

## STOSOWANIE WIELOKROTNYCH POKRYĆ W BADANIACH SEJSMICZNYCH

UKD 550.834.5(438)

W latach 1968/69 Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych wyposażono w analogowy sprzęt sejsmiczny z zapisem magnetycznym, umożliwiającą rejestrację drgań na taśmach magnetycznych, składanie sygnałów oraz przedstawianie wyników w postaci sekcji czasowych. Wymieniony sprzęt wyeliminował dotychczas stosowany w badaniach refleksyjnych zapis oscylograficzny i umożliwił zastosowanie nowej odmiany badań sejsmicznych, tzw. metody wielokrotnych pokryć. Metoda ta (wprowadzona w niewielkim zakresie w 1968 r.) znalazła szerokie zastosowanie w latach następnych, wyrażające się 1425 km przebadanych profili w 1969 r. i 1290 km w 1970 r. Wprowadzenie tak szerokości zmian w badaniach sejsmicznych w bardzo krótkim okresie było możliwe dzięki wcześniejszemu przeszkoleniu geofizyków przedsiębiorstwa w tym zakresie we Francji, W. Brytanii i NRF oraz wzięciu udziału w szkoleniu specjalistów geofizyków, zatrudnionych w Biurze d/s Poszukiwań Soli Potasowych FS ONZ.

Główne zadania, jakie zostały postawione przed metodą wielokrotnych pokryć w tym okresie można ująć w następujących punktach:

- 1) poprawa jakości wyników badań sejsmicznych ze szczególnym zwróceniem uwagi na utwory cechsztynu i starszego paleozoiku;
- 2) opanowanie nowej techniki pomiarów i przetwarzania materiałów w różnych odmianach metodycznych w nawiązaniu do warunków sejsmogeologicznych istniejących w danych jednostkach geologicznych.

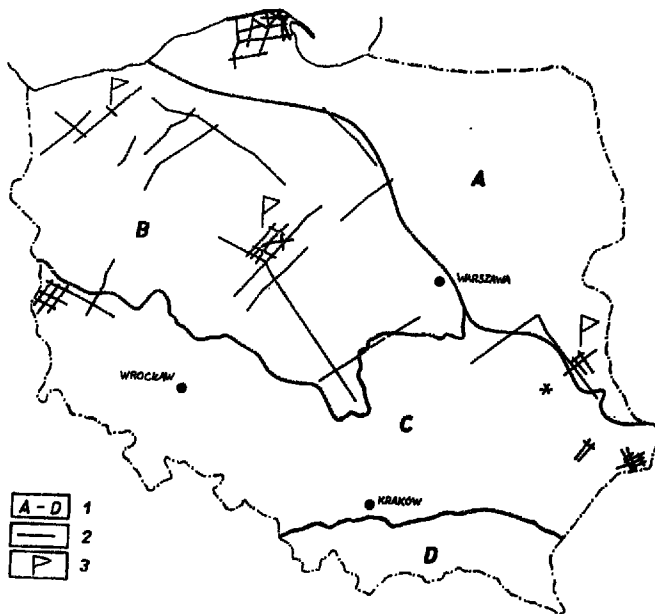
W pierwszym okresie wdrożenia nowej metodyki główną uwagę zwrócono na tzw. efekt statystyczny, tzn. na polepszenie sygnału fal użytecznych na tle zakłóceń nieregularnych, stosując w zasadzie krótkie rozstawy obserwacji. Problem usuwania refleksów wielokrotnych nie był w tym czasie zadaniem pierwszoplanowym. Powyższe postępowanie wiązało się z możliwością łatwiejszego opanowania nowej techniki pomiarów przy rozstawach środkowych, bez konieczności stosowania łączności radiowej do przekazywania momentu wybuchu i czasu pionowego, a także niedostatecznym doświadczeniem w zakresie określania poprawek dynamicznych.

Po opanowaniu techniki pomiarów rozpoczęto (początkowo w ramach prac doświadczalnych, a następnie w normalnych badaniach) stosowanie wydłużonych i odsuniętych od punktu strzałowego rozstawów odpowiednio dobranych do obrazu falowego w poszczególnych obszarach prac sejsmicznych. Jednocześnie wprowadzono wyższe rzędy pokryć — przechodząc ze stosowanych głównie w pierwszym okresie 4-krotnych, na pokrycie 6-krotne, rzadziej 12-krotne. W pracach obliczeniowych zabezpieczono również określanie odpowiednio dokładnych poprawek dynamicznych. W ten sposób wykorzystano możliwości tłumienia refleksów wielokrotnych stworzone przez nową metodykę badań. Należy podkreślić, że przez cały omawiany okres szczególną uwagę poświęcano zgadnieniu dobrego rozpoznania warunków powierzchniowych tak dla doboru parametrów wzbudzenia drgań, jak i określenia poprawek statycznych.

Nową metodykę badań zastosowano tak do prac o charakterze regionalnym, jak i do zdjęć powierzchniowych: szczegółowych i półszczełowych (ryc. 1).

Celem wspomnianych badań regionalnych głównie było poznanie zalegania utworów piętra permomezozoicznego do spągu cechsztynu włącznie (obniżenie wielkopolskie) lub poznanie ułożenia warstw starszego paleozoiku i przebiegu ważniejszych dyslokacji (pd. część platformy wschodnioeuropejskiej). Badania powierzchniowe na obszarze wyniesienia Łęby, perykliny Żar, synklinorium mogileńskiego i antyklinorium kujawskiego miały za zadania śledzenie poziomów refleksyjnych, związanych ze stropowymi i spągowymi partiami cechsztynu. W dwóch pierwszych tematach dodatkowym zadaniem było także poznanie utworów śródczechsztyńskich. Pozostałe zdjęcia powierzchniowe rozmieszczone na wyniesieniu zrębowym podlasko-lubelskim i synklinorium lubelskim miały na celu poznanie budowy geologicznej wcześniej wykrytych struktur i sporządzenie map dla poziomów starszego paleozoiku.

Rozmieszczone na obszarze niemal całej Polski badania sejsmiczne są wykonywane w rejonach posiadających zasadnicze różnice we wglębnych właściwościach sejsmogeologicznych, wyrażające się różnymi profilami prędkościowymi, co ma istotny wpływ



Ryc. 1. Sytuacja profili sejsmicznych wykonanych przez PPG w latach 1968—1970 metodą wielokrotnych pokryć na tle mapy jednostek geologicznych Polski.

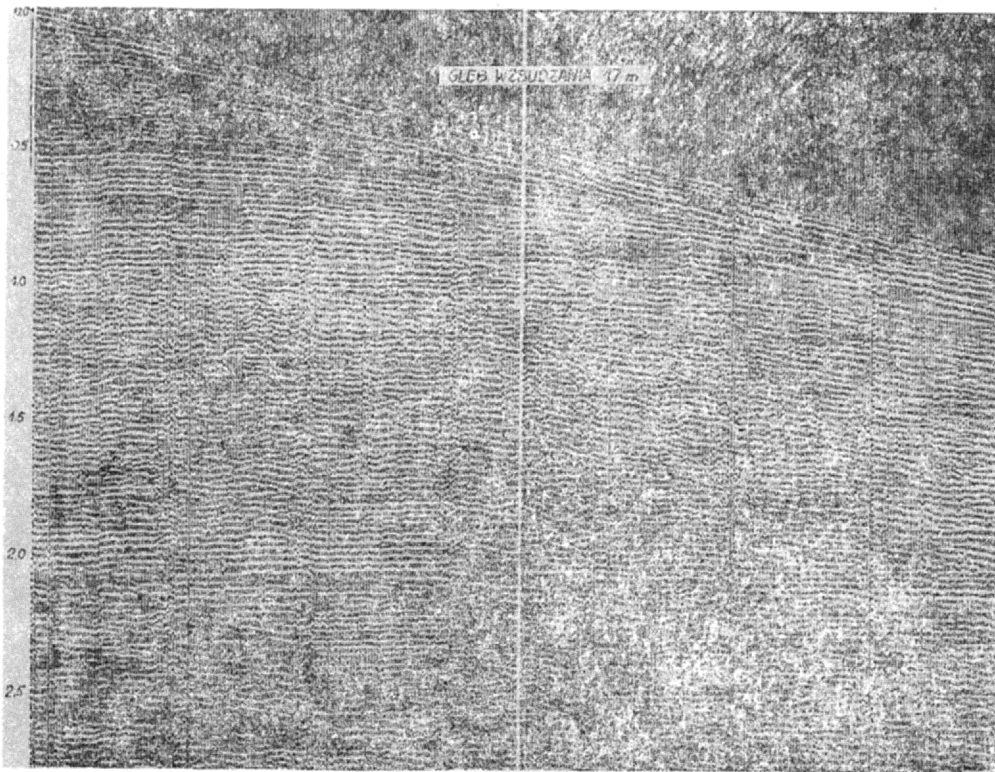
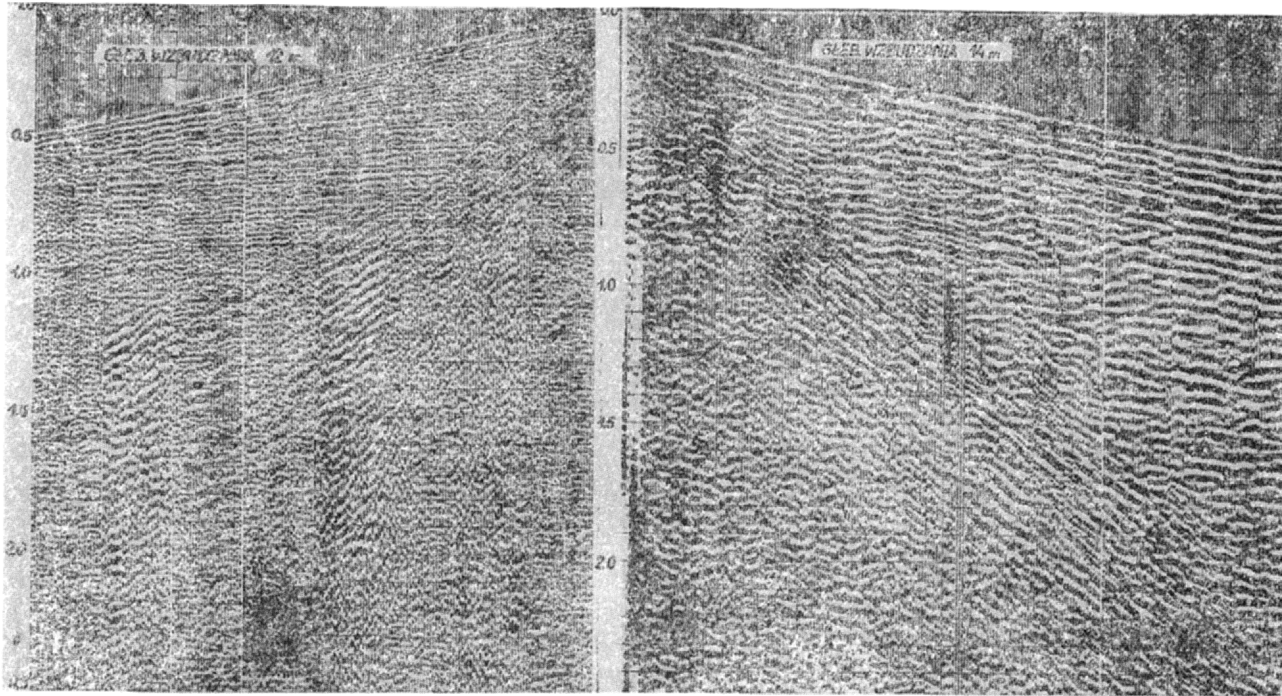
1 — jednostki tektoniczne I rzędu wg J. Sokołowskiego, 2 — profile sejsmiczne, 3 — pomiary obrazu falowego.

Fig. 1. Situation of seismic profiles made by PPG in the years 1968—1970 using method of multiple coverings, presented on the map of geological units of Poland.

1 — tectonic units of I order, according to J. Sokołowski, 2 — seismic profiles, 3 — measurements of wave image.

a

b



c

Ryc. 2. Przykłady rejestracji obrazu falowego w różnych warunkach seismologicznych.

a — obniżenie lubelskie, b — antyklinorium pomorskie, c — synklinorium mogileńsko-łódzkie.

Fig. 2. Examples of recording a wave image under various seismological conditions.

a — Lublin depression, b — Pomeranian anticlinorium, c — Mogilno-Łódź synclinorium.

Tabela I

Lp.	Wybrany parametr	Aparatura T-1 Fortune	Aparatura AS 626 Sercel-Fortune	Aparatura Rx-IIIS Vebgeophysik
1	Charakterystyka częstotliw. pasmo przeniesienia Hz	4—250	14—160	15—150
2	Regulacja wzmacnienia automatyczna programowana	regulacja na wejściu wspólna dla wszystkich kanałów sterowana centralnie przez operatora. Możliwość odtworzenia rzeczywistych amplitud na każdym kanale	regulacja na wejściu indywidualna dla każdego kanału automatycznie sterowana w przedziale 60 dB. Możliwość odtworzenia rzeczywistego wzmacnienia średniego wszystkich kanałów	regulacja na wejściu wspólna dla wszystkich kanałów nie istnieje
3	Rejestrator magnetyczny system modulacji dynamika rejestracji czas rejestracji wymiary taśmy	AM 50 dB 6,0 sek 625,5×178,0	AM 50 dB 6,0 sek 625,5×178,0	AM 42 dB 4,2 sek 630×110,0

na jakość refleksów. Poszczególne obszary badań wykazują także zupełnie inne poziomy zakłócających fal powierzchniowych w stosunku do fal użytecznych. Na ryc. 2 przedstawiono sekcje obrazu falowego otrzymane w trzech różnych rejonach. Zastosowano tu do rejestracji małe odległości między kanałami (5 m) i szeroki przedział filtracji elektrycznej. Jeżeli na ryc. 2c charakterystycznym dla badań w obszarze synklinorium mogileńsko-bódkim mamy bardzo dobry stosunek sygnału do zakłóceń, to w pozostałych regionach odpowiadających ryc. 2a (obniżenie lubelskie) i ryc. 2b (antyklinorium pomorskie) stosunek ten ulega istotnemu pogorszeniu, a uzyskanie czytelnych refleksów wymaga specjalnych zabiegów metodycznych.

Zrealizowanie wytyczonego programu w okresie 1969/70 r. umożliwiło powszechne wprowadzenie metody wielokrotnych pokryć do badań refleksyjnych w 1971 r.

#### METODYKA WYKONANYCH PRAC POMIAROWYCH

Badania terenowe prowadzono 24-kanałowymi aparatami pracującymi oddzielnie, a od 1970 r. również i dwoma aparatami sprzężonymi. Stosowano przeważnie rozstawy skrajne, a rzadziej odsuwane od punktów wzbudzania oraz rozstawy środkowe. W przypadku prowadzenia prac dwoma aparatami sprzężonymi punkty strzałowe lokalizowano najczęściej między 24 kanałami pierwszej aparatury, a 1 kanałem aparatury drugiej. Niekiedy w celu uzyskania lepszego tłumienia refleksów wielokrotnych rozstawy przedłużano, ustawiając dwie aparaty po jednej stronie punktu strzałowego.

Schemat prac dwoma aparatami sprzężonymi przy 6-krotnym profilowaniu i skrajnym rozmieszczeniu punktów wzbudzania (w stosunku do pojedynczej aparatury) przedstawia ryc. 3. Prace metodą wielokrotnych pokryć prowadzono najczęściej przy zastosowaniu 50 i 75 m odległości między kanałami; niekiedy skracano je do 35 m lub wydłużano do 100 m. Trzeba nadmienić, że w przedsiębiorstwie skonstruowano urządzenie umożliwiające odpalanie ładunków materiałów wybuchowych i rejestrowanie momentu wybuchu drogą radiową, w związku z czym stworzono możliwości wydłużania rozstawów lub ich odsuwania od PS.

Prace polowe prowadzono z zastosowaniem grupowania geofonów w ilości 24 na kanał. Schematy ustawiania geofonów były dostosowane do istniejącego obrazu falowego. Na ogół geofony ustawiano wzdłuż profilu w dwóch liniach odległych od siebie o 3 m. Rozmieszczano je również w kształcie litery

„Y”, tj. dwie grupy geofonów ustawiono pod kątem 15—30° do profilu i jedną po profilu (każda grupa liczyła po 8 sztuk geofonów). Należy podkreślić, że bazy grupowanych geofonów nigdy nie przekraczały stosowanych odległości między kanałami.

Wzbudzanie fal dokonywano w otworach strzałowych, których przedział głębokości i ilości był dość duży. Najczęściej ładunki odpalano w trzech otworach o głębokości 12—20 m usytuowanych wzdłuż profilu w odległości 10—15 m. Około 10% prac wykonano przy strzelaniu z pojedynczych otworów. Optymalne głębokości otworów określano na podstawie pomiarów strefy małych prędkości. W dość dużym zakresie, bo w około 35% (w 1970 r.) stosowano grupowanie płytkich otworów o głębokości do 6 m, a najczęściej 1,5—2,5 m. Ilość otworów płytkich jednocześnie odpalanych wahała się od 25 do 81, przeważnie od 36 do 49. Schemat rozmieszczenia otworów pokazano na ryc. 4a. Wiercenie płytkich otworów było znacznie ułatwione dzięki skonstruowaniu w przedsiębiorstwie wiertnicy o napędzie hydraulicznym (WH-II (ryc. 5).

Wielkość odpalanych ładunków materiałów wybuchowych zależała od warunków sejsmogeologicznych wzbudzania, jak również od czułości stosowanych aparatów, wynosiła od 2 do 25 kg, średnio 8 kg. Do wzbudzania fal oprócz dynamitu stosowano również lont detonacyjny pentrytowy, wodoodporny o prędkości detonacji około 7000 m/s. Na jeden strzał odpalano od 250 do 500 m lontu umieszczonego w rowkach o głębokości 20 cm. Rozmieszczenie lontu na punkcie strzałowym przedstawiono na ryc. 4b.

W celu określenia optymalnych głębokości strzelania i wielkości poprawek statycznych przeprowadzono pomiary strefy małych prędkości w formie sondowań płytkiej refrakcji lub mikrosejsmogramów. Częstość pomiarów uzależniona była od urozmaicenia morfologii powierzchni ziemi, jak również od głębokości zalegania wód gruntowych. W przypadku dobrej ciągłości śledzonych na sejsmogramach horyzontów refleksyjnych częstości pomiarów dla badania SMP były mniejsze niż w przypadku skomplikowanych utworów geologicznych, gdzie ciągłość korelacyjna nie była zachowana.

Ogólnie można stwierdzić, iż metodyka badań ulegała systematycznemu doskonaleniu, począwszy od stosowania stosunkowo niskich rzędów pokryć i rozstawów środkowych, poprzez rozstawy skrajne, następnie środkowe i skrajne rozstawy 48-kanałowe do rozstawów odsuniętych o specjalnie dobranych parametrach dla eliminacji określonych grup refleksów wielokrotnych.

Ryc. 3. Schemat rejestracji dwoma aparatami sprzężonymi przy 6-krotnym pokryciu i skrajnym rozmieszczeniu punktów wzbudzenia.

a — schemat połączeń na rozstawie, b — schemat strzelania, c — schemat składania wspólnych punktów odbicia.

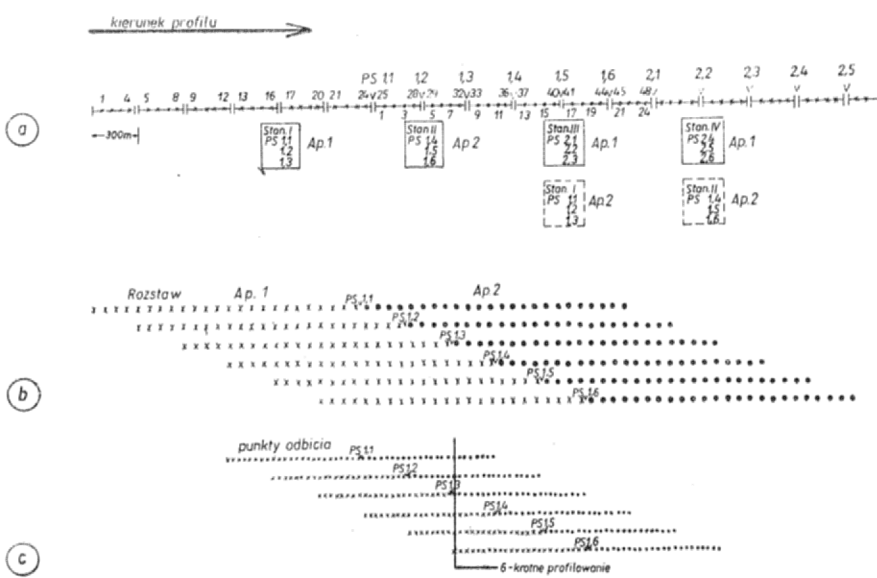
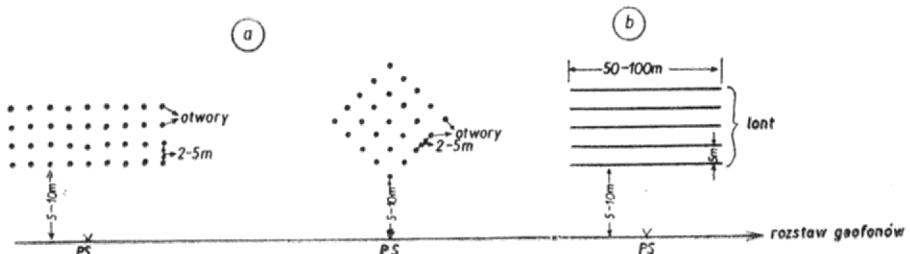


Fig. 3. Scheme of recording by means of two coupled instruments during 6-fold covering, and extreme position of induction points,

a — scheme of connections, b — scheme of firing, c — scheme of assembling common reflection points.

Nr strzału	Nr kanałów do sumowania 6-krotne profilowanie
1.1	17* 18* 19* 20* 21* 22* 23* 24*
1.2	9* 10* 11* 12* 13* 14* 15* 16* 17* 18* 19* 20* 21* 22* 23* 24*
1.3	1* 2* 3* 4* 5* 6* 7* 8* 9* 10* 11* 12* 13* 14* 15* 16* 17* 18* 19* 20* 21* 22* 23* 24*
1.4	17* 18* 19* 20* 21* 22* 23* 24*
1.5	9* 10* 11* 12* 13* 14* 15* 16* 17* 18* 19* 20* 21* 22* 23* 24*
1.6	1* 2* 3* 4* 5* 6* 7* 8* 9* 10* 11* 12* 13* 14* 15* 16* 17* 18* 19* 20* 21* 22* 23* 24*



Ryc. 4. Przykłady rozmieszczenia płytkich otworów (a) i lontu detonacyjnego (b) na punktach strzałowych.

Fig. 4. Examples of distribution of shallow holes (a) and detonating cord (b) at shot points.

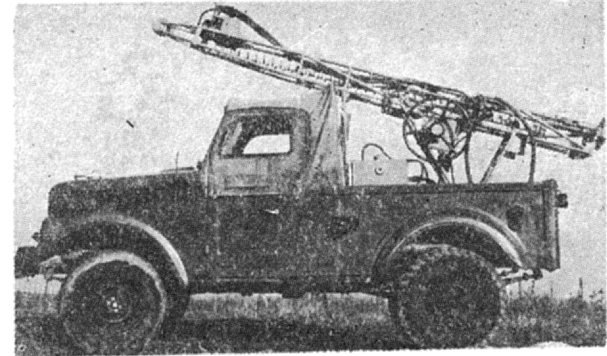
APARATURY POŁOWE I CENTRALE INTERPRETACYJNE

Aparatury

Do badań terenowych zastosowano aparaty produkcji: amerykańskiej firmy Fortune, francuskiej firmy Sercel — z rejestratorem firmy Fortune oraz NRD — typ Rx-II-S. Zestawienie ważniejszych parametrów tych aparatów podano w tab. I. W sezonie prac 1970 r. zarówno aparaty Fortune, jak i Rx były włączone do pracy jako sprzężone, z jednoczesną rejestracją na 48 kanałach. W badaniach polowych używano geofonów HSJ-14 Hz produkcji amerykańskiej firmy Geo-Space oraz geofonów GF-9, 20 Hz produkcji własnej PPG. Kable geofonowe (produkcji holenderskiej firmy Sensor) były specjalnie przystosowane do wielokrotnych pokryć, w odcinkach po 3 wyprowadzenia co 80 cm. Posiadały one 32 żyły „sejsmiczne” i 2 żyły do rozmów telefonicznych. Łączność radiową zabezpieczono radiostacjami Motorola CC 1040 i Mors. FM-302.

Centrale do przetwarzania analogowego

Opracowanie taśm magnetycznych i sporządzanie przekrojów czasowych odbywało się na dwóch cen-



Ryc. 5. Wiertnica hydrauliczna produkcji PPG do płytkich otworów strzałowych.

Fig. 5. Hydraulic rig produced by Enterprise for Geophysical Prospections (PPG) for shallow shot points.

tralach analogowych; produkcji amerykańskiej firmy Fortune z modulacją amplitud (AM) oraz francuskiej firmy Sercel z systemem modulacji szerokości impulsu. Porównanie ważniejszych parametrów obu central przedstawia tab. II.

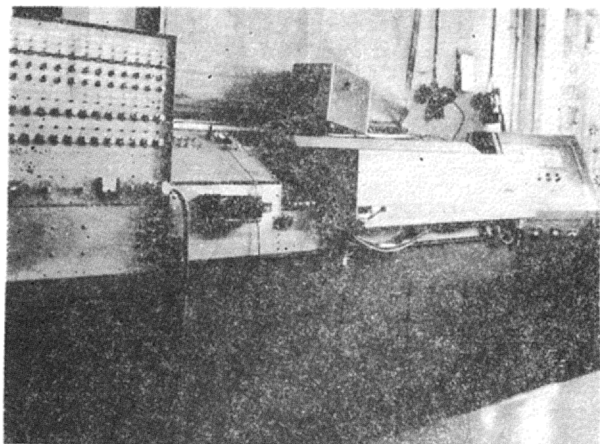
PORÓWNANIE PARAMETRÓW POSIADANYCH CENTRAL

Lp.	Wybrane parametry	CS 621 Sercel	Fortune Electro Fab
1	System pracy	1-kanałowy	24-kanałowy
2	Modulacja zapisu	szerokość impulsu	amplitudowa
3	Standard taśm na wejściu	NRD, Techno, Carter	NRD, ZSRR, Techno
4	System wprowadzania poprawek	w układach elektronicznych	mechaniczne, przesuwanie główek magnet.
5	Zakres poprawek statycznych	$\pm 250$ msek	$\pm 60$ msek
6	Poprawki dynamiczne:		
	a) zakres poprawek	500 msek	500 msek
	b) szybkość maksymalna poprawki	500 msek/sek	500 msek/sek
	c) zakres II rzędu	500 msek	nie istnieje
	d) system wprowadzania	taśma magnet.	krzywka z plexi
7	System sumowania wielokrotnych pokryw	w układzie elektronicz.	przy pomocy mikrotras
8	Mieszanie	3 i 12 kanałów	nie istnieje
9	Tłumienie początkowe tras składanych	nie istnieje	regulowane do wybran. czasu
10	Prezentacja sekcji	zmienne pole AV zmien. gęst. DV galwanometryczny G	zmienne pole AV zmien. gęst. DV galwanometryczny G, kombin. AV+G, DV+G
11	System sporządzania sekcji	1-kanałowy	12-kanałowy

**Centrala Fortune.** Zestaw centrali Fortune pokazano na ryc. 6b. Podstawowym elementem centrali odtwarzającej jest rejestrator zaopatrzony w 24 głowice podstawowe ruchome po obwodzie bębna. W czasie operacji odtwarzania taśm magnetycznych w rejestratorze można wprowadzić poprawki statyczne i dynamiczne jednocześnie dla 24 kanałów. Korekcje dynamiczne są wprowadzane przez ruch opóźnieniowy głowic sterowany poprzez układ dźwigni, krzywką umieszczoną i obracającą się na wspólnej osi z bębniem taśmy magnetycznej.

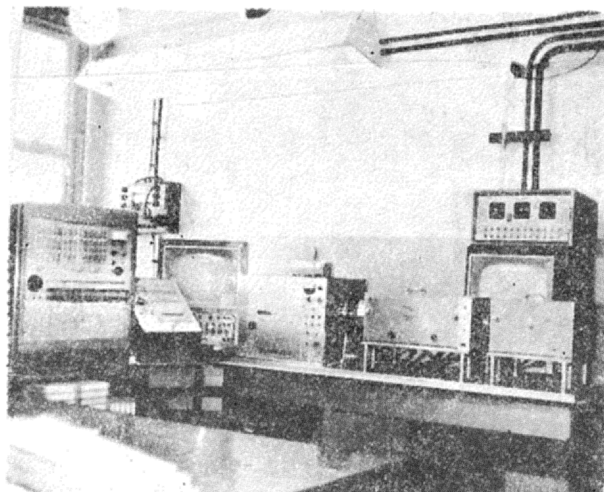
Krzywka jest wykrojona dla wartości poprawek kanału skrajnego na danym rozstawie. Wartości  $\Delta t$  są proporcjonalne do długości promienia, a wartości  $t_0$  odpowiadają prędkości kątowej obracającej się krzywki. Elementy nastawne proporcjonalnego rozkładu poprawek  $\Delta t$  na poszczególne kanały są ustawione zależnie od przyjętego schematu strzelania wg zależności  $(X_i/X_{max})^2 \cdot 100\%$ . Jest to system umożliwiający wprowadzanie poprawek dynamicznych I rzędu, czyli wg założenia parabolicznego kształtu refleksów.

Następnym elementem centrali jest dwubębnowy rejestrator kompozycyjny LDR-1 przeznaczony do



a

Ryc. 6. Plotter rejestrujący (a) firmy Elektro Fab i centrala odtwarzająca (b) firmy Fortune.



b

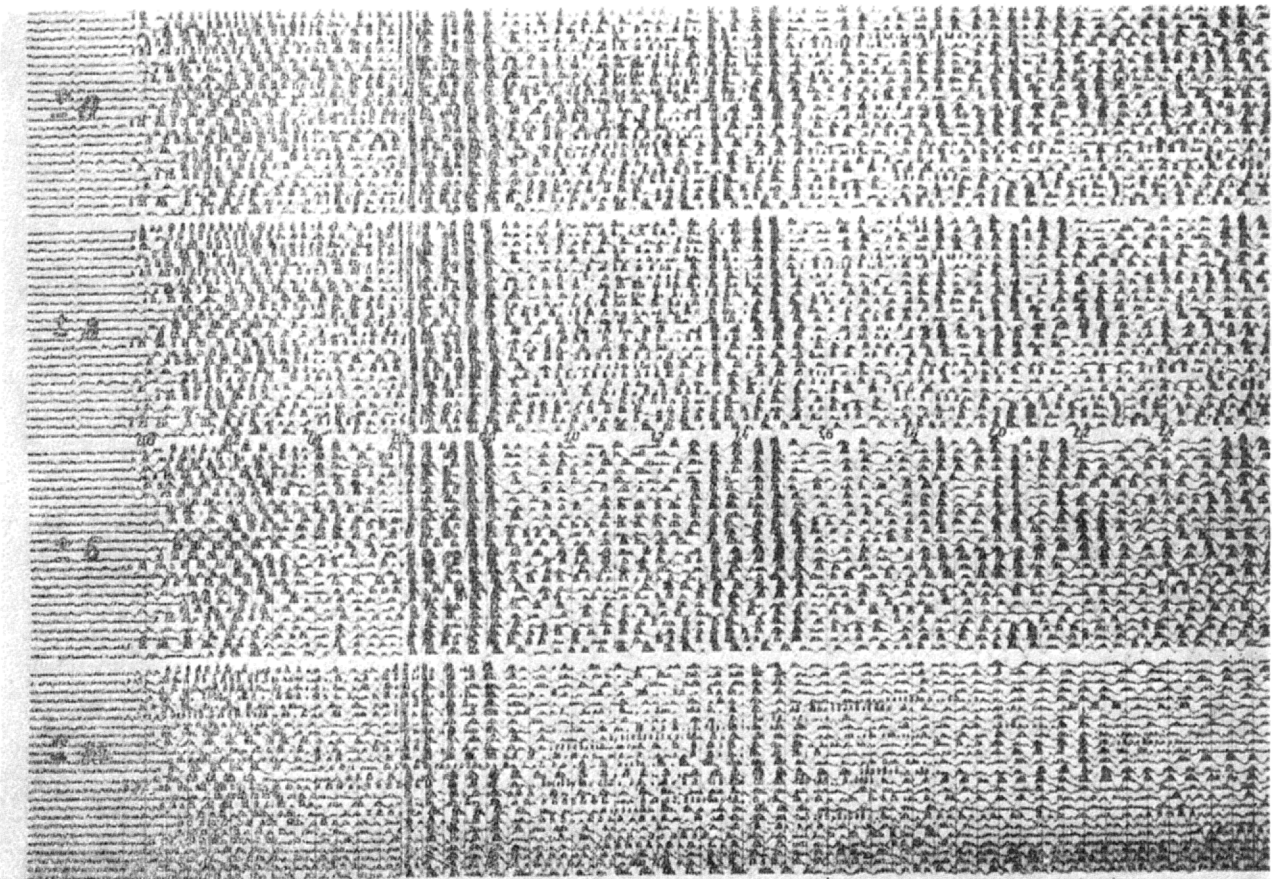
Fig. 6. Recording plotter (a) produced by Electro Fab, and reproducing centre (b) made by the firm Fortune.

składania pojedynczych tras w procesie opracowywania wielokrotnych pokryw. Składanie odbywa się za pomocą głowic mikrośladowych, a sumowanie poprzez odczyt na Plotterze głowicami o normalnej szerokości. Przetwarzanie taśm standardu NRD i ZSRR odbywa się w centrali Fortune poprzez wykonanie przede wszystkim transkrypcji taśm na standard Techno. Do tego celu służy transkryptor z dwoma bębniami i odpowiednimi kompletami głowic dla taśm aparatur produkcji NRD i ZSRR.

Do sporządzania sekcji czasowych służy specjalne urządzenie — Plotter (ryc. 6a) pracujący niezależnie, składa się on z bębna do nakładania taśm magnetycznych z kompletem 24 głowic odczytujących oraz bębna do nakładania bion lub papierów fotograficznych i kamery galwanometrycznej. Sygnały z taśm odtwarzanych na Plotterze podlegają filtrowaniu i automatycznej regulacji wzmocnienia w zespole

wzmacniaczy, których jest 12. Plotter pracuje systemem jednoczesnego przepisywania 12 kanałów.

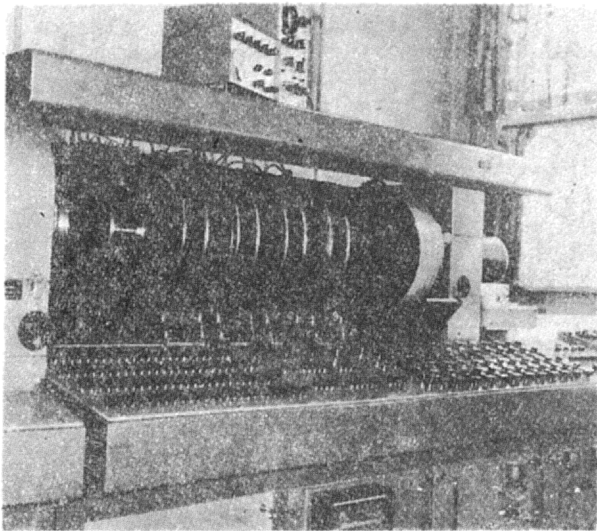
**Centrala Sercel.** Centrala CS 621 jest urządzeniem zasadniczo odmiennym od opisanego wyżej. Zespół do przetwarzania taśm oraz zespół do sporządzania przekrojów czasowych stanowią jedną wspólną maszynę (ryc. 7). Odgrywanie rejestracji terenowej odbywa się przy użyciu bębni standardu Techno i NRD, dostosowanych do aparatur polowych, przy modulacji AM. W czasie przepisywania sygnałów z tych bębni wprowadza się poprawki statyczne i dynamiczne w układzie całkujących obwodów elektronicznych. Wartości poprawek statycznych odkłada się na potencjometrach, a programy wprowadzania poprawek dynamicznych I i II rzędu nagrywa się uprzednio na specjalnych taśmach magnetycznych w



**Porównanie 6-krotnego sumowania przy różnych przesunięciach fazowych**

Ryc. 8. Wpływ poprawek statycznych na efekt sumowania wielokrotnych pokryć.

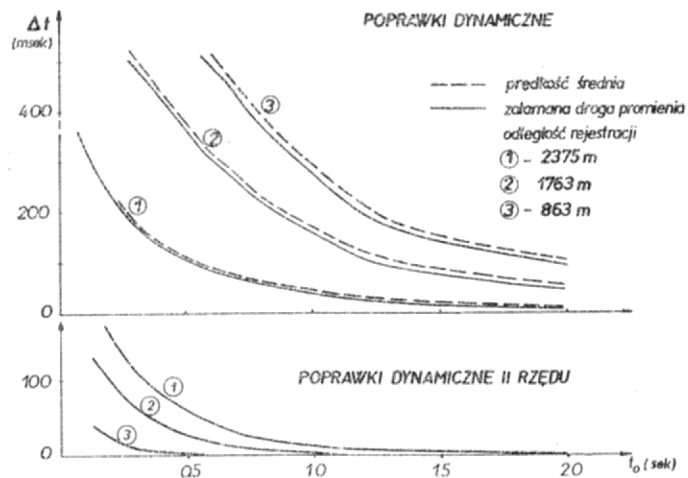
Fig. 8. Influence of static corrections upon the effect of summing multiple coverings.



Ryc. 7. Centrala odtwarzająco-rejestrująca firmy Sercel.

Fig. 7. Reproducing-recording centre produced by the firm Sercel.

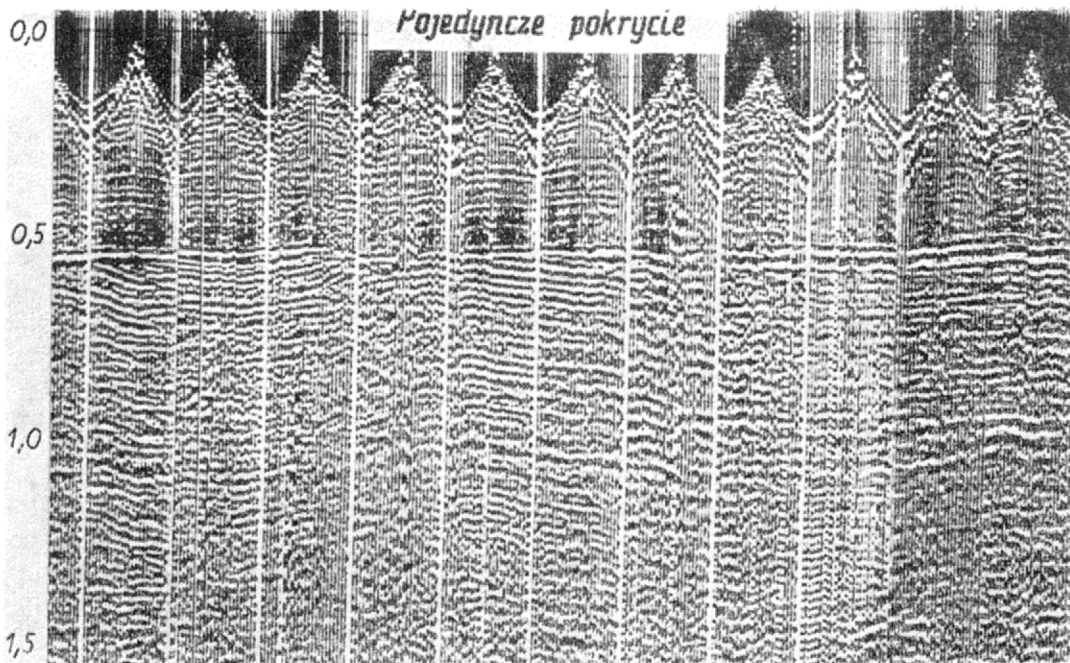
postaci impulsów co 1 msek poprawki  $\Delta t$  w odstępach czasu rejestracji  $t_0$  wynikających z rzutu tych wartości na oś odciętych. Poza tym zasada wprowadzania poprawek dynamicznych na kolejne kana-



Ryc. 9. Wartość poprawek dynamicznych w zależności od odległości rejestracji i wyboru metody obliczeń.

Fig. 9. Value of dynamical corrections depending on the distance of recording and on calculation method.

ły podobna jest do opisanej poprzednio, przy czym jednocześnie obejmuje również poprawkę na hiperboliczną formę refleksów.



Ryc. 10. Przykład wyników uzyskanych na obniżeniu lubelskim metodą pojedynczego profilowania.

Fig. 10. Example of the results obtained within the Lublin depression by means of single profiling method.

Do zarejestrowania poprawionych rejestracji i dalszych procesów przetwarzania służą bębny standardu Carter z modulacją szerokości impulsu. Przy sumowaniu wielokrotnych pokryć centrala ta jest znacznie wolniejsza od centrali Fortune, zwłaszcza dla pokryć wyższych rzędów. Np. 6-krotne pokrycie składa się z sumy dwu pokryć 3-krotnych, a 12-krotne z sumy czterech pokryć 3-krotnych.

#### OBLICZANIE POPRAWEK STATYCZNYCH I DYNAMICZNYCH

##### Poprawki statyczne

Niejednorodności w utworach przypowierzchniowych, prowadzące do zniekształcenia czasów na poszczególnych kanałach, uwzględniano w dwóch etapach opracowania poprawek statycznych. W pierwszym obliczano generalnie poprawki na przekrojach niwelacyjnych, na podstawie pomiarów miąższości strefy obniżonych prędkości, wykonywanych w postaci płytkiej refrakcji oraz mikrosejsmografotażu otworów strzałowych.

W przypadku wzbudzenia w strefie zwietrzalej, jako dane uzupełniające do obliczania miąższości SMP, wykorzystywano czasy refrakcyjne z pierwszych impulsów oraz czasy pionowe. Zestawienie czasów pionowych od głębokości ( $T_p = f/h_s$ ) pozwalało na określenie prędkości w strefie zwietrzalej. Dla przypadków szczególnych, gdy badania miąższości np. utworów cechsztyńskich na wyniesieniu Łeby było ważniejsze od ułożenia strukturalnego, poprawki statyczne określano w pierwszym okresie przy założeniu poziomego zalegania stropu tych utworów.

W drugim etapie określania poprawek statycznych w większości przypadków wykonywano korektę na podstawie sekcji czasowych z pojedynczych serii wielokrotnych pokryć z wprowadzoną poprawką dynamiczną. Ogólnym założeniem przyjętego sposobu jest zbieżność wspólnych punktów odbicia dla wybranej oporowej granicy odbijającej. Jak wykazały doświadczenia prowadzenie korekty poprawek statycznych wg tego sposobu jest szczególnie korzystne przy rozwiązywaniu takich zagadnień, jak: wyklinowania, uskoki itp., występujące poniżej oporowego horyzon-

tu jurajskiego. Przez stosowanie tego sposobu można osiągnąć dokładność poprawek statycznych rzędu  $\pm 2$  msek.

W szeregu przypadkach korektę obliczonych w pierwszym etapie poprawek prowadzono na hodografach refleksyjnych specjalnie w tym celu przygotowanych, zgodnie ze schematem strzelania. Wartość skorygowanej poprawki jest określana w tym sposobie jako średnia odchyłka, w stosunku do hiperboli teoretycznej, czasów zarejestrowanych w jednym punkcie na powierzchni ziemi, przy kilku kolejnych strzałach. Sposób ten jest szczególnie korzystny do stosowania w terenie, gdyż wykorzystuje się w nim sejsmogramy, bez potrzeby odtwarzania taśm na centrali. W metodzie tej wykorzystuje się do korekty ciągłe granice oporowe dla podniesienia efektywności sumowania horyzontów głębszych nie rejestrowanych w sposób ciągły.

Dla zilustrowania wpływu niedokładności określania poprawek statycznych na efekt sumowania przytaczamy przykład (ryc. 8) zaczerpnięty z tematu „wyniesienie Łeby”.

##### Poprawki dynamiczne

Zmiana kształtu refleksów spowodowana odsunięciem geofonów od punktu strzałowego i wynikająca stąd poprawka dynamiczna była obliczana dwoma systemami:

- przy założeniu ciągłej zmiany prędkości do granic odbijających,
- przy uwzględnieniu załamanej drogi promienia sejsmicznego w ośrodku warstwowanym o skokowych zmianach prędkości.

Obliczenia gradientu refleksów w ośrodku z ciągłą zmianą prędkości prowadzono dla rozstawów stosunkowo krótkich — do 1000 m. Dla rozstawów dłuższych od 1000 m zaobserwowano istotne różnice między  $\Delta t$  odczytanymi z sejsmogramów i obliczonymi wg wzorów:

$$\Delta t = \sqrt{\left(\frac{X_{\max}}{V_{sr}}\right)^2 + t_0^2} - t_0$$

gdzie:

- $\Delta t$  — szukana poprawka dynamiczna dla geofonu oddalonego od punktu strzałowego o  $X_{max}$ ,
- $V_{sr}$  — prędkość średnia z pomiarów w głębokich otworach,
- $t_0$  — czas rejestrowanego refleksu na punkcie strzałowym.

W związku z tym wyłoniła się konieczność uwzględnienia warstwowanego układu prędkościowego przy wprowadzaniu poprawek dynamicznych dla rozstawów ponad 1 km. W tym celu opracowano program na maszynę matematyczną, który umożliwił szybkie i automatycznie dokonywanie obliczeń dla dowolnej ilości warstw o zmiennych prędkościach, przy założeniu granic płaskich i poziomych. Obliczone w ten sposób poprawki dynamiczne z danych mierzonych w głębokich otworach okazały się o wiele bardziej dokładne niż przy liczeniu za pomocą  $V_{sr}$  i metoda ta znalazła powszechne zastosowanie.

Dla kanałów pośrednich między  $X_0$  a  $X_{max}$  obliczono współczynniki procentowe dla centrali wg zależności  $(X_1/X_{max})^2 \cdot 100\%$  (założenie o parabolicznym kształcie hodografu). Dla rozstawów ponad 1500 m w przypadku występowania refleksów interesujących na czasach mniejszych niż 1,0 sek., uwzględniono ponadto poprawkę II rzędu, która jak wiadomo zmierza do uwzględnienia hiperbolicznej formy hodografu refleksyjnego. Jej postać jest następująca:

$$\Delta t_{II} = \Delta t' \left( \frac{2}{3} X_{max} \right) - \frac{4}{9} \Delta t(X_{max})$$

gdzie:

- $\Delta t'$ ,  $\Delta t$  — to poprawki obliczone wg opisanej wyżej zależności odpowiednio dla  $X = \frac{2}{3} X_{max}$  i  $X = X_{max}$ .

Wartość maksymalna poprawki II rzędu występuje na kanałach odpowiadających  $\frac{2}{3} X_{max}$ , a  $\Delta t_{II} = 0$  dla  $X = 0$  i  $X = X_{max}$ .

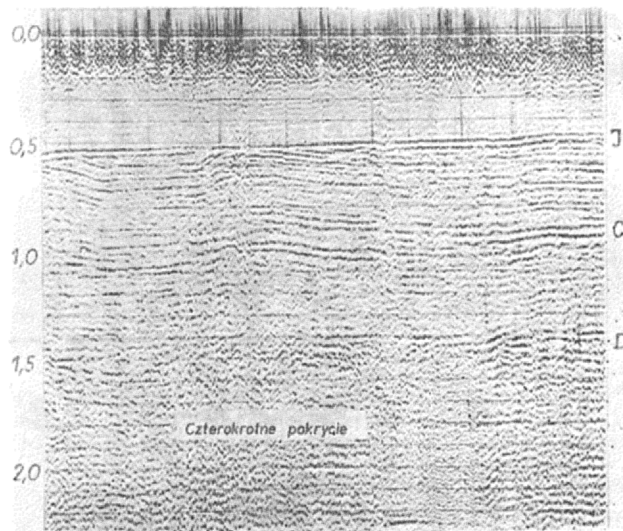
Jeden z przykładów dotyczących rejonów Polski środkowej ilustrujący różnicę między poprawką dynamiczną obliczoną dla  $V_{sr}$  a załamanej drogi promienia przy różnych odległościach rejestracji oraz poprawki drugiego rzędu przedstawiono na ryc. 9.

#### UZYSKANE WYNIKI I OCENA EFEKTYWNOŚCI METODY

Uzyskane wyniki badań sejsmicznych wykonanych metodą pokryć wielokrotnych scharakteryzujemy na przykładach, dokumentujących efektywność tej metodyki prac oraz obrazujących wyniki otrzymane w różnych rejonach Polski.

Na ryc. 10 znajduje się wycinek sekcji uzyskany na obniżeniu lubelskim metodą pojedynczego pokrycia. Poniżej dobrze wydzielonego horyzontu jurajskiego zarejestrowano w sposób charakterystyczny dla tego rejonu obraz bardzo intensywnych fal, trudny do jednoznacznej interpretacji. Zastosowanie 4-krotnego pokrycia (ryc. 11) zdecydowanie poprawiło czytelność tego przekroju. Łatwo bowiem na nim zauważyć niezgodność sedimentacyjną utworów mezozoicznych i podścielających je utworów karbonu — C i dewonu — D. Wyraźnie zarysowany został obraz horyzontu D, jak i subtelne wyklinowywanie utworów karbońskich — C.

Drugi z załączonych przykładów został zaczerpnięty z prac w rejonie antyklinorium pomorskiego (ryc. 12 i 13). Poprzez przejście z pojedynczego do 4-krotnego pokrycia uzyskano wyraźną poprawę jakości refleksów cechsztynu — X i Z oraz mezozoicznych — K, J, T. Spąg utworów cechsztyńskich — Z zarejestrowany na czasie 2,6 sek. zalega prawie poziomo,



Ryc. 11. Przykład poprawy jakości przekroju czasowego po zastosowaniu czterokrotnego pokrycia.

Fig. 11. Example of improving the quality of time section after 4-fold covering.

niezgodnie ze strukturami utworów płytszych. Dane o horyzontach głębszych od cechsztynu są jednak nadal bardzo skąpe i mało pewne. Być może, że zwiększenie krotności pokrycia mogłoby się przyczynić do uzyskania bardziej jednoznacznych informacji.

Na ryc. 14 przedstawiono wycinek przekroju czasowego z wyniesienia Leby, uchwycono tu w sposób wyraźny zmianę miąższości utworów cechsztynu X i Z, co w zasadzie było celem badań. Na sekcji tej dominują dość wyraźne refleksy wielokrotne na czasie 1,0—1,1 sek., mimo stosowania 6-krotnego pokrycia. W tym jednak przypadku osiągnięcie celu badań nie zależało od stopnia wytlumienia odbić wielokrotnych, ale polegało na dobrym prześledzeniu refleksów stropu i spągu cechsztynu.

Przykład wyników uzyskanych metodą 6-krotnego pokrycia z zastosowaniem aparatur sprzężonych na obszarze synklinorium mogileńsko-łódzkiego przedstawia ryc. 15. Na przekroju występuje szereg poziomów mezozoicznych K, J, T i cechsztynu — X, które w sposób pewny charakteryzują budowę geologiczną. Warto tu odnotować fakt zmniejszenia ilości poziomów refleksyjnych w porównaniu z przekrojami wykonanymi w wersji pokrycia pojedynczego, które tworzone były przez refleksy wielokrotne. Jednak na załączonym wycinku mimo stosowania wielokrotnych pokryć i stosunkowo długich rozstawów nie udało się całkowicie wytlumić refleksów wielokrotnych i pewna ich ilość występuje poniżej poziomu X. Świadczy to o złożoności zagadnienia tłumienia refleksów wielokrotnych w podobnych układach geologicznych, charakteryzujących się płaskim zaleganiem warstw, posiadających zbliżone pod względem własności fizycznych kompleksy skalne.

Dokonany w artykule przegląd metodyki i techniki prac refleksyjnych odzwierciedla w dużym stopniu przełom, jaki zaszedł w ostatnim dziesięcioleciu w badaniach sejsmicznych. Sposób prowadzenia rejestracji polowych, polegający na wielokrotnym rejestrowaniu, a następnie sumowaniu odbić pochodzących od tych samych punktów na granicy odbijającej, umożliwił wydzielenie odbić rzeczywistych na tle silnych zakłóceń i rozszerzył tym samym możliwości metody refleksyjnej.

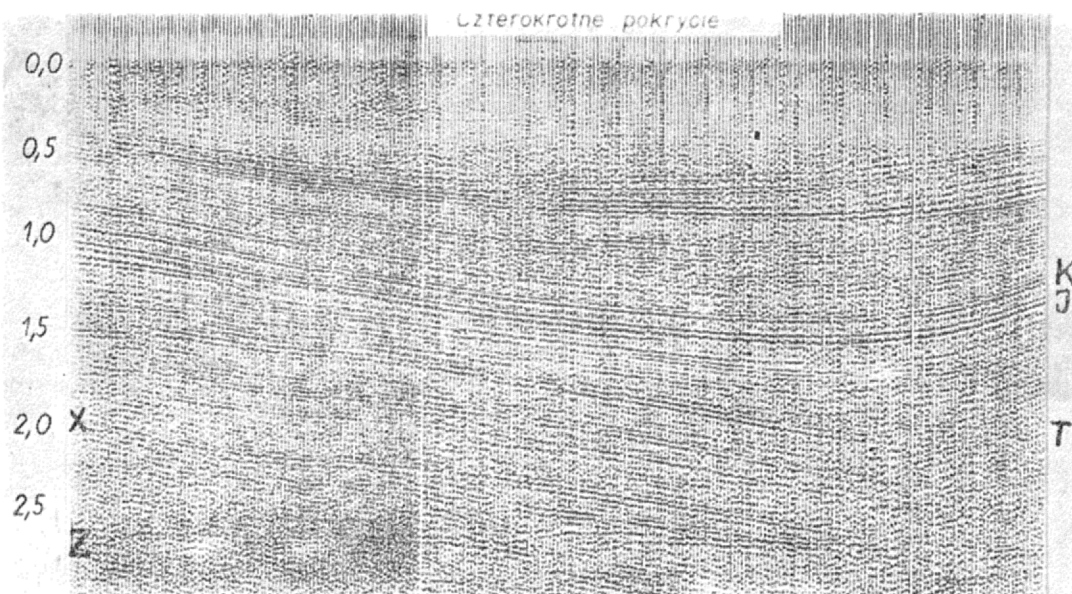
Jednocześnie nasze doświadczenia wykazały, że w nowej metodyce prac ważną rolę odgrywa dobór wielu parametrów, które dotychczas nie były może właściwie docenione. I tak, optymalny rozstaw reje-





Ryc. 12. Przekrój czasowy wykonany na obszarze antyklinorium pomorskiego metodą pojedynczego profilowania.

Fig. 12. Time section made within the Pomeranian anticlinorium by means of single profiling.



Ryc. 13. Przekrój czasowy wykonany na obszarze antyklinorium pomorskiego metodą czterokrotnego pokrycia.

Fig. 13. Time section made within the Pomeranian anticlinorium by means of 4-fold covering.

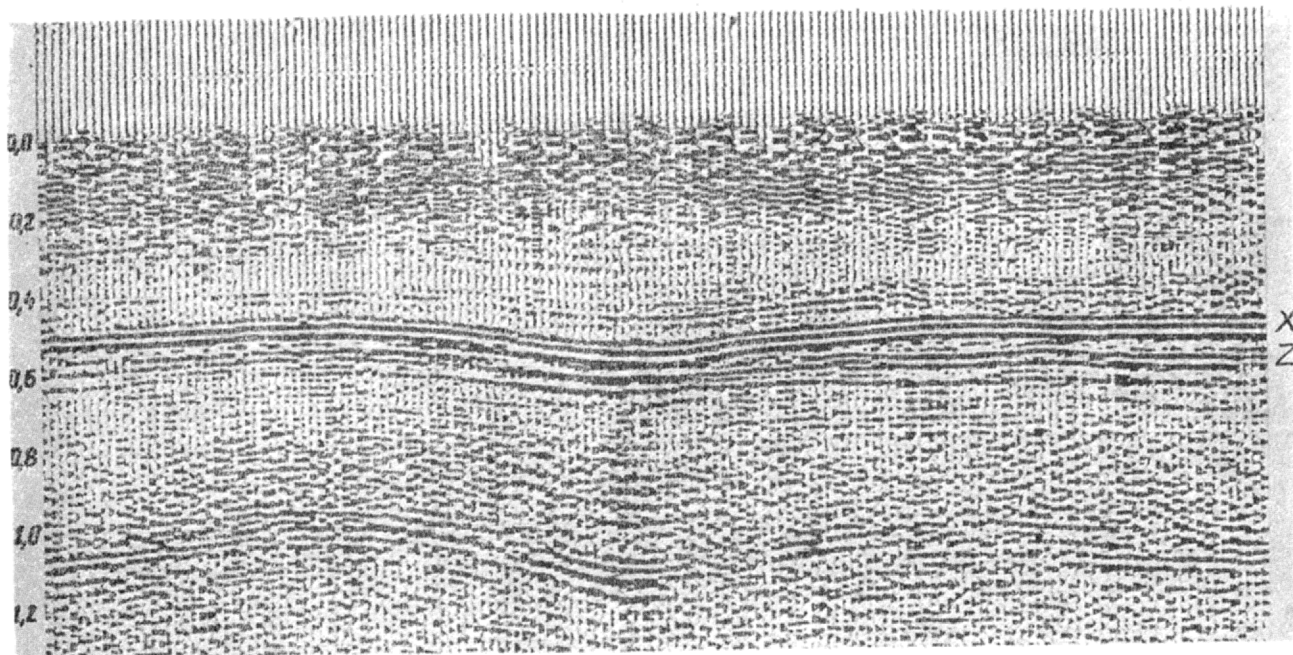
stracji powinien zmierzać do omińnięcia przedziału najsilniej zakłóconego falami nierefleksyjnymi (fale powierzchniowe, fale refrakcyjne), jak i powinien zabezpieczać odpowiednie odsunięcie skrajnych geofonów od punktu strzałowego dla uchwycenia różnic w krzywiznach refleksów rzeczywistych i wielokrotnych. Ponadto istotnym problemem jest zachowanie takiej odległości między kanałami, aby prace były tańsze, a zarazem by korelacja na sejsmogramach nie budziła zastrzeżeń i wątpliwości przy śledzeniu tych samych faz refleksów.

Stosowanie rozstawów jednostronnych skuteczniej tłumi określone grupy refleksów wielokrotnych, ale jeżeli przedział wymaganego tłumienia ich jest szeroki, to lepiej jest zastosować rozstawy dwustronne. Wyższe rzędy pokryć skuteczniej tłumią refleksy wielokrotne i proporcjonalnie podnoszą wyrazistość

słabych refleksów, lecz jednocześnie niebezpiecznie podnoszą koherencję fazową odbić wielokrotnych.

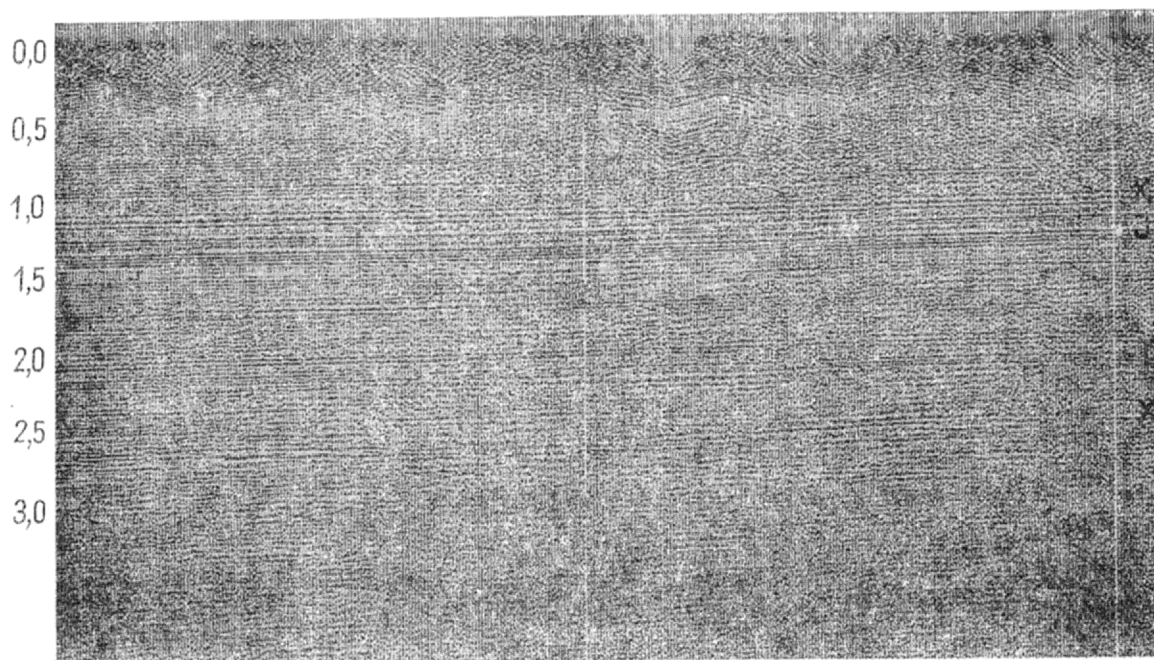
Precyzując konkretniej te wnioski w odniesieniu do trzech rejonów Polski: antyklinorium pomorskiego, synklinorium mogileńsko-lódzkiego i obniżenia lubelskiego (ryc. 2) należy stwierdzić, że zastosowana tam metodyka nie zawsze była optymalna. Jakkolwiek zabezpieczyła ona osiągnięcie w większości przypadków celu badań, to jednak nasuwa się spostrzeżenie, iż prace doświadczalne w kierunku optymalizacji metodyki wielokrotnych pokryć powinny być dalej kontynuowane.

W niektórych rejonach antyklinorium pomorskiego (ryc. 2b) prace powinny zmierzać w kierunku odsuwania punktów strzałowych poza przedział fal powierzchniowych. Oczywiście, że podział ten jest ograniczony z drugiej strony falami refrakcyjnymi, po-



Ryc. 14. Przykład wyników uzyskanych metodą 6-krotnego profilowania na wyniesieniu Łeby.

Fig. 14. Example of the results obtained by means of 6-fold profiling within the Łeby elevation.



Ryc. 15. Wyniki uzyskane metodą sześciokrotnego pokrycia na obszarze antyklinorium kujawskiego przy zastosowaniu aparatów sprzężonych.

Fig. 15. Results obtained by means of 6-fold covering within the Kujawy anticlinorium, using coupled instruments.

chodzącymi od płytko zalegających granic załamujących o dość dużych prędkościach. Jednocześnie jednak odstępy między kanałami rejestracji nie mogą być tu zbyt duże. Niski stosunek amplitud fal użytecznych do zakłócających w tym rejonie sugeruje stosowanie wysokich rzędów pokrycia.

Drugim obszarem, w którym istnieje wiele rejonów o równie intensywnym tle fal zakłócających o stosunkowo różnych prędkościach jest obniżenie lubelskie (ryc. 2a). W rejonach tych odsuwanie punktu wzbudzenia nie jest możliwe ze względu na duży przedział prędkości fal zakłócających, jak również ze względu na potrzebę śledzenia płytko zalegającego

refleksu jurajskiego, który jest doskonałym reperem dla poprawek statycznych. Złożona budowa tektoniczna utworów staropaleozoicznych stwarza duże trudności przy doborze poprawek dynamicznych. Dlatego też wydaje się, że optymalnymi będą tu rozstawy niezbyt długie i jednocześnie wysokie rzędy pokrycia.

Zupełnie odmiennie na tle omówionych wyżej obszarów rysuje się rejon synklinorium mogileńsko-tódzkiego o niskim tle fal powierzchniowych w partiach synklijalnych, a jednocześnie bardzo obficie występujących refleksach wielokrotnych. W tym rejonie zastosowana dotychczas metodyka nie wytlumiła skutecznie refleksy wielokrotne, co widać na ryc.

15. W przyszłości należy tu (zwłaszcza w partiach synklinalnych) stosować duże odstępny między kanałami i znacznie dłuższe rozstawy. Oprócz tego powinny być stosowane wysokie rzędy pokrycia, ale już nie

### S U M M A R Y

The article deals with the method of multiple coverings introduced at the Enterprise of Geophysical Prospections in Warsaw. Along with the description of the new method of reflexion surveys in the field, there are also discussed field instruments and interpretation centres, as well as the ways of determining both static and dynamic corrections. The article ends with the estimation of the results obtained and with the remarks on the new working method.

ze względu na refleksy wielokrotne, lecz na cel badań, jakim jest śledzenie utworów cechsztyńskich i podcechsztyńskich, cechujących się na ogół niskim poziomem energii użytecznej.

### Р Е З Ю М Е

В статье описано применение методов многократного перекрытия Предприятием Геофизических поисков в Варшаве. Описаны условия работ новым методом отраженных волн, применяющаяся аппаратура, интерпретационные центры и способы определения статических и динамических поправок. В заключение дается оценка полученных данных и новой методики работ.