

OBLICZANIE POPRAWEK DYNAMICZNYCH Z UWZGLĘDNIENIEM ZAŁAMANEJ DROGI PROMIENIA SEJSMICZNEGO

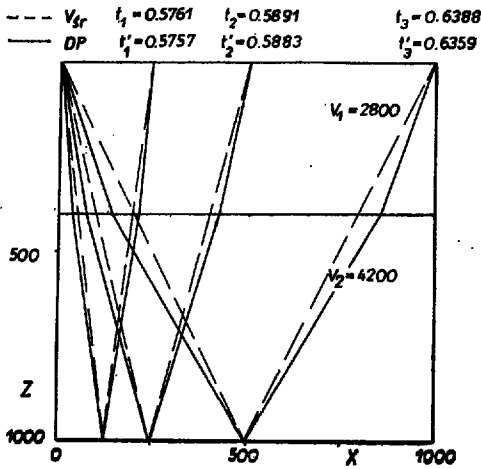
UKD 550.834.5:681.3

Rozwijanie metodyki wielokrotnych pokryć w sejsmice refleksyjnej nakłada obowiązek uwzględnienia w procesach przetwarzania rejestracji terenowych precyzyjnie obliczonych poprawek dynamicznych. Precyzja ta zależy nie tylko od dobrej znajomości prędkości do granic odbijających, ale również od sposobu wykonywania samych obliczeń.

Najdokładniejszym sposobem obliczeń jest sposób, który uwzględnia rzeczywisty przebieg promienia sejsmicznego w ośrodku skalnym. Taki sposób wymaga jednak bardzo dokładnych pomiarów prędkości (pomiaru akustyczne) i jest niezwykle pracochłonny nawet przy zastosowaniu cyfrowych maszyn matematycznych. Dlatego też w praktyce stosuje się najczęściej sposoby uproszczone, które w pewnych warunkach zapewniają wystarczającą dokładność.

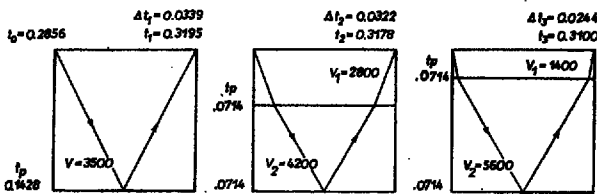
Cressman (2) udowadnia, że dla niedużych odległości rejestracji można wykonywać obliczenia poprawek dynamicznych przy założeniu prostoliniowej

drogi promienia i przyjęciu do obliczeń średniej prędkości. Dla odległości większych takie obliczenia prowadzą już do zbyt dużych niedokładności, gdyż ośrodek skalny nie jest jednorodny. Policzone bowiem czasy po drodze prostoliniowej będą większe od czasów policzonych po rzeczywistej drodze promienia załamującego się zgodnie z prawem Snelliusa. Różnice te, jak to wynika z załączonego modelu (ryc. 1), będą rosły w miarę odsuwania miejsca rejestracji fali odbitej od jej źródła. Jest rzeczą oczywistą, że w układach wielowarstwowych zależność będzie podobna. Na ryc. 2 przedstawiony został inny układ, a mianowicie taki, w którym odległość rejestracji jest stała, a zmieniają się prędkości warstwowe. Modele zostały tak dobrane, że czasy pionowe we wszystkich trzech przypadkach są jednakowe. Obliczenie czasów po drodze łamanej, zgodnie z prawem Snelliusa, daje w efekcie zmniejszanie się ich wartości w odniesieniu do czasów policzonych w ośrodku jednorodnym.



Ryc. 1. W ośrodku warstwowanym czasy po drodze załamanej zmniejszają się w stosunku do czasów po drodze prostoliniowej (V_{sr}) w miarę odsuwania punktu rejestracji.

Fig. 1. In a stratified medium, times on the broken paths decrease in relation to times on the linear paths (V_{sr}) along with the distance from the recording point.



Ryc. 2. Przy stałej średniej prędkości w pionie czas przebiegu promienia po drodze załamanej zmniejsza się ze wzrostem różnicy prędkości warstwowych.

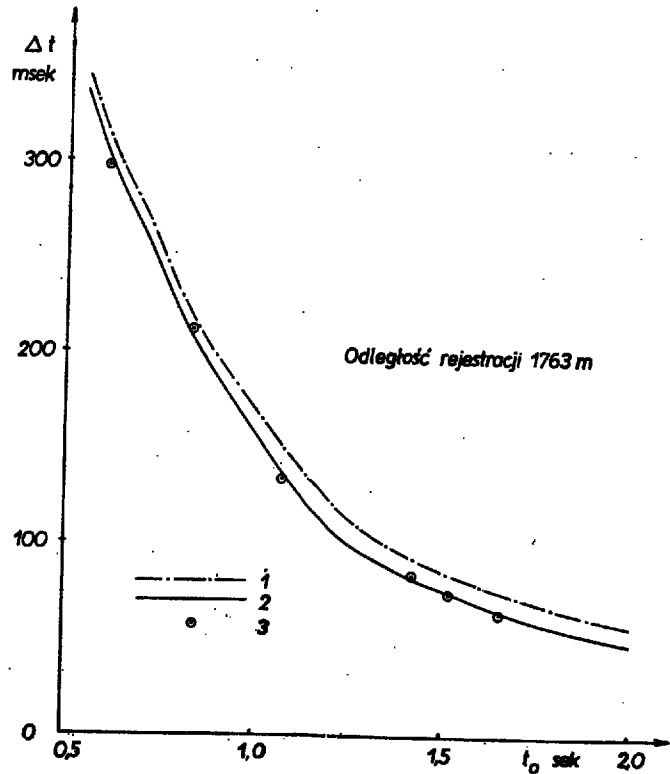
Fig. 2. At a constant mean velocity in the vertical direction, the time of the ray travel along the broken path decreases together with the increase of the difference in stratum velocity.

Z przytoczonych przykładów wynika więc, że poprawka dynamiczna obliczona uproszczonym sposobem bez uwzględnienia warstwowania ośrodka będzie tym bardziej niedokładna (za duża) im dłuższe będą odległości rejestracji w terenie i im bardziej będą kontrastowe prędkości w nakładzie granic odbijających.

W początkowej praktyce analogowego przetwarzania Przedsiębiorstwie Poszukiwań Geofizycznych wykonywano obliczenia poprawek dynamicznych przy założeniu średniej prędkości. W tym celu opracowane zostały specjalnie nomogramy, które w sposób bardzo szybki pozwalały na określenie poprawki dynamicznej dla dowolnej odległości rejestracji (1). Sposób ten zapewniał dostateczną dokładność, w pierwszym okresie wprowadzania metodyki wielokrotnych pokryć, przy odległościach rejestracji do 1200 m.

Przy zwiększeniu długości rozstawów w badaniach terenowych, jak również w przypadku płytko zalegających utworów cechsztyńskich (wyniesienie Leby), zaobserwowano pewne rozbieżności między poprawkami obliczonymi stosowaną metodą, a wielkościami Δt odczytanymi z sejsmogramów.

Na ryc. 3 i 4 przytoczone zostały przypadki, z dwóch różnych rejonów badań, dobrze ilustrujące omawiane zagadnienie. Odczytane czasy Δt na sejsmogramach umożliwiły tu jednak pewne zmodyfikowanie obliczonej krzywej, która następnie mogła być

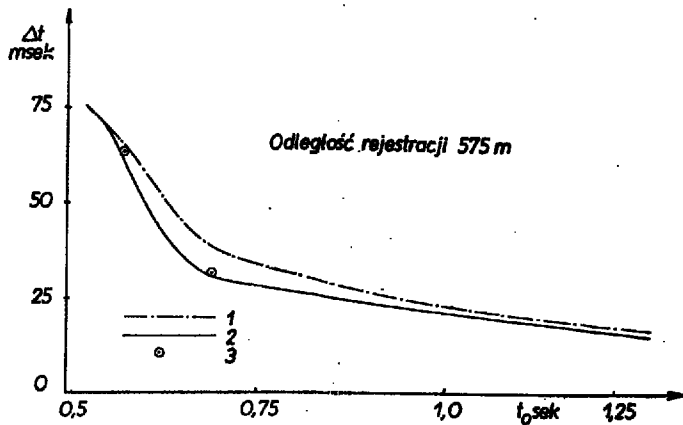


Ryc. 3. Wartości poprawek dynamicznych z rejonu wiercenia Trzemiśl, uzyskane różnymi sposobami.

1 — prostoliniowy przebieg promienia, 2 — załamana droga promienia, 3 — odczyty Δt z sejsmogramów.

Fig. 3. Values of dynamic corrections from Trzemiśl borehole area obtained by the use of various methods.

1 — rectilinear ray course, 2 — broken ray path, 3 — Δt seismograph readings.

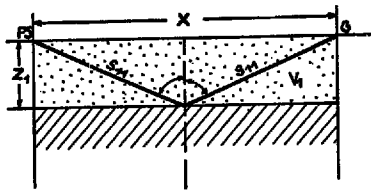


Ryc. 4. Wartości poprawek dynamicznych z rejonu wiercenia Zarnowiec, uzyskane różnymi sposobami.

1 — prostoliniowy przebieg promienia, 2 — załamana droga promienia, 3 — odczyty Δt z sejsmogramów.

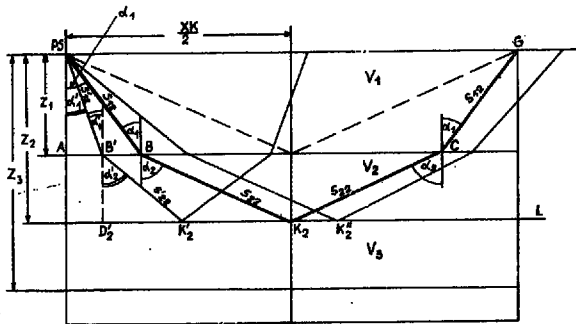
Fig. 4. Values of dynamic corrections from Zarnowiec borehole area obtained by the use of various methods.

1 — rectilinear ray course, 2 — broken ray path, 3 — Δt seismograph readings.



Ryc. 5. Wykres drogi promienia sejsmicznego dla warstwy pierwszej. Początek prostokątnego układu współrzędnych umieszczono w punkcie strzałowym PS. Geofon rejestrujący znajduje się w punkcie G.

Fig. 5. Diagram of seismic ray path for the first layer. The beginning of the rectangular set of coordinates is placed at the explosion point, PS. Recording geophone is at point G.



Ryc. 6. Droga promienia sejsmicznego w ośrodku dwu-warstwowym.

Fig. 6. Seismic ray path in a two-layer medium.

z powodzeniem zastosowana do wprowadzenia poprawek na maszynach. Jeśli jednak pojedyncze rejestracje na sejsmogramach były słabe i nie pozwalały na przeprowadzenie ewentualnej korekty, to skuteczność obliczonych tym sposobem poprawek była niezadowalająca.

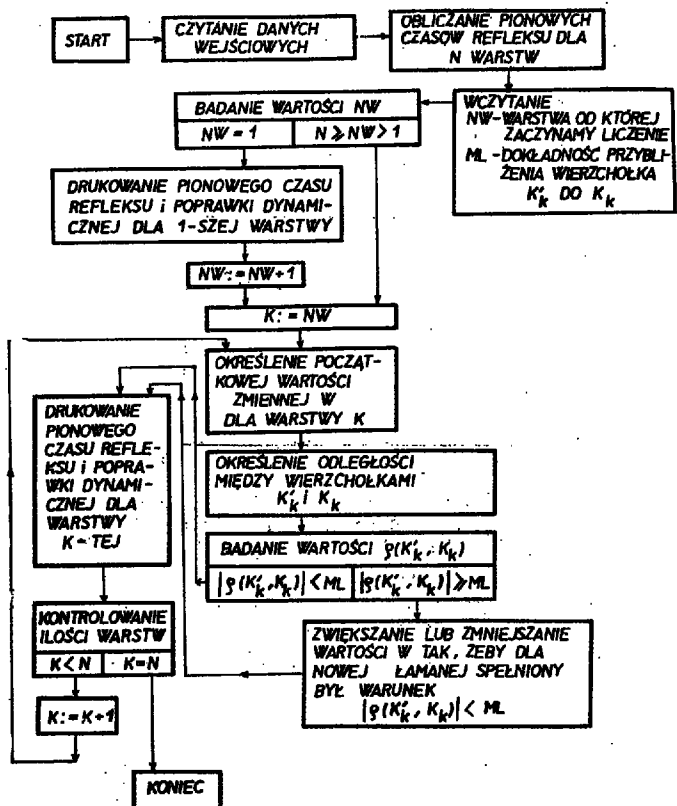
Problem ten został rozwiązany przez opracowanie innego sposobu obliczeń, realizowanego na cyfrowych maszynach matematycznych, który uwzględniła załamaną drogę promienia sejsmicznego zbliżoną do rzeczywistej, na podstawie danych z profilowania prędkości w otworach.

Program obliczeń

Założony ośrodek składa się z N warstw równoległych względem siebie i powierzchni ziemi. Znana jest grubość każdej warstwy, prędkości warstwowe oraz odległość między punktem strzałowym a geofonem rejestrującym. Należy znaleźć drogę takiej fali, która biegnie od PS przez K warstw, odbija się od spągu K tej warstwy i powraca na powierzchnię ziemi. Droga ta jest wyznaczona w sposób jednoznaczny przez kąty padania i załamania fali i tworzy linię łamaną. Mając długość drogi i prędkości warstwowe można wyznaczyć czas przebiegu fali po drodze łamanej i określić wartość poprawki dynamicznej dla K tej warstwy.

Danymi do obliczenia poprawek dynamicznych według przytoczonych wyżej założeń są:

- ilości warstw, N
- prędkości warstwowe, $V_i / i = 1, 2, \dots, N/$
- odległość od powierzchni ziemi do spągu warstwy, $Z_i / i = 1, 2, \dots, N/$
- odległość od punktu strzałowego PS do geofonu G. XK



Ryc. 7. Schemat blokowy programu obliczania poprawek dynamicznych.

Fig. 7. Block scheme of the programme for evaluating dynamic corrections.

Wartości XK i Z₁ podaje się w metrach, a prędkości warstwowe w m/sek.

Poprawkę dynamiczną Δt₁ dla pierwszej warstwy (ryc. 5) wylicza się następująco:

$$\Delta t_1 = t_1 - t_{01} \quad [1]$$

gdzie

$$t_{01} = 2 \cdot \frac{Z_1}{V_1} \cdot 1000$$

— jest czasem pionowym refleksu liczonym w milisekundach,

oraz

$$t_1 = 2 \cdot \frac{s_{11}}{V_1} \cdot 1000 = 2 \cdot \frac{\sqrt{Z_1^2 + \left(\frac{XK}{2}\right)^2}}{V_1} \cdot 1000$$

— to czas przebiegu fali sejsmicznej po drodze łamanej, której długość wynosi 2 · s₁₁ metrów.

Poprawkę dynamiczną dla warstwy drugiej (ryc. 6) liczymy:

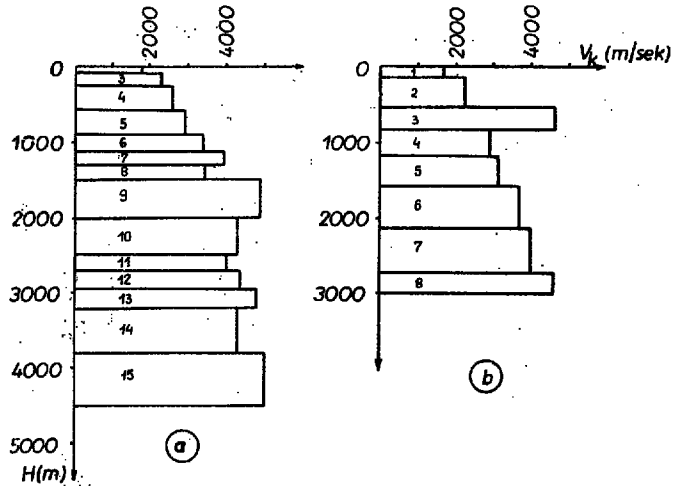
$$\Delta t_2 = 2 \cdot \sum_{i=1}^2 \frac{s_{i2}}{V_i} \cdot 1000 - t_{02} \quad [2]$$

```

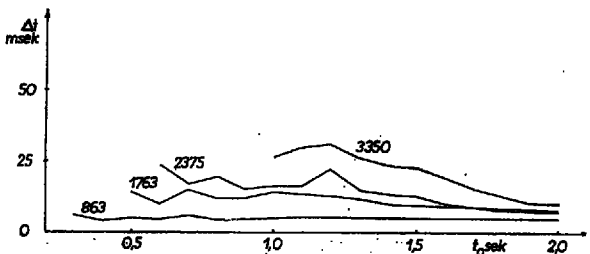
begin comment ALGOL III - POPRAWKI DYNAMICZNE;
integer k, N, J, L, NW, BLJ;
real OD1, blad, J1, t1, y, Odu, Odu1, outari;
outtext( <OBLICZANIE CZASU PRZEJEGU PROMIENIA
SEISMICZNEGO PO KRZYWEJ RWID>);
outari;
outcopy( <[ ]>); outari; outari;
outtext( <LICZBA WARSZYW TO DELTA T >);
outari; outari;
input(N, J);
begin array S, V, Z, TO[1:N], XK[1:J];
input(V, Z, XK);
TO[1] := (Z[1]/V[1]) > 2000;
for k:=1 step 1 until N-1 do
TO[k+1] := TO[k] + (Z[k+1]-Z[k]) > 2000/V[k+1];
begin
procedure LAMANA(L1, K1, R1);
label R1;
integer K1, L1;
begin
integer I;
real OD, X, L1, L2;
y:=OD1;
i:=1;
H:
L1:=arctan(OD1/Z[1]); S[1]:=sqrt(Z[1]^2+(OD1)^2);
NASTAW:
if abs(V[1+1]-sin(L1)/V[1]) >
then
begin
OD1:=OD1-OD1/5;
i:=i+1;
y:=OD1;
go to H
end;
OD:=sqrt(((Z[1+1]-Z[1])>sin(L1)>V[1+1])^2+(V[1]^2-(sin(L1)>V[1+1])^2));
S[1+1]:=OD>V[1]/(sin(L1)>V[1+1]);
L2:=arctan(sin(L1)>V[1+1]>sin(L1)/(V[1]>Z[1+1]-Z[1]));

```

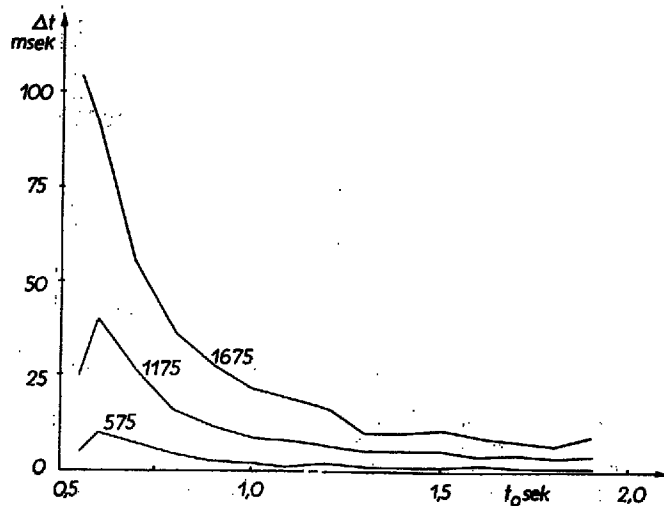
Ryc. 8. Część początkowa programu opracowanego na maszynie matematycznej.
 Fig. 8. Initial part of the programme elaborated for computer.



Ryc. 9. Zależność prędkości warstwowych od głębokości.
 1 - pomiar „Trzemżał”, 2 - pomiar „Zarnowiec”.
 Fig. 9. Relationship between stratum velocities and depth.
 1 - Trzemżał borehole measurement, 2 - Zarnowiec borehole measurement.



Ryc. 10. Różnice między poprawkami dynamicznymi obliczonymi według Vsr i według załamanej drogi promienia, przy różnych odległościach rejestracji. Pomiar „Trzemżał”.
 Fig. 10. Differences between dynamic corrections calculated according to mean velocity and according to broken ray path recorded at various distances. Trzemżał borehole measurement.



Ryc. 11. Różnice między poprawkami dynamicznymi obliczonymi według Vsr i według załamanej drogi promienia, przy różnych odległościach rejestracji. Pomiar „Zarnowiec”.
 Fig. 11. Differences between dynamic corrections calculated according to mean velocity and according to broken ray path recorded at various distances. Zarnowiec borehole measurement.

gdzie

$$2 \cdot \sum_{i=1}^2 s_{i2}$$

— jest długością linii łamanej o wierzchołkach PS, B, K₂, C, G

oraz

$$t_{02} = 2 \cdot \frac{Z_2 - Z_1}{V_2} \cdot 1000 + t_{01}$$

— to czas pionowy refleksu do spągu drugiej warstwy

$$\Delta t_2$$

— to różnica między czasem przebiegu fali sejsmicznej po drodze łamanej PS, B, K₂, C, G, a pionowym czasem refleksu do spągu warstwy drugiej.

Z trójkąta A, B', PS (ryc. 6) wynika, że:

$$\sin \alpha_i = \frac{e(AB')}{e(PSE')} = \frac{e(AB')}{\sqrt{Z_1^2 + e^2(AB')}}$$

Przyjmujemy, że długość odcinka AB' jest znana. Mając wartość sin α_i można zgodnie z wzorem Snelliusa wyliczyć długość odcinka D₂ K'₁ i znaleźć położenie wierzchołka K₂ łamanej. Zmniejszając albo zwiększając długość odcinka AB', przesuamy wierzchołek K₂.

Tabela I

WARTOŚĆ POPRAWEK DYNAMICZNYCH PRZY ZAŁOŻENIU RÓŻNYCH DOKŁADNOŚCI OKREŚLANIA, W CZASIE OBLICZEŃ, PUNKTÓW ZAŁAMANIA PROMIENIA

TRZEMZĄL					ŻARNOWIEC				
N	t ₀	Δt			N	t ₀	Δt		
		K'K=1	K'K=5	K'K=10			K'K=1	K'K=5	K'K=10
2	236	600,8	598,7	598,8	2	564	227,7	226,2	226,2
3	490	390,4	389,6	393,7	3	672	120,7	120,4	117,5
4	599	321,2	320,7	317,3	4	913	93,0	92,1	90,6
7	928	183,2	182,3	182,3	7	1764	37,2	37,8	37,8
8	1044	159,1	159,0	159,0	8	1873	33,3	32,8	32,8
9	1146	126,5	125,9	125,9					
14	2078	52,0	52,3	50,8					
15	2218	46,6	46,1	45,8					

Tabela II
ZESTAWIENIE DANYCH POZĄTKOWYCH ORAZ WYNIKÓW OBLICZEŃ POPRAWEK DYNAMICZNYCH. POMIAR „TRZEMZĄL” — EKSTRAPOLOWANY TEORETYCZNIE. ROZSTAW 8350 M.

Nr warstwy K	Dane początkowe		Wyniki obliczeń	
	Prędkości warstwowe V _k (m/sek)	Głębokości Z (m)	Pionowy czas refleksu t ₀ (msek)	Wartość poprawki Δt (msek)
1	1800	80	88,89	1774,34
2	2300	165	162,80	1351,55
3	2300	250	236,71	1283,20
4	2600	330	298,25	1125,16
5	2600	410	359,79	1070,11
6	2600	490	421,33	1016,89
7	2600	580	490,56	963,41
8	2950	660	544,80	876,10
9	2950	740	599,04	829,79
10	2950	820	653,27	788,60
11	2950	900	707,51	749,79
12	3400	970	748,69	694,65
13	3400	1030	783,98	665,97
14	3400	1120	836,92	626,95
15	3950	1210	882,49	570,18
16	3950	1300	928,06	534,88
17	3450	1400	986,03	509,14
18	3450	1500	1044,00	485,08
19	4900	1600	1084,82	434,34
20	4900	1700	1125,64	404,24
21	4900	1800	1166,45	379,07
22	4900	1900	1207,27	357,23
23	4900	2000	1248,08	337,20
24	4300	2100	1294,60	322,86
25	4300	2200	1341,11	309,46
26	4300	2300	1387,62	297,26
27	4300	2400	1434,13	285,25
28	4300	2500	1480,64	274,49
29	4000	2600	1530,64	265,38
30	4000	2700	1580,64	256,66
31	4350	2780	1617,42	249,46
32	4350	2860	1654,21	242,38
33	4350	2950	1695,59	235,06
34	4800	3030	1728,92	227,86
35	4800	3110	1762,25	221,49
36	4800	3200	1799,75	214,45
37	4300	3300	1846,26	208,06
38	4300	3400	1892,78	201,77
39	4300	3500	1939,29	195,91
40	4300	3600	1985,80	190,80
41	4300	3700	2032,31	185,73
42	4300	3800	2078,82	180,70
43	5000	3900	2118,82	175,07
44	5000	4000	2158,82	170,04
45	5000	4100	2198,82	164,99
46	5000	4200	2238,82	160,50
47	5000	4300	2278,82	156,00
48	5000	4400	2318,82	152,03
49	5000	4500	2358,82	148,06

w prawo albo w lewo po prostej L. Jeżeli dobierze się długość odcinka AB' tak żeby wierzchołek K₂ pokrył się z wierzchołkiem K₂, to wtedy

$$s'_{12} = s_{12}, \quad s'_{22} = s_{22}$$

i poprawka dynamiczna określona wzorem [2] jest wyznaczona dokładnie. W programie stosowany jest wzór

$$\Delta t_2 = 2 \cdot \sum_{i=1}^2 \frac{s'_{i2}}{V_i} \cdot 1000 - t_{02} \quad [3]$$

wtedy, gdy wierzchołek K'₂ leży w zadanej odległości od wierzchołka K₂.

W praktyce dla odcinka K'K przyjmuje się 10 m. Dokładność tę można zwiększyć ale wówczas wydłuża się czas obliczeń. Dokładność 10 okazała się wystarczająca dla poprawek dynamicznych, jak to wynika z załączonej tabeli 1. Maksymalny błąd szeregu obliczeń przedstawionych w tabeli, tylko jeden raz wynosi 3 msek przy założeniu K'K = 10 m, a w innych wypadkach jest mniejszy.

Odległość ρ (K'₂, K₂) między wierzchołkami K'₂ i K₂ określa wzór:

$$\rho(K'_2 K_2) = \left| \frac{XK}{2} - \rho(AB') - \rho(D'_2 K_2) \right| \quad [4]$$

gdzie: $\rho(D'_2 K_2) = (Z_2 - Z_1) \cdot \operatorname{tg} \alpha'_2$

$$[\rho(D'_2 K_2)]^2 = \frac{(Z_2 - Z_1)^2 \cdot \sin^2 \alpha'_2}{1 - \sin^2 \alpha'_2} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2 \cdot V_1^2 \sin^2 \alpha'_2}{V_1^2 - V_2^2 \sin^2 \alpha'_2}$$

$$\alpha'_2 = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\frac{V_2 \cdot \sin \alpha'_1 \cdot s_{22}}{V_1 (Z_2 - Z_1)} \right)$$

Wartości zmiennych s'_{i2} (i = 1, 2), które występują w wzorze [3] są określone z odpowiednich trójkątów prostokątnych.

Ogólny wzór iteracyjny na obliczenie poprawki dynamicznej dla K-tej warstwy (K = 2, 3...N) ma postać następującą:

$$\Delta t_K = 2 \cdot \sum_{i=1}^K \frac{s'_{iK}}{V_i} \cdot 1000 - t_{0K} \quad [4]$$

gdzie:

$$t_{0K} = t_{0K-1} + \frac{2(Z_K - Z_{K-1})}{V_K} 1000$$

$$s'_{iK} = \sqrt{W^2 + (Z_i)^2}$$

W = dowolna liczba zwiększania lub zmniejszania w trakcie obliczeń,

$s'_{iR}(K=2,3..N)$ — przeciwprostokątna w trójkącie prostokątnym o danych przyprostokątnych i kącie ostrym (kącie załamania).

Przykłady obliczeń

Przygotowanie danych do obliczeń wg opisanego wyżej programu jest czynnością krótką i mało pracochłonną, co ma niezmiernie duże znaczenie praktyczne dla użytkowników programu. Zbiór danych ogranicza się bowiem do kilkudziesięciu, a co najwyżej do kilkuset wartości. Danymi do obliczeń są: nr kolejnej warstwy, głębokość występowania spągu tej warstwy, prędkość w każdej warstwie i odległości obserwacji, dla jakiej chcemy wykonać obliczenia, jak to podane dla przykładu zawartego w tabeli II. Z obliczeń uzyskujemy czas pionowy t_0 i wartość poprawki dynamicznej Δt . Miąższości warstw mogą być dobrane dowolnie w zależności od dokładności, z jaką określone zostały zmiany prędkości warstwowych oraz z jaką częstością chcemy uzyskać obliczone poprawki. Zwykle wynoszą one 50 — 100 m. Do obliczeń mogą być wykorzystane zarówno dane uzyskane z pomiarów profilowania prędkości w otworach metodą tradycyjną (pomiar czasów pionowych), jak i z pomiarów ciągłych (akustycznych). Można również do obliczeń za-

SUMMARY

The paper deals with a method of computer calculation of dynamic corrections, which takes into account both the stratification of rock medium overlying reflector and the resulting broken path of seismic ray. The basic principles and the mode of program operation are discussed. Examples illustrating advantages and the purpose of making this kind of calculations in preparation of repeated coverages in reflectional seismics are given.

stosować prędkości określone w sposób teoretyczny na podstawie studium prędkości w danym rejonie.

Przedstawione na przytoczonych przykładach (ryc. 1 i 2) obliczenia wskazują na bardzo dobrą zgodność poprawek dynamicznych obliczonych opisaną metodą w odniesieniu do wyznaczonych z seismogramów wartości Δt . Prędkości kompleksowe do obliczeń w tych przykładach zaczerpnięte zostały z pomiarów czasów pionowych, a ich zależność od głębokości podana została na ryc. 9. Ponadto na ryc. 10 i 11 przytoczone zostały dalsze wyniki badań z tego zakresu, a mianowicie wielkości różnic między poprawkami obliczonymi wg V_{sr} i wg prędkości kompleksowych w zależności od odległości rejestracji. Różnice te wynoszą w pierwszym przypadku do 30 msec, a w drugim do 50 msec (dla odległości, które już w najbliższej przyszłości znajdą zastosowanie w badaniach refleksyjnych) i dobitnie wykazują celowość uwzględnienia w obliczeniach poprawek dynamicznych załamanej drogi promienia.

LITERATURA

1. Betlej K. — Nomogramy do określania gradientów czasów fal odbitych. Techn. Poszuk. z. 31/32.
2. Cressman K. S. — How Velocity LAYERING and Steep Dip Affect CDP. Geophysics, 1968, Vol. 33, No. 3.

РЕЗЮМЕ

В статье представлен способ вычисления с помощью цифровых машин динамических поправок, учитывающий расслоение массы пород над отражающим горизонтом и обусловленный этим ломаный путь сейсмического луча. Описаны основные принципы и способ действия программы. Даны примеры, отражающие преимущества и целесообразность вычислений такого типа в интерпретации данных многократного перекрытия в методе отраженных волн.