

INTERPRETACJA MATERIAŁÓW SEJSMICZNYCH UZYSKANYCH METODĄ REFLEKSYJNA NA STROMYCH STRUKTURACH TYPU SOMPOLNA-GOPIA

ZAGADNIENIE POPRAWNEJ INTERPRETACJI sejsmicznej granic odbijających przy dużych kątach upadów interesuje obecnie zarówno geofizyków, jak i geologów prowadzących badania na stromych strukturach niżu*.

Dotychczasowe doświadczenia wykazały bowiem, że powszechnie wprowadzony u nas w geofizyce Przemysłu Naftowego w ubiegłym roku sposób Czaszczyzna nie powinien być stosowany przy upadach przekraczających 30°, ponieważ powoduje on duże przesunięcia w położeniu granic odbijających i zwiększy upady. Stwierdzono, że przy dużych nachyleniach granic odbijających, płytsze refleksy uzyskane sposobem Czaszczyzna w wielu przypadkach nie dają się w ogóle wykreślać, natomiast przy głębszych powstają tak duże trójkąty błędów, że stawiają pod znakiem zapytania sens całej interpretacji.

Nie wdając się w szczegółową analizę sposobu Czaszczyzna (podaje ją Puzyriew, 2) zwrócić należy jednak uwagę, że w sposobie tym, podobnie jak i w

metodzie $\frac{\bar{V}t_0}{2}$ czasowi t_0 refleksu przyporządkowuje

się średnią prędkość odpowiadającą głębokości minimum izochrony t_0 . Wraz ze wzrostem upadu rośnie więc błąd w określeniu średniej prędkości, a więc i w lokalizacji granicy odbijającej.

W przypadku gdy na danym obszarze badań wzrost prędkości z głębokością jest w przybliżeniu liniowy, zwiększenie dokładności interpretacji dużych upadów można najprościej uzyskać, uwzględniając krzywoliniową drogę promienia sejsmicznego przy założeniu równania $V = V_0 + aZ$ (4).

Pamiętać jednak trzeba, że krzywa teoretyczna \bar{V} nawet najdokładniej przypasowana do empirycznej w synklinalnym obszarze struktury przestaje być aktualna dla partii wydwigniętych. Zagadnienie obecności zmiennego gradientu poziomego prędkości wpływa oczywiście ujemnie na dokładność interpretacji zarówno sposobami łuków, jak też i przy założeniu liniowego wzrostu $V(z)$. W obu metodach dodatkowe komplikacje wprowadza również zjawisko krzywizny powierzchni odbijających, związane zazwyczaj ze stromymi strukturami, wskutek czego gradienty hodografów są inne niż uzyskiwane przy założeniu płaskości granic sejsmicznych. Ponieważ z różnicą skrajnych czasów refleksów związana jest wielkość upadu, dochodzi tu jeszcze jedno źródło nieraz poważnych błędów.

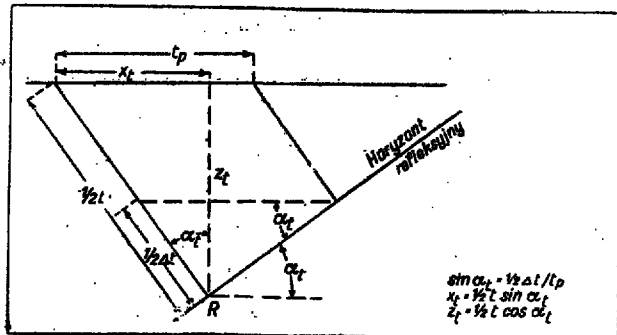
Ze zjawiskiem oddziaływania wzmienionych niekorzystnych czynników można się niestety spotkać analizując materiały z badań sejsmicznych na stromych strukturach Sompolna-Gopła czy Mogilna. Na przekrojach spostrzega się tam często niekonsekwentnie względem siebie ułożone, a nieraz nawet krzyżujące się refleksy. Zaobserwować można również rozrywanie i zatracanie się poziomów śledzonych w sposób ciągły na hodografach, zbijanie się refleksów w grupy oraz zwiększanie się miąższości warstw w szczytowych partiach skrzydeł antyklin itp.

Niewątpliwie pewna część tych niezrozumiałych z punktu widzenia geologicznej budowy ośrodka zjawisk może być spowodowana niewłaściwie przeprowadzoną korelacją refleksów na mało wyraźnych seismogramach uzyskiwanych w warunkach silnie nachylnego układu warstw.

* W artykule tym korzystano z materiałów opracowywanych przez Dział Studiów Przedsiębiorstwa Geofizyki Przemysłu Naftowego.

Prawdopodobnie jednak główna przyczyna leży tu w metodycie interpretacji — w nieaktualności dla konkretnych geologicznych stosunków teoretycznych założeń przyjmowanych przy interpretacji.

W tym świetle, zastosowana przez autorów do interpretacji jednego z profilów sejsmicznych z tematu Sompolno-Gopło, metoda Rice'a (3, 4), aczkolwiek czysto matematyczna, wyróżnia się dużą i korzystną elastycznością założeń.



Ryc. 1

Sporządzanie przekrojów sejsmicznych metodą Rice'a sprowadza się do dwóch etapów. W pierwszym konstruuje się przekrój w skali czasowej, a później dopiero stosując dowolną krzywą prędkości średnich przelicza się dane z przekroju czasowego na głębokości. Metoda ta polega na założeniu, iż drogi promieni na przekroju czasowym są liniami prostymi i są normalne do horyzontu refleksyjnego. Założenie to, dla większości ośrodków praktycznie słuszne, umożliwia konstruowanie przekroju czasowego jako obwiedni łuków zatoczonych z poszczególnych punktów strzałowych w jednostkach czasu.

Aby wyprowadzić wzory, na których opiera się ta metoda, przypuśćmy, że mamy dane dwa czasy z dwu punktów strzałowych odpowiadające jakiemś jednemu horyzontowi refleksyjnemu. Oznaczmy większy z tych czasów przez t , a różnicę między nimi przez Δt . Aby wnieść te czasy w przekrój czasowy, należy punkty strzałowe na profilu usytuować również w skali czasowej.

Oznaczmy poziomy odstęp czasowy przez t_p — wówczas w myśl naszego założenia, że przebiegi czasowe na przekroju czasowym są prostoliniowe i normalne do granicy refleksyjnej (ryc. 1) mamy:

$$\sin \alpha_t = \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{t_p} \dots \quad (1)$$

$$x_t = \frac{1}{2} t \cdot \sin \alpha_t \dots \quad (2)$$

$$z_t = \frac{1}{2} t \cdot \cos \alpha_t \dots \quad (3)$$

gdzie α_t jest kątem nachylenia horyzontu refleksyjnego na przekroju czasowym, a x_t i z_t — są współrzędnymi punktu odbicia R w jednostkach czasu.

Z kolei, aby przeliczyć te czasy w jednostkach odległości, należy je pomnożyć przez odpowiednie prędkości. Mnożymy x_t przez prędkość rozchodzenia się fali sejsmicznej w nadkładzie (V_0), a z_t przez pionową średnią prędkość odpowiadającą czasowi z_t [$\bar{V}(z_t)$].

W ten sposób otrzymujemy współrzędne punktu odbicia R — tym razem już w jednostkach odległości. Mamy zatem:

$$x = \frac{1}{2} t \sin \alpha_t \dots \quad (4)$$

$$z = \frac{1}{2} \bar{V}(z_t) t \cos \alpha_t \dots \quad (5)$$

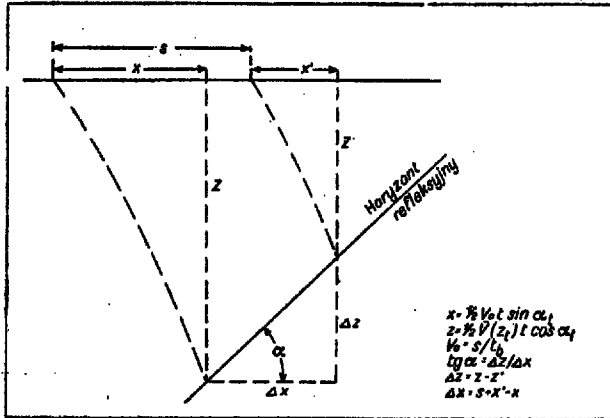
Przy czym prawdziwą wartość kąta upadu, odpowiadającą α_t , znajdujemy ze znanych przesunięć poziomych i głębokości punktów odbicia odpowiadających dwóm punktom strzałowym odległym od siebie o S metrów. Jeżeli te przesunięcia i głębokości oznaczymy odpowiednio przez x, x' oraz z, z' — wówczas widzimy (ryc. 2), że kąt α dany jest wzorem:

$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta z / \Delta x \dots \quad (6)$$

gdzie

$$\Delta z = z - z' \dots \quad (7)$$

$$\Delta x = S + x' - x \dots \quad (8)$$

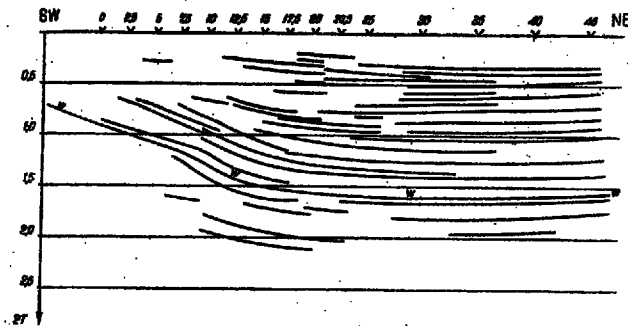


Ryc. 2.

Czas poziomy t_p w równaniu 1 otrzymujemy z zależności:

$$t_p = \frac{S}{V_0}$$

gdzie V_0 jest prędkością rozchodzenia się fali sejsmicznej w nakładzie. Prędkość tę przyjęto się określać z hodografów pierwszych impulsów jako średnią przy strzelaniu z dwu kierunków.



Ryc. 4

Należy sobie zdawać sprawę, iż dobranie prędkości V_0 ma wpływ na interpretację przekroju sejsmicznego. Jedynie przy poziomym ułożeniu horyzontów odbijających wynik interpretacji nie zależy od wielkości V_0 , natomiast przy granicach nachylonych przyjęcie za małej V_0 powoduje zmniejszenie upadu granicy, przyjęcie za dużej prędkości V_0 — jego zwiększenie.

Sporządzanie przekroju czasowego rozpoczyna się od usytuowania punktów strzałowych na profilu w skali czasowej, licząc czas poziomy t_p zależnie od odległości S między otworami oraz od poziomej prędkości V_0 . Zaleca się przyjęcie skali pionowej dwa razy mniejszej niż poziomej w celu uniknięcia dzielenia czasu t_0 przez 2. Następnie po uwzględnieniu wszystkich poprawek zatacza się łuki z kolejnych punktów strzałowych promieniami równymi odpowiednim czasem t_0 dla horyzontów wiążących się w punktach wzajemnych. Obwiednia tych łuków stanowi szukany horyzont refleksyjny. W ten sposób nanosi się kolejny horyzont za horyzontem. W cytowanych publikacjach Rice nie wspomina o interpretacji pojedynczych refleksów, gdyż refleksy takie można wykreślać na przekrojach czasowych wykorzystując w tym celu zależność:

$$\sin \alpha_t = V_0 \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

gdzie ΔT stanowi różnicę czasów odczytaną dla symetrycznego rozstawu Δx względem punktu strzałowego. Znając kąt α_t nanosi się refleks jako odcinek prostopadły do promienia t_0 i nachylony o kąt α_t w stosunku do płaszczyzny poziomej. Maksymalna długość refleksu (w skali czasowej) zależy od położenia i kształtu granicy odbijającej i nie powinna prze-

$$\text{kraczać } \frac{1}{2} \frac{\Delta x}{V_0}.$$

Można też nanosić pojedyncze refleksy na przekroje czasowe sposobem łuków lub elips. Konstrukcję łuków przeprowadza się analogicznie jak w metodzie średnich prędkości, z tym że łuki zatacza się promieniami odpowiadającymi czasem T_x a nie iloczynom $\sqrt{T_x}$. Pamiętaj przy tym należy o konieczności zachowania w danym przypadku równości czasowych skal: poziomej i pionowej.

Powyższe uwagi dotyczą także sposobu elips. Ten ostatni może znaleźć dodatkowe zastosowanie dla horyzontów ciągłych przy dokładniejszym wykreślaniu przekroju w przypadku dużych odległości między punktami strzałowymi, zwłaszcza przy niepłaskich granicach odbijających.

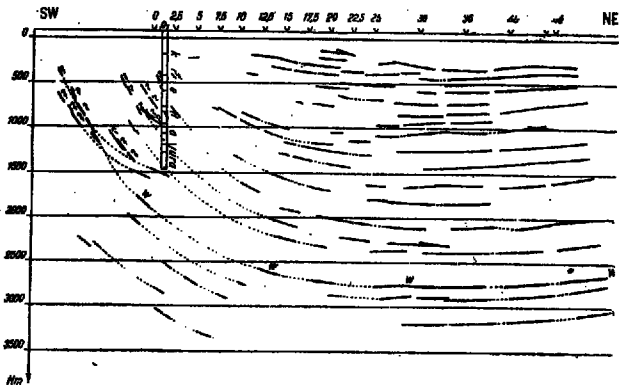
Profil głębokościowy otrzymuje się łatwo z przekroju czasowego, mnożąc odpowiednie czasy z_t pod punktami strzałowymi przez średnie prędkości pionowe $\bar{V}(z_t)$. Otrzymane głębokości nanosi się na profil głębokościowy pod punktami strzałowymi, usytuowanymi już teraz w odległościach (w metrach) i łączy się w odpowiednie poziomy. Przy pojedynczych refleksach do przedstawienia ich w skali głębokościowej wykorzystuje się skrajne czasy według przekroju czasowego. Przeliczanie na dane głębokości praktycznie wykonuje się za pomocą nomogramu, który w tym przypadku stanowi hodograf pionowy w układzie T, H.

Opisaną metodą sporządzono przekrój głębokościowy na jednym profilu z tematu Sompolno-Gopło (1956 r.), opierając się na hodografach wykreślonych w grupie sejsmicznej PGPN. Profil ten został zinterpretowany metodą Czaszczyzna przy zastosowaniu krzywej średnich prędkości otrzymanej częściowo z sejsmokatotażu na otworze Pagórki IG 1, częściowo zaś z obliczeń prędkości efektywnych. Wynik interpretacji przedstawiony jest na ryc. 3. Przy nanoszeniu refleksów metodą Czaszczyzna trójkąty błędów dla refleksów od PS 0 — 17,5 miały niejednokrotnie rozpiętość kilkunastu centymetrów, tak że zarówno kąty upadów, jak i ułożenie wspomnianych refleksów musiało budzić poważne wątpliwości.

Interpretację metodą Rice'a rozpoczęto od sporządzenia przekroju czasowego (ryc. 4). Prędkości poziome między otworami strzałowymi przyjęto z hodografów pierwszych impulsów. Otrzymany profil czasowy przeliczono następnie na głębokościowy (ryc. 5), stosując tę samą krzywą średnich prędkości, którą również stosowano w 1956 r. do sposobu Czaszczyzna.

Przebieg oporowego horyzontu W na niezaburzonej części profilu jest zgodny przy wykreślaniu go obu

metodami, jednak w części wyniesienia antyklinalnego poziom ten zinterpretowany metodą Rice'a przebiega w okolicy głębokiego otworu Pagórki o ok. 600 m wyżej niż wykreślony poprzednio przy użyciu diagramów Czaszczyzna. Biegnie on teraz mniej więcej w pobliżu stropu górnej jury, stanowiącego zwykle pierwszorzędny horyzont oporowy ze względu na występującą tam grubą serię zbitych wapieni. Przebieg taki znajduje być może dodatkowe umotywowanie w związku z powiązaniem badań sejsmicznych obszaru Sompolna-Gopła z rejonem Turka, gdzie podstawowy horyzont oporowy odpowiada wg głębokiego wiercenia stropowi górnej jury.



Ryc. 3

Porównując oba przekroje głębokościowe (ryc. 3 i 5), przede wszystkim zauważa się pewną prawidłowość w budowie stromego skrzydła struktury w ujęciu interpretacyjnym metodą Rice'a w odróżnieniu od chaosu, jaki powstał po wykreśleniu (ciągłych na hodografach) poziomów sposobem Czaszczyzna. Na ryc. 5 nie widać bowiem zupełnie niezrozumiale krzyżujących się granic refleksyjnych, natomiast obserwuje się konsekwentny wzrost upadków z głębokością (upady zgaszają się z danymi wiercenia Pagórki) i redukcję miąższości warstw, przechodząc z partii synklijalnej ku szczytowi antykliny.

Na marginesie warto tu zaznaczyć, iż usiłowano

również zinterpretować poziom W metodą Vt .

Próba ta nie dała jednak żadnego rezultatu, gdyż prawie wszystkie łuki zataczane z PS od 0 do 17,5 przecinały się mniej więcej w jednym miejscu. Ilustruje to ryc. 6.

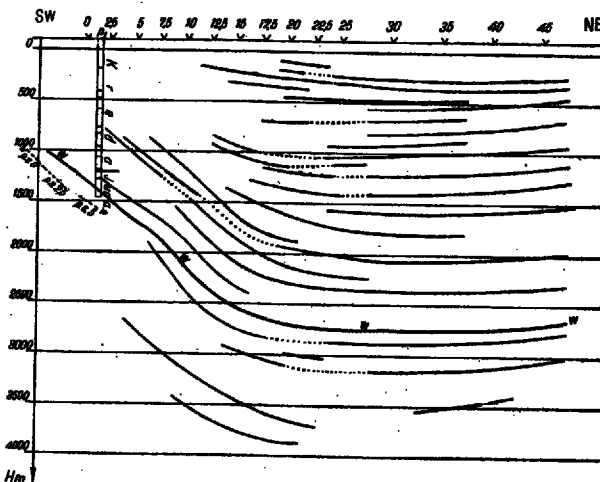
Porównanie opisanego wyżej sposobu czasowych przekrojów z metodami uwzględniającymi krzywoliniowy przebieg promieni sejsmicznych — w myśl zadanej funkcji $V(z)$ bez uwzględnienia poziomego gradientu prędkości, znaleźć można w publikacji Rice'a (3). Z niej zaczerpnięto ryc. 7, przedstawiającą wynik interpretacji niesymetrycznej struktury antyklinalnej przy założeniu krzywoliniowej drogi promienie sejsmicznych przeprowadzonej omawianym sposobem. Amplituda struktury jest w obu przypadkach ta sama, natomiast ułożenie jej skrzydeł jest nieco inne. Obraz struktury uzyskany metodą Rice'a jest bardziej spłaszczony, przy czym im bardziej strome nachylenie tym różnica się zwiększa.*

W przypadku interpretowanego profilu z tematu Sompolno-Gopło wykreślono metodą zakładającą liniowy wzrost prędkości z głębokością tylko parę refleksów z poziomu W. Szerszego porównania dla tego horyzontu nie można było przeprowadzić ze względu na trudność dopasowania krzywej teoretycznej V do empirycznej dla czasów 2t większych od 1,1 sek. Refleksy te na ryc. 5 zaznaczono liniami przerywanymi, przy czym dla orientacji przy każdym wypłasa-

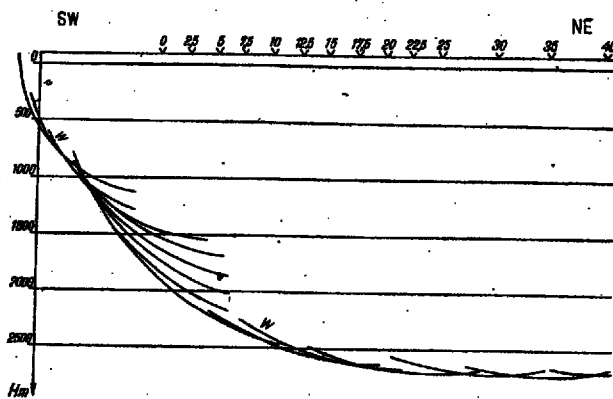
* Jeżeli znane są zmiany $v(x)$ (uwzględnienie ich nie stanowi w sposobie Rice'a żadnej technicznej trudności), to kształt stromego wyniesienia będzie oddany wierniej niż przy zastosowaniu jednej zależności prędkość — głębokość.

ny jest numer otworu strzałowego, z którego został on wykreślony. Jak widać z ryciny, ułożenie ich wskazuje na pewną niezgodność w głębokościach. Ogólnie jednak biorąc potwierdza przebieg horyzontu W wyznaczonego sposobem Rice'a. Oczywiście nie można w danym przypadku mieć pewności, że refleksy interpretowane przy założeniu liniowego wzrostu $V(z)$ są najbardziej zbliżone do rzeczywistego położenia granicy odbijającej.

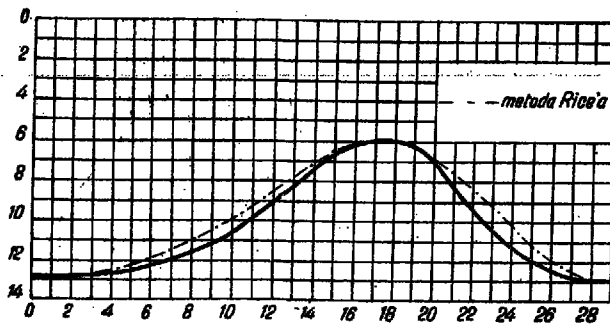
Przeprowadzone porównania sposobu przekroju czasowych Rice'a z innymi metodami wskazują, że niebezpieczeństwo wynikające z ewentualnego spłaszczenia struktury jest stosunkowo małe w porównaniu



Ryc. 5



Ryc. 6



Ryc. 7

z zaletami, jakie przedstawia omawiany sposób. Na przekroju sejsmicznym zinterpretowanym najpierw w skali czasowej, po prawidłowym wprowadzeniu wszystkich poprawek mogą być uwzględniane drobne elementy tektoniczne budowy (przełączenia, uskoki itp.) i to tym dokładniej, im bliższe jest położenie sąsiednich punktów strzałowych. Te wszystkie szczegóły geologicznej budowy nie ztracają się przy kreśleniu

przekrojów głębokościowych, w przeciwieństwie do innych znanych nam sposobów zakładających prostoliniową drogę promieniowania sejsmicznego, a nawet w pewnym stopniu i do metod uwzględniających jego krzywiznę.

Ważną zaletą tej metody jest możliwość wykorzystania raz zrobionego przekroju czasowego do wielokrotnej interpretacji przy każdorazowym przyjmowaniu średnich prędkości. Pozwala to zarówno stosować rozwinięte wykresy prędkościowe, jak też dowolnie ponownie interpretować przekroje czasowe za pomocą nowych krzywych V . Elastyczne podejście do zagadnienia prędkości (korzystniej operować zmianami V niż V_0) oddać może szczególnie duże usługi przy wiązaniu ciągłymi poziomami głębokich otworów wiertniczych, położonych na profilach sejsmicznych. Posiadanie profili czasowych i konstruowanych wg

nich map izochron stanowi także poważne ułatwienie przy łączeniu i zestawianiu opracowań sejsmicznych z sąsiednich obszarów.

L I T E R A T U R A

1. Kowalczyk J., Śliwiński Z. — Metodyka interpretacji refleksów przy założeniu liniowego wzrostu prędkości z głębokością. „Biuletyn PGPN” nr 7.
2. Puzyriew N. N. — O putiach utocznienija metodow intierpretacii danych siejsmorazwiedki. „Prikladnaja Geofizika” 1955, wyp. 12.
3. Rice R. B. — A discussion of steep-dip seismic computing method. Part II. „Geophysics” 1950, nr 1.
4. Rice R. B. — New seismic computing method fast and efficient. „World Oil” 1953, nr 2.