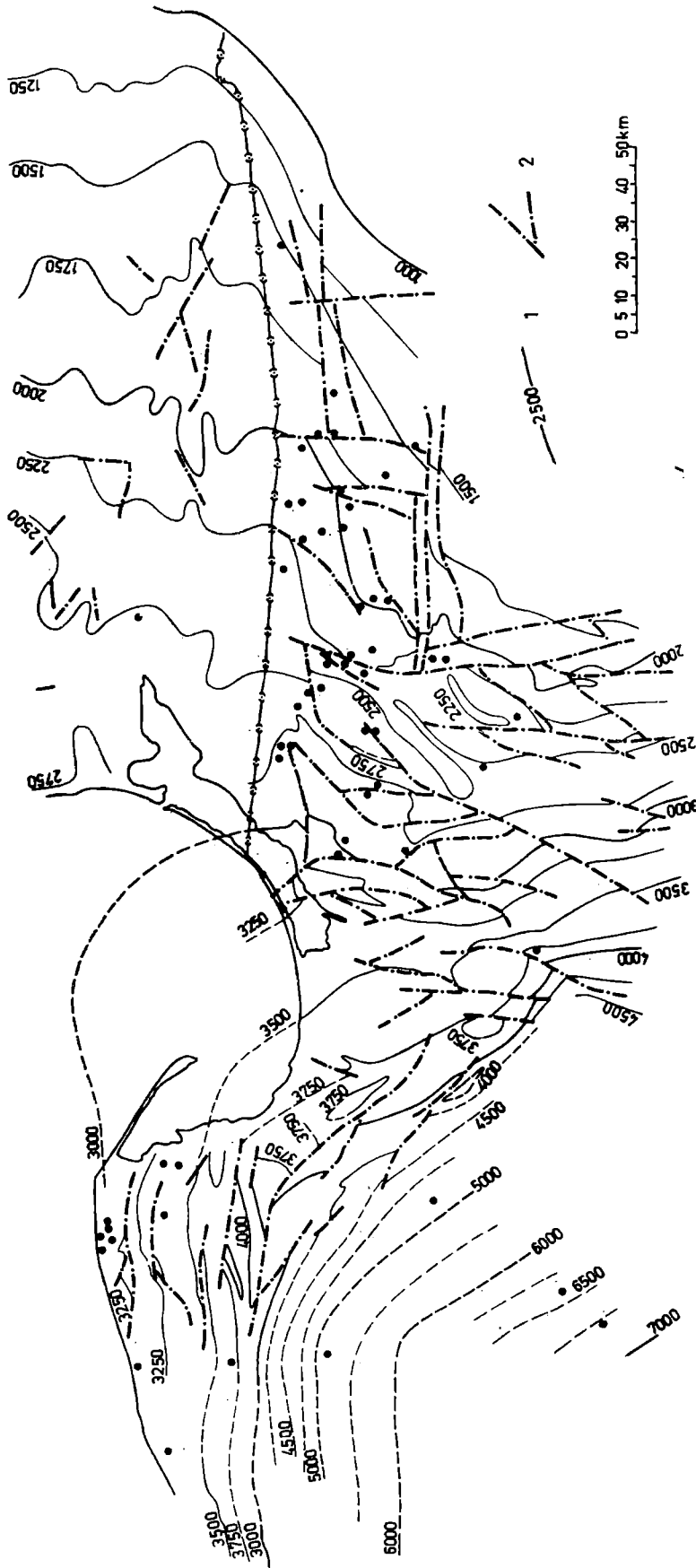


Fig. 4. Mapa ukształtowania podłoża o $V_{gr} \cong 6$ km/s na obszarze syneklizy bałtyckiej. Opracowano na podstawie materiałów refrakcyjnych PPG (1960—1968) oraz PGCN Kraków i Toruń (1966—1971), 1 — izobata powierzchni o $V_{gr} \cong 6$ km/s.; 2 — dyslokacje; 3 — głębokie odwierty

Фиг. 4. Карта поверхности с $V_{gr} \cong 6$ км/с для Балтийской синеклизы. Составлено по материалам метода преломленных волн ИПП (1960—1968) и ГПНГП в Кракове и Торуне (1966—1971). 1 — изобаты поверхности фундамента с $V_{gr} \cong 6$ км/с; 2 — разрывы и нарушения; 3 — глубокие скважины

geologicznej interpretacji. Z przekroju na fig. 5 wynika, że we wschodniej części obszaru następuje na ogół dość dobre pokrywanie się danych sejsmicznych z powierzchnią krystalicznych utworów prekambru. Lokalne większe niezgodności (rejony Henrykowo—Pieszkowo oraz Barciany) należy tłumaczyć w pierwszym rzędzie regionalnym charakterem zdjęcia refrakcyjnego, następnie zjawiskiem przenikania fali sejsmicznej w głąb warstwy podłoża przy długich profilach obserwacji (zjawisko ugięcia promieni) oraz blokową strukturą podłoża. Dobra zgodność mapy refrakcyjnej z faktycznym położeniem stropu utworów prekambru występuje na obszarze położonym na zachód od linii Elbląg—Prabuty.

Obecnie jest jeszcze bardzo mało materiałów, na których podstawie można by było ustalić granicę wspomnianych obszarów. We wschodniej części syneklizy rejestrowano na hodografach obniżone wartości prędkości granicznych (5850—6000 m/s), gdy tymczasem w zachodnich rejonach częściej obserwowano wartości podwyższone (6100—6300 m/s). We wschodniej części obniżenia podlaskiego obserwowano obniżenie wartości prędkości granicznych w utworach prekambru, natomiast wyższe wartości obserwowano w utworach węglanowo-dolomitycznych (Kisłowski, 1974). Zatem występowanie podwyższonych wartości prędkości granicznych w zachodniej części syneklizy można by tłumaczyć obecnością węglanowo-dolomitycznych osadów w środkowym kambrze. Wschodnia granica kompleksu takich osadów odpowiadałaby w przybliżeniu wymienionej, dokładnie jeszcze nie sprecyzowanej linii Elbląg—Prabuty.

Poprzednio nadmieniono, że na podstawie diagramów profilowania akustycznego w kilku odwiertach, znajdujących się w zachodniej części syneklizy zaobserwowano w utworach kambru dużą ilość możliwych granic załamujących (XVII b—XVII e), występujących ponad podstawową granicą w stropie utworów prekambru (XVII). Jednakże zbyt mała ilość głębokich odwiertów, zwłaszcza zaś brak dokładnych pomiarów prędkości średnich w obrębie kompleksów utworów kambru i prekambru uniemożliwia dokładną analizę zapisów w strefie przejściowej na kontakcie kompleksów osadów kambru i prekambru.

Znaczne zróżnicowanie warunków sedymentacyjnych w kambrze spowodowało wykształcenie kilku dobrych granic sejsmicznych. Wysoka jakość zdolności załamujących tych granic ($p = 0,5 - 0,7$) warunkuje powstawanie czytelnych impulsów fal czołowych — refrakcyjnych, występujących kolejno po sobie i częściowo interferujących w dalszych fazach. Obraz falowy staje się skomplikowany, wyróżnienie w nim poszczególnych fal staje się prawie niemożliwe bez posługiwania się innymi kryteriami (dowiązanie do odwiertów, analiza częstotliwości drgań itp.). Korzystając z prostych wyliczeń i przez porównanie z przekrojami odwiertów można stwierdzić, że występowanie fali czołowej — refrakcyjnej w stropie kompleksu prekambryjskiego jest opóźnione o około 0,12 — 0,18 s w stosunku do przyjętych wartości przy wykreślanu mapy.

Ogólnie zatem można powiedzieć, że mapa przedstawiająca ukształtowanie powierzchni kompleksu o sprężystości około 6000 m/s pod względem geologicznym zatracą swój jednolity sens na całym obszarze. Występują bowiem na niej dwie powierzchnie: we wschodniej części została zarejestrowana powierzchnia utworów prekambry, natomiast w zachodniej — pewna powierzchnia śródkambryjska, stanowiąca strop kompleksu węglanowo-dolomitowego.

Przy omawianiu mapy należy poświęcić kilka uwag zagadnieniu tektoniki. Wzdłuż zaznaczonych linii tektonicznych obserwuje się na ogół sto-

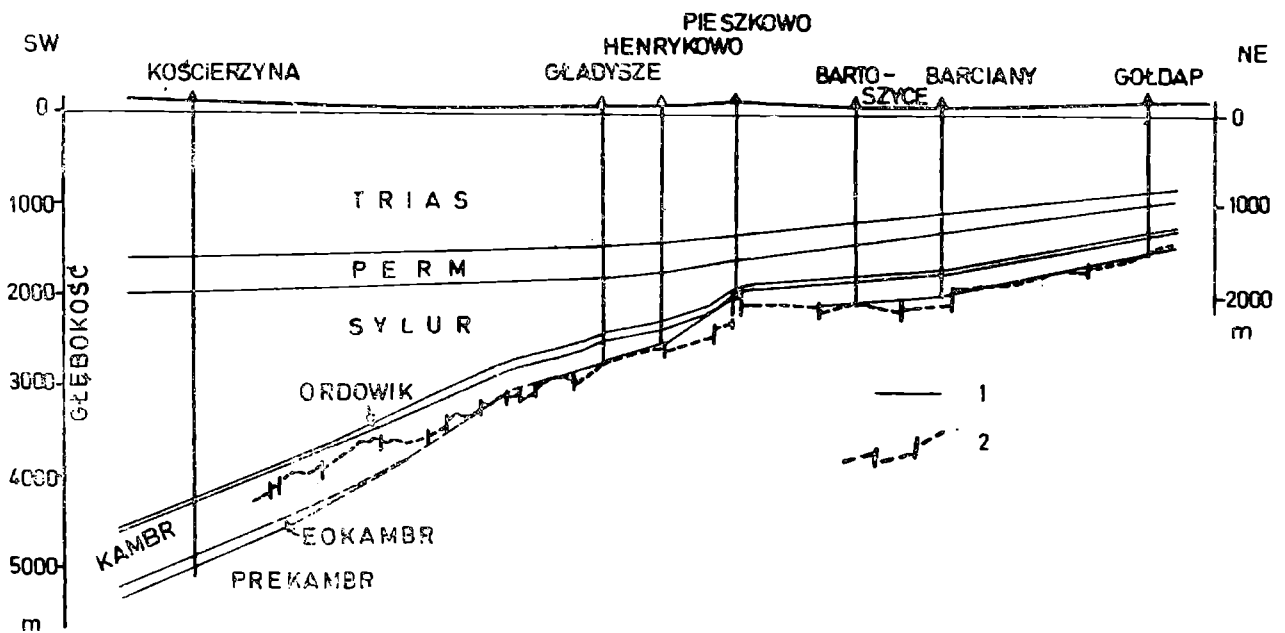


Fig. 5. Przekrój poprzeczny Kościerzyna—Henrykowo—Gołdap. 1 — granice stratygraficzne według wierceń; 2 — granica sejsmiczna refrakcyjna podłoża o $v_{gr} \cong 6$ km/s

Фиг. 5. Геологический разрез Косыцежина — Генрихово — Голдап. 1 — стратиграфические границы по данным бурения; 2 — граница по методу преломленных волн для фундамента с $V_{gr} \cong 6$ км/с

sunkowo nieznaczne amplitudy pionowych przemieszczeń poszczególnych bloków względem siebie. Najczęściej spotykane amplitudy wynoszą 60 m — 120 m, najrzadziej — 150—250 m. Regionalny charakter zdjęcia może nasuwać pewne zastrzeżenia w odniesieniu do poprawności prowadzenia kierunków niektórych linii dyslokacyjnych.

Tektonika omawianej mapy w zachodniej części jest bardzo podobna do przedstawionej przez Bielaiewa i Niewolina (1972). Zwracają tutaj uwagę wydłużone, równoleżnikowe bloki w obrębie „cokołu” platformowego. Na skłonach platformy pojawiają się linie zbliżone do południkowych i jednocześnie do kierunków rozciągłości. Analogiczna zasada przebiegu linii dyslokacyjnych utrzymuje się na północnym skłonie wyniesienia, na wybrzeżu oraz w głębszej, środkowej części syneklizy.

Istnieje jeszcze jedno źródło zniekształcenia obrazu powierzchni. Jest

to przenikanie energii w głąb warstwy załamującej, ugięcie fal w ośrodku załamującym (ros. refragirowannyje wołny). Wielkość przenikania pozostaje w zależności od własności warstwy załamującej i — zwłaszcza — od długości drogi przebiegu fali ugiętej w tej warstwie. Badania współczynnika charakteryzującego wielkość przenikania (ugięcia) na obszarze syneklizy wskazuje na dużą jego zmienność — od 0 do ok. $6,10^{-4}$ s/km². Zjawisko przenikania powoduje przy obliczeniach błąd głębokości, w kierunku jej wzrostu (A w e r b u c h, 1968, 1969; S k o r u p a, 1970). Ten błąd można wszakże ograniczyć stosując krótsze ciągi obserwacyjne wzdłuż warstwy załamującej. W naszym przykładzie stwierdzono częste przypadki kilkukrotnego nawet przekraczania dopuszczalnej długości obserwacji przy założeniu maksymalnego błędu głębokościowego 50 m. W tych warunkach związanie podstawowych profilów (np. o kierunku poprzecznym do rozciągłości warstw) nie zawsze spełnia warunek podniesienia dokładności prac ze względu na urozmaicone wykształcenie serii utworów podłoża (K u z i k, 1970).

WYKORZYSTANIE BADAŃ REFRAKCYJNYCH DO OKREŚLANIA TEKTONIKI PODŁOŻA KRYSTALICZNEGO

Gdy chodzi o wykorzystanie sejsmiki refrakcyjnej do określania tektoniki podłoża, to należy to zagadnienie rozumieć w aspekcie poprawności określania przestrzennych form zalegania podłoża oraz wyznaczania lokalizacji linii dyslokacyjnych i kierunków ich przebiegów.

Z częściowych wywodów powyższych można wnioskować, że efektywność stosowania sejsmiki refrakcyjnej przy kartowaniu podłoża krystalicznego nie jest na obszarze syneklizy jednoznaczna. Ogólnie biorąc, warunki kartowania powierzchni podłoża są znacznie korzystniejsze we wschodniej części syneklizy. Fig. 5 może posłużyć jako miara porównania. Jeżeli zaś chodzi o zachodnią i środkową część, to tutaj stosunki sejsmogeologiczne pogarszają się ze względu na występujące w stropie kompleksy węglanowo-dolomityczne o wysokich własnościach sprężystych. Te kompleksy stanowią pewien ekran dla energii przenikającej w głąb.

Wielkości spodziewanych błędów w wyznaczaniu głębokości podłoża krystalicznego na podstawie mapy w porównaniu z rzeczywistymi kształtują się niejednolicie.

Porównanie dla 28 odwiertów wykazuje:

zgodność w granicach błędu interpolacji mapy (do 15 m) —	6 odwiertów
granica sejsmiczna leży poniżej rzeczywistej	— 16 odwiertów
granica sejsmiczna leży powyżej rzeczywistej	— 6 odwiertów

Dla większości odwiertów stwierdzono głębsze zaleganie powierzchni sejsmicznej, wynoszące przeciętnie 2—3% (60—70 m) i w dwóch przy-

padkach sięgające 7,6% (160 m), a nawet 9,2% (150 m — zaleganie płytsze). Przyczyna tak dużych różnic tkwi przypuszczalnie w występowaniu lokalnych bloków, leżących poza profilami i nie zarejestrowanych pracami oraz w istnieniu zjawisk przenikania na granicy kompleksu załamującego.

Jeżeli chodzi o odwierty stwierdzające głębsze zaleganie podłoża krystalicznego w stosunku do podanego na mapie, to połowa podanej ilości odwiertów znajduje się na obszarze wschodniej części syneklizy. Błędy w głębokości granicy wynoszą tutaj 2,2—3% (57—78 m) i wynikają z lokalnego urozmaiconego urzeźbienia powierzchni podłoża. Te błędy należałoby uważać raczej za przypadkowe.

Natomiast inaczej przedstawiają się błędy dla zachodniej części syneklizy perybałtyckiej (Łeba, Żarnowiec, Kościerzyna). Tutaj błędy są poważne i osiągają 200—230 m (4,6—7%). Ogólnie stwierdza się, że warunki seismogeologiczne prowadzenia prac refrakcyjnych w tej części syneklizy stają się mniej korzystne, lecz nie można jeszcze wnioskować o ogólnej nieefektywności stosowania tej metody dla celów kartowania podłoża. Jest faktem, że powstałe trudności są związane najprawdopodobniej z innym wykształceniem ośrodka przewodzącego, co wymaga dostosowania metodyki rejestracji i interpretacji. Bardzo ważną rolę odgrywa posiadanie głębokich odwiertów parametrycznych i należyte dowiązanie do nich profilów sejsmicznych.

Jednym z poważnych czynników jest brak informacji sejsmicznych i geologiczno-wiertniczych odnośnie do obszaru zasięgu oraz stabilności rejestrowanej na mapie granicy o $v_{gr} = 6000$ m/s.

Wyżej wspomniano o trudnościach wydzielenia i śledzenia granicy stropowej utworów krystalicznych. Bardzo nieznaczna różnica czasowa (0,12—0,18 s) i występowanie z tego względu odpowiednich pierwszych impulsów od podłoża w strefie interferencji z wysokimi poziomami energii załamanej utrudnia wybór właściwych pierwszych impulsów fal załamanych od podłoża. Należy jednak przytoczyć tutaj dwa fakty. Pierwszym jest rejestracja głębszej granicy przy stosowaniu długich rozstawów na wcześniej wykonywanych profilach; drugim — obecność stosunkowo mniej sprężystych utworów eokambru, które stwarzają sprzyjające warunki dla powstawania granicy odbijającej w stropie utworów prekambru (Żarnowiec, fig. 2). Obydwa te fakty wskazują na możliwość istnienia granicy załamującej w stropie prekambru, co należałoby potwierdzić odpowiednimi pracami.

Na fig. 2 podano przypuszczalne współczynniki załamania p dla stropu prekambru, określone na podstawie prawdopodobnej ekstrapolacji własności sprężystych z górnych kompleksów i porównania z wynikami we wschodniej części syneklizy. Dla podłoża wykorzystano dane refrakcji. Te współczynniki — jak widać — kształtują się bardzo niejednolicie; na ogół są bardzo wysokie, a więc niezbyt korzystne. Zasadniczą nadzieję należy

wiązać właśnie z mało sprężystymi utworami eokambru, podobnie jak w odwiercie Żarnowiec.

Instytut Naftowy

31-508 Kraków, ul. Lubicz 25a

WYKAZ LITERATURY

ЛИТЕРАТУРА

- Bałaszow E. T., Karamzin G. A., Poleszak E. (1971), Budowa geologiczna SE części syneklizy perybałtyckiej na podstawie kompleksu badań geofizycznych. *Prz. geol.* 11, pp. 477—482, Warszawa.
- Kisłow A. (1974), Zagadnienie interpretacji sejsmologicznej w kompleksie dolnego paleozoiku syneklizy bałtyckiej. *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 44, 1, pp. 93—102. Kraków.
- Skorupa J. (1970), Morfologia podłoża krystalicznego dla obszarów wyniesienia Łeby w oparciu o prace refrakcyjne. *Archiwum IG.*
- Stolarczyk F., Tyski S. (1972), Geologiczne warunki występowania węglowodorów w osadach kambru we wschodniej części syneklizy perybałtyckiej. *Prz. geol.* 8—9, pp. 371—379, Warszawa.
- Awerbuch A. G. — Авербух А. Г. (1968), Построение преломляющей границы по годографам слабо рефрагированных волн. *Прикл. геофизика*, вып. 53.
- (1969), Оценка точности интерпретации продольных годографов слабо рефрагированных волн. *Прикл. геофизика*, вып. 54.
- Bielażewa E. W., Niewolin N. W. — Беляева Е. В., Неволин Н. В. (1972), Соотношение рельефа фундамента со структурой осадочного чехла в северо-западных районах Русской плиты. *Геология нефти и газа*, nr 12.
- Bierzop I. S. — Берзон И. С. (1962), Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах, Москва.
- Korkutis W. A. — Коркутис В. А. (1971), Кембрийские отложения Балтийского бассейна. *Труды ЛитНИГНИ*, вып. 12.
- Kuzik E. R. — Кузик Э. Р. (1970), Современный рельеф докембрийского кристаллического фундамента Прибалтийской впадины. *Труды ИГ, Вильнюс*, вып. 8.
- Ruchowiec N. M. — Руховец Н. М. (1970), Особенности тектонического строения Польско-Литовской синеклизы и развитых в ней локальных структур по данным геофизических исследований и бурения. *Труды ИГ, Вильнюс*, вып. 8.
- Sarkisow Ju. M., Gołowin I. W. — Саркисов Ю. М., Головин И. В. (1970), Основные черты строения Балтийской синеклизы. *Нефтегаз. геол. и геоф.*, nr 4.

РЕЗЮМЕ

В течение 60-х годов на территории Балтийской синеклизы в Польше проводились интенсивные сейсмические работы, в том числе и методом преломленных волн. Целью этих работ было выяснение поведения поверхности кристаллического фундамента и развития осадочных пород для постановки геолого-поисковых бурений на нефть и газ. Обоснованием для постановки сейсмических работ методом преломленных волн были низкие

коэффициенты преломления (0,5—0,7), обуславливавшие высокую эффективность применения метода. Однако же по мере увеличения глубины залегания кристаллического фундамента нарастали трудности при выделении исследуемых волн на фоне интенсивных помех.

Эти затруднения объясняются геологическими причинами, благодаря появлению в западном направлении полнее развитых нижнепалеозойских отложений (в кембрии). Здесь появляются дополнительные сейсмические хорошо выдержанные границы, благодаря развитию комплексов с высокими упругими свойствами.

Исследование плотностей пород на основании кернов для довольно большого количества скважин, сосредоточенных главным образом в восточной приподнятой части синеклизы, выявило большое разнообразие для отдельных комплексов.

Фиг. 1 представляет распределение плотностей в палеозойских отложениях Балтийской синеклизы. Особенный интерес здесь представляют данные для отложений докембрия. В них встречены плотности пород в пределах от ок. 2,5 Г/см³ до 3,8 Г/см³, которые находятся в тесной зависимости от петрографического состава, как на это указывают данные. В восточной части Балтийской синеклизы в большинстве тяжелые минералы и это отражается на высокой эффективности применения метода преломленных волн.

Фиг. 2 представляет корреляционную схему для балтийской синеклизы, составленную на основе данных акустического каротажа и метода преломленных волн. При корреляции выделены сейсмические границы, установленные методом вертикальных сейсмических зондирований.

На основании акустического каротажа можно было выделить значительно большее количество границ, но при этом нужно обратить внимание на то, что некоторые границы нельзя выделить методом преломленных волн благодаря высокому коэффициенту преломления p (выше 0,8). В пониженной части синеклизы (Прабуты, Жарновец) в кровле кембрия имеется хороший преломляющий горизонт (XVIIe), но он не прослеживается в восточной части площади синеклизы.

Протяженными являются границы в отложениях силура и ордовика. Но здесь нужно обратить внимание на довольно неустойчивое положение границы в ордовике.

Кровля отложений докембрия очень хорошо отбивается в восточной части (Генрихово, Семпополь) и северной (Жарновец) благодаря низким коэффициентам p (0,67—0,76). Данных по западной части (Лэба и Смолдзино) не имеется, но предположительно здесь нужно считаться с менее отчетливо выраженными контрастами упругих свойств ($p = 0,83?—0,89?$).

Площадное распределение коэффициента преломления для кровли отложений докембрия представлено на фиг. 3. Как указывалось, хорошие условия для применения метода преломленных волн имеются в восточной части Балтийской синеклизы. В западном направлении условия ухудшаются (увеличение величин коэффициента p).

Таким образом, на территории синеклизы встречены неодинаковые условия контрастов на контакте докембрий-кембрий. Появление промежуточных отложений эокембрия в песчанистой фации может улучшить условия контрастов в кровле докембрия.

Весьма важным вопросом является изучение распределения средних скоростей. Ввиду сосредоточия глубоких скважин в восточной части синеклизы, здесь же лучше изучено площадное и вертикальное распределение средних скоростей до поверхности докембрия. Более полные данные по этому вопросу представлены в отдельной работе автора (6). Обращает внимание обстоятельство, что здесь удалось установить наличие значительной аномалии возле Кентшина, что объясняется присутствием поднятия фундамента. Поэтому, по аналогии, можно предполагать, что в синеклизе возможны и другие аномалии этого типа, незначительные по величине, но достаточные для установления поднятий заслуживающих внимания.

В результате работ методом преломленных волн можно было построить карту поверхности с граничной скоростью ок. 6000 м/с (фиг. 4). Сечения изобат поверхности даны через 250 м, а в юго-западной части даже через 500 м. Используются данные Э. Р. Кузика (8) для увязки с материалами по Калининградской области СССР.

Карта построена по данным профилейной съемки. Бросается в глаза более значительное понижение фундамента в польской части синеклизы, которое увеличивается в юго-западном направлении. Обращает внимание направление нарушений в фундаменте, особенно в восточной части синеклизы. Интересно, что имеющееся в северной части синеклизы (на территории СССР) широтные нарушения (4), по своему типу развития совершенно схожи с наблюдаемыми в Польше. Кроме них установлены другие типы нарушений: С — Ю и ССВ — ЮЮЗ, которые в западной части синеклизы сменяются на преобладающие В — З.

Форма синеклизы отчетливо синклиналиная, открывающаяся к ЮЗ, с осью ССВ — ЮЮЗ, проходящей через Гданский залив. Максимальные глубины достигают 5—6 км.

Амплитуды нарушений в общем невелики: до 200—250 м, главным образом до 70—120 м. Благодаря этому они довольно трудно выделяются на годографах преломленных волн. В качестве критерия для установления нарушения в фундаменте часто приходится пользоваться явлениями резкого разрыва в пробеге линии t_0 .

В Балтийской синеклизе сейсмические работы методом преломленных волн велись в течение почти десяти лет. Затруднения в обработке материалов увеличивались по мере продвижения работ в западном направлении, в зону более глубокого понижения фундамента. При сводной обработке материалов и их сопоставлении с данными бурений установлена довольно высокая степень сходимости. В среднем точность заключается в пределах до 2—3% (60—70 м), хотя имеются и более значительные, но редкие, исключения (7,6—9,2%, ок. 150 м). Это по всей вероятности связано с мелкими

тектоническими явлениями, которые могли быть пропущены при проведении региональных профилей, а также явлениями проникания в преломляющую среду.

Однако замечено (фиг. 5), что в западной части синеклизы наблюдается систематическое уменьшение глубин, порядка до 230 м. Это явилось следствием, по всей вероятности, маскировки более поздних сейсмических импульсов ранними, благодаря небольшой разницы глубин (0,12—0,18 сек). Быть может таким маскирующим горизонтом является XVII в. (фиг. 2), для которого получены весьма благоприятные коэффициенты p (0,74—0,76).

Общая оценка пригодности работ методом преломленных волн положительная: профилями вкрест простирания можно получить вполне удовлетворительную картину залегания кристаллического фундамента и проследить тектонические линии нарушений. Профили должны быть привязаны к параметрическим глубоким скважинам, которых необходимо пробурить по меньшей мере в количестве 4—6.

Institut Naftowy
31-508 *Kraków*
ul. Lubicz 25a