

PROBLEMY METODYKI BADAŃ SEJSMICZNYCH NA MORZU

UKD 650.894(26.03+261.03-13):553.981/982

W związku z zainteresowaniami geologów i zarysowującymi się perspektywami odkrycia złóż ropy i gazu w rejonach przybrzeżnych wypłynęło zagadnienie metodyki poszukiwań tych złóż na morzu. Wiadomo, że na obszarach lądowych w poszukiwaniach złóż ropy i gazu wykorzystywana jest w dużej mierze metoda sejsmiczna. Rozpoczęto więc stosowanie tej metody również na morzu, głównie pod kątem uzyskiwania danych dla poszukiwań bituminiów.

W badaniach sejsmicznych na morzu występuje szereg problemów odmiennych niż w sejsmice lądowej, wynikających ze specyfiki tego rodzaju prac. Ze względu na rozwój sejsmiki morskiej i duże nią zainteresowanie w ostatnich latach wydaje się celowe ogólne scharakteryzowanie tego typu prac, ze szczególnym zwróceniem uwagi na różnice w stosunku do prac na lądzie. Z badań sejsmicznych na morzu najbardziej rozpowszechniona jest metoda refleksyjna i o niej dlatego będzie przede wszystkim mowa.

Ułatwieniem dla prowadzenia prac sejsmicznych na morzu jest łatwość sytuowania profili wzdłuż prostych. Nie istnieje również problem poprawek związanych z morfologią oraz strefą małych prędkości. Z jednej strony nie ma przeszkód terenowych dla dowolnej sytuacji profili sejsmicznych, z drugiej zaś wypływa zagadnienie dokładnego określenia ich lokalizacji.

Problem lokalizacji w pracach geofizycznych na morzu należy uznać za osobne zagadnienie. Okazuje się bowiem, iż dokładność lokacji używanej dla potrzeb żeglugi jest niewystarczająca w pracach geofizycznych. Z tego też powodu w pracach sejsmicznych na morzu wykorzystywane są specjalne systemy lokacji. Istnieją np. metody paraboliczne, których zasada polega na tym, że na lądzie są usytuowane stacje wysyłające ściśle zsynchronizowane sygnały radiowe. W miejscu jednakowo oddalonym od stacji nadawczych sygnały przychodzą w tym samym czasie, natomiast do miejsc położonych w różnych odległościach od dwu stacji sygnały przyjdą w różnych czasach. Punkty stałych różnic czasu leżą na hiperboli, której ogniskami są stacje nadawcze.

Hiperbole obliczone dla każdej stacji nanoszone są na odpowiednie mapy i tworzą plansze pozwalające na ustalenie położenia statku na podstawie odczytów różnic czasów. W zagadnieniach lokacji istotną sprawą, na którą należy zwrócić uwagę przy projektowaniu prac sejsmicznych, jest zasięg odległościowy danej metody od brzegu oraz możliwość ciągłego prowadzenia pomiarów wzdłuż profili zlokalizowanych równoległe do brzegu. Możliwość ta uzależniona jest na ogół od zasięgu metody lub od odpowiedniej ilości stacji pracujących na brzegu. Dokładność stosowanej metody lokacji w dużej mierze ma wpływ na postęp prac sejsmicznych na morzu.

Podstawowy sprzęt używany w sejsmice morskiej jest różny. Wykorzystywana jest zarówno aparatura stosowana w pracach na lądzie, jak i specjalnie budowana wyłącznie dla celów sejsmiki morskiej. W zasadzie nie istnieje konieczność wprowadzania do prac morskich aparatów tranzystorowych, gdyż tak waga, jak i potrzebna moc energii elektrycznej nie jest w tym przypadku istotna, jak w pracach na lądzie. W aparaturach stosuje się zapis oscylograficzny na papierze światłoczułym lub magnetyczny. Należy zaznaczyć, iż dla niektórych obszarów, gdzie istnieje trudność z uzyskiwaniem wyników, zapis magnetyczny pozwala na wprowadzenie zmiennej filtracji bez konieczności powtórzenia pomiarów. Identyczne powtórzenie rozstawów w warunkach

morskich jest bardzo utrudnione. Zagadnienie wpływu filtracji na uzyskane wyniki przedstawione zostanie w dalszej części artykułu.

Poza aparaturą podstawowym sprzętem są geofony morskie, czyli hydrofony, które muszą być tak skonstruowane, żeby reagowały na zmianę ciśnienia wody. Do najczęściej stosowanych należą hydrofony piezoelektryczne. Wiemy o tym, że jeżeli wytworzymy ciśnienie działające na kryształ kwarcu, to między ściankami otrzymamy różnicę potencjału. Różnice te jednak są bardzo małe i uzyskanie efektów rejestrowalnych praktycznie biorąc jest niemożliwe. Dlatego też w praktyce wykorzystuje się piezoelektryki z tytanianu baru, posiadające stałą piezoelektryczną o 10 do 20 razy większą. Przy tego typu materiałach efekty zmiany potencjału są już na tyle duże, iż po zastosowaniu odpowiednich wzmacniaczy w aparaturze mogą być rejestrowane. Warto jeszcze zaznaczyć, że w tego typu odbiornikach zachowana jest proporcjonalność zmian wywieranego ciśnienia i uzyskiwanych zmian potencjału, co jest istotne dla prac sejsmicznych.

Poza hydrofonami piezoelektrycznymi stosowane są również hydrofony magnetyczne; o zmiennej oporności magnetycznej i bezwładne. Wszystkie te typy posiadają jednak tę własność, że rejestracje uzyskiwane za ich pośrednictwem są proporcjonalne do częstotliwości. Zachodzi więc konieczność zastosowania odpowiednich filtrów.

Zasada hydrofonu magnetycznego polega na tym, że zmiany ciśnienia wody wywołują zmiany indukcji magnetycznej wewnątrz cylindra, co z kolei daje zmianę siły elektromagnetycznej na zaciskach cewki toroidalnej. W przypadku hydrofonu o zmiennej oporności magnetycznej zmiany ciśnienia powodują zmiany odległości między końcami magnesu i metalową płytką, wytwarzając w ten sposób zmianę pola magnetycznego, a w konsekwencji siłę elektromotoryczną.

W hydrofonach bezwładnych zmiany ciśnienia wykorzystane są dla przesunięć cewki. W tym przypadku jednak zawsze dwa hydrofony montowane są w jednej obudowie, a to w celu uniknięcia stałych przesunięć podczas ruchu hydrofonu.

Należy podkreślić, iż na ogół w pracach morskich nie stosuje się pojedynczych hydrofonów, lecz są to grupy od kilku do kilkunastu odbiorników połączonych razem. Do grupy hydrofonów podłączany jest również transformator, który ma za zadanie wyrównanie oporu wejściowego grupy.

Istotnym zagadnieniem jest sam sposób umieszczenia hydrofonów w wodzie. Najpraktyczniejsze jest montowanie hydrofonów łącznie z kablem elektrycznym i kablem trakcyjnym we wspólnej osłonie plastikowej. Cały rozstaw składa się z kilku wymienionych elementów. Celowe jest także także dobranie średnicy węża plastikowego, żeby całość posiadała gęstość zbliżoną do gęstości wody morskiej. W tym systemie hydrofony są zatopione, a więc mają bezpośredni kontakt z wodą. Zaletą takiego rozwiązania jest również stosunkowo duża odporność na uszkodzenia.

Do innych typów montowania rozstawu należy np. sposób polegający na zawieszaniu poszczególnych hydrofonów bezpośrednio na kablu. W tym przypadku całość może pływać na powierzchni wody lub być zanurzona w wodzie, a utrzymywana jest jedynie przez podwieszenie kabla za pomocą pływaków. Wadą systemu pływającego po powierzchni jest wpływ szumu wzbudzonych fal, który przenosi się za pośrednictwem zawieszek na hydrofony. System zanur-

rzony jest stosunkowo prosty w konstrukcji, jednak utrudnieniem stanowią występujące wygięcia kabla pomiędzy kolejnymi zamocowaniami pływaków.

W praktyce należy starać się o zachowanie najspokojniejszych warunków do pomiarów. Uzyskujemy to przez odpowiednie zanurzenie odbiorników, gdyż szumy ulegają wówczas zmniejszeniu z głębokością. Jednak praktycznie biorąc pomiary sejsmiczne przeprowadza się przy spokojnym morzu, tj. w warunkach kiedy siła wiatru nie przekracza 4 — 5° w skali Beauforta.

Osobnego omówienia wymaga zagadnienie wzbudzenia energii. Sposób konwencjonalny polega na odpalaniu ładunków materiałów wybuchowych, przeważnie trotylu, umieszczonych na głębokości kilku metrów pod powierzchnią wody. W tym przypadku może być zastosowana różna technika samego umieszczenia ładunków i ich odpalania. Spotykana jest metoda, gdzie dla przygotowywania ładunków i ich zapuszczania do wody przeznaczony jest oddzielny statek lub barka, pływające w odpowiedniej odległości za statkiem pomiarowym. Praktyczniejszy wydaje się jednak sposób, gdy materiał wybuchowy ześlizguje się po specjalnym kablu, umocowanym do statku pomiarowego. W tym przypadku odpalanie ładunku odbywa się automatycznie w środku rozstawu hydrofonów. Kابل jest izolowany i posiada jedynie pewne odcinki pozbawione izolacji, gdzie ześlizgujący się ładunek powoduje kolejne dopływy prądu dla uruchomienia aparatury i włączenia zapalnika umieszczonego w ładunku. Metoda automatycznego odpalania jest wygodna w zastosowaniu, zwłaszcza w przypadku, gdy pomiary wykonywane są podczas ruchu statku.

Poza metodami konwencjonalnymi prowadzone są również próby zastosowania innych metod wzbudzenia energii. Do takich należą np. „wybuchy gazowe”. W tym celu wykorzystywana jest mieszanina propanu i tlenu. Butle z tymi gazami znajdują się na statku pomiarowym, zaś mieszanie gazów odbywa się w specjalnych pojemnikach pływających na wodzie. Zapalanie gazu następuje za pomocą elektrody, zaś moment zapalania regulowany jest przez aparaturę wykorzystującą zapis magnetyczny. Ze względu na to, że ilość energii otrzymywanej przy „wybuchach gazowych” jest stosunkowo niewielka, istnieje więc konieczność stosowania grupowania ładunków. Metoda ta jest bardzo ekonomiczna, jednak głębokość zanurzenia ładunków jest niewielka i w efekcie energia emitowana przez jeden ładunek gazowy odpowiada energii kilkunastu gramów dynamitu. Jednocześnie odpalanie trzech — czterech ładunków gazowych nie zawsze pozwala uzyskać odpowiednio silną energię wzbudzenia. Metoda ta może mieć zatem zastosowanie dla tych obszarów, gdzie dla uzyskania dobrych wyników wystarczające jest stosowanie małych ładunków wybuchowych.

Metodyka prac polowych. Statek pomiarowy z aparaturą sejsmiczną płyduje wzdłuż zaprojektowanych profili sejsmicznych ciągnąc za sobą kabel z hydrofonami. Odległość pierwszego hydrofonu od statku wynosi kilkadziesiąt lub kilkaset metrów. Długość całego rozstawu wynosi kilkaset metrów (np. 900 m), a więc podobnie jak w pracach refleksyjnych na lądzie. W środku rozstawu między grupami hydrofonów stosuje się przerwę o wielkości kilkadziesiątu metrów (np. 60 m). Najczęściej spotykane i najkorzystniejsze jest umieszczenie hydrofonów na głębokości 6 — 10 m pod powierzchnią wody, przez co umiarkowanie wpływa zaburzającego fal.

Ładunki odpalane są w środku rozstawu w oddaleniu o kilkanaście do kilkadziesiąt metrów od linii profilu. Najkorzystniejsza głębokość odpalania wynosi 1,5 — 2 m pod powierzchnią wody. Wzbudzenie energii na większych głębokościach jest niekorzystne z powodu powstawania fal wtórnych i związanym z tym zjawiskiem rewerberacji. Naturalnie, nawet odpowiednio dobranie głębokości wzbudzenia energii nie wyeliminuje całkowicie występowania wspomnianych zakłóceń, może mieć jednak wpływ na ich ograniczenie. Wielkość stosowanych ła-

dunków wynosi w większości przypadków kilkanaście kilogramów.

W sejsmicznych pracach refleksyjnych na morzu mamy więc do czynienia z metodą ciągłego profilowania z zastosowaniem rozstawów środkowych. Sama technika wykonywania pomiarów może być w zasadzie dwojaka. Odpalanie ładunków i pomiar odbywają się w ciągłym ruchu statku lub dla oddania strzału i dokonania pomiaru statek zostaje zatrzymany.

Pierwszy rodzaj pracy daje większą wydajność i w tym przypadku bardzo korzystne jest stosowanie automatycznego odpalania ładunków. Należy jednak zwrócić uwagę na to, iż mamy do czynienia z dryfem statku wskutek ruchu i wiatru. Podczas pracy z zatrzymaniem statku dla dokonania pomiaru występuje zjawisko polegające na tym, iż rozstaw nie układa się w linii prostej. Na ogół pomiar wykonuje się w czasie około 30 sek. do chwili zatrzymania się statku, zaś w 5—10 sek. po wybuchu statek rusza w drogę na następny punkt strzałowy.

W czasie prac na morzu stosowana może być również metodyka wielokrotnych pokryć, czy też strzały przedkościowe metodą Dixona, podobnie jak to ma miejsce w pracach na lądzie.

Na statku zainstalowana jest zawsze echosonda, za pomocą której wykonywany jest w sposób ciągły pomiar głębokości dna morza.

Wydajność prac sejsmicznych refleksyjnych na morzu wynosi 20—30 km profili dziennie. Przerób miesięczny wynosi jednak około 300—400 km, gdyż ze względu na stan morza należy przyjąć w ciągu miesiąca 10—12 dni pracy. Prowadzenie prac sejsmicznych przy sile wiatru powyżej 5° w skali Beauforta nie jest na ogół możliwe.

Na przerób ma istotny wpływ sam charakter profili, a mianowicie to, czy profile będą długie, czy też mamy siatkę profili o długościach kilku kilometrów. Przy prowadzeniu prac na profilach regionalnych i odpowiednim zabezpieczeniu lokacji postęp prac będzie większy niż przy badaniach o charakterze szczegółowym. W pracach szczegółowych zlokalizowanych na małej powierzchni istnieje konieczność częstych zmiany kierunku przez statek, co zmniejsza znacznie ilość wykonywanych prac. Ze względu na lokację korzystniejsze jest również wykonywanie poszczególnych profili w całości, w czasie jednego płynięcia statku. Nawet gdy mamy dwa profile na tym samym kierunku z przerwą między nimi, z powodów ekonomicznych prowadzi się prace na obu profilach przy jednym płynięciu statku. Fakty te należy brać pod uwagę przy planowaniu prac sejsmicznych na morzu.

Interpretacja badań sejsmiki morskiej. Sama metoda konstrukcji przekroji czasowych i głębokościowych na ogół nie odbiega od stosowanej na lądzie. W przypadku, gdy aparatura sejsmiczna posiada zapis magnetyczny istnieje możliwość wykonania w centrali odtwarzającej odpowiednich sekcji profili sejsmicznych.

Dla szybkiego otrzymania sekcji w Texas Instruments zastosowano aparaturę 24-kanałową, pozwalającą na wprowadzanie poprawek statycznych i dynamicznych. Otrzymane w ten sposób filmy zestawiane były w grupy po 12 obok siebie i fotografowane. Sposób ten daje może mniejszą dokładność, jednak jest bardzo szybki i tani. Innym systemem otrzymywania sekcji jest powtórne przegrywanie taśm w centrali.

Przy otrzymywaniu filmów sejsmicznych jedynie na drodze optycznej wykonuje się tylko przekroje czasowe i głębokościowe. W pracach sejsmicznych na morzu występuje zjawisko powodowane wielokrotnym odbijaniem się od powierzchni wody, zwane zjawiskiem rewerberacji. Energia oscyluje między powierzchnią wody i dnem, a otrzymana fala bywa tak silna, jak fala prosta.

Występowanie rewerberacji zaburza otrzymywane sejsmografy i wprowadza znaczne utrudnienia w wydzieleniu fal użytecznych. Eliminacja wspomnianych zakłóceń jest możliwa przy stosowaniu odpowiedniej

filtracji. Kwestia ta w badaniach sejsmicznych na morzu jest bardzo istotna, wobec czego rozpatrzmy zagadnienie filtracji nieco szczegółowiej.

Eliminację fal rezonansowych możemy uzyskać przez zastosowanie odpowiednich filtrów opóźniających. Taki kanał przefiltrowany $f(t)$ możemy wyrazić wzorem

$$f(t) = g(t) + r.g(t - \tau)$$

gdzie $g(t)$ — kanał bez filtracji, a $rg(t - \tau)$ — ten sam kanał przesunięty w czasie, przy czym r jest odpowiednim współczynnikiem, dla którego przyjmuje się, iż wartość maksymalna jest równa 1.

Z praktyki wynioskowano, iż korzystniej jest stosować odpowiednią filtrację przed wprowadzeniem poprawek dynamicznych. Istotną sprawą jest tu określenie możliwie dokładnie parametrów wprowadzanej filtracji. Czas opóźnienia ustalony jest z dokładnością do $\pm 0,5$ milisek przez porównanie na oscylografie zapisu dla wielu kanałów, oryginalnego i po zastosowaniu filtru opóźniającego. Nadmienić jednak należy, że można stosować jeden filtr dla całego sejsmogramu, jeżeli dno morza na jakimś odcinku może być uznane za piaskie. W przypadku, gdy dno morza jest nachylone pod kątem należy odpowiedni filtr wprowadzić dla grup kanałów lub nawet dla każdego kanału oddzielnie. Morfologia dna morza jest znana na podstawie pomiarów echosondy. W każdym bądź razie trzeba wyraźnie podkreślić, iż zagadnienie stosowania w sejsmice morskiej odpowiedniej filtracji dla poprawy uzyskiwanych wyników jest sprawą bardzo delikatną.

Poza zaburzeniami powodowanymi przez fale rezonansowe w pracach sejsmiki morskiej występują również tzw. fale boczne, zaburzające w niektórych rejonach czytelność zapisu. Bliższa geneza tych fal i ich eliminacje są jednak trudne do ustalenia.

Podsumowując można chyba stwierdzić, że w stosunku do prac na lądzie interpretacja materiałów sejsmiki morskiej w ogólności się nie różni. Prostsza jest sprawa wprowadzania poprawek dla sprawdzenia pomiarów do jednego poziomu, natomiast istnieją zaburzenia specyficzne dla tego rodzaju prac.

Ostatecznym rezultatem badań sejsmicznych na morzu są wyniki przedstawione na odpowiednich przekrojach głębokościowych lub schematach, bądź mapach strukturalnych. Zagadnienie prędkości średnich rozwiązywane jest podobnie jak w pracach na lądzie, tj. na podstawie analizy materiałów z koraży sejsmicznych, albo specjalnych pomiarów refleksyjnych wykonanych w tym celu.

SUMMARY

In the paper are presented main diversities of opinions between the Czechoslovakian and Polish geologists as to the geology of the flysch Carpathians. To the most important diversities in this matter belong:

a) acceptance by the Czechoslovakian geologists, in contrast with the Polish geologists, of a lack of Upper Cretaceous deposits in the Raczańska sub-unit of the Magura nappe, and interpretation of the Upper Cretaceous fauna occurring in the Solańskie beds (Inoceramus beds) as a fauna redeposited,

b) Czechoslovakian geologists are of the opinion that the sandstones that are found on the Babia Góra summit (Beskid Wysoki region) are of Palaeocene age (Babia Góra sandstones), whereas in Poland these are thought to be Magura sandstones of Upper Eocene age,

c) in contrast with the Polish geologists the Czechoslovakian geologists accept the existence of stratigraphical gaps in the Upper Cretaceous of the Silesian unit, and a transgression of Istebna beds on the older flysch substratum,

d) most of the Czechoslovakian geologists think that the flysch represents a shallow marine formation, whereas most of the Polish geologists are of the opinion preferring the theory of suspension currents and deep-water origin of the flysch.

W 1964 r. z inicjatywy i na zlecenie Instytutu Geologicznego rozpoczęte zostały badania sejsmiczne na Bałtyku w rejonie linii brzegowej Polski. Pomiaru sejsmiczne na Bałtyku wykonane zostały przez zakontraktowany statek radziecki „Władimir Obruczew”. W pracach grupy radzieckiej wykonującej wspomniane pomiary i prowadzącej interpretację brało udział kilku specjalnie w tym celu oddelegowanych pracowników Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych. Prowadzone badania miały charakter prac regionalnych.

Metodyka prac polegała na ciągłym profilowaniu refleksyjnym przy zastosowaniu rozstawów środkowych z wzajemnymi odległościami między punktami strzałowymi równymi 420 m. Pomiaru wykonywane były podczas ruchu statku. Hydrofony łącznie z kablami umieszczone były w osłonie plastikowej, a całość rozstawu zanurzona była w wodzie. Stosowano grupowanie 20 hydrofonów na kanał, natomiast rejestrację prowadzono na aparaturze 26-kanałowej specjalnie wykonanej dla pracy na morzu. Zapis wyników uzyskiwano na papierze oscylograficznym. Wzbudzenie energii odbywało się w wodzie na głębokości rzędu 1,5—2 m, przy czym zapuszczanie ładunków przeprowadzano z platformy przymocowanej do statku pomiarowego. Ładunek zeslizgiwał się po specjalnym kablu, a odpalenie następowało automatycznie w środku rozstawu z pewnym opóźnieniem po opuszczeniu ładunku z kabla.

W 1965 r. prace na Bałtyku były kontynuowane. Metodyka badań na ogół nie uległa zmianie. Nowością jedynie było zainstalowanie na statku drugiej aparatury z zapisem magnetycznym. Aparatura z rejestracją magnetyczną pracowała w formie eksperymentalnej równoległe z aparaturą z zapisem oscylograficznym. Interpretacja materiałów sejsmicznych uzyskanych w 1965 r. jest obecnie w opracowywaniu na podstawie danych uzyskanych za pomocą zapisu na papierze światłoczułym.

LITERATURA

1. Gorczyński L., Młynarski S., Rudzik L. — Badania geofizyczne NRD na Bałtyku w 1963 roku. Geofiz i geol. naft. 1964, nr 10—12.
2. Lamote B. — Les problèmes de filtrage en sismique. (Les recherches et la production du pétrole en mer). Publication de l'Institut Français du Pétrole, Collection colloques et séminaires 1).
3. Michon D. — Sismique marine. Ibidem.

РЕЗЮМЕ

В статье рассматриваются основные разногласия во взглядах чехословацких и польских геологов на геологическое строение Флишевых Карпат. Эти разногласия состоят в следующем:

a) чехословацкие геологи, в отличие от польских геологов считают, что в Рачанской подъединице Магурского надвига отсутствуют верхнемеловые породы, а верхнемеловая фауна, содержащаяся в соляных (иноцерамовых) слоях, находится, по их мнению, в переотложенном состоянии;

б) чехословацкие геологи приписывают палеоценовый возраст песчаникам, слагающим вершину Бабья-Гура в Бескиде Высоком, а в Польше они считаются магурскими песчаниками верхнеэоценового возраста;

в) в отличие от польских геологов, чехословацкие геологи утверждают о наличии стратиграфических перерывов в верхнем меле Силезской единицы и о трансгрессивном залегании истебнянских слоев на более древнем флишевом основании;

г) большинство чехословацких геологов принимает, что флиш является мелководным образованием, большинство же польских геологов придерживается теории мутьевых течений и мнения о глубоководном происхождении флиша.