

PRĘDKOŚCI SEJSMICZNE W ŚWIETLE ANALIZY CZASÓW PIONOWYCH W ODWIERTACH SYNKLINORIUM ŁÓDZKO-SZCZECIŃSKIEGO

Intensywne badania sejsmiczne, jakie od kilku lat prowadzi przemysł naftowy na obszarze synklinorium łódzko-szczecińskiego, ogromnie posunęły naprzód wiedzę o budowie geologicznej tego obszaru. Pracami sejsmicznymi wykryto tam dziesiątki wypiętrzonych struktur o różnorodnych wymiarach i kształtach.

Poprawna interpretacja materiałów sejsmicznych wymaga, jak wiadomo, dobrej znajomości prędkości rozchodzenia się fal w nadkładzie horyzontów odbijających czy też refrakcyjnych. Informacje o prędkościach uzyskuje się przede wszystkim z profilowania sejsmicznego głębokich otworów wiertniczych. Niestety, trzeba na wstępie podkreślić, że z punktu widzenia interpretacji sejsmicznej rozeznanie prędkości na obszarze synklinorium łódzko-szczecińskiego jest skrajnie niedostateczne. Dane z pomiarów w odwiertach zlokalizowanych w szczytowych partiach struktur nie tylko nie dostarczają informacji o rozkładzie prędkości w strefach synklijalnych, ale nadto nie wystarczają do interpretacji sejsmiki na samych strukturach. Ilość bowiem pomiarów karotaży sejsmicznego, ich rozmieszczenie i zasięg głębokościowy nie pozwalają na kreślenie rozwiniętych wykresów czy też map prędkościowych nawet dla najbardziej rozwierconych struktur. Prędkości średnie efektywne obliczane dla partii synklijalnych z krótkich hodografów refleksyjnych również nie stanowią dostatecznie pewnego materiału do interpretacji głębokościowej.

Ustalenie prawidłowości między prędkością a głębokością w poszczególnych okresach geologicznych mogłoby ewentualnie stworzyć możliwość operowania prędkościami bliższymi ich prawdziwego rozkładu. Niestety, prowadzone przez autora badania prędkości warstwowych i interwałowych w synklinorium łódzko-szczecińskim (3) dostarczyły wprawdzie sporo danych do rozważań teoretycznych, jednak z praktycznego punktu widzenia niewiele przyczyniły się do usunięcia trudności interpretacyjnych.

Przedstawione poniżej wyniki analizy czasów pionowych stanowią próbę rozwiązania zagadnienia prędkości sejsmicznych na drodze wskazanej przez S. M. Wyróbka w jego pracy o wyznaczeniu prędkości w angielskim triasie, permie i karbonie (4).

Analiza opiera się na zestawionych na wykresach całkowitych czasach pionowych $T_f(z)$, mierzonych

od powierzchni ziemi lub innego poziomu odniesienia do spągu określonych pięter geologicznych. W pracy tej wykorzystano konwencjonalne pomiary średnich prędkości wykonane w latach 1955—1960 przez służbę geologiczną przemysłu naftowego (E. Pawłowicz i J. Rudowicz) w dwudziestu trzech odwiertach na obszarze synklinorium łódzko-szczecińskiego i siedmiu na jego obrzeżeniu.

Wiercenia, w których prowadzony był karotaż sejsmiczny, zlokalizowane są, jak już wspomniano, prawie wyłącznie na strukturach antyklinalnych, przy czym większość otworów jest skupiona w dwóch niedużych rejonach Mogilna i Szamotuł. Zasięg głębokościowy pomiarów nie przekraczał 3000 m.

Do zestawienia uwzględniono hodografy pionowe odstrzelane z punktów usytuowanych najbliższej głębokości odwiertów, z reguły w azymucie linii upadu, w odległości ok. 50 m. Pozwala to zaniedbywać wpływ krzywizny promienia sejsmicznego i w pewnym sensie uzasadnia podejście do materiałów wyjściowych. Istnieją bowiem pewne rozbieżności między prędkościami otrzymywanymi z różnych punktów strzałow. Gradient poziomy, krzywoliniowość promieni sejsmicznych, poprawki, wpływ fal zakłócających, to przyczyny tego zjawiska praktycznie niemożliwe do ustalenia.

Analizę prowadzono, biorąc pod uwagę podział na okresy geologiczne, a w ich obrębie częściowo i na epoki (2). Ma to na celu ograniczenie wpływu wieku geologicznego i czynnika litologii, a tym samym uwydatnienie zależności prędkości od głębokości.

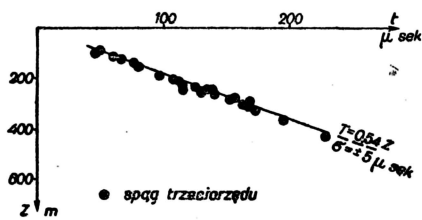
Wartości czasów pionowych, jak punkty w układzie czas—głębokość, zostały aproksymowane funkcjami przez dobór odpowiednich wzorów empirycznych. W tym celu zastosowano metodę przeciętnych (1), której dokładność jest w danym przypadku zupełnie zadowalająca.

Ryc. 1 przedstawia wykres czasów pionowych od powierzchni ziemi (praktycznie od średniego poziomu strzelania) do spągu trzeciorzędu. Punkty układają się w linię prostą przechodzącą przez początek układu o równaniu $T = 0,54 Z$. Błąd średni wynosi $\pm 5 \mu\text{sek}$, tj. dla czasu podwójnego ok. pół fazy refleksu. Współczynnik nachylenia prostej wyrażany jest w jednostkach prędkości i równa się 1800 m/sek.

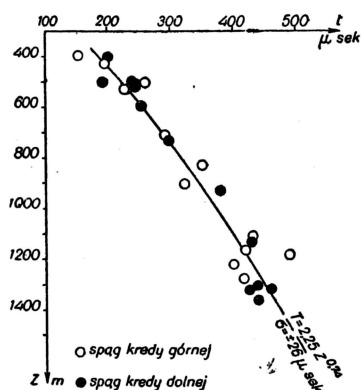
Na ryc. 2 naniesione są czasy od powierzchni ziemi

do spągu kredy górnej i dolnej. Spostrzeżenia układające się we wspólnym pasie rozrzutu, zostały aproksymowane funkcją $T = 2,25 Z^{0,74}$, ($\sigma = \pm 26 \mu\text{sek}$). Podobnie sporządzony wykres dla jury zamieszczony jest na ryc. 3. Równanie funkcji wynosi $T = 1,80 Z^{0,77}$, ($\sigma = \pm 31 \mu\text{sek}$).

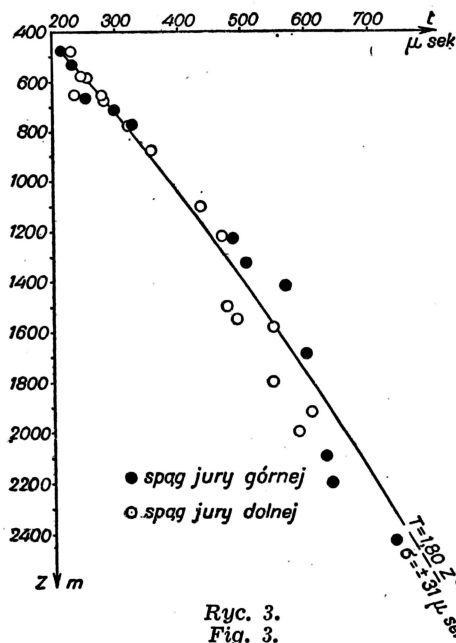
nych do spągu tej formacji. Nasunęło to myśl skonstruowania wykresów czasów pionowych, w których poziomem odniesienia byłby spąg trzeciorzędu. Zestawienia takie sporządzone dla kredy, jury i triasu przedstawione są na ryc. 5, 6 i 7. Szczególnie interesujący jest wykres dla kredy, uzyskano



Ryc. 1
Fig. 1



Ryc. 2.
Fig. 2.

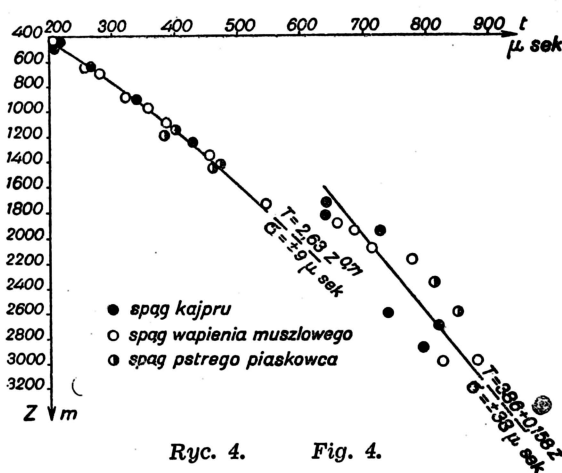


Ryc. 3.
Fig. 3.

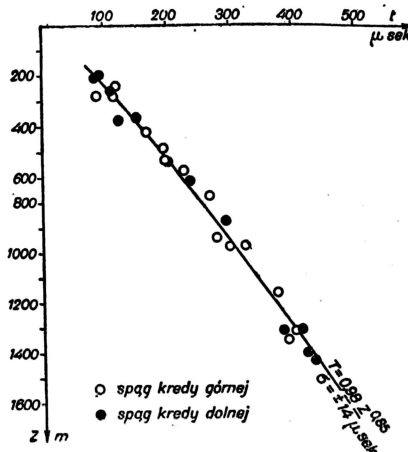
Wykresy czasów pionowych od powierzchni ziemi do poszczególnych pięter triasowych przedstawia ryc. 4. Rozmieszczenie punktów jest bardzo charakterystyczne. Układają się one w dwa pasy, a kryterium tego podziału nie wiąże się z wiekiem geologicznym czy też litologią, ale z lokalizacją profilowanych sejsmicznie wierceń. Do pierwszej grupy należą pomiary z obrzeżenia synklinorium. Punkty leżą wzdłuż krzywej o równaniu $T = 2,63 Z^{0,71}$. Błąd średni wynosi tylko $9 \mu\text{sek}$, a więc dla czasu podwójnego ok. 1 fazy refleksu.

W drugiej grupie znajdują się wartości, które pomierzono na obszarze synklinorium łódzko-szczecińskiego. Rozrzut jest znacznie większy. Równanie prostej aproksymującej wynosi $T = 386 + 158 Z$. Błąd średni równa się $\pm 38 \mu\text{sek}$.

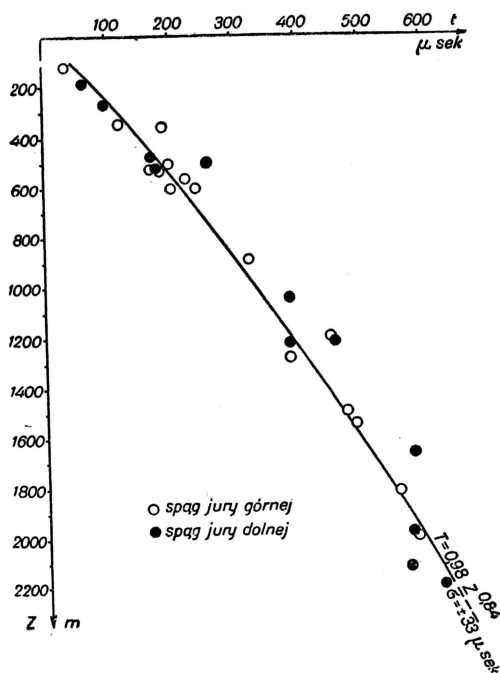
Wyniki analizy trzeciorzędu stwarzają możliwość stosunkowo dokładnego redukcjonowania danych sejsmicz-



Ryc. 4. Fig. 4.

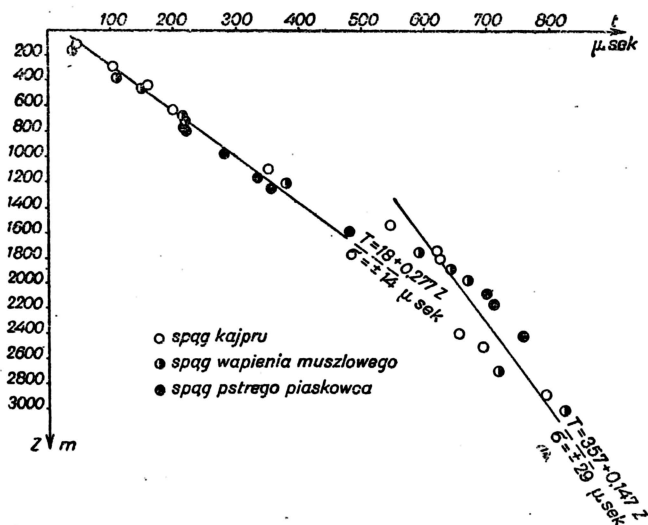


Ryc. 5. Fig. 5.



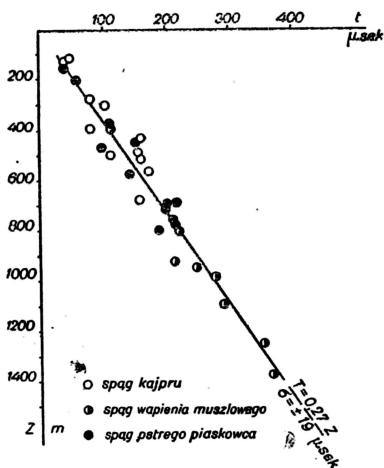
Ryc. 6. Fig. 6.

bowiem nowe równanie aproksymującej funkcji $T = 0,98 Z^{0,85}$, przy czym znacznie zmniejszył się rozrzut punktów ($\sigma \pm 14 \mu\text{sek}$), tj. dla czasu podwójnego ok. 1,5 fazy refleksu. Dla jury rozrzut pozostał podobny, natomiast zmieniło się równanie, które wynosi teraz $T = 0,98 Z^{0,84}$, ($\sigma = \pm 33 \mu\text{sek}$). Nowy obraz uzyskany dla triasu różni się niewiele od poprzedniego (por. ryc. 4 i 7), z tym, że punkty rozmieszczone są teraz wzdłuż dwóch prostych.



Ryc. 7. Fig. 7.

Przeprowadzono także próbę zestawienia wykresów czasów pionowych zredukowanych do spągu kredy, nie dała ona jednak pozytywnych rezultatów. Natomiast ciekawy jest wykres, na którym naniesione są czasy pionowe od stropu triasu do spągu pięter triasowych (ryc. 8). Zamiast dwóch obserwuje się tu jeden pas rozrzutu, wskazujący na liniową zależność czas—głębokość, która da się wyrazić wzorem $T = 0,27 Z$. Błąd średni $\pm 19 \mu\text{sek}$ nie przekracza dla czasu podwójnego dwóch faz refleksu, a prędkość jako współczynnik kątowy równa się ok. 3750 m.



Ryc. 8.

Fig. 8.

Wyniki analizy czasów pionowych w synklinorium łódzko-szczecińskim umożliwiają bardziej elastyczne operowanie prędkościami przy interpretacji sejsmicznej, pozwalając na dostosowywanie rozkładu prędkości do przekroju geologicznego.

Zależność otrzymana dla trzeciorzędu i czwartorzędu daje podstawy do redukcji danych sejsmicznych do spągu trzeciorzędu lub też do uwzględnienia zmian miąższości utworów kenozoicznych przy konstrukcji krzywych prędkości średnich. Przy zdjęciach szczegółowych może to korzystnie wpłynąć na dokładność interpretacji głębokościowej. Z funkcji obliczonych dla kredy i jury przede wszystkim równanie dla kredy bez trzeciorzędu może znaleźć prak-

tyczne zastosowanie do zestawiania krzywych średnich prędkości na skrzydłach struktur i w partiach synkлинаlnych. Wskazują na to obok niewielkiego rozrzutu spostrzeżeń realne prędkości odczytywane wg stycznych do wykresów funkcji. Tak np. dla kredy (ryc. 5) na głębokości 1300 m poniżej jej stropu, z której pochodzą ostatnie pomiary czasów pionowych prędkość wynosi ok. 3400 m/sek, a na możliwej jeszcze dla spągu kredy w synklinorium głębokości 3000 m ok. 4000 m/sek.

Dane, jakie w ten sposób uzyskano dla triasu, zasługują również na uwagę. Zależność $T = 2,63 Z^{0,71}$ można bowiem bezpośrednio wykorzystać do interpretacji głębokościowej granic sejsmicznych tam, gdzie utwory kajpru na obrzeżeniu synklinorium zbliżają się do powierzchni ziemi. Natomiast funkcja obliczona dla triasu z zestawienia czasów pionowych mierzonych od stropu triasu (ryc. 8) może być użyteczna dla konstrukcji lub ekstrapolacji krzywych prędkości średnich w strefach o dużej miąższości utworów mezozoicznych.

Koniecznym uzupełnieniem i kontrolą przeprowadzonych rozważań byłyby pomiary prędkości w głębokim odwiercie założonym w strefie, gdzie utwory młodszego mezozoiku osiągają duże miąższości. Należałoby również odrzelać specjalne hodografy fal odbitych o długich gałęziach w celu umożliwienia obliczeń prędkości średnich efektywnych dla większych głębokości.

LITERATURA

1. Bronsztajn I. N., Siemiendłajew K. A. — Poradnik encyklopedyczny matematyka. Warszawa 1959.
2. Cieśliński S. — Tablice stratygraficzne. Warszawa 1959.
3. Śliwiński Z. — Związki między prędkością a głębokością w kredzie synklinorium łódzko-szczecińskiego. „Nafta” 1961.
4. Wyrobek S. M. — Well Velocity Determinations in the English Trias, Permian and Carboniferous. „Geophysical Prospecting” 1959, nr 2.

SUMMARY

The article deals with an analysis of the vertical times obtained from measurements of the mean velocities in 30 bore-holes made in the area of the Łódź—Szczecin synclinorium and on its marginal zone. The vertical times from the Earth surface to the base of the formations of Tertiary, Cretaceous, Jurassic and Triassic have been compiled on diagrams in the time-depth system. After compilation, the influences of Tertiary, Cretaceous and Jurassic deposits have been reduced by turns. The values have been approximated by functions through selection of suitable empirical formulae of $T = T_0 + kZ$ and $T = kZ^n$ type.

As a result of the analysis performed, the practically useful dependences have been obtained which allow to more elastic adaptation of the velocity distribution for the geological cross-sections.

РЕЗЮМЕ

В работе проведен анализ вертикальных времен полученных при сейсмическом каротаже 30 скважин, расположенных в Лодзинско-Щецинском синклинарии и в его краевой части. Вертикальные времена от дневной поверхности до подошвы отложений третичных, меловых, юрских и триасовых были составлены на графиках в системе время-глубина. Затем влияние третичных, меловых и юрских отложений поочередно редуцировалось. Значения аппроксимировались функциями путем подбора соответствующих эмпирических формул типа

$$T = T_0 + kZ \text{ И } T = kZ^n.$$

В результате проведенного анализа были получены пригодные для практического использования зависимости, которые делают возможным более правильный подбор скоростей для данных геологических условий.