



TADEUSZ KRYNICKI
Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych

PRÓBA WYZNACZENIA POWIERZCHNI STREF KONTAKTU TEKTONICZNEGO SKAŁ NA PRZEKROJACH SEJSMICZNYCH

UKD 550.834.5.05:550.834.5.015.24.004.17(084.28)+551.242

Sejsmiczne przekroje refleksyjne zawierają bogaty materiał dotyczący powstającego obrazu falowego, będącego odzwierciedleniem własności sprężystych ośrodka skalnego. Powszechnie wiadomo, że w obszarach o złożonej budowie geologicznej, a zwłaszcza w przypadku urozmaiconej tektoniki rejestruje się skomplikowany obraz falowy. Z reguły w obszarach takich interpretacja geofizyczna przekrojów sejsmicznych jest utrudniona wskutek rejestrowania różnych fal zakłócających, w przeważającej części dyfrakcyjnych. Wydaje się jednak, że dokonując bardziej szczegółowej analizy obrazu falowego część fal dotychczas uznawanych za zakłócające, można uważać w pewnych przypadkach jako fale niosące istotną informację geologiczną.

Spośród tych fal, dotychczas zaliczanych do zakłócających, należy wymienić fale odbite od powierzchni stref kontaktu skał powstałych w wyniku ruchów tektonicznych. W szczególnych przypadkach mogą to być powierzchnie uskoków. Geologiczne i fizyczne przesłanki powstawania fal odbitych na powierzchniach stref zaburzonych tektonicznie rozpatrzono w poprzedniej publikacji autora (2). Trzeba podkreślić, że wyznaczanie uskoków na przekrojach sejsmicznych jest z reguły trudne i wymaga szczegółowej analizy obrazu falowego oraz doświadczenia geofizyka. Określenie położenia powierzchni uskoków stanowi zadanie jeszcze bardziej złożone, gdyż wymaga ponadto zmiany przyjętego przez sejsmików postępowania w pracach interpretacyjnych i zmiany oceny wpływu uskoków na tworzony obraz falowy. Niewątpliwie pewność rozpoznania i wyznaczenia uskoku, a tym bardziej jego powierzchni, wzrasta wraz z ilością informacji, dotyczących metodyki prac polowych i interpretacyjnych, charakteru zapisu fal na sejsmogramach, tj. zapisu fal przed sumowaniem, liczby wykonanych przekrojów refleksyjnych przecinających badany obiekt tektoniczny, czy też danych geologicznych.

W artykule natomiast omówiono przykłady stref zaburzonych tektonicznie, w tym i uskoków wyznaczonych w zasadzie tylko na podstawie fal (zdaniem autora) odbitych od powierzchni lub fal dyfrakcyjnych. Do interpretacji fal wykorzystano zapis występujący na przekrojach sejsmicznych opracowanych z zastosowaniem procesów sumowania i nie analizowano innych materiałów z powodu trudności w dostępie do nich lub po prostu ich braku. Niemniej podjęcie próby określenia płaszczyzny stref tektonicznych wydaje się uzasadnione, jako że, w pewnych korzystnych warunkach, powierzchnie te mogą być wyznaczane tylko na podstawie przekrojów sejsmicznych. Celem artykułu jest więc wskazanie na konieczność zwracania większej uwagi na zapis obrazu falowego w pracach interpretacyjnych, co powinno przyczynić się do rozszerzenia możliwości stosowania metody refleksyjnej.

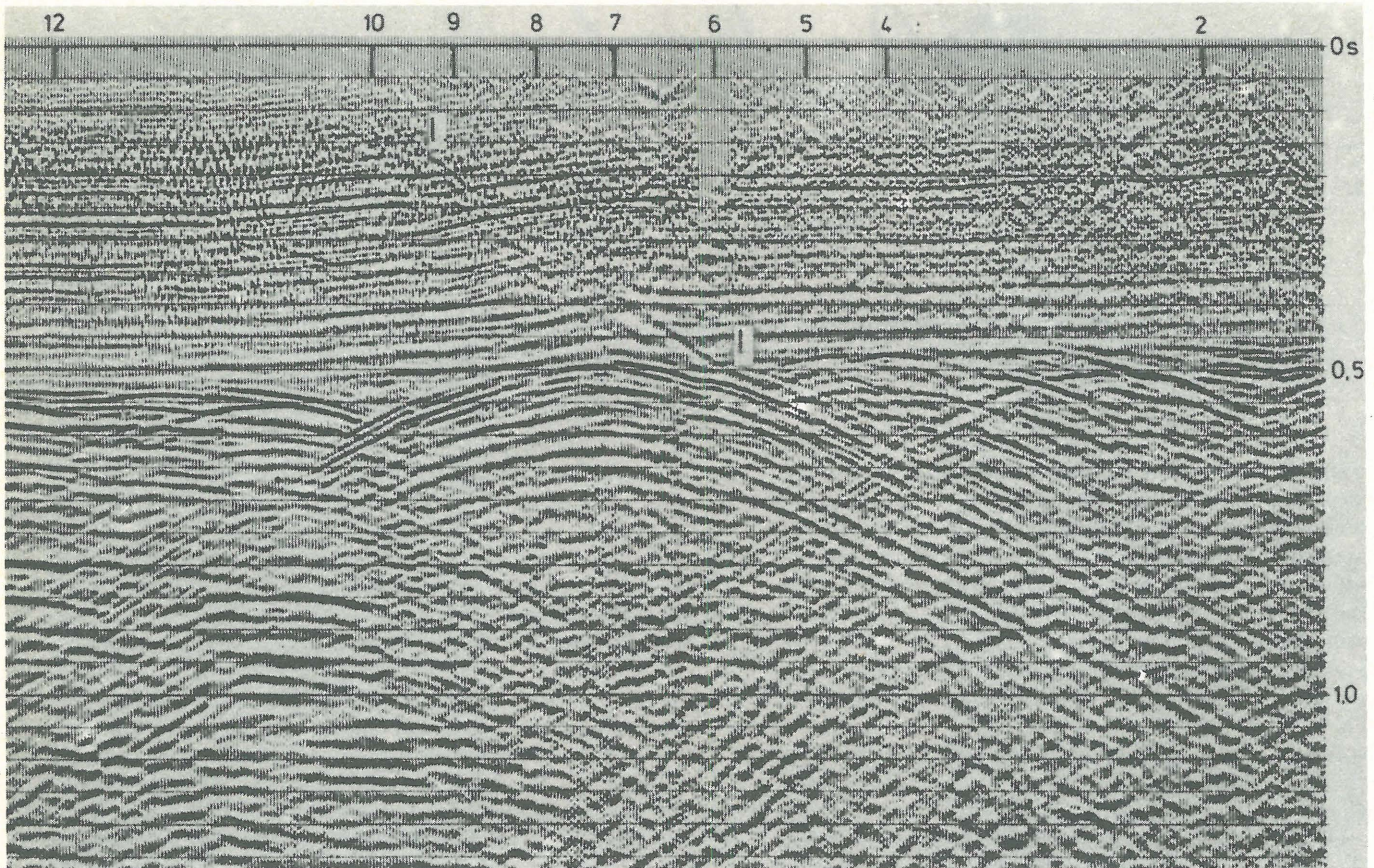
WYZNACZANIE POWIERZCHNI STREF ZABURZEŃ TEKTONICZNYCH

W dotychczasowej praktyce strefy zaburzeń tektonicznych bądź uskoków wyznaczane są najczęściej na podstawie następujących kryteriów:

- nieciągłości korelacyjnych jednej lub więcej granic sejsmicznych,
- przerw w korelacji połączonych z pionowym przemieszczeniem granic,
- występowania fal zakłócających, przeważnie dyfrakcyjnych,
- zmian intensywności zapisu fal,
- istotnych i szybkich zmian kątów upadów poszczególnych granic.

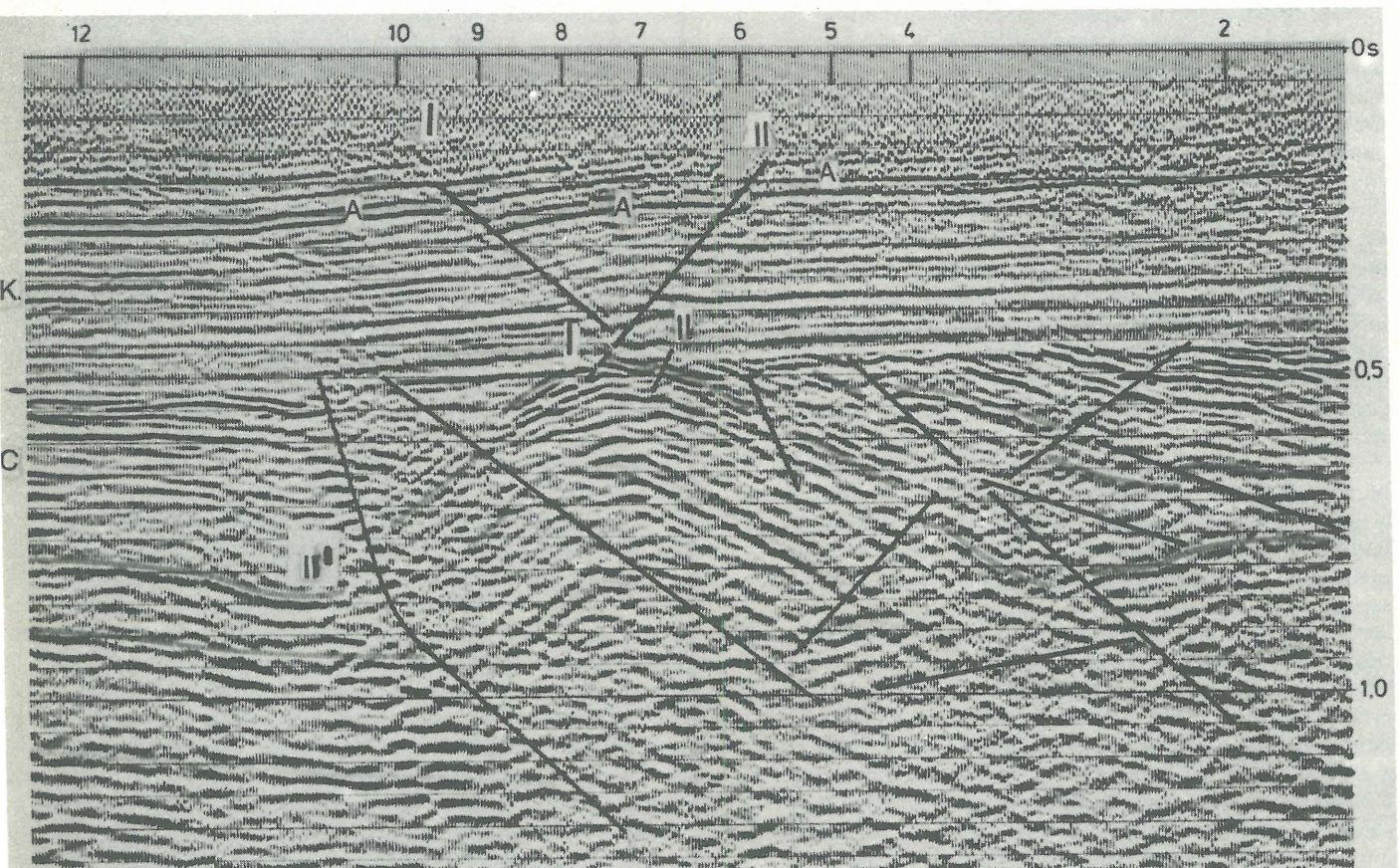
Obecnie przy określaniu stref zaburzeń tektonicznych, a tym bardziej powierzchni takich stref, nie wykorzystuje się fal od nich odbitych lub fal dyfrakcyjnych często towarzyszących takim powierzchniom. Należy uważać, że w wielu przypadkach fale odbite i dyfrakcyjne mogą być dodatkowym i to bardzo istotnym kryterium przy wyznaczaniu powierzchni stref zaburzonych. Trzeba podkreślić, że kąty upadu powierzchni stref zaburzonych nie ograniczają stosowania metody refleksyjnej w badaniach tektonicznych. Wynika to stąd, że fale odbite mogą być rejestrowane od granic zapadających nawet pod kątami przekraczającymi 45° , jeżeli stosowane są odpowiednio długie rozstawy, tj. 3–4-krotnie przewyższające głębokość występowania obiektów tektonicznych.

Obecnie w związku z prowadzeniem badań sejsmicznych metodą wielokrotnych profilowań, długości rozstawów przekraczają 3 km. Jeżeli nawet z przyczyn metodycznych, np. zbyt krótkich rozstawów, nie będą rejestrowane fale odbite, to na kontakcie warstw w strefach zaburzeń tektonicznych mogą powstawać fale dyfrakcyjne, które w pewnych korzystnych warunkach będą mieć w miarę ciągłe osie faz, wyznaczające ich płaszczyzny. Intensywność zarówno fal odbitych, jak i dyfrakcyjnych zależeć będzie głównie od zróżnicowania oporności akustycznych skał ze sobą kontaktujących w strefie tektonicznej skał (2, 5). Ponieważ wartości oporności akustycznych mogą zmieniać się wzdłuż powierzchni stref tektonicznych, co szerzej omówiono w publikacji (2), dynamika fal odbitych i dyfrakcyjnych również będzie różna na poszczególnych odcinkach przekroju sejsmicznego. Fale dyfrakcyjne będą mieć ponadto największe amplitudy na tych kanałach rozstawu, które znajdują się bezpośrednio nad obiektem je wywołującym i szybko maleją w miarę oddalania się od strefy zaburzonej (5). Niewątpliwie rozpoznanie i wyznaczenie na przekroju sejsmicznym strefy dyslokacyjnej będzie tym pewniejsze im wyraźniej wyżej wymienione



Ryc. 1. Przykład zapisu obrazu falowego na przekroju opracowanym bez zastosowania migracji. Ryc. 1-3 wg K. Lemckego (3) uzupełnione numeracją fal i symbolami granic odbijających

Fig. 1. An example of wave image record in profile analysed without use of migration. Figs. 1-3 after K. Lemcke (3), supplemented with numeration of waves and symbols of reflecting boundaries

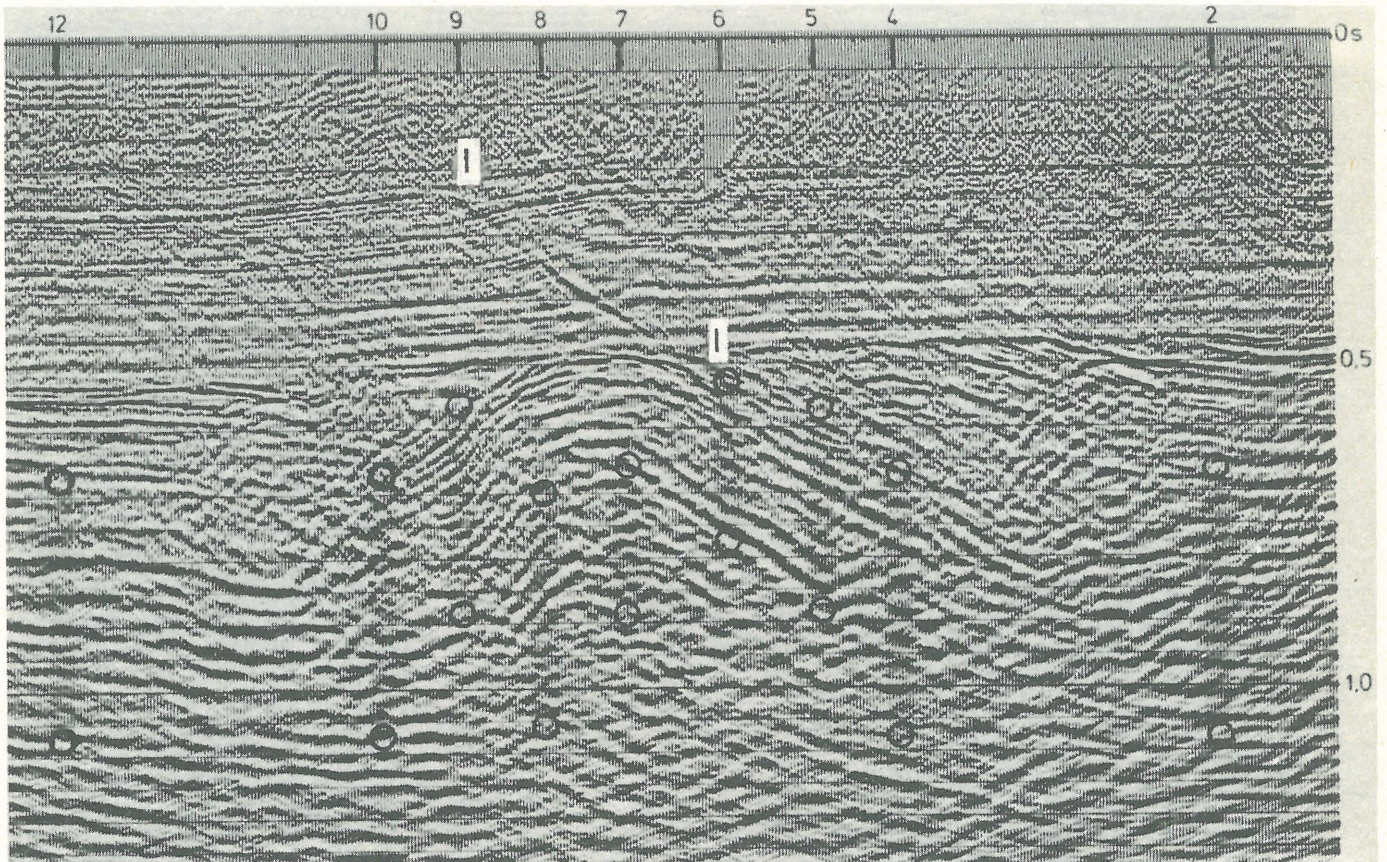


Ryc. 2. Przykład wyników uzyskanych po zastosowaniu migracji wykonanej metodą skończonych różnic

Fig. 2. An example of results obtained using migration established by the method of finite differences

I-I, II-II - fale wyznaczające powierzchnie uskóków

I-I, II-II - waves marking fault planes



Ryc. 3. Obraz falowy po zastosowaniu migracji liniowej z wyraźnie zapisaną falą I-I

Fig. 3. Wave image after using linear migration with clearly recorded wave I-I

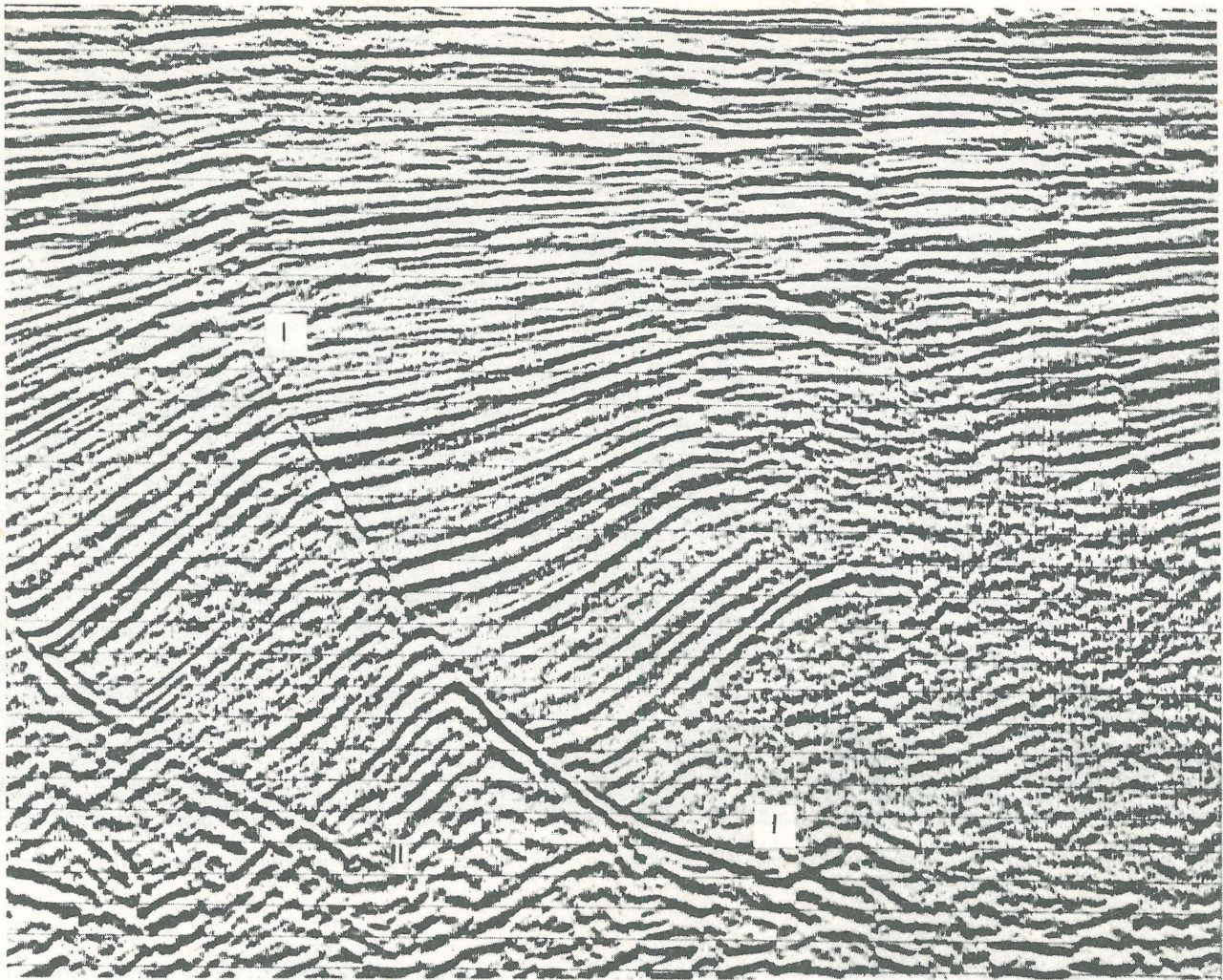
kryteria zarysowują się w obrazie falowym i im ich liczba będzie większa.

Odnotujmy, iż na przekrojach mogą występować tylko niektóre z podanych cech zapisu i to w różnym stopniu wyrazistości. Stąd też wyznaczanie stref uskokowych, a zwłaszcza nachylenia ich powierzchni stanowi ważny etap w pracach interpretacyjnych. Wiadomo także jak duże znaczenie ma nie tylko rozpoznanie stref zaburzonych, ale głównie poprawne wyznaczenie położenia płaszczyny uskoku. Zadanie to może być bardziej jednoznacznie rozwiązywane, jeżeli zwracać się będzie większą uwagę na charakter zapisu obrazu falowego, zwłaszcza w strefach interferencji. Jednocześnie należy skorygować powszechnie panujący pogląd na temat roli uskoków w powstającym obrazie falowym. Uskoki bowiem są nie tylko źródłem fal zakłócających, lecz w pewnych sprzyjających warunkach ich płaszczyny mogą stanowić powierzchnie, na których następować będzie odbicie fal, podobne do tego jakie obserwuje się w przypadku granic warstw o odmiennej litologii. Dlatego też płaszczyny uskoków lub stref zaburzeń tektonicznych mogą być traktowane jako granice sejsmiczne, korelacja fal zaś powinna być wykonywana z wykorzystaniem tych samych zasad, które obowiązują obecnie przy interpretacji przekrojów refleksyjnych.

Wychodząc z powyższego założenia i uwzględniając przesłanki zawarte w publikacji (2) przeprowadźmy analizę wyników refleksyjnych uzyskanych w różnych obszarach pod kątem słuszności wyznaczenia nie tylko stref zaburzonych tektonicznie, ale także ich powierzchni. Do analizy wybierano tylko te materiały sejsmiczne, które opracowano z zastosowaniem procesów migracji lub też uzyskano je w obszarach, w których głębokość występowania uskoków

jest niewielka, co nie zniekształca w zbyt dużym stopniu obrazu strukturalno-tektonicznego, mimo opracowania przekrojów sejsmicznych metodą standardową – tj. bez migracji. W celu wykazania możliwości metody refleksyjnej w określaniu położenia płaszczyn uskoków posłużmy się wynikami uzyskanymi w obszarze o złożonej budowie geologicznej, zamieszczonymi w publikacji K. Lemcke (3). Nadmienimy, iż zamiarem autora wspomnianej publikacji było zasadniczo przedstawienie wpływu na wyniki parametrów przetwarzania danych sejsmicznych, a zwłaszcza procesu migracji przy zastosowaniu różnych programów rozkładu prędkości. Na podstawie odcinka czasowego przekroju refleksyjnego K. Lemcke (3) scharakteryzował położenie granic sejsmicznych zależnie od stosowanych parametrów przetwarzania.

Przekrój czasowy uzyskany z zastosowaniem 12-krotnego profilowania, ale opracowany bez programu migracji ilustruje ryc. 1. Na przekroju dobrze widoczne są granice odbijające przy czasie (2t) około 0,5 s związane z utworami kredy. Poniżej obraz falowy jest bardziej urozmaicony wskutek skomplikowanej tektoniki karbonu. Zauważyć to można na ryc. 2, przedstawiającej ten sam odcinek przekroju czasowego opracowany z zastosowaniem procesu migracji (3). Wyznaczono na nim kilkanaście uskoków, z których większość w przedziale czasowym 0,5–1,0 s. Uskoki jak można wnioskować nie na podstawie tekstu, w którym opis interpretacji geofizyczno-geologicznej pominięto, lecz przekroju, wyznaczono na podstawie ogólnie stosowanych kryteriów – tj. nieciągłości korelacyjnych i pionowych przesunięć granic odbijających. Jednakże wyniki uzyskane na przekrojach opracowanych przy zastosowaniu różnych parametrów przetwarzania uzasad-



Ryc. 4. Przykład zapisu fal I-I, II-II wyznaczających powierzchnie stref tektonicznych. Przekrój opracowano wg programów systemu Elsa (5)

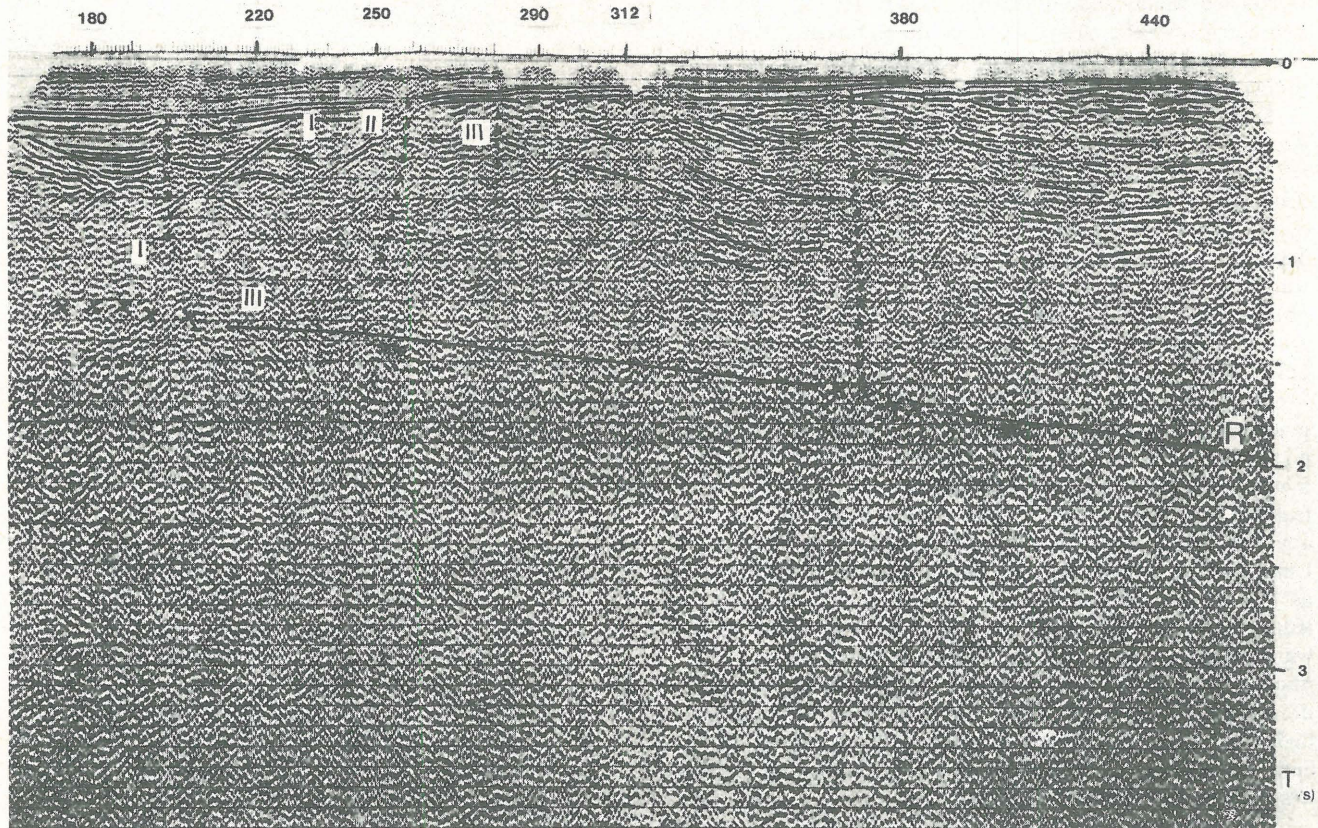
Fig. 4. An example of record of waves I-I and II-II, marking planes of tectonic zones. The profile was analysed using Elsa (5) system programmes

nią przeprowadzenie pełniejszej interpretacji geofizycznej, zwłaszcza uskoków występujących w utworach kredy. Dla ułatwienia opisu niektórych uskoków zostaną one ponumerowane.

Do szczególnie wyraźnie widocznych na przekroju czasowym trzeba zaliczyć uskok I-I. Wyznaczono go (3) na podstawie pionowych przesunięć granicy A połączonych z nieznacznymi zmianami wielkości kątów upadu warstw. Pominięto przy tym fakt zarejestrowania fali odbitej od powierzchni uskoku lub fali dyfrakcyjnej mimo, że na pewnym odcinku omawiany uskok wyznaczono według jednej z faz fali w przedziale czasu od 0,200 do około 0,425 s (ryc. 2). Gdyby nie pominięto fali odbitej od powierzchni uskoku I-I lub dyfrakcyjnej, wówczas uskok należałoby wykreślić w interwale czasu od 0,120 do około 0,5 s, a więc na odcinku nieco dłuższym. Odnotujemy, iż górna część przekroju do czasu około 0,140 s jest mało czytelna w wyniku stosowanych parametrów metodyki prac polowych i przetwarzania. Dynamika fali związanej z powierzchnią uskoku I-I różni się na poszczególnych kanałach. Wynikać to może ze zmian oporności akustycznych, a tym samym i współczynników odbicia kontaktujących ze sobą skał wzdłuż powierzchni uskoku. Nie można jednak wykluczyć wpływu parametrów przetwarzania na charakter zapisu tej fali, jeżeli porówna się przekroje przedstawione na ryc. 1-3.

Warto odnotować, że na ryc. 3 omawiana fala I-I jest najintensywniejsza, ale jednocześnie przedział czasowy jej występowania jest najmniejszy. Mimo pewnych różnic zapisu tej fali na poszczególnych przekrojach, uzyskanych przy różnych parametrach przetwarzania, nie można podważać istnienia uskoku I-I i fali, która wydaje się odbita od jego powierzchni. Na podstawie tylko jednego odcinka przekroju trudno jest bowiem określić jednoznacznie rodzaj fali. Uskok II-II ma mniejszą amplitudę zrzutu w porównaniu z uskokiem I-I. Wzdłuż linii przebiegu uskoku II-II można wyznaczyć falę, jak należy sądzić, odbita od jego powierzchni, chociaż mniej intensywną w porównaniu z falą I-I. Jednocześnie uskok II-II przecina prawdopodobnie kompleks skał karbońskich na odcinku II-II' (ryc. 2). Z niewielkimi uskokiemi lub nawet tylko pęknięciami bez przemieszczeń pionowych w obrębie kredy należy liczyć się na odcinku przekroju między punktami 10-12, na co wskazują fale, które mogą być odbite od powierzchni pęknięć lub uskoków o nieznacznym przesunięciach pionowych granic sejsmicznych.

Innym przykładem zapisu fal, jak można sądzić dyfrakcyjnych, wyznaczających powierzchnie uskoków, a na pewno stref zaburzonych jest przekrój sejsmiczny (ryc. 4), zaczerpnięty z prospektu zawierającego w zasadzie opis systemu przetwarzania danych o nazwie Elsa (5). Na przekroju tym widoczne są dwa kompleksy skał o odmiennych



Ryc. 5. Przekrój z obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Powstanie fal I-I, II-II i III-III może być spowodowane powierzchniami stref zaburzeń tektonicznych

Fig. 5. Profile from area of the Upper Silesian Coal Basin. Origin of waves I-I, II-II and III-III may be due to existence of tectonic disturbance zones

upadach. W górnej części przekroju sejsmicznego (ryc. 4) granice mają nieznaczne upady i nieliczne, a zarazem i niewielkie nieciągłości korelacyjne. Niżej, w miejscu występowania drugiego kompleksu, kąty upadu warstw wzrastają, przy czym wielkości upadów zmieniają się na krótkich odcinkach, co szczególnie dobrze widać w lewej, dolnej części przekroju. Jednocześnie w tej części przekroju zaobserwować można dwie fale, mające stosunkowo intensywny zapis, które przebiegają w strefie kontaktu o wyraźnych zmianach kątów upadu warstw. Fale te oznaczono symbolami I-I, II-II.

Biorąc pod uwagę ogólny układ warstw, a także charakter zapisu granic sejsmicznych, można wysnuć wniosek, że osie zgodności fazowej fal stanowią ważne kryterium wyznaczenia powierzchni uskoków. Bardziej szczegółowa analiza obrazu falowego jest utrudniona, gdyż w prospekcie brak jest informacji o parametrach metodyki prac polowych i interpretacyjnych, jak również pominięto zupełnie dane o budowie geologicznej, co zresztą jest zrozumiałe, gdy weźmie się pod uwagę cel jaki przyświecał autorom prospektu. Z opisu systemu Elsa (6) wynika, że przekrój opracowano z zastosowaniem procesu migracji, a więc można utrzymywać, że położenie granic odbijających, w tym także i tych wiązanych, z powierzchniami stref zaburzonych nie jest obciążone większymi błędami. Wskazuje zresztą na to ogólny obraz falowy. Trzeba przyznać, że gdyby nawet nie zarejestrowano fal I-I, II-II to i tak można byłoby wyznaczyć strefy zaburzone na podstawie zmiany kątów upadu granic sejsmicznych. Zresztą stref zaburzonych można dopatrzeć się i w innych miejscach omawianego przekroju (ryc. 4). Jednak jest bardzo prawdopodobne, że wskutek przerw w korelacji granic sejsmicz-

nych, bardzo często występujących w sąsiedztwie uskoków, trudno będzie stwierdzić zmiany kątów upadów. Dlatego też w określaniu stref zaburzonych bardzo pomocne mogą okazać się fale podobne do wyznaczających strefy I-I, II-II.

Rozpatrując problem wyznaczenia powierzchni stref zaburzeń tektonicznych nawiążmy do wyników uzyskanych na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (4). Obszar ten wybrano głównie ze względu na stosunkowo małą miąższość utworów trzeciorzędowych i triasowych, leżących prawie poziomo oraz płytkie występowanie stref zaburzonych. W związku z płytkim występowaniem stref zaburzeń tektonicznych można założyć, że obraz falowy na wybranym przekroju (ryc. 5) nie jest zniekształcony w stopniu utrudniającym jego analizę, mimo że przekrój opracowano bez zastosowania programu migracji promienia sejsmicznego. Na przedstawionym na ryc. 5 odcinku przekroju sejsmicznego autorzy dokumentacji (4) wyznaczyli 4 uskoki, przy czym 2 z nich występują w miejscu przerw w korelacji granicy refrakcyjnej R w pobliżu punktów strzałowych (PS) 180 i 380. Wszystkie uskoki wyznaczono zgodnie z ogólnie przyjętymi i dotychczas stosowanymi zasadami.

Obraz falowy na omawianym odcinku przekroju 12-IV-76 jest niewątpliwie złożony i nawet zastosowanie procesu migracji nie przyczyniło się do jego uproszczenia, a zwłaszcza do istotniejszego przemieszczenia fal oznaczonych symbolami I-I, II-II i III-III (4). Przyczyną tego mogły być trudności w doborze optymalnych parametrów migracji, w tym także i prędkości, chociaż trzeba podkreślić, że przy tak niewielkim zasięgu głębokościowym metody refleksyjnej w tym obszarze, najgłębsze granice

odbijające na odcinku przekroju między PS 312 i PS 440 występują w czasie około 1 s, czyli do głębokości 2250 m. Nie należało zatem oczekiwać istotniejszych zmian wyników sejsmicznych w związku z zastosowaniem migracji.

Fale I-I, II-II i III-III mają różną intensywność, a zatem i pewność zapisu. Na najdłuższym odcinku można wyznaczyć falę II-II. Jest charakterystyczne, iż wszystkie 3 omawiane fale układają się w strefie nieciągłości korelacyjnej granicy refrakcyjnej R, związanej z utworami dewonu. Jeżeli przyjąć, że nieciągłość korelacyjna granicy R spowodowana jest obecnością strefy zaburzonej, podobnie jak w pobliżu PS 380, wówczas z dużą dozą prawdopodobieństwa można uważać, że fale I-I, II-II i III-III wyznaczają powierzchnie uskoków.

Wydaje się, że istnieją podstawy do tego, aby wykreślić przez autorów dokumentacji uskoki w pobliżu PS 250 poprowadzić wzdłuż osi zgodności faz fali II-II. Przemawia za tym również występowanie ciągłej granicy refrakcyjnej na PS 250. Jest bowiem mało prawdopodobne, aby uskoki występowały tylko w utworach karbonu. Charakter zapisu sejsmicznego w okolicy PS 250 pozwala na jego wyznaczenie nawet w nadkładzie karbonu. Trzeba jednak stwierdzić, że wyciąganie bardziej jednoznacznych wniosków, co do przebiegu uskoku wyznaczonego w okolicy PS 250 mogłoby nastąpić po przeanalizowaniu obrazu falowego na sejsmogramach, a także wykonaniu badań refleksyjnych na dodatkowych profilach przechodzących przez omawianą strefę zaburzeń tektonicznych i dowiązaniu do danych geologicznych.

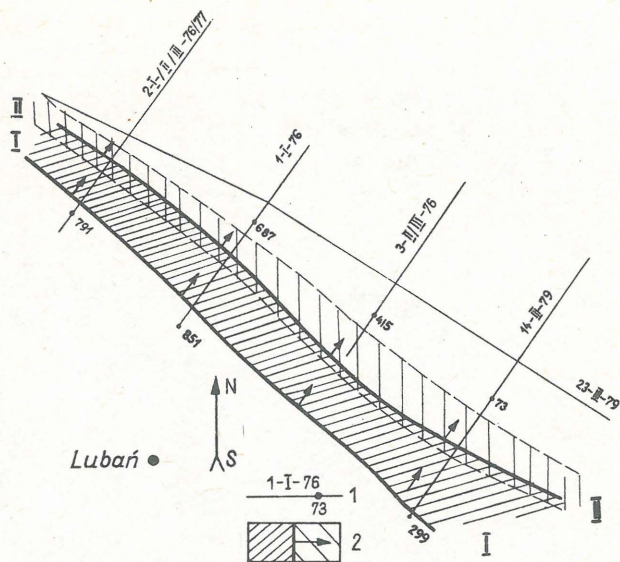
Podobny charakter zapisu obrazu falowego na niektórych przekrojach sejsmicznych uzyskano na obszarze niecki północnosudeckiej. W południowo-zachodniej części badanego obszaru, w pobliżu miejscowości Lubań, na przekrojach sejsmicznych zaobserwować można fale, które zinterpretowano jako odbite od granic sejsmicznych oraz fale zakłócające (1). Fale zakłócające można wyznaczyć na kilku profilach, chociaż nie w sposób ciągły. Na podstawie charakteru zapisu fal należy uważać, że przyczyną ich powstania jest ten sam obiekt geologiczny. Wydaje się, że obiektem tym może być powierzchnia strefy kontaktu tektonicznego warstw. Na podstawie zapisu obrazu falowego wyodrębnić można 2 takie strefy, których rzut pionowy przedstawia ryc. 6.

Warto podkreślić, że na mapie geologicznej Polski bez utworów kenozoicznych, opracowanej w Instytucie Geologicznym, w obszarze wyznaczonych stref kontaktu tektonicznego występują uskoki. Strefa I-I ma szerokość około 2 km i wyznaczona jest falami występującymi od czasu około 0-1 do 1,0 s. Trudniej jest określić granice strefy II-II. Fale, które można wiązać z południowo-zachodnią granicą na poszczególnych profilach występują w czasie od 0,1 do 0,4 s, natomiast czasy rejestracji fal wyznaczających północno-wschodnią granicę wahają się od 1,3 do 1,6 s.

Przedstawiony w artykule sposób interpretacji fal, uważanych dotychczas za zakłócające, może nie w każdym przypadku jest wystarczająco uzasadniony z przyczyn wcześniej podanych. Niemniej podjęcie dalszych prób interpretacji podobnych fal powinno doprowadzić do przedstawienia pełniejszego obrazu budowy geologicznej na przekrojach sejsmicznych. Interpretację fal związanych z powierzchniami stref zaburzeń tektonicznych należałoby podejmować głównie na tych przekrojach sejsmicznych, na których na podstawie wierceń stwierdzono występowanie stref zaburzonych.

LITERATURA

1. Białek T., Pepeł A. — Dokumentacja badań



Ryc. 6. Schemat przebiegu stref wyznaczonych na podstawie fal odbitych na powierzchni stref zaburzeń tektonicznych

- 1 — profile sejsmiczne, 2 — powierzchnie stref zaburzeń tektonicznych i kierunek ich zapadania

Fig. 6. Scheme of course of zones delineated on the basis of waves presumably reflected at planes of tectonic disturbance zones

- 1 — seismic profiles, 2 — planes of tectonic disturbance zones and their dip

sejsmicznych wykonanych na terenie Niecka Północnosudecka, 1980 (maszynopis PBG).

2. Krynicki T. — Powstawanie fal odbitych od płaszczyzn uskoków. Prz. Geol. 1980 nr 10.
3. Lemcke K. — Migration, Einfluss von Methode und Geschwindigkeit. Report Prakla-Seismos, 1978 nr 3.
4. Majewski Z., Hałóń B. — Dokumentacja badań sejsmicznych wykonanych na terenie Górnośląskie Zagłębie Węglowe, 1978 (maszynopis PBG).
5. Prospekt opracowany przez Societé Nationale Elf. System Elsa. Paryż 1979.
6. Timoszin J.W. — Difrakcyjnoje prieobrazowanije siejsmiczeskich zapisiej w izobraženija sriedy. Izd. Niedra, 1972.

SUMMARY

Seismic sections made in areas with complex geological structure usually display complex wave image. A large part of waves recorded in such areas are treated as disturbing. The paper presents an attempt to interpret some waves hitherto regarded as disturbing, trying to show that they may both give valuable information on the course of tectonically disturbed zones and, under certain conditions, facilitate delineation of planes of such zones.

РЕЗЮМЕ

В районах со сложным геологическим строением на сейсмических разрезах получается сложное волновое изображение. Значительное количество волн в таких районах является мешающими волнами. В статье сделана попытка интерпретации некоторых волн причисленных до сих пор к мешающим волнам. Автор старается доказать, что эти волны дают не только ценные информации по распространении тектонически нарушенных зон, но в некоторых случаях также облегчают определение поверхности этих зон.