

Stefan MŁYŃNARSKI

## Wykorzystanie fal dyfrakcyjnych dla wyznaczania uskoków w rejonie Pomorza Zachodniego

### WSTĘP

Rozpatrywany obszar obejmuje północno-zachodnie części niecki pomorskiej i szczecińskiej oraz wału pomorskiego. W rejonie tym, jak również w bezpośrednio przylegającym obszarze morskim Bałtyku mamy do czynienia z grubym kompleksem utworów osadowych. Bezpośrednio pod kenozoikiem leżą na całym obszarze utwory kredy i jury (W. Pożaryski, 1970).

W takiej sytuacji istotną rolę w rozpoznaniu geologicznym odgrywiają refleksyjne badania sejsmiczne. Pozwalają one na zbadanie, wzdłuż wykonywanych przekrojów, morfologii i sytuacji tektonicznej poszczególnych horyzontów sejsmicznych, które można często wiązać z określonymi granicami stratygraficznymi. W dużej mierze właśnie na podstawie badań geofizycznych (głównie sejsmicznych) i napływających z biegiem lat danych geologicznych można było bliżej sprecyzować obraz tektoniczny tego rejonu (R. Dadlez, S. Młynarski, 1967; R. Dadlez, 1970). Mamy tutaj do czynienia z szeregiem bloków oddzielonych od siebie uskokami ugrupowanymi w strefy dyslokacyjne.

Dla bliższego scharakteryzowania tego problemu warto zapoznać się z wynikami badań sejsmicznych w zakresie rejestracji uskoków. Badania te prowadzone były przeważnie w latach 1962—65. Stosowano w tym czasie w pracach refleksyjnych metodę pojedynczego pokrycia, a rejestracje wykonywano przy pomocy aparatów z zapisem oscylograficznym. Materiał uzyskany w ten sposób stwarzał pewne ograniczenia interpretacyjne w zakresie wyznaczenia uskoków, gdyż nie było możliwości pełnego wykorzystania dodatkowych informacji, jakie stwarza obserwacja fal dyfrakcyjnych. Mimo subiektywizmu, jakim wobec tego obarczone są rezultaty, uzyskano jednak przekonujący obraz strukturalny. Nie bez znaczenia był fakt, że mamy tu do czynienia z kilkoma przewodnimi horyzontami refleksyjnymi, których wydzielenie może być oparte o wyraźne cechy dynamiczne. W tej sytuacji, wykorzystując dodatkowo informacje geologiczne, można było uzyskać dane o regionalnym obrazie Pomorza Zachodniego. Na fig. 1 i 2 zaprezentowano obraz stref dyslokacyjnych dla dwu ho-

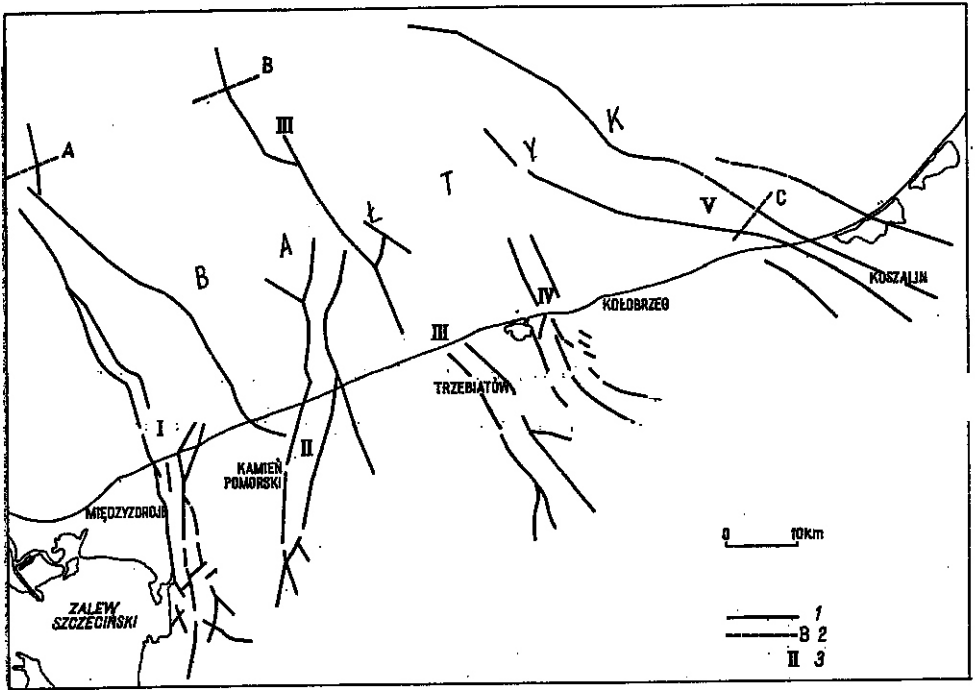


Fig. 1. Mapka ważniejszych stref uskokowych stwierdzonych w horyzoncie sejsmicznym F (cechsztyń)

Sketch of more important fault zones ascertained at the seismic horizon F (Zechstein)

- 1 — uskoki, 2 — fragmenty przekrojów sejsmicznych przedstawionych na tabl. I—III, 3 — strefy dyslokacyjne  
 1 — faults, 2 — fragments of seismic sections shown in Tabs. I—III, 3 — dislocation zones

ryzontów sejsmicznych „F” i „C”. Pierwszy z nich wiązany jest z utworami cechsztyń, a drugi z granicą retyku i kajpru.

W horyzoncie „F” (fig. 1) ważniejsze uskoki grupują się w szereg stref dyslokacyjnych. Możemy tutaj wyraźnie wydzielić, poczynając od zachodu: strefę dyslokacyjną Kamienia (I), Trzebieszowa-Koplińska (II), Trzebiatowa (III), Nowogardka (IV) i Koszalina (V). Zarejestrowane uskoki występują na całym obszarze lądowym i morskim. Wiele z tych stref uskokowych rozciąga się również i na młodsze utwory geologiczne, co widoczne jest na obrazie horyzontu refleksyjnego „C” (fig. 2). Obserwujemy wyraźne zachowanie się wszystkich wymienionych wcześniej stref dyslokacyjnych, chociaż obraz ich jest nieco uboższy. Zanik uskoków w przybrzeżnej części obszaru morskiego w strefie Kamienia (I) wynika z braku horyzontu „C” w tym obszarze. Strefa Trzebiatowa (III) w horyzoncie „C” ma charakter fleksury.

Jak widać z przytoczonych przykładów, dyslokacje nieciągłe odgrywają niebagatelną rolę w tektonice tego obszaru. Wzdłuż zasadniczych stref dyslokacyjnych mamy do czynienia z zaangażowaniem różnych wiekowo utworów geologicznych. Możliwość prawidłowej i jednocześnie obie-

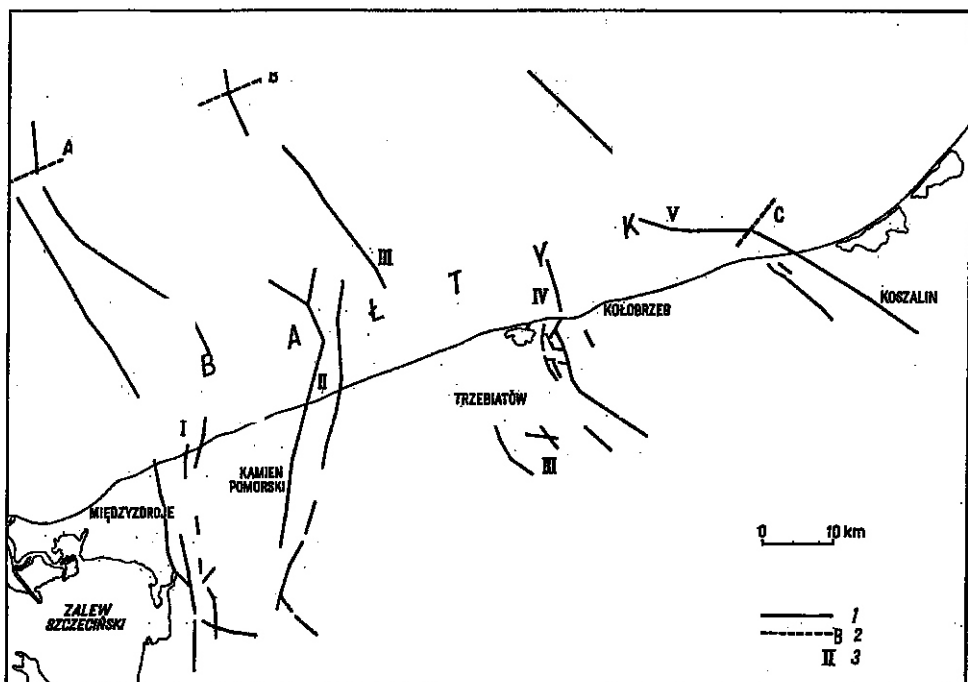


Fig. 2. Mapa ważniejszych stref uskokowych stwierdzonych w horyzoncie sejsmicznym C (spąg retyku)

Sketch of more important fault zones ascertained at the seismic horizon C (bottom of Rhaetic)

Objaśnienia jak na fig. 1

Explanations as in Fig. 1

ktywnej interpretacji materiałów sejsmicznych pod kątem wydzielania uskoków odgrywa ważną rolę w rozpatrywanym rejonie. Z tego też względu w dalszej części przedstawiony zostanie na przykładzie wybranych fragmentów morskich przekrojów sejsmicznych sposób wykorzystania fal dyfrakcyjnych dla bliższej identyfikacji poszczególnych uskoków. Pozwala to na przejście od dotychczas stosowanej interpretacji jakościowej do ilościowej analizy materiałów sejsmicznych.

## FALE DYFRAKCYJNE PRZY USKOKU

Ogólnie wiadomo, że analizę obrazu falowego wzdłuż przekroju sejsmicznego jest o wiele łatwiej przeprowadzić od chwili, gdy wprowadzone zostały do badań aparatury sejsmiczne z rejestracją magnetyczną, a uzyskiwane wyniki są przedstawiane w formie sekcji czasowych (S. Młynarski, 1966). Na przekrojach czasowych, opracowanych na centralach sejsmicznych, niezależnie od fal użytecznych (refleksyjnych) obserwuje się szereg fal zaburzających, które nie są celem prowadzonych badań. Na ogół przy pomocy różnych operacji na centralach staramy się fale zaburzające

wyeliminować z ostatecznego rezultatu, co jednak w całej rozciągłości jest trudne do osiągnięcia.

Fale zaburzące możemy podzielić na nieregularne i regularne. Fale dyfrakcyjne zaliczamy do grupy regularnych. Mimo iż są to fale zaburzące, w niektórych przypadkach mogą one jednak dostarczyć dodatkowych informacji dla prowadzonej interpretacji. Z sytuacją taką mamy do czynienia, gdy rozpatrujemy fale dyfrakcyjne wywołane przez krawędź uskoku<sup>1</sup>. Wydzielenie tych fal, na tle całego obserwowanego obrazu falowego, pozwala na dokładniejszą, a co najważniejsze — bardziej obiektywną interpretację stref dyslokacyjnych.

Wykorzystujemy przy tym tę właściwość, że każdy punkt leżący na wspomnianej krawędzi jest źródłem fali dyfrakcyjnej. Fala ta rozchodzi się we wszystkich kierunkach wzdłuż tworzących stożków z wierzchołkiem w punkcie dyfrakcji. Fala dyfrakcyjna powstała na tej krawędzi może być obserwowana wzdłuż przekrojów sejsmicznych. Nie bez znaczenia jest jednak kierunek poszczególnych profili w stosunku do rzutu krawędzi uskoku na płaszczyznę obserwacji, a tym samym w stosunku do kierunku uskoku.

Na podstawie analizy przebiegu fali dyfrakcyjnej wywołanej przez uskoku można wyprowadzić wzór na hodograf tej fali (J. Cornea, D. Ene-scu, 1968). W przypadku gdy profil ma kierunek prostopadły do uskoku, można wykazać, że równanie hodografu dla fali dyfrakcyjnej ma postać:

$$t_d = \pm \frac{1}{V_{\text{sr}}} \{ \sqrt{\Delta^2 + H^2} + \sqrt{(y - \Delta)^2 + H^2} \} \quad (1)$$

gdzie:  $t_d$  — czas przejścia fali dyfrakcyjnej  
 $V_{\text{sr}}$  — prędkość średnia do krawędzi uskoku  
 $\Delta$  — odległość punktu strzałowego od rzutu krawędzi na płaszczyznę obserwacji  
 $H$  — głębokość krawędzi uskoku  
 $y$  — odległość punktu obserwacji od punktu strzałowego

Jeżeli weźmiemy pod uwagę jednocześnie równanie hodografu refleksyjnego zapisane w formie:

$$t_r = \frac{1}{V_{\text{sr}}} \sqrt{4H^2 + y^2 + 2Hy \sin \varphi} \quad (2)$$

gdzie:  $t_r$  — czas przejścia fali refleksyjnej  
 $\varphi$  — kąt nachylenia horyzontu refleksyjnego do płaszczyzny obserwowanej

i pozostałe oznaczenia jak w równaniu (1), to możemy porównać nachylenia obu hodografów. Z zestawienia tych równań wynika, że w tym przypadku nachylenia obu hiperbol są zdecydowanie różne. Równanie dla

<sup>1</sup> Uskok rozumiany jest w poniższych rozważaniach jako przesunięcie konkretnie rozpatrywanej warstwy, która jest źródłem fal sejsmicznych. W tym sensie „krawędź uskoku” jest równoznaczna z krawędzią powstałą z przecięcia powierzchni tej warstwy z powierzchnią uskoku.

fali dyfrakcyjnej ma zawsze hiperbole o większym gradiencie niż w przypadku fali refleksyjnej. Jest to zatem sytuacja, gdy na tle fal refleksyjnych wydzielenie fal dyfrakcyjnych nie powinno sprawiać trudności.

Z chwilą gdy rozpatrzmy profil sejsmiczny przebiegający równoległe do rzutu krawędzi uskoku na płaszczyznę obserwacji, można wykazać, że wtedy równanie hodografu fali dyfrakcyjnej wywołanej przez uskok ma postać:

$$t_d = \pm \frac{1}{V_{\text{fr}}} \sqrt{y^2 + 4(\Delta^2 + H^2)} \quad (3)$$

co jest niczym innym jak równaniem hodografu fali refleksyjnej dla horyzontu refleksyjnego występującego na głębokości

$$h = \sqrt{\Delta^2 + H^2}$$

Widać z tego, iż w przypadku gdy profil sejsmiczny jest równoległy do uskoku, wówczas fale dyfrakcyjne z nim związane mają taki sam obraz jak fale refleksyjne, a więc nie można ich wydzielić z obserwowanego obrazu falowego. Stąd wniossek, że dla wykorzystania fal dyfrakcyjnych w celu wydzielenia uskoku trzeba rozpatrywać przekroje sejsmiczne mające kierunek prostopadły do strefy dyslokacyjnej.

W celu możliwości analizy ilościowej fal dyfrakcyjnych wywołanych przez uskok konieczna jest bliższa znajomość charakteru tych fal, obserwowanego na sekcji czasowej. Można to uzyskać dzięki konstrukcji odpowiednich diagramów hodografów fal dyfrakcyjnych, wykorzystując w tym celu równania (1) i (2).

W równaniu (1) jako zmienne występują m.in.  $V_{\text{fr}}$  i  $H$  w funkcji czasu ( $t$ ). Zakresy, w jakich  $V_{\text{fr}}$  i  $H$  zmieniają się, są różne dla poszczególnych obszarów. Na podstawie przeanalizowania pomiarów prędkości średnich w otworach wiertniczych oraz innych danych dotyczących prędkości efektywnych na Pomorzu Zachodnim ustalono w jakich granicach ulegają zmianie  $H$  i  $V_{\text{fr}}$  dla określonych wartości czasów. Dane te zostały przedstawione na fig. 3. Dla  $y$  i  $\Delta$  mogą być przyjęte wartości wynikające z metodyki prac polowych. Należy jednak podkreślić, że te ostatnie parametry nie mają wpływu na uzyskany kształt hodografu. Można zatem stwierdzić, że forma hodografu fali dyfrakcyjnej związanego z uskokiem nie zależy od metodyki prac polowych, a w szczególności od geometrii rozstawu.

Dla analizy hodografów fal dyfrakcyjnych w obszarze Pomorza Zachodniego skonstruowano odpowiednie diagramy (fig. 4). Diagramy te wykonano w skali przekrojów czasowych, które stanowiły podstawę do analizy stref dyslokacyjnych. W celu obliczenia diagramów przyjęto wartości  $-400 \text{ m} < y < 400 \text{ m}$  i  $\Delta$  co  $400 \text{ m}$ . Jednocześnie dla każdego rozstawu obliczono przebieg fali dyfrakcyjnej uwzględniając obowiązującą w danym przypadku poprawkę dynamiczną. W efekcie uzyskany diagram odpowiada hodografom fal dyfrakcyjnych, poprawionym o wartości sprwadające falę refleksyjną do linii prostej. Otrzymaliśmy w ten sposób przebieg fali dyfrakcyjnej, jaki obserwujemy na sekcji czasowej, gdzie wprowadzone zostały poprawki dynamiczne (fig. 4). Dla czasów 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 sek występują po dwa hodografy o skrajnych wartościach

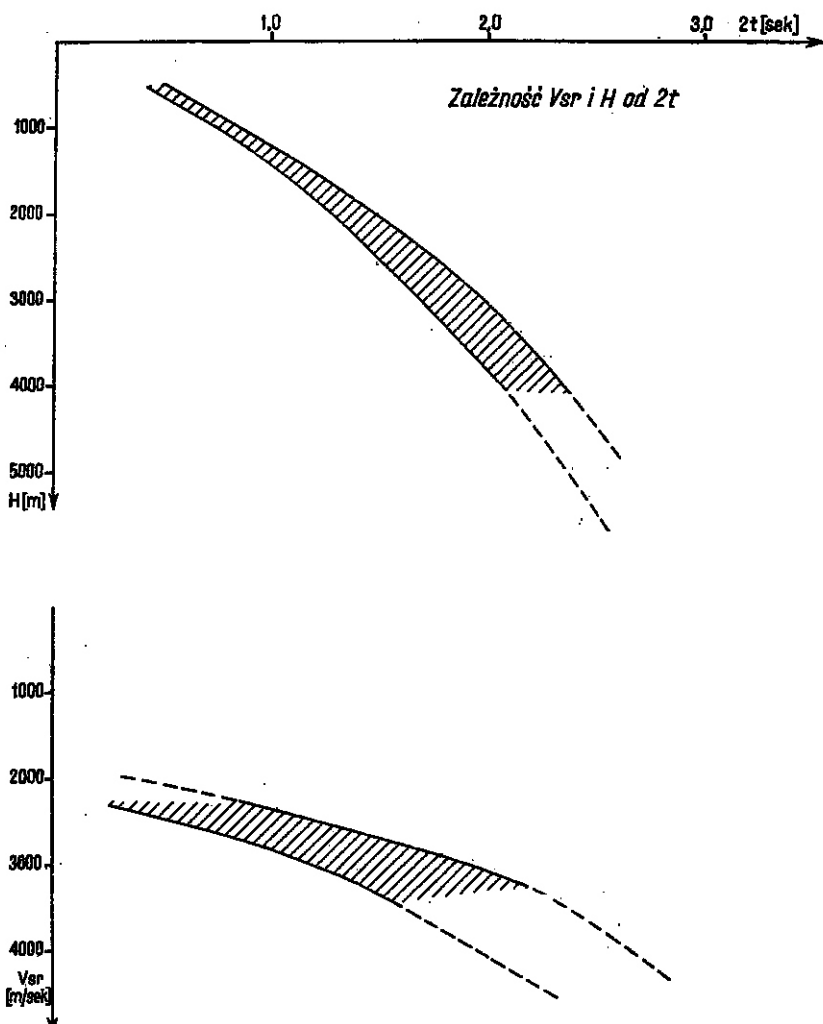


Fig. 3. Zakres zmian  $V_{fr}$  i  $H$   
Interval of changes  $V_{fr}$  and  $H$

$H$  i  $V_{fr}$ . Wartości te przyjęte zostały dla rozpatrywanego rejonu badań na podstawie wykresów przedstawionych na fig. 3.

Z przedstawionych wcześniej założeń wynika, że na przekroju sejsmicznym, mającym kierunek prostopadły lub bardzo zbliżony do prostopadłego w stosunku do uskoku, hodograf fali dyfrakcyjnej związanej z uskokiem i hodograf obserwowany na sekcji czasowej powinien być zawarty, dla danego czasu, między skrajnymi hodografami przedstawionymi na diagramie (fig. 4). Jak to już zostało podkreślone, musi być spełniony warunek wykonania diagramu w skali sekcji czasowej, a zatem musimy mieć do czynienia ze stałą skalą poziomą wzdłuż przekroju. Taką sytuację

mamy, gdy geometria rozstawu nie ulega zmianie lub w niektórych przypadkach dzięki odpowiedniemu opracowaniu materiałów na centrali sejsmicznej. W przypadku gdyby skala pozioma ulegała zmianie i w miejscu tym występowała konieczność analizy fal dyfrakcyjnych, musielibyśmy skonstruować specjalne diagramy przydatne tylko w tym konkretnym przypadku.

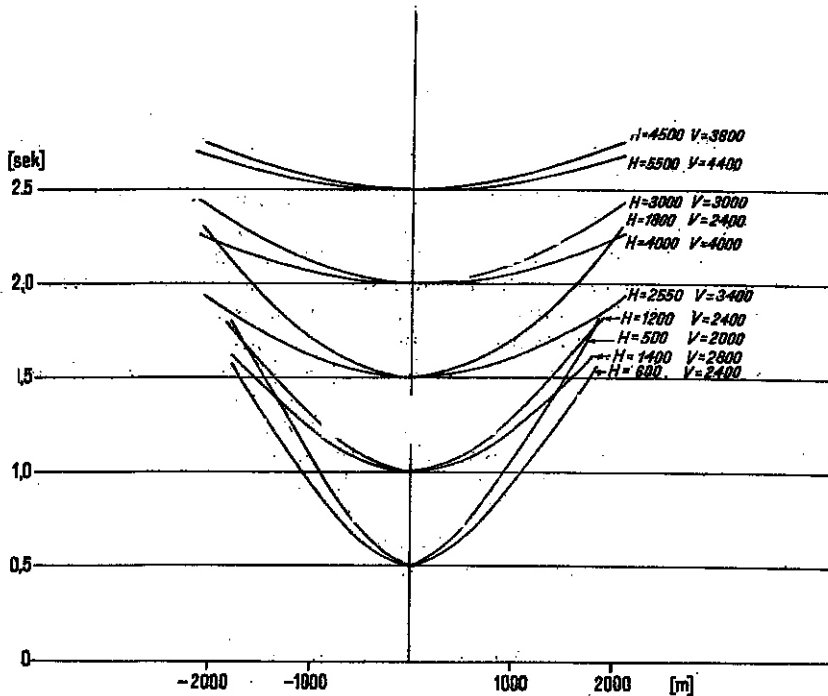


Fig. 4. Diagram dla obserwowanej fali dyfrakcyjnej, wywołanej przez kraweź uskoku

Diagram for observed diffraction wave caused by fault edge

Konstrukcja diagramów, które mogą posłużyć do wydzielenia fal dyfrakcyjnych związanych z uskokiem, jest możliwa dzięki dużym różnicom krzywizn pomiędzy tymi hodografami a odpowiadającymi tym samym czasem hodografami fal refleksyjnych. Diagramy te powinny pozwolić na ilościową i bardziej obiektywną interpretację stref dyslokacyjnych.

#### WYDZIELANIE STREF DYSLOKACYJNYCH NA SEKCJI CZASOWEJ

Właściwości fal dyfrakcyjnych wywołanych przez uskok i wyrażonych w postaci diagramów wykorzystane zostały do analizy przekrojów sejsmicznych, dla których mamy sekcje czasowe. Fragmenty sekcji czasowych przekrojów sejsmicznych obejmujące strefy dyslokacyjne przedstawione

są na tabl. I, II, III (fig. 5, 6, i 7). Z lokalizacji tych odcinków (zaznaczonej na fig. 1 i 2) widać, że mamy do czynienia z kierunkiem praktycznie prostopadłym do dyslokacji. Na sekcjach czasowych przeprowadzono interpretację wyznaczając obserwowane horyzonty refleksyjne i fale zaburzające. Te ostatnie wyraźnie występują w strefach zaniku śledzenia poziomów refleksyjnych. Po wyznaczeniu wszystkich fal zaburzających, wykorzystując skonstruowane diagramy, wydzielono te fale, które można uważać za fale dyfrakcyjne wywołane przez uskok.

Fragm. przekroju sejsmicznego A (tabl. I, fig. 5) zlokalizowany jest w północnej części strefy dyslokacyjnej Kamienia. Na sekcji tej obserwujemy w obszarze zaniku śledzenia horyzontów refleksyjnych szereg fal dyfrakcyjnych, które można wiązać ze strefą dyslokacyjną. Fale te występują na różnych liniach czasu i pozwalają na stosunkowo dokładne zlokalizowanie uskoku.

Na fragmencie B tego samego przekroju sejsmicznego, położonym w północnej części strefy Trzebiatowa (tabl. II, fig. 6), mamy do czynienia z bardziej złożonym obrazem fal zaburzających. Na podstawie diagramów udało się na linii czasu ok. 1,5 sek. wyznaczyć miejsce, gdzie obserwowany horyzont refleksyjny, zapadający w kierunku SE urywa się i przechodzi w falę dyfrakcyjną. Pozwala to na stosunkowo precyzyjne w tym przypadku określenie uskoku, który jest jednocześnie potwierdzony przez inne obserwowane w tym miejscu fale dyfrakcyjne. Na sekcji czasowej (tabl. II, fig. 6) obserwuje się również szereg innych fal zaburzających, które nie mogą być wywołane przez uskok. Krzywizny hodo- grafów tych fal są na ogół większe od przedstawionych na diagramie (fig. 4). Warte jest również podkreślenia istnienia fali zaburzającej na linii czasu ok. 2,2 sek., która może być wielokrotną falą dyfrakcyjną dla fali zarejestrowanej na linii czasu ok. 0,45 sek.

Rozpatrując fragment przekroju sejsmicznego przechodzący przez strefę Koszalina (tabl. III, fig. 7) widzimy, że i w tym przypadku można wydzielić fale dyfrakcyjne związane z uskokiem i pozwalające na jego zlokalizowanie. Na sekcji tej podobnie jak na figurze 6 obserwujemy obok poziomów refleksyjnych i wspomnianych fal dyfrakcyjnych szereg innych fal zaburzających o charakterze podobnym do fal dyfrakcyjnych. Z uwagi na ich na ogół większą krzywiznę fale te nie mogą być interpretowane jako związane bezpośrednio z uskokiem.

Z przytoczonych wyżej przykładów widać, że w obserwowanym obrazie falowym tylko niektóre fale mogą być interpretowane jako fale dyfrakcyjne wywołane bezpośrednio przez uskok. Dodatkowym utrudnieniem jest konieczność posiadania przekrojów sejsmicznych o kierunku prostopadłym do krawędzi uskoku. Jednak analiza opisanych wyżej fal dyfrakcyjnych dostarcza dodatkowych informacji prowadzących do obiektywnej interpretacji stref dyslokacyjnych. Przytoczone przykłady związane są z uskokiemi o charakterze regionalnym i potwierdzają dokonaną wcześniej interpretację (fig. 1 i 2). Problem dokładnego wyznaczenia dyslokacji nabiera większej wagi z chwilą, gdy przechodzimy w tym rejonie od prac o charakterze regionalnym do badań szczegółowych.



## PIŚMIENNICTWO

- CORNEA J., ENESCU D. (1966) — Sur la nature de certaines ondes rencontrées au cours des travaux de prospection en Roumanie et leur interprétation géologique. *Int. Geol. Congr., Rep. XXIII, Sess. Proc. Sect., 5*, p. 143—157. Prague.
- DADLEZ R., MLYNARSKI S. (1967) — Wgłębna budowa geologiczna podłoża Bałtyku na wschód od ujścia Odry. *Kwart. geol.*, 11, p. 488—501, nr 3. Warszawa.
- DADLEZ R. (1970) — W sprawie budowy geologicznej okolic Zalewu Szczecińskiego. *Kwart. geol.*, 14 p. 303—312, nr 2. Warszawa.
- MLYNARSKI S. (1966) — Problemy metodyki badań sejsmicznych na morzu. *Prz. geol.*, 14, p. 274—276, nr 8. Warszawa.
- POZARYSKI W. (1970) — Szkieł geologiczny obszaru środkowego Bałtyku. *Prz. geol.*, 18, p. 320—322, nr 7. Warszawa.

---

Стефан МЛЫНАРСКИ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФРАГИРОВАННЫХ ВОЛН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СБРОСОВ  
НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОГО ПРИМОРЬЯ**

Резюме

В статье на основании интерпретации сейсмических материалов представлено влияние дислокаций на тектоническое строение Западного Приморья. Полученные результаты позволяют выделить ряд зон дислокаций (фиг. 1, 2).

Для получения дополнительных информации, позволяющих на основании сейсмических исследований выделить нарушения, проанализирована картина волн, дифрагированных от края нарушения. Для годографов наблюдаемых дифрагированных волн составлены диаграммы (фиг. 4). На примерах временных секций (табл. I—III) показано наличие дифрагированных волн, связанных с нарушением. Целью данной работы является указание способа, позволяющего на основе результатов сейсмических работ объективно интерпретировать дислокационные зоны.

---

Stefan MLYNARSKI

**USE OF DIFFRACTION WAVES IN DETERMINING FAULTS  
WITHIN THE WEST POMERANIA AREA**

Summary

Based on the interpretation of seismic materials, the author presents the influence of dislocations upon tectonic structure of the West Pomerania area. The results obtained allow various dislocation zones of this area to be distinguished (Figs. 1—2).

To obtain additional information that may help in distinguishing faults using seismic methods, the nature of diffraction waves caused by fault edges has been analysed, and diagrams have been made for the hodographs of the diffraction waves observed (Fig. 4). Using time sections (Table I—III), the occurrence of diffraction waves related to the fault has been shown, too. The elaboration aims at presenting a method that might allow us, on the basis of the results obtained during seismic works, to interpret all dislocation zones, objectively.

---

TABLICA I

Fig. 5. Sekcja czasowa przekroju sejsmicznego — fragment A

Time section of seismic profile. Fragment A

1 — granice refleksyjne, 2 — fale dyfrakcyjne wywołane przez uskok,  
3 — inne fale zaburzające

1 — reflexion boundaries, 2 — diffraction waves caused by fault, 3 — other disturbing waves

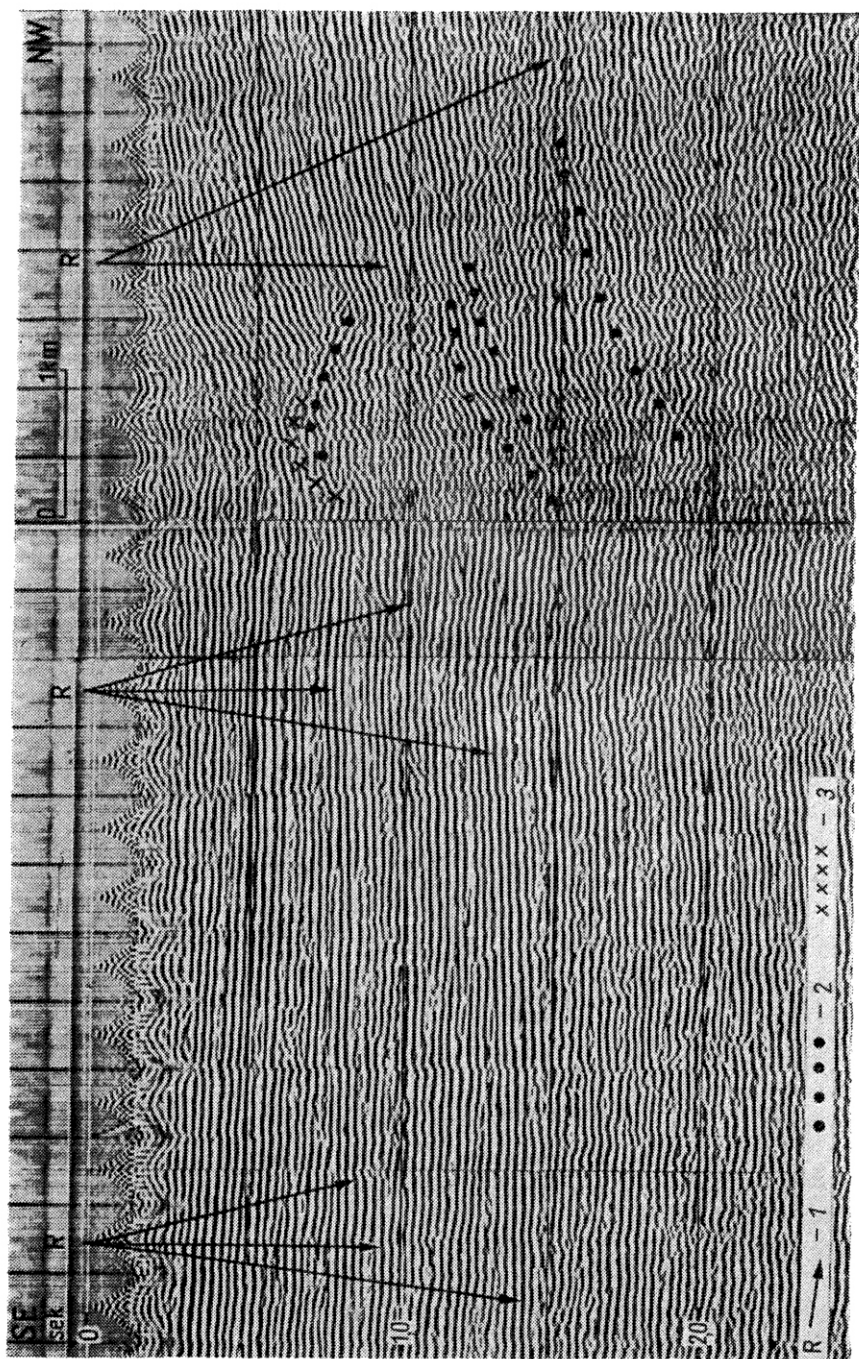


Fig. 5

Stefan MŁYŃNARSKI — Wykorzystanie fal dyfrakcyjnych dla wyznaczania uskoków w rej. Pomorza Zachodniego

**TABLICA II**

- Fig. 6. Słkcja czasowa przekroju sejsmicznego — fragment I**  
**Time section of seismic profile. Fragment B.**  
**Objaśnienia jak na fig. 5**  
**Explanations as in Fig. 5**

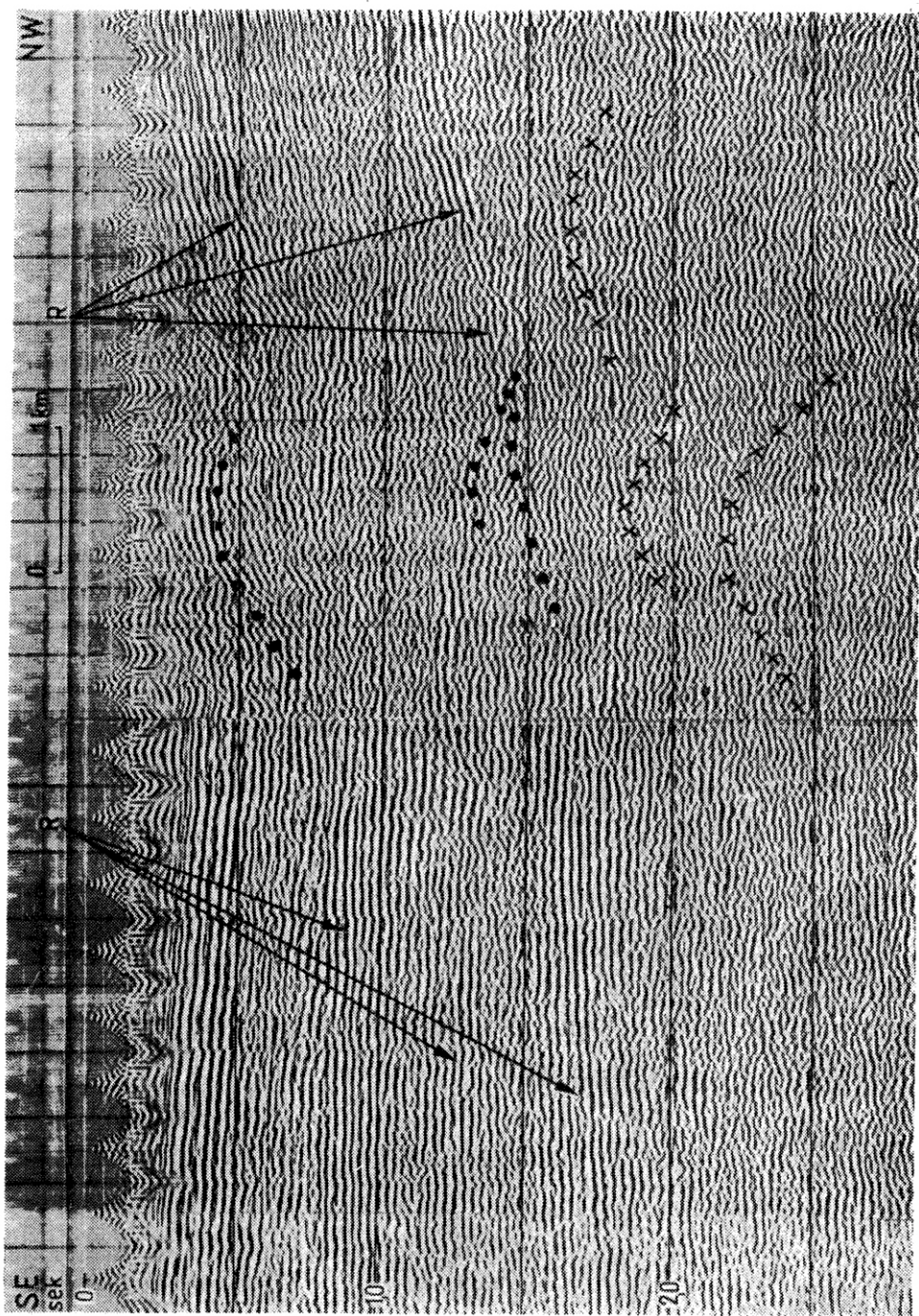


Fig. 6

Stefan MŁYNARSKI — Wykorzystanie fal dyfrakcyjnych dla wyznaczania uskoków w rej. Pomorza Zachodniego

**TABLICA III**

**Fig. 7. Sekcja czasowa przekroju sejsmicznego — fragment C**

**Time section of seismic profile. Fragment C**

**Objaśnienia jak na fig. 5**

**Explanations as in Fig. 5**

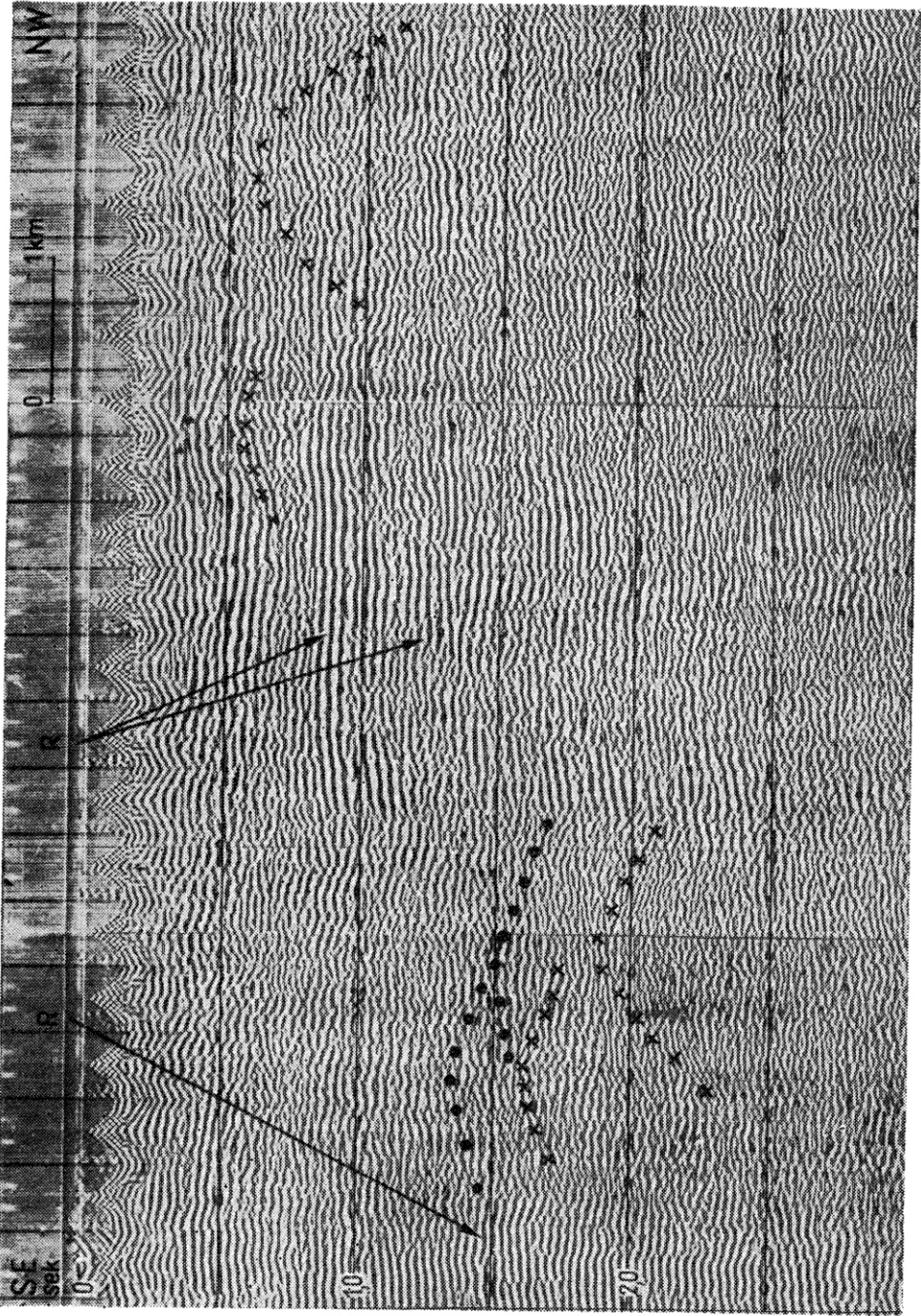


Fig. 7

Stefan MŁYNARSKI — Wykorzystanie fal dyfrakcyjnych dla wyznaczania uskoków w rej. Pomorza Zachodniego