

Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach wschodniej części sieci wahadłowej w Polsce

**Praca wykonana w roku 1958 przez Katedrę Geodezji Wyższej Politechniki
Warszawskiej w ramach współpracy z Instytutem Geodezji i Kartografii**

1. Wstęp

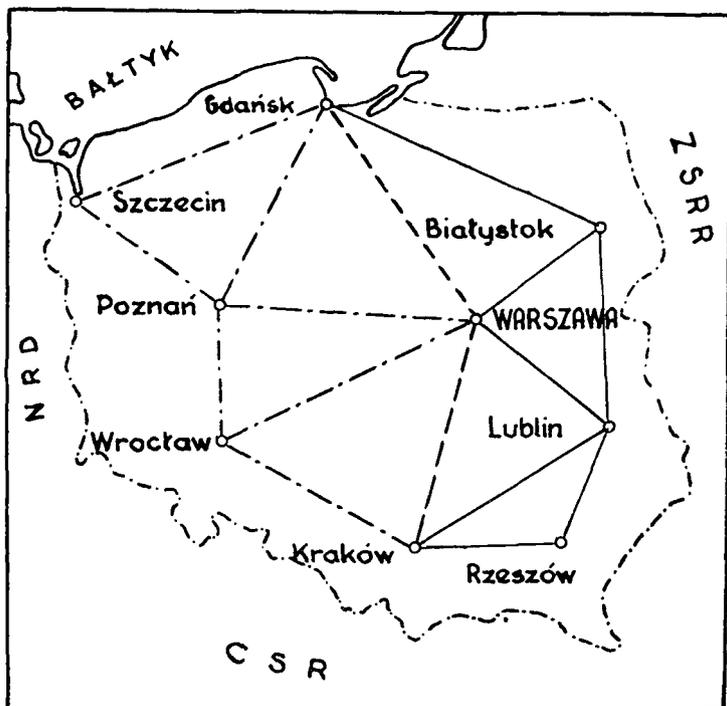
Jako realizację projektu podstawowej sieci wahadłowej Polski, opracowanego przez Instytut Geodezji i Kartografii, Katedra Geodezji Wyższej Politechniki Warszawskiej na zlecenie Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii wykonała w latach 1955—1958, przy współpracy z Instytutem, prace instrumentalno-badawcze i pomiarowe aparaturą czterowahadłową.

W roku 1956 dokonano pomiarów na punktach bazy grawimetrycznej Gdańsk—Kasprowy Wierch [2] uzyskując w wyniku — między innymi — różnice przyspieszeń między punktami wahadłowymi Gdańsk, Warszawa i Kraków. W roku 1957 wyznaczono punkty wahadłowe w Szczecinie, Poznaniu i Wrocławiu [3], które w powiązaniu z punktami: Gdańsk, Warszawa i Kraków tworzą zachodnią część sieci wahadłowej w Polsce. Kontynuacją tych prac było przeprowadzenie pomiarów wahadłowych wschodniej części sieci wahadłowej Polski, która powstaje przez dowiązanie do punktów w Gdańsku, Warszawie i Krakowie trzech nowych punktów w Białymstoku, Lublinie i Rzeszowie (rys. 1). Wyznaczono różnice przyspieszeń dla następujących przeseł sieci wahadłowej: Gdańsk—Białystok, Warszawa—Białystok, Białystok—Lublin, Warszawa—Lublin, Lublin—Rzeszów, Rzeszów—Kraków i Kraków—Lublin.

Do pomiarów użyto tej samej aparatury co w latach ubiegłych, a mianowicie: aparatu czterowahadłowego firmy Askania Nr 5115295 z kompletem półsekundowych wahadeł inwarowych typu Sterneck'a, z aparaturą do rejestracji fotograficznej. Stosowano również kompensację magnetyczną przy pomocy cewki Helmholtza [1], [2].

Również metody obserwacji nie odbiegały na ogół od metod stosowanych w latach ubiegłych.

Obserwacje dla wyznaczenia różnic przyspieszeń przeprowadzono w miesiącach sierpień-wrzesień 1958 r. Obserwacje wykonał zespół, w skład którego — oprócz



Rys. 1 Szkic sieci wahadłowej

- — — — — pomiary wykonane w roku 1956
- - - - - pomiary wykonane w roku 1957
- pomiary wykonane w roku 1958

autorów niniejszego artykułu — wchodzili pracownicy Katedry mgr inż. A. Farbiszewska i mgr inż. J. Śledziński. Tok prac diskutowany był na naradach roboczych, w których brali udział z ramienia Katedry Geodezji Wyższej — prof. dr Cz. Kamela i doc. W. Szpunar, a z ramienia Instytutu Geodezji i Kartografii — doc. J. Niewiarowski i mgr inż. J. Bokun.

2. Opis i przygotowanie punktów wahadłowych

Warszawa Politechnika (WP)

Warszawa, pl. Jedności Robotniczej 1, Politechnika, gmach główny, pracownia grawimetryczna Katedry Geodezji Wyższej, słup grawimetryczny Nr 1.

Punkt nie wymagał specjalnych przygotowań.

Kraków (Kr)

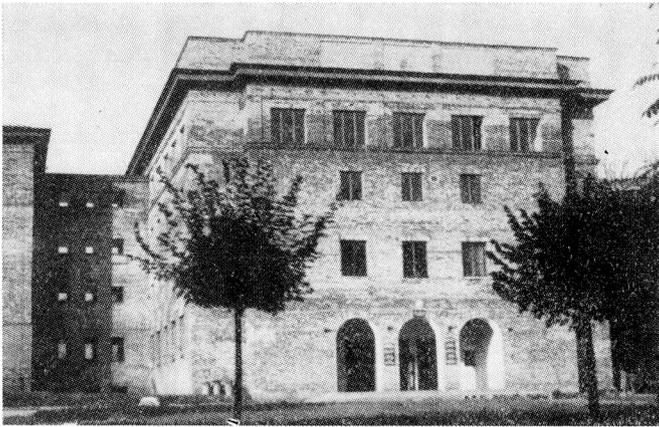
Kraków, ul. Kopernika 27, Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego, piwnica sejsmiczna. Punkt zaznaczony na podłodze betonowej marką.

Piwnicę obserwacyjną wraz z doprowadzającym korytarzem przed obserwacjami gruntownie sprzątnięto.

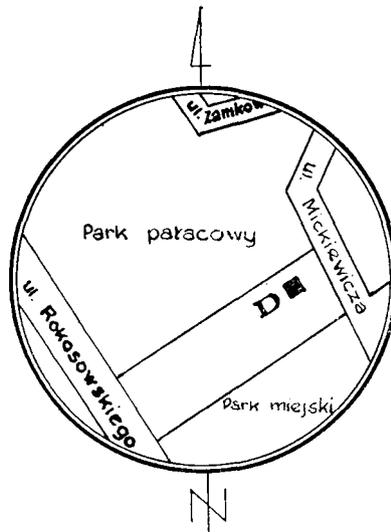
Gdańsk (Gd.)

Gdańsk—Wrzeszcz, ul. Sobieskiego 18, Wyższa Szkoła Pedagogiczna. Budynek administracyjno-gospodarczy, piwnica środkowa od strony wschodniej, tzw. szatnia Studium Wojskowego. Punkt zaznaczony na betonowej podłodze marką.

Przed obserwacjami pomieszczenie z przylegającym korytarzem opróżniono, gruntownie sprzątnięto i pobielono ściany. Warunki obserwacyjne dobre.

Białystok (Bł.)

Rys. 2a Punkt wahadłowy Białystok



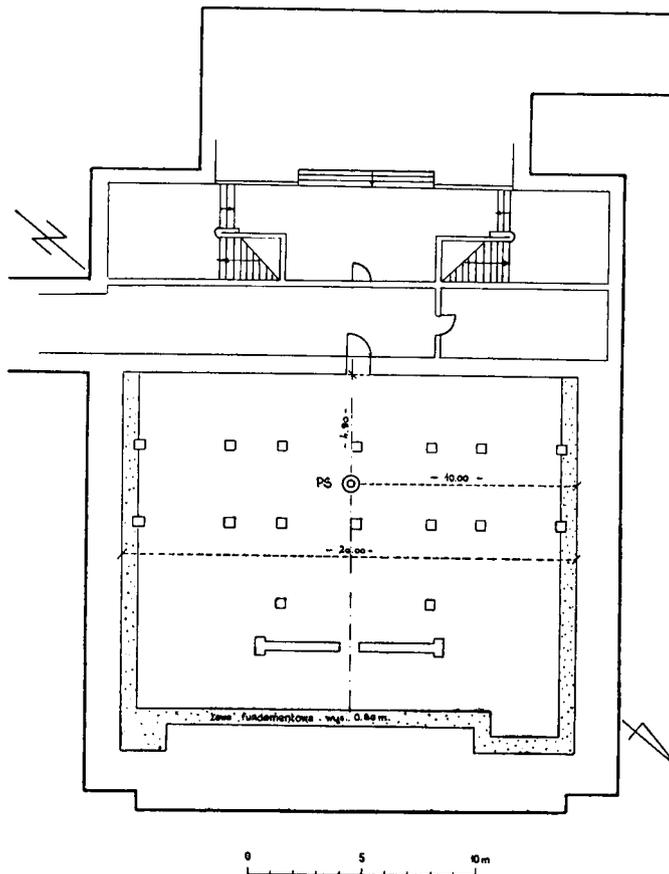
Rys. 2b Punkt wahadłowy Białystok

Białystok, ul. Mickiewicza 2, Akademia Medyczna, Budynek D. Piwnica położona pod holem. Stanowisko aparatu wahadłowego — podłoga betonowa. Punkt zaznaczony marką.

$$\varphi = 53^{\circ}07',9$$

$$\lambda = 23^{\circ}10',1$$

$$H = 133,9 \text{ m n.p.m.}$$



Rys. 2c Punkt wahadłowy Białystok

Piwnica bardzo duża (wym. $20 \times 16,5$ m), bez okien, zelektryfikowana, ściany tynkowane. Niewykończoną chropowatą powierzchnię betonowej podłogi wygładzono przez zalanie cementem. Warunki obserwacyjne bardzo dobre.

Lublin (Lb.)

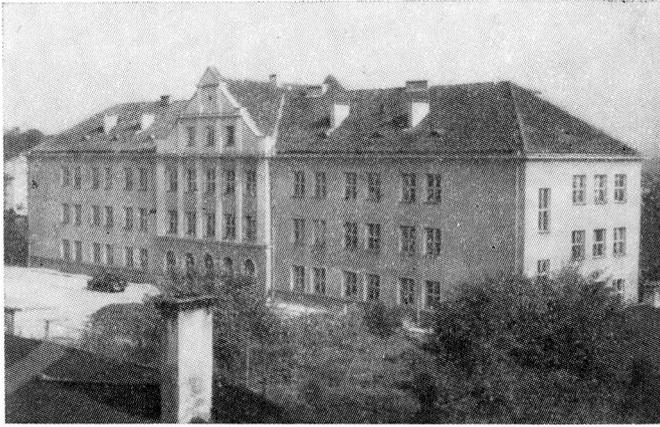
Lublin, ul. Narutowicza 32. Szkoła Podstawowa Nr 13. Budynek postawiony w 1956 roku. Schron położony w południowo-zachodniej części budynku. Stnowisko aparatu wahadłowego — podłoga betonowa. Punkt zaznaczony marką.

$$\varphi = 51^{\circ}14',7$$

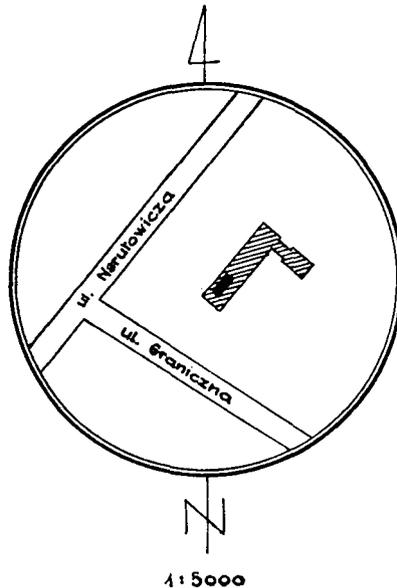
$$\lambda = 22^{\circ}33',6$$

$$H = 190,3 \text{ m n.p.m.}$$

Piwnica zelektryfikowana, bez okien, ściany nietynkowane. Przed obserwacjami pobielono ściany i wyrównano betonową podłogę przez położenie nowej

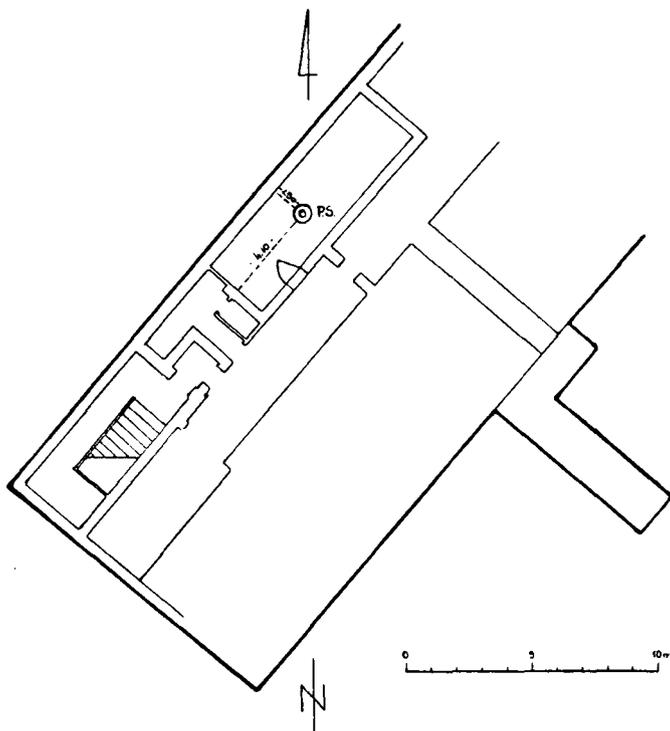


Rys. 3a Punkt wahadłowy Lublin



Rys. 3b Punkt wahadłowy Lublin

warstwy cementowej. W pomieszczeniu brak wentylacji. Stałość temperatury zadowalająca. Spokój zupełny.



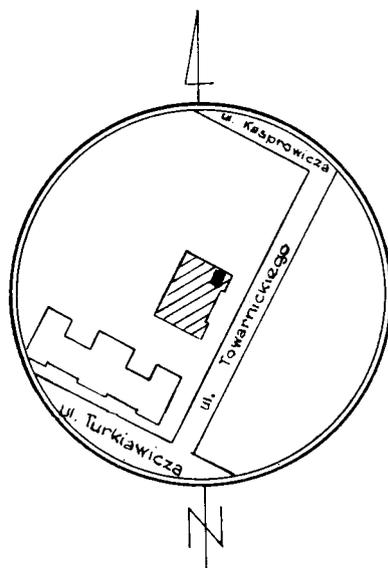
Rys. 3c Punkt wahadłowy Lublin

Rzeszów (Rz.)

Rzeszów, ul. Towarnickiego 3, Internat Studium Nauczycielskiego. Łaźnia położona w piwnicy we wschodnim narożniku budynku. Stanowisko aparatu

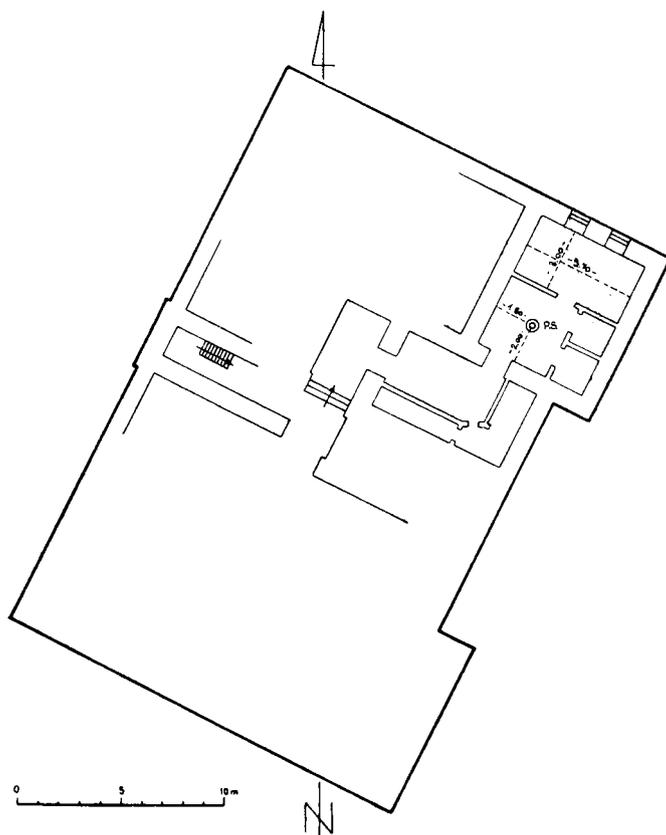


Rys. 4a Punkt wahadłowy Rzeszów



1 : 3000

Rys. 4b Punkt wahałowy Rzeszów



Rys. 4c Punkt wahałowy Rzeszów

wahadłowego — podłoga betonowa wyłożona kafelkami. Punkt zaznaczony marką.

$$\varphi = 50^{\circ}02',6$$

$$\lambda = 21^{\circ}59',6$$

$$H = 206,7 \text{ m n.p.m.}$$

Pomieszczenie duże z dwoma oknami od strony północnej. Punkt obserwacyjny obrano w części wydzielonej na szatnię, oddzielonej od okien ścianką działową wysokości 2,5 m. Stałość temperatury wystarczająca. Punkt obserwacyjny położony 15 m od spokojnej ulicy oraz około 150 m od linii kolejowej. Zakłóceń z tego powodu nie zauważono.

3. Obserwacje

Celem uzyskania możliwie jednolitego materiału obserwacyjnego dla całej sieci wahadłowej Polski przyjęto w niniejszych wyznaczeniach metody obserwacji stosowane w roku ubiegłym. Wykonano cykl obserwacji, z którego, biorąc do obliczeń tylko różnice okresów wahadeł zaobserwowanych na sąsiednich stanowiskach, otrzymano dla każdego przęsła sieci (pomiędzy punktami A i B) obserwację „tam” ($A-B$) i „z powrotem” ($B-A$), a mianowicie: Warszawa I, Białystok I, Gdańsk Ia, Gdańsk Ib, Białystok II, Lublin Ia, Lublin Ib, Białystok III, Warszawa II, Lublin II, Rzeszów I, Kraków II, Lublin IIIa, Lublin IIIb, Kraków II, Rzeszów II, Lublin IV, Warszawa III. Seria obserwacji ze znacznikiem b wykonywana była w sposób niezależny od poprzedzającej ją na tym samym stanowisku serii obserwacji a , a mianowicie: wahadła przewożone były samochodem, następnie aparatura montowana była ponownie, przy czym położenie aparatu było skręcane o kąt bliski 90° względem ustawienia poprzedniego.

Przed rozpoczęciem właściwych obserwacji wahadła przewożono dwa razy samochodem na trasie długości 100 km, wykonując po każdym przejeździe serię próbnych obserwacji celem kontroli stałości okresów.

Program obserwacji na stanowisku był taki sam, jak w roku ubiegłym [3]. Wykonywano na stanowisku 5 sześciogodzinnych obserwacji okresów wahadeł, z zastosowaniem kompensacji składowej pionowej pola magnetycznego. Stosowano amplitudę początkową wahadeł 15', przy czym amplituda końcowa, po 6 godzinach, wynosiła około 8'.

Podczas obserwacji stosowano ciśnienie pod kloszem około 9 mm słupa rtęci. Uzyskano dobrą stałość ciśnienia podczas wszystkich obserwacji, a mianowicie: średnie wartości ciśnień na stanowiskach zawarte są w granicach od 8,6 do 9,7 mm słupa rtęci, średnia różnica ciśnień między sąsiednimi stanowiskami wyniosła 0,3 mm sł. rtęci, średni zaś wzrost ciśnienia w czasie sześciogodzinnej obserwacji wyniósł 0,14 mm sł. rtęci.

Pod względem termicznym stosowano również tę samą zasadę postępowania co w roku ubiegłym. Temperatury na punktach obserwacyjnych nie regulowano, starając się uzyskać jak najlepszą stałość temperatury podczas obserwacji, aby

temperatury wahadeł były jak najbardziej zbliżone do temperatury powietrza pod kloszem aparatu, tj. do temperatury, którą wskazuje termometr aparatu czterowahadłowego. Średnia zmiana temperatury w czasie sześciogodzinnej obserwacji wyniosła $0,09^{\circ}\text{C}$, co świadczy o na ogół dobrych warunkach termicznych wszystkich stanowisk. Średnie wartości temperatur na stanowiskach wahały się w granicach od $19,6^{\circ}\text{C}$ do $15,5^{\circ}\text{C}$, przy czym maksymalna różnica temperatur na sąsiednich stanowiskach wyniosła $2,3^{\circ}\text{C}$, średnia zaś różnica temperatur na sąsiednich stanowiskach wyniosła $1,5^{\circ}\text{C}$. Powyższe rozbieżności temperatur nie budzą żadnych zastrzeżeń z uwagi na stwierdzoną podczas badań aparatury w latach 1955, 1956 i 1957 stałość współczynników termicznych wahadeł.

Wpływ pola magnetycznego na wahadła inwarowe wyeiminowano metodą kompensacji składowej pola magnetycznego przy pomocy cewki Helmholtza [2]. Natężenie składowej pionowej pola magnetycznego na wyznaczonych punktach wahadłowych wynosiło: w Białymstoku $0,408 \Gamma$, w Lublinie $0,464 \Gamma$, w Rzeszowie $0,377 \Gamma$.

Celem umieszczenia wahadeł w środku stosowanej cewki Helmholtza, statyw aparatu wahadłowego na wszystkich punktach, poza stanowiskiem w Warszawie, ustawiano na kamiennej podstawie wysokości 13 cm.

Niezależnie od powyższych ogólnych zasad postępowania wprowadzono w bieżących obserwacjach pewne innowacje, wynikające z doświadczeń pomiarów wykonanych w latach ubiegłych, a mianowicie mające na celu zmniejszenie systematycznego błędu \times .

Między innymi w tym celu wykonano wszystkie obserwacje w oparciu o dwa zegary robocze: zegar kwarcowy Q_{11} Głównego Urzędu Miar, z którego nadawane były sygnały czasu przez Rozgłośnie Warszawskie Polskiego Radia oraz sygnały czasu nadawane z Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego przez radiostację DIZ. Dla każdej obserwacji otrzymano w wyniku zaobserwowane okresy poszczególnych wahadeł w jednostce czasu zegara Q_{11} oraz niezależnie — w jednostce czasu zegara DIZ. Dla wyprowadzenia redukcji ze względu na chód tych zegarów porównywane były przez Pracownię Czasu Głównego Urzędu Miar, dwa razy na dobę, wskazania zegara Q_{11} z sygnałami czasu DIZ, GBZ, MSF i FYP.

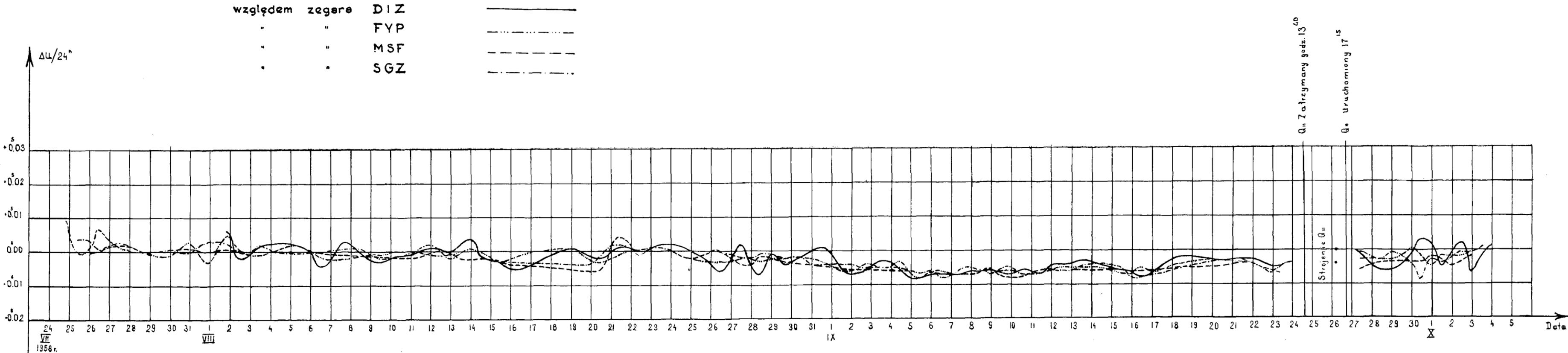
Również, zgodnie z wnioskami wypływającymi z dokonanej analizy materiału obserwacyjnego z roku ubiegłego, zdecydowano wprowadzić do tegorocznych obserwacji redukcje ze względu na zmienny wpływ mas Księżyca i Słońca, którą to redukcję w latach ubiegłych pomijano.

4. Redukcje zaobserwowanych okresów wahadeł

4.1. Redukcja okresów do nieskończenie małej amplitudy

Zaobserwowane okresy poszczególnych wahadeł zredukowano do nieskończenie małej amplitudy wg wzoru [3]:

$$\Delta T_a = A \left(\frac{a_p + a_k}{2} \right)^2 \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{a_p - a_k}{a_p + a_k} \right)^2 - \frac{4}{45} \left(\frac{a_p - a_k}{a_p + a_k} \right)^4 \right]$$



Rys. 5 Wykres chodu zegara kwarcowego GUM Q₁₁

$$\Delta T_d = k_1 d + k_2 \sqrt{d}$$

$$d = \frac{b}{1 + 0,00367 \cdot t}$$

gdzie: b — ciśnienie powietrza wewnątrz klosza, w mm słupa rtęci

t — temperatura powietrza, w°C

$k_1 = -0,793 \cdot 10^{-7}$ sek

$k_2 = -4,34 \cdot 10^{-7}$ sek.

4.5. Redukcja okresów ze względu na chód zegara

Z dokonanych przez Pracownię Czasu Głównego Urzędu Miar rejestracji wskazań zegara kwarcowego Q_{11} względem sygnałów czasu DIZ, GBZ, MSF i FYP wyprowadzono chód dobowy (przyspieszenie na 24^h) zegara Q_{11} względem zegarów, z których nadawane były wyżej wymienione sygnały. Uzyskane wyniki naniesiono na wykres (rys. 5). Wszystkie otrzymane krzywe na ogół pokrywają się, ich rozbieżności mają charakter krótkookresowy (najczęściej trwające jedną dobę). Należy je zatem przypisać przede wszystkim błędom przekazywania sygnałów czasu i ich rejestracji. Wobec stwierdzonej zgodności chodu zegara DIZ względem zegarów GBZ, MSF i FYP, przyjęto redukcję okresów wahadeł zaobserwowanych w oparciu o sygnały DIZ równą zeru; natomiast okresy zaobserwowane w oparciu o sygnały Q_{11} zredukowano przy pomocy odczytanych z wykresu na średni moment obserwacji wartości chodu zegara Q_{11} (Δu sek) względem wszystkich czterech rejestrowanych sygnałów czasu, stosując wzór:

$$\Delta T_u = - \left[\frac{T'}{86400} (\Delta u / 24^h) \right] \text{sek} = - 57 (\Delta u / 24^h) \cdot 10^{-7} \text{sek}.$$

4.6. Redukcja ze względu na zmienny wpływ Księżyca i Słońca

Dla wprowadzenia tej redukcji wykorzystano wykresy podające wartości sił przyływowowych dla interesujących nas okresów [4]. Wykresy te opracowane są dla celów względnych pomiarów grawimetrycznych i ze względów rachunkowych podają wartości przyrostów przyspieszenia siły ciężkości zwiększone o $+0,12$ mgal. Średnią wartość przyrostu przyspieszenia dg dla sześciogodzinnej obserwacji określono przez całkowanie wykresu. Redukcję zaobserwowanych okresów wahadeł obliczano z następującej zależności:

$$\Delta T_g = - \frac{T}{2g} dg = - 2,5 \cdot dg \cdot 10^{-7} \text{sek}$$

gdzie dg — wartość poprawki g w miligalach wyznaczona z wykresu.

4.7. Zestawienie wyników obserwacji i redukcji

W tabelicy 2 zestawiono następujące dane obserwacyjne: data i czas obserwacji, średnie wartości temperatur — t_{sr} , zmianę temperatury obserwacji — $\Delta t/1^h$, średnie ciśnienie — b_{sr} , amplitudy początkowe — a_p i końcowe — a_k par wahadeł oraz okresy

par wahadeł— T' zaobserwowane przy użyciu sygnałów czasu z zegara Q_{11} . Następnie podano wartości redukcji zaobserwowanych okresów par wahadeł: do niekończenia małej amplitudy— ΔT_a (średnie z obliczonych redukcji dla poszczególnych wahadeł), do temperatury $+15^\circ\text{C}$ — ΔT_t , do ciśnienia zerowego— ΔT_p , ze względu na chód zegara Q_{11} — ΔT_u i ze względu na zmienny wpływ Księżyca i Słońca— ΔT_g , oraz zredukowane okresy par wahadeł i wahadła średniego— $T_{Q_{11}}$. Okresy wahadeł zaobserwowane w oparciu o sygnały czasu DIZ zredukowano niezależnie i uzyskane w wyniku okresy zredukowane— T_{DIZ} podano w ostatniej rubryce tablicy 2. Do dalszych obliczeń przyjęto, jako ostateczne wartości okresów zredukowanych, średnie z $T_{Q_{11}}$ i T_{DIZ} .

5. Analiza zredukowanych okresów wahadeł

5.1. Obliczenie średnich błędów z wewnętrznych zgodności wyników na stanowiskach i względnych zmian okresów wahadeł w czasie

W tablicy 3 zestawiono zredukowane okresy par wahadeł i wahadła średniego. Z wewnętrznych zgodności obserwacji na stanowiskach obliczono dla całego cyklu obserwacji średni błąd pojedynczego pomiaru dla pary wahadeł:

$$m'_0 = \pm 0,78 \cdot 10^{-7} \text{ sek},$$

natomiast dla wahadła średniego:

$$M'_0 = 0,73 \cdot 10^{-7} \text{ sek}.$$

Dzieląc wszystkie błędy występujące podczas obserwacji na czysto przypadkowe μ i błędy wspólne w danej obserwacji dla obu par wahadeł \varkappa , otrzymujemy dla średnich błędów następującą zależność:

$$(m'_0)^2 = \mu^2 + \varkappa^2 = 0,604$$

$$(M'_0)^2 = \frac{1}{2} \mu^2 + \varkappa^2 = 0,536,$$

skąd czysto przypadkowa część błędu m'_0 $\mu = \pm 0,37 \cdot 10^{-7}$ sek zaś systematyczna część błędu m'_0 $\varkappa = \pm 0,68 \cdot 10^{-7}$ sek. Stosunek części systematycznej do części przypadkowej błędu m'_0 jest w niniejszych pomiarach nieco korzystniejszy niż w pomiarach wykonanych w roku poprzednim [3], nie mniej jednak błąd \varkappa w dalszym ciągu odgrywa decydującą rolę w dokładności wykonywanych pomiarów.

Celem zbadania wpływu błędów przekazywania sygnałów czasu przeprowadzono analogiczną analizę zredukowanych okresów tych samych obserwacji wykonanych w oparciu o jeden zegar, osobno dla sygnałów Q_{11} i DIZ, uzyskując średnio dla obserwacji wykonanej przy użyciu jednego zegara $\mu = \pm 0,34 \cdot 10^{-7}$ sek, $\varkappa = \pm 0,75 \cdot 10^{-7}$ sek.

Wśród błędów składających się na błąd \varkappa można wyróżnić błąd wynikający z określenia interwału czasu obserwacji przy pomocy jednego zegara \varkappa_z . Określając pozostałą część błędu \varkappa symbolem \varkappa_p można napisać równanie dla obserwacji wykonanej w oparciu o jeden zegar:

Tablica 2

WYNIKI OBSERWACJI I REDUKCJI

Stano- wisko	Data godz.	t $\Delta t_1/n$ °C	b mm	Nr. wah.	a_p	a_k	T'_{Q11} sek	ΔT_a	ΔT_t	ΔT_d	ΔT_u	ΔT_g	T_{Q11} sek	T_{D12} sek	
WP I	1958 r.	19,40	9,00	1,3	15,0	7,8	0,4955	-3,9	-11,3	-19,3	0,0	-0,4	0,4955	0,4955	
	31.7	+0,01		2,4	15,0	7,8	541,8	-3,9	-7,7	-19,3	0,0	-0,4	506,9	506,7	
	8-14						538,0						506,7	506,2	
	31.7	19,60	9,04	1,3	15,0	7,8	541,7	-3,9	-11,8	-19,3	0,0	-0,2	506,5	506,4	
	15-21	+0,01		2,4	15,1	7,8	537,7	-4,0	-8,0	-19,3	0,0	-0,2	506,7	507,1	
	1.8	19,56	9,20	1,3	14,8	7,6	541,8	-3,8	-11,7	-19,5	-0,1	-0,4	506,9	506,9	
	8-14	+0,02		2,4	14,7	7,6	537,7	-3,8	-7,9	-19,5	-0,1	-0,4	506,0	505,0	
	1.8	19,70	9,25	1,3	15,4	8,0	542,4	-4,1	-12,0	-19,6	-0,2	-0,2	506,3	504,4	
	15-21	+0,03		2,4	15,4	8,0	538,0	-4,1	-8,1	-19,6	-0,2	-0,2	505,8	504,7	
	2.8	19,60	9,20	1,3	15,2	7,8	542,1	-4,0	-11,8	-19,5	0,0	-0,3	506,5	506,5	
	7-13	+0,01		2,4	15,2	7,9	537,9	-4,0	-8,0	-19,5	0,0	-0,3	506,1	506,1	
	BH. I	5.8	17,62	9,81	1,3	14,8	7,6	346,0	-3,8	-6,8	-20,5	-0,1	-0,2	314,6	315,4
8-14		-0,03		2,4	14,9	7,6	310,2	-3,8	-4,7	-20,5	-0,1	-0,2	310,9	311,7	
5.8		17,62	9,90	1,3	14,6	7,5	314,6	-3,7	-6,7	-20,6	0,0	-0,2	312,8	313,6	
15-21		-0,01		2,4	14,6	7,5	339,3	-3,7	-4,6	-20,6	0,0	-0,2	310,2	313,5	
5-6.8		17,55	10,00	1,3	15,2	7,7	344,2	-4,0	-6,6	-20,7	0,0	-0,3	311,8	311,9	
23-5		-0,02		2,4	15,2	7,7	339,0	-3,9	-4,4	-20,7	0,0	-0,3	309,7	310,0	
6.8		17,50	8,75	1,3	15,0	7,8	311,7	-4,0	-6,4	-19,0	+0,1	-0,2	311,2	311,8	
8-14		0,00		2,4	15,1	8,0	336,9	-4,0	-4,4	-19,0	+0,1	-0,2	309,4	309,1	
6.8		17,50	9,10	1,3	15,1	7,8	341,3	-4,0	-6,4	-19,4	+0,1	-0,2	310,8	310,4	
17-23		0,00		2,4	15,1	7,9	336,2	-4,0	-4,4	-19,4	+0,1	-0,2	308,3	310,6	
														307,8	307,8
														309,8	309,2

c.d. tablicy 2

Stano- wisko	Data godz.	t $\Delta t/1^{\circ}$ $^{\circ}\text{C}$	b mm	Nr. wach.	a_p	a_c	$T'_{Q_{11}}$ sek	ΔT_a	ΔT_t	ΔT_d	ΔT_u	ΔT_p	$T_{Q_{11}}$ sek	$T_{D_{12}}$ sek
Gd. Ia	8—9.8 23—5	16,39	8,81	1,3	14,9	7,8	0,4954	-3,9	-3,7	-19,1	+0,1	-0,2	0,4954	0,4954
		-0,03		2,4	14,9	7,7	990,8	-3,8	-2,5	-19,1	+0,1	-0,2	969,3	969,0
	9.8 8—14	16,42	7,95	1,3	14,8	7,7	993,2	-3,8	-3,6	-17,8	+0,1	-0,4	967,7	967,6
		-0,01		2,4	14,8	7,7	990,1	-3,8	-2,5	-17,8	+0,1	-0,4	965,7	965,5
	9.8 15—21	16,45	8,25	1,3	14,8	7,6	992,0	-3,8	-3,7	-18,3	+0,1	-0,2	966,1	966,1
		0,00		2,4	14,9	7,5	990,1	-3,8	-2,5	-18,3	+0,1	-0,2	965,4	965,3
Gd. Ib	10.8 0—6	16,35	10,45	1,3	14,5	6,9	997,6	-3,4	-3,6	-21,4	+0,1	-0,2	969,1	968,5
		-0,05		2,4	14,6	6,7	994,2	-3,4	-2,4	-21,4	+0,1	-0,2	966,9	966,3
	11.8 8—14	16,15	9,80	1,3	15,0	7,4	994,0	-3,7	-3,0	-20,5	0,0	-0,4	966,4	966,3
		0,02		2,4	15,0	7,4	990,9	-3,8	-2,0	-20,5	0,0	-0,4	964,2	964,2
	11.8 15—21	16,30	9,95	1,3	15,0	7,4	993,8	-3,8	-3,2	-20,7	0,0	-0,1	966,0	966,2
		0,03		2,4	15,2	7,4	990,8	-3,8	-2,2	-20,7	0,0	-0,1	964,0	964,4
12—13 23—5	16,00	8,70	1,3	14,8	7,5	991,6	-3,8	-2,6	-19,0	0,0	-0,1	966,1	965,8	
	0,00		2,4	14,9	7,5	990,2	-3,8	-1,7	-19,0	0,0	-0,1	965,6	965,3	
13.8 8—14	16,07	9,19	1,3	15,0	7,4	992,2	-3,8	-2,7	-19,7	0,0	-0,5	965,5	965,1	
	-0,01		2,4	15,1	7,5	991,0	-3,8	-1,9	-19,7	0,0	-0,5	965,1	964,8	
													965,3	965,0

c.d. tablicy 2

Stano- wisko	Data godz.	$\Delta t/t^k$ °C	b mm	Nr wah.	a_p	a_k	$T'_{\Theta 11}$ sek	ΔT_a	ΔT_t	ΔT_d	ΔT_u	ΔT_σ	$T_{\Theta 11}$ sek	T_{D12} sek	
Bk. II	15.8 0—6	17,40	9,25	1,3	14,9	8,0	0,4955	-4,0	-6,3	-19,7	+0,1	-0,1	0,4955	0,4955	
		-0,03		2,4	14,9	8,0	344,4 339,5	-4,0	-4,3	-19,7	+0,1	-0,1	314,4 311,5 313,0	314,2 311,3 312,8	
	15.8 8—14	17,37	9,43	1,3	14,8	7,9	342,9*	-3,9	-6,1	-19,9	0,0	-0,4		312,6	
		-0,02		2,4	14,9	8,0	338,5*	-4,0	-4,1	-19,9	0,0	-0,4	310,1 311,4	310,1 311,4	
	15.8 15—21	17,40	9,50	1,3	14,8	8,0	344,0	-4,0	-6,2	-20,1	+0,2	-0,1		313,8	313,6
		0,00		2,4	14,8	8,0	339,0	-4,0	-4,2	-20,1	+0,2	-0,1		310,8 312,3	310,7 312,2
15—16 23—5	17,40	9,55	1,3	15,2	8,0	343,3	-4,1	-6,2	-20,1	+0,2	-0,2		312,9	312,7	
	0,00		2,4	15,3	8,2	338,7	-4,2	-4,2	-20,1	+0,2	-0,2		310,2 311,6	309,9 311,3	
16.8 8—13	17,40	9,60	1,3	15,0	8,8	343,4	-4,4	-6,2	-20,2	+0,2	-0,4		312,4	313,3	
	0,00		2,4	15,1	8,9	338,7	-4,4	-4,2	-20,2	+0,2	-0,4		309,7 311,0	311,0 312,2	
Lb. Ia	18.8 8—15	18,95	9,97	1,3	15,2	7,4	749,8*	-3,8	-10,2	-20,7	0,0	-0,2		714,9	
		0,00		2,4	15,2	7,6	744,8*	-4,0	-6,9	-20,7	0,0	-0,2		713,0 714,0	
18.8 16—21	19,01	10,35	1,3	15,0	8,8	749,7	-4,3	-10,3	-21,2	+0,1	-0,1		713,9		
	-0,02		2,4	15,1	9,0	745,0	-4,4	-7,0	-21,2	+0,1	-0,1		712,4 713,2		
18—19 23—5	19,03	9,05	1,3	15,2	8,2	747,4	-4,2	-10,4	-19,3	+0,1	-0,3		713,3	713,4	
	-0,02		2,4	15,2	8,4	743,6	-4,2	-7,0	-19,3	+0,1	-0,3		712,9 713,1	712,9 713,2	
19.8 8—14	18,98	9,40	1,3	14,8	8,1	748,8	-4,0	-10,2	-19,8	+0,2	-0,2		714,8	714,2	
	-0,02		2,4	14,8	8,2	743,0	-4,0	-6,9	-19,8	+0,2	-0,2		712,3 713,6	711,8 713,0	

c.d. tablicy 2

Stano- wisko	Data godz.	$\Delta t/1^h$ °C	b mm	Nr wah.	α_p	α_t	T'_{Q11} sek	ΔT_a	ΔT_t	ΔT_d	ΔT_u	ΔT_g	T_{Q11} sek	T_{D12} sek
Lb. Ib	0.8 28-14	19,00 0,00	9,32	1,3 2,4	15,0 15,0	8,0 8,1	0,4955	-4,0	-10,3	-19,7	0,0	-0,2	0,4955	0,4955
							748,3*	-4,0	-7,0	-19,7	0,0	-0,2	714,1	714,1
							742,8*	-4,1	-10,6	-20,4	+0,1	-0,1	711,9	711,9
	20.8 15-21	19,10 -0,02	9,77	1,3 2,4	15,2 15,2	8,0 8,1	748,3	-4,1	-10,6	-20,4	+0,1	-0,1	713,2	713,0
							742,8	-4,1	-7,2	-20,4	+0,1	-0,1	711,1	710,9
								-4,0	-10,3	-20,4	0,0	-0,3	712,0	712,0
	20-21 23-5	19,02 -0,01	9,80	1,3 2,4	15,0 15,2	8,1 8,0	747,4	-4,0	-10,3	-20,4	0,0	-0,3	712,4	713,4
							742,6	-4,0	-7,0	-20,4	0,0	-0,3	710,9	711,7
								-3,8	-10,3	-20,6	-0,1	-0,2	711,6	712,6
	21.8 8-15	19,00 0,00	9,89	1,3 2,4	15,2 15,2	7,2 7,3	747,7	-3,8	-10,3	-20,6	-0,1	-0,2	712,7	712,9
							742,6	-3,8	-7,0	-20,6	-0,1	-0,2	710,9	710,7
								-4,2	-5,5	-19,0	-0,1	-0,3	711,8	711,8
Bł. III	23.8 8-14	17,15 +0,02	8,77	1,3 2,4	15,2 15,3	8,2 8,3	341,0	-4,2	-5,5	-19,0	-0,1	-0,3	311,9	311,2
							338,6	-4,2	-3,7	-19,0	-0,1	-0,3	311,3	310,5
								-4,0	-5,7	-19,3	0,0	-0,1	311,6	310,8
	23.8 15-21	17,20 0,00	8,97	1,3 2,4	14,9 15,2	8,0 8,2	340,1	-4,0	-5,7	-19,3	0,0	-0,1	311,0	310,8
							337,8	-4,1	-3,8	-19,3	0,0	-0,1	310,5	310,4
								-4,2	-5,7	-19,9	0,0	-0,2	310,8	310,6
	24.8 0-6	17,20 0,00	9,40	1,3 2,4	15,2 15,4	8,2 8,4	340,2	-4,2	-5,7	-19,9	0,0	-0,2	310,2	310,4
							338,1	-4,2	-3,8	-19,9	0,0	-0,2	310,0	310,0
								-4,1	-5,7	-19,9	0,0	-0,4	310,1	310,2
	24.8 8-14	17,22 -0,01	9,40	1,3 2,4	15,2 15,3	8,2 8,2	342,6	-4,1	-5,7	-19,9	0,0	-0,4	312,5	312,1
							338,9	-4,2	-3,9	-19,9	0,0	-0,4	310,5	310,3
								-4,0	-5,7	-20,1	0,0	-0,1	311,5	311,2
	24.8 15-21	17,22 0,00	9,50	1,3 2,4	15,2 15,2	8,0 8,1	342,1	-4,0	-5,7	-20,1	0,0	-0,1	312,2	312,1
							338,4	-4,1	-3,9	-20,1	0,0	-0,1	310,2	310,0
								-4,1	-3,9	-20,1	0,0	-0,1	311,2	311,0

c.d. tablicy 2

Stano- wisko	Data godz.	t $\Delta t/1^h$ $^{\circ}\text{C}$	b mm	Nr wah.	a_p	a_k	$T^{Q_{11}}$ sek	ΔT_a	ΔT_t	ΔT_d	ΔT_u	ΔT_g	$T_{Q_{11}}$ sek	$T_{D_{12}}$ sek
WP II	26.8 9—15	19,31 +0,03	9,28	1,3 2,4	15,0 15,0	8,2 8,1	0,4955	-4,1	-11,0	-19,6	+0,1	-0,4	0,4955	0,4955
							544,6	-4,0	-7,4	-19,6	+0,1	-0,4	509,6	510,1
	26.8 16—22	19,24 -0,02	9,40	1,3 2,4	15,2 15,2	8,4 8,4	538,5	-4,2	-10,9	-19,8	+0,1	-0,1	507,2	509,2
							544,6	-4,2	-7,4	-19,8	+0,1	-0,1	506,9	506,2
	27.8 7—13	19,15 0,00	9,50	1,3 2,4	15,0 15,0	8,2 8,4	533,3	-4,1	-10,7	-20,0	+0,1	-0,4	508,3	507,7
							537,6	-4,2	-7,2	-20,0	+0,1	-0,4	508,5	508,2
	27.8 13—19	19,20 0,00	9,58	1,3 2,4	15,2 15,2	8,2 8,2	543,3	-4,2	-10,8	-20,1	+0,1	-0,2	508,1	507,7
							537,2	-4,2	-7,3	-20,1	+0,1	-0,2	505,9	505,2
	28.8 8—14	19,00 0,00	9,68	1,3 2,4	15,1 15,2	8,2 8,2	531,1	-4,2	-10,3	-20,3	+0,2	-0,4	508,1	507,7
							537,3	-4,2	-7,0	-20,3	+0,2	-0,4	505,6	506,4
Lb. II	31.8 9—15	18,65 -0,02	9,30	1,3 2,4	15,4 15,4	8,2 8,3	749,1	-4,2	-9,4	-19,7	+0,2	-0,3	715,7	715,2
							743,1	-4,2	-6,4	-19,7	+0,2	-0,3	712,7	712,2
31.8 16—21	18,65 -0,02	9,50	1,3 2,4	15,2 15,2	9,0 9,0	748,4	-4,4	-9,4	-20,0	+0,2	-0,1	714,7	714,9	
						742,7	-4,4	-6,4	-20,0	+0,2	-0,1	712,0	712,4	
31—1,9 23—6	18,60 0,00	9,54	1,3 2,4	15,0 15,2	7,0 7,0	747,2	-3,6	-9,3	-20,1	+0,2	-0,3	713,4	713,8	
						741,8	-3,7	-6,3	-20,1	+0,2	-0,3	711,6	711,4	
1,9 8—14	18,64 0,00	9,72	1,3 2,4	15,2 15,2	8,0 8,1	747,5	-4,0	-9,4	-20,3	+0,3	-0,2	712,8	711,7	
						742,4	-4,1	-6,3	-20,3	+0,3	-0,2	711,8	709,6	
1,9 15—21	18,62 0,00	9,80	1,3 2,4	15,2 15,2	8,0 8,0	747,3	-4,0	-9,3	-20,4	+0,3	-0,2	713,7	714,6	
						742,3	-4,0	-6,3	-20,4	+0,3	-0,2	711,7	712,4	
													712,7	713,5

c.d. tablicy 2

Stano- wisko	Data godz.	t $\Delta t/1^h$ $^{\circ}\text{C}$	b mm	Nr wah.	a_p	a_k	T'_{en} sek	ΔT_a	ΔT_t	ΔT_d	ΔT_u	ΔT_g	T_{en} sek	T_{Diz} sek
Rz. I	4.9 8—14	16,60 0,00	8,85	1,3 2,4	15,0 15,2	7,7 7,8	0,4956	-3,9	-4,1	-19,1	+0,3	-0,2	0,4956	0,4956
							085,2	-4,0	-2,8	-19,1	+0,3	-0,2	058,7	058,7
	4.9 15—20	16,78 0,00	9,15	1,3 2,4	15,2 15,4	8,8 9,0	082,2	-4,4	-4,6	-19,6	+0,3	-0,2	056,4	056,4
							084,2	-4,5	-3,1	-19,6	+0,3	-0,2	057,1	056,2
	4—5.9 23—5	16,82 -0,01	9,45	1,3 2,4	14,9 15,0	7,6 7,7	087,7	-3,8	-4,7	-20,0	+0,4	-0,3	059,2	058,2
							083,7	-3,9	-3,2	-20,0	+0,4	-0,3	057,0	057,2
	5.9 8—14	16,83 +0,01	9,80	1,3 2,4	15,2 15,4	7,6 7,8	088,1	-4,0	-4,7	-20,5	+0,4	-0,2	058,7	058,6
							084,8	-4,0	-3,2	-20,5	+0,4	-0,2	056,7	057,0
	5.9 16—23	17,22 +0,06	10,34	1,3 2,4	15,0 15,1	6,6 6,6	089,8	-3,4	-5,6	-21,2	+0,4	-0,1	059,9	060,4
							085,7	-3,4	-3,8	-21,2	+0,4	-0,1	057,6	058,0
Kr. I	8.9 8—14	15,95 +0,10	8,80	1,3 2,4	15,0 15,0	7,8 7,8	0,4955	-3,9	-2,6	-19,1	0,0	-0,4	0,4955	0,4955
							999,6*	-3,9	-1,9	-19,1	0,0	-0,4	973,6	973,6
	8.9 16—22	15,92 -0,05	9,29	1,3 2,4	15,3 15,2	7,8 7,9	996,6*	-4,0	-2,5	-19,8	+0,4	-0,1	971,3	972,4
							1000,7	-4,0	-1,7	-19,8	+0,4	-0,1	972,8	973,0
	8—9.9 23—5	15,72 -0,02	9,85	1,3 2,4	15,1 15,2	7,6 7,6	998,0	-3,8	-2,0	-20,6	+0,4	-0,2	973,8	973,2
							997,8	-3,8	-1,4	-20,6	+0,4	-0,2	971,8	972,5
	9.9 9—15	15,78 +0,01	9,68	1,3 2,4	15,0 15,0	7,5 7,5	999,0	-3,8	-2,0	-20,4	+0,4	-0,4	972,8	972,5
							997,4	-3,8	-1,4	-20,4	+0,4	-0,4	971,8	971,5
	9.9 16—22	15,82 -0,01	10,12	1,3 2,4	15,3 15,4	7,5 7,5	999,4	-3,9	-2,1	-21,0	+0,4	-0,1	972,3	972,0
							997,8	-3,9	-1,4	-21,0	+0,4	-0,1	971,8	971,3
													972,2	971,8

c.d. tablicy 2

Stano- wisko	Data godz.	t $\Delta t/1^h$ $^{\circ}C$	b mm	Nr wah.	a_p	a_k	T'_{Q11} sek	ΔT_a	ΔT_t	ΔT_d	ΔT_u	ΔT_g	T_{Q11} sek	T_{D12} sek
Lb. IIIa	12.9 9—15	17,84 +0,01	9,12	1,3 2,4	15,2 15,2	8,4 8,4	0,4955	-4,2	-7,3	-19,5	+0,3	-0,4	0,4955	0,4955
							745,6	-4,2	-4,9	-19,5	+0,3	-0,4	714,5	714,3
							739,8	-4,2	-5,1	-19,8	+0,3	-0,1	711,1	710,8
							745,5	-4,2	-7,6	-19,8	+0,3	-0,1	712,8	712,6
Lb. IIIb	13.9 0—6	17,95 -0,03	9,60	1,3 2,4	14,8 14,7	8,3 8,3	747,2*	-4,0	-7,7	-20,2	0,0	-0,2	715,1	715,1
							741,3*	-4,0	-5,2	-20,2	0,0	-0,2	711,7	711,7
							747,0	-3,8	-7,4	-20,2	+0,3	-0,3	715,6	715,5
							741,3	-3,8	-5,0	-20,2	+0,3	-0,3	712,3	712,1
Lb. IIIb	14.9 0—6	17,95 -0,03	8,95	1,3 2,4	15,4 15,4	8,5 8,5	744,6	-4,4	-7,7	-19,3	+0,3	-0,2	713,3	713,2
							740,7	-4,3	-5,2	-19,3	+0,3	-0,2	712,0	711,8
							743,6	-4,1	-7,2	-19,4	+0,3	-0,3	712,9	712,7
							739,9	-4,1	-4,9	-19,4	+0,3	-0,3	711,5	711,1
Lb. IIIb	14.9 8—14	17,81 -0,01	9,05	1,3 2,4	15,1 15,2	8,2 8,2	745,3	-4,4	-7,3	-19,7	+0,3	-0,1	714,1	714,1
							741,2	-4,4	-5,0	-19,7	+0,3	-0,1	712,3	712,2
							745,3	-4,4	-7,3	-19,7	+0,3	-0,1	713,2	713,2
							741,2	-4,4	-5,0	-19,7	+0,3	-0,1	714,1	714,1
Lb. IIIb	15.9 1—8	17,71 -0,02	9,30	1,3 2,4	14,8 14,8	7,1 7,2	744,4	-3,6	-7,1	-19,7	+0,3	-0,2	714,1	713,8
							740,4	-3,6	-4,8	-19,7	+0,3	-0,2	712,4	712,3
							744,4	-3,6	-7,1	-19,7	+0,3	-0,2	713,2	713,0
							740,4	-3,6	-4,8	-19,7	+0,3	-0,2	714,1	713,8

c.d. tablicy 2

Stano- wisko	Data godz.	t $\Delta t/1h$ $^{\circ}C$	b mm	Nr wah.	a_p	a_k	T'_{qu} sek	ΔT_a	ΔT_t	ΔT_d	ΔT_u	ΔT_{σ}	T_{qu} sek	T_{Diz} sek
Kr. II	17.9 8—15	15,51	8,84	1,3	15,0	7,2	0,4955	-3,7	-1,3	-19,2	0,0	-0,2	0,4955	0,4955
		-0,01		2,4	15,0	7,2	1000,2*	-3,8	-0,9	-19,2	0,0	-0,2		975,8
	17.9 15—21	15,55	8,96	1,3	15,4	8,2	999,4	-4,2	-1,4	-19,3	+0,3	-0,1	974,7	974,8
		+0,01		2,4	15,4	8,3	997,4	-4,2	-1,0	-19,3	+0,3	-0,1	973,1	973,2
	17—18 23—5	15,52	9,10	1,3	15,2	8,2	998,8	-4,1	-1,4	-19,5	+0,3	-0,4	973,7	973,8
		-0,02		2,4	15,3	8,2	997,2	-4,2	-1,0	-19,5	+0,3	-0,4	972,4	972,4
18.9 8—15	15,40	9,10	1,3	15,2	7,2	998,4	-3,8	-1,0	-19,6	+0,2	-0,2	974,0	973,7	
	+0,01		2,4	15,3	7,4	996,8	-3,8	-0,7	-19,6	+0,2	-0,2	972,7	972,1	
18.9 16—21	15,45	9,10	1,3	15,2	8,8	998,6	-4,4	-1,2	-19,6	+0,2	-0,1	973,5	973,6	
	-0,02		2,4	15,2	9,0	996,8	-4,5	-0,8	-19,6	+0,2	-0,1	972,0	972,0	
Rz. II	21.9 9—15	17,07	8,81	1,3	15,0	7,9	0,4956	-4,0	-5,3	-19,0	+0,2	-0,2	0,4956	0,4956
		+0,05		2,4	15,0	8,0	086,6	-4,0	-3,6	-19,0	+0,2	-0,2	058,4	058,3
	21.9 16—22	17,28	9,27	1,3	15,2	8,0	086,5	-4,0	-5,9	-19,7	+0,2	-0,1	057,1	057,0
		+0,01		2,4	15,2	8,2	083,6	-4,1	-4,0	-19,7	+0,2	-0,1	057,8	057,6
	22.9 9—15	17,30	8,03	1,3	15,0	7,6	085,5	-3,9	-5,8	-17,9	+0,3	-0,2	057,0	057,8
		+0,03		2,4	15,0	7,7	082,8	-3,8	-3,9	-17,9	+0,3	-0,2	057,3	057,0
22.9 16—22	17,48	8,28	1,3	15,2	7,6	087,6	-3,9	-6,4	-18,3	+0,3	-0,2	058,0	057,8	
	-0,02		2,4	15,2	7,8	085,2	-4,0	-4,3	-18,3	+0,3	-0,2	057,3	057,0	
23.9 0—6	17,34	8,41	1,3	15,2	7,6	086,7	-4,0	-6,0	-18,5	+0,3	-0,2	057,6	057,4	
	-0,02		2,4	15,2	7,8	084,6	-4,0	-4,1	-18,5	+0,3	-0,2	057,3	057,0	

c.d. tablicy 2

Stano- wisko	Data godz.	t $\Delta t/1^h$ °C	b mm	Nr wah.	a_p	a_k	T_{Q11} sek	ΔT_a	ΔT_t	ΔT_d	ΔT_u	ΔT_σ	T_{Q11} sek	T_{D12} sek	
Lb. IV	26.9 1—7	16,58	9,20	1,3	15,3	7,8	0,4955	-4,0	-4,3	-19,6	+0,1	-0,2	0,4955	0,4955	
		-0,06		2,4	15,3	8,0	742,8	-4,1	-2,9	-19,6	+0,1	-0,2	714,8	714,4	
	26.9 8—13	16,40	9,35	1,3	15,4	8,8	743,1	-4,4	-3,6	-19,9	+0,1	-0,3	715,0	715,5	
		0,00		2,4	15,6	9,0	739,8	-4,6	-2,4	-19,9	+0,1	-0,3	712,7	713,4	
	26.9 15—21	16,43	9,43	1,3	15,0	7,7	742,0*	-3,9	-3,7	-20,0	0,0	0,0	-0,2	714,2	714,2
		-0,01		2,4	15,2	7,8	738,8*	-4,0	-2,5	-20,0	0,0	0,0	-0,2	712,1	712,1
WP III	26—27 23—6	16,40	9,50	1,3	14,7	7,6	740,9	-3,4	-3,6	-20,1	+0,2	-0,2	713,8	712,3	
		0,00		2,4	14,8	7,6	737,9	-3,5	-2,4	-20,1	+0,2	-0,2	711,9	710,3	
	27.9 8—15	16,34	9,50	1,3	15,3	7,8	741,2	-3,7	-3,5	-20,1	+0,2	-0,3	713,8	713,9	
		-0,02		2,4	15,4	7,8	733,0	-3,8	-2,4	-20,1	+0,2	-0,3	711,6	711,9	
	29.9 8—14	15,81	9,00	1,3	15,4	7,8	533,9	-4,0	-2,1	-19,4	+0,2	-0,2	508,4	507,9	
		-0,01		2,4	15,4	7,8	531,6	-4,0	-1,4	-19,4	+0,2	-0,2	506,8	506,2	
29.9 14—20	15,82	9,05	1,3	15,2	8,1	533,8	-4,1	-2,1	-19,5	+0,2	-0,2	508,4	508,4		
	+0,01		2,4	15,3	8,2	531,6	-4,2	-1,4	-19,5	+0,2	-0,2	507,0	507,0		
30.9 8—14	15,75	9,26	1,3	15,0	8,1	533,7	-4,0	-1,9	-19,8	+0,2	-0,2	508,0	507,8		
	0,00		2,4	15,2	8,0	531,4	-4,0	-1,3	-19,8	+0,2	-0,2	506,3	505,9		
30.9 14—20	15,82	9,35	1,3	14,9	7,6	533,1	-3,8	-2,1	-19,9	+0,1	-0,2	507,2	506,7		
	+0,01		2,4	15,0	7,6	531,2	-3,8	-1,4	19,9	+0,1	-0,2	506,0	505,4		
1.10 12—18	15,80	9,50	1,3	14,8	7,3	534,9	-3,6	-2,1	-20,1	+0,2	-0,2	509,1	509,3		
	0,00		2,4	14,8	7,4	532,4	-3,7	-1,4	-20,1	+0,2	-0,2	507,2	507,6		
														508,2	

* Okresy zaobserwowane przy uzysciu sygnałów czasu D12

Tablica 3

ANALIZA ZREDUKOWANYCH OKRESÓW WAHADEŁ

Stano- wisko	Data	Okresy zredukowane par wahań						$\Delta =$	$V =$
		1—3	v	2—4	v	śr.	v	$(1-3) -$ $-(2-4)$	$\Delta_{\text{śr}} - \Delta$
WP I	1958 r.	0.4955							
	31.7	506,8	-0,4	506,4	-0,4	506,6	-0,4	+0,4	+1,4
		506,8	-0,4	506,4	-0,4	506,6	-0,4	+0,4	+1,4
	1.8	505,6	+0,8	505,2	+0,8	505,4	+0,8	+0,4	+1,4
		506,4	0,0	505,8	+0,2	506,1	+0,1	+0,6	+1,2
	2.8	506,5	-0,1	506,1	-0,1	506,3	-0,1	+0,4	+1,4
	śr.	506,4		506,0		506,2			
Bł. I		0.4955							
	5.8	315,0	-2,2	311,3	-1,6	313,2	-1,9	+3,7	-1,9
		313,4	-0,6	310,2	-0,5	311,8	-0,5	+3,2	-1,4
	5—6.8	312,7	+0,1	309,8	-0,1	311,3	0,0	+2,9	-1,1
	6.8	312,0	+0,8	309,2	+0,5	310,6	+0,7	+2,8	-1,0
		311,0	+1,8	308,0	+1,7	309,5	+1,8	+3,0	-1,2
	śr.	312,8		309,7		311,3			
Gd. Ia		0.4954							
	8—9.8	969,2	-1,3	965,2	+0,5	967,2	-0,4	+4,0	-2,2
	9.8	967,6	+0,3	965,6	+0,1	966,6	+0,2	+2,0	-0,2
		966,1	+1,8	965,4	+0,3	965,7	+1,1	+0,7	+1,1
		968,8	-0,9	966,6	-0,9	967,7	-0,9	+2,2	-0,4
	śr.	967,9		965,7		966,8			
Gd. Ib		0.4954							
	11.8	966,4	-0,4	964,2	+0,5	965,9	0,0	+2,2	-0,4
		966,1	-0,1	964,2	+0,5	965,2	+0,1	+1,9	-0,1
	12—13.8	966,0	0,0	965,4	-0,7	965,7	-0,4	+0,6	+1,2
	13.8	965,3	+0,7	965,0	-0,3	965,1	+0,2	+0,3	+1,5
	śr.	966,0		964,7		965,3		+1,8	
Bł. II		0.4955							
	15.8	314,3	-1,1	311,4	-0,9	312,8	-0,9	+2,9	-1,1
		312,6	+0,6	310,1	+0,4	311,4	+0,5	+2,5	-0,7
		313,7	-0,5	310,8	-0,3	312,2	-0,3	+2,9	-1,1
	15—16.8	312,8	+0,4	310,0	+0,5	311,4	+0,5	+2,8	-1,0
	16.8	312,8	+0,4	310,4	+0,1	311,6	+0,3	+2,4	-0,6
	śr.	313,2		310,5		311,9			
Lb. Ia		0.4955							
	18.8	714,9	-0,7	713,0	-0,4	714,0	-0,6	+1,9	-0,1
		713,9	+0,3	712,4	+0,2	713,2	+0,2	+1,5	+0,3
	18—19.8	713,4	+0,8	712,9	-0,3	713,1	+0,3	+0,5	+1,3
	19.8	714,5	-0,3	712,0	+0,6	713,3	+0,1	+2,5	-0,7
	śr.	714,2		712,6		713,4			

c.d. tablicy 3

Stano- wisko	Data	Okresy zredukowane par wahadeł						$\Delta =$ (1—3)— —(2—4)	$V =$ $\Delta_{\text{śr}} - \Delta$
		1—3	v	2—4	v	śr.	v		
Lb. Ib	20.8	0.4955							
		714,1	—0,9	711,9	—0,7	713,0	—0,8	+2,2	—0,4
		713,1	+0,1	711,0	+0,2	712,0	+0,2	+2,1	—0,3
	20—21.8	712,9	+0,3	711,3	—0,1	712,1	+0,1	+1,6	+0,2
	21.8	712,8	+0,4	710,8	+0,4	711,8	+0,4	+2,0	—0,2
	śr.	713,2		711,2		712,2			
Bł. III	23.8	0.4955							
		311,6	—0,1	310,9	—0,5	311,2	—0,3	+0,7	+1,1
		310,9	+0,6	310,4	0,0	310,7	+0,2	+0,5	+1,3
	24.8	310,3	+1,2	310,0	+0,4	310,2	+0,7	+0,3	+1,5
		312,3	—0,8	310,4	0,0	311,4	—0,5	+1,9	—0,1
	312,2	—0,7	310,1	+0,3	311,1	—0,2	+2,1	—0,3	
	śr.	311,5		310,4		310,9		+1,8	
WP II	26.8	0.4955							
		509,8	—1,1	507,3	—1,2	508,6	—1,2	+2,5	—0,2
		509,4	—0,7	506,6	—0,5	508,0	—0,6	+2,8	—0,5
	27.8	508,4	+0,3	505,8	+0,3	507,1	+0,3	+2,6	—0,3
		507,9	+0,8	505,4	+0,7	506,6	+0,8	+2,5	—0,2
	508,1	+0,6	505,6	+0,5	506,8	+0,6	+2,5	—0,2	
	śr.	508,7		506,1		507,4			
Lb. II	31.8	0.4955							
		715,4	—1,2	712,4	—0,6	713,9	—0,9	+3,0	—0,7
		714,8	—0,6	712,2	—0,4	713,5	—0,5	+2,6	—0,3
	31.8—1.9	714,0	+0,2	711,5	+0,3	712,7	+0,3	+2,3	0,0
	1.9	712,8	+1,4	710,7	+1,1	711,8	+1,2	+2,1	+0,2
	714,2	0,0	712,0	—0,2	713,1	—0,1	+2,2	+0,1	
	śr.	714,2		711,8		713,0			
Rz. I	4.9	0.4956							
		058,4	+0,6	056,6	+0,4	057,5	+0,5	+1,8	+0,5
		058,7	+0,3	056,6	+0,4	057,7	+0,3	+2,1	+0,2
	4—5.9	058,6	+0,4	056,8	+0,2	057,7	+0,3	+1,8	+0,5
	5.9	059,0	0,0	057,3	—0,3	058,2	—0,2	+1,7	+0,6
	060,2	—1,2	057,8	—0,8	059,0	—1,0	+2,4	—0,1	
	śr.	059,0		057,0		058,0			
Kr. I	8.9	0.4955							
		973,6	—0,3	971,3	+0,5	972,4	+0,2	+2,3	0,0
		974,3	—1,0	972,5	—0,7	973,4	—0,8	+1,8	+0,5
	8—9.9	973,6	—0,3	972,0	—0,2	972,8	—0,2	+1,6	+0,7
	9.9	972,6	+0,7	971,6	+0,2	972,1	+0,5	+1,0	+1,3
	972,6	+0,7	971,6	+0,2	972,1	+0,5	+1,0	+1,3	
	śr.	973,3		971,8		972,6			

c.d. tablicy 3

Stano- wisko	Data	Okresy zredukowane par wahadeł						$\Delta =$ (1—3)— —(2—4)	$V =$ $\Delta_{\text{sr}} - \Delta$
		1—3	<i>v</i>	2—4	<i>v</i>	śr.	<i>v</i>		
Lb. IIIa	12.9	0.4955							
		714,4	+ 0,3	711,0	+ 0,4	712,7	+ 0,3	+ 3,4	— 1,1
		713,8	+ 0,9	710,6	+ 0,8	712,2	+ 0,8	+ 3,2	— 0,9
		715,1	— 0,4	711,7	— 0,3	713,4	— 0,4	+ 3,4	— 1,1
	13.9	715,6	— 0,9	712,2	— 0,8	713,9	— 0,9	+ 3,4	— 1,1
	śr.	714,7		711,4		713,0		+ 2,3	
Lb. IIIb	14.9	0.4955							
		713,2	+ 0,3	711,9	+ 0,1	712,6	+ 0,1	+ 1,3	+ 0,2
		712,8	+ 0,7	711,3	+ 0,7	712,0	+ 0,7	+ 1,5	0,0
		714,1	— 0,6	712,2	— 0,2	713,2	— 0,5	+ 1,9	— 0,4
	15.9	714,0	— 0,5	712,4	— 0,4	713,2	— 0,5	+ 1,6	+ 0,1
	śr.	713,5		712,0		712,7			
Kr. II	17.9	0.4955							
		975,8	+ 1,4	973,5	— 0,8	974,6	— 1,1	+ 2,3	— 0,8
		974,8	— 0,4	973,2	— 0,5	974,0	— 0,5	+ 1,6	— 0,1
		973,8	+ 0,6	972,4	+ 0,3	973,1	+ 0,4	+ 1,4	+ 0,1
	17—18.9	973,8	+ 0,6	972,4	+ 0,3	973,1	+ 0,4	+ 1,4	+ 0,1
18.9	973,6	+ 0,8	972,0	+ 0,7	972,8	+ 0,7	+ 1,6	— 0,1	
	śr.	974,4		972,7		973,5			
Rz. II	21.9	0.4956							
		058,4	— 0,3	057,0	+ 0,4	057,7	0,0	+ 1,4	+ 0,1
		057,0	+ 1,1	055,8	+ 1,6	056,4	+ 1,3	+ 1,2	+ 0,3
		057,9	+ 0,2	057,2	+ 0,2	057,5	+ 0,2	+ 0,7	+ 0,8
	22.9	058,9	— 0,8	058,7	— 1,3	058,8	— 1,1	+ 0,2	+ 1,3
23.9	058,2	— 0,1	058,2	— 0,8	058,2	— 0,5	0,0	+ 1,5	
	śr.	058,1		057,4		057,7			
Lb. IV	26.9	0.4955							
		714,6	— 0,4	712,3	— 0,2	713,4	— 0,3	+ 2,3	— 0,8
		715,2	— 1,0	713,0	— 0,9	714,1	— 1,0	+ 2,2	— 0,7
		714,2	0,0	712,1	0,0	713,2	— 0,1	+ 2,1	— 0,6
	26—27.9	713,0	+ 1,2	711,1	+ 1,0	712,1	+ 1,0	+ 1,9	— 0,4
27.9	713,8	+ 0,4	711,8	+ 0,3	712,8	+ 0,3	+ 2,0	— 0,5	
	śr.	714,2		712,1		713,1			
WP III	29.9	0.4955							
		508,2	— 0,1	506,5	0,0	507,3	0,0	+ 1,7	— 0,2
		508,2	— 0,1	506,8	— 0,3	507,5	— 0,2	+ 1,4	+ 0,1
		507,9	+ 0,2	506,1	+ 0,4	507,0	+ 0,3	+ 1,8	— 0,3
	30.9	507,0	+ 1,1	505,7	+ 0,8	506,3	+ 1,0	+ 1,3	+ 0,2
1.10	509,2	— 1,1	507,4	— 0,9	508,3	— 1,0	+ 1,8	— 0,3	
	śr.	508,1		506,5		507,3		+ 1,5	

różnicy przyspieszenia „tam” ($A - B$) obliczoną z dwóch sąsiednich stanowisk i obserwację „z powrotem” ($B - A$), obliczoną również z dwóch sąsiednich stanowisk, interesuje nas stałość okresów wahadeł w czasie czterech stanowisk obserwacyjnych. Rozbito więc cykl obserwacyjny na 4 części, z których każda obejmuje co najmniej 4 stanowiska. Dla każdej części obliczono średnią wartość Δ i poprawki $V = \Delta_{sr} - \Delta$. Z poprawek V wyliczono średni błąd pojedynczego pomiaru dla pary wahadeł:

$$m_0'' = \pm 0,61 \cdot 10^{-7} \text{ sek.}$$

Tablica 4

Stanowisko	t_{sr}	$ \Delta t _{sr}$	d_{sr}	$ \Delta d _{sr}$	a_{sr}^2	Δa_{sr}^2
WP I	19,6		9,1		130	
		2,0		0,4		3
Bł. I	17,6		9,5		127	
		1,2		0,7		5
Gd. Ia	16,4		8,8		122	
Gd. Ib	16,2		9,4		126	
		1,2		0,1		5
Bł. II	17,4		9,5		131	
		1,6		0,2		4
Lb. Ia	19,0		9,7		135	
Lb. Ib	19,0		9,7		133	
		1,8		0,5		3
Bł. III	17,2		9,2		136	
		2,0		0,3		1
WP II	19,2		9,5		135	
		0,6		0,1		1
Lb. II	18,6		9,6		134	
		1,8		0,1		4
Rz. I	16,8		9,5		130	
		1,0		0,0		0
Kr. I	15,8		9,5		130	
		2,1		0,1		3
Lb. IIIa	17,9		9,4		123	
Lb. IIIb	17,8		9,1		125	
		2,3		0,1		1
Kr. II	15,5		9,0		136	
		1,8		0,4		4
Rz. II	17,3		8,6		132	
		0,9		0,8		0
Lb. IV	16,4		9,4		132	
		0,6		0,2		3
WP III	15,8		9,2		129	
Średnie		1,5		0,3		3

Ponieważ Δ jest wolne od wspólnego błędu κ obu par wahadeł, obliczając średni błąd średniej stacyjnej uwzględniono wpływ tego błędu. Dla stanowiska, na którym wykonano 5 obserwacji, otrzymujemy średni błąd średniej stacyjnej:

$$M_s = \pm \sqrt{\frac{m_0'^2}{10} + \frac{\kappa^2}{5}} = \pm 0,36 \cdot 10^{-7} \text{ sek.}$$

5.2. Analiza błędów redukcji

Przy ocenie dokładności wyznaczenia różnicy przyspieszenia siły ciężkości należy uwzględnić, oprócz błędów obserwacji, jeszcze błędy redukcji zaobserwowanych okresów. W tym celu zestawiono w tablicy 4 następujące dane: dla każdego stanowiska średnią temperaturę obserwacji, średnie ciśnienie i średnie wartości kwadratów amplitud.

Przenoszenie się błędów redukcji na różnicę okresów wahadeł, otrzymaną z dwóch sąsiednich stanowisk, określono w następujący sposób:

Biorąc pod uwagę błędy wyznaczonych empirycznie współczynników redukcyjnych [3] i warunki obserwacji (tabl. 4), obliczono błąd redukcji termicznej $m_t = \pm 0,07 \cdot 10^{-7}$ sek, błąd redukcji ze względu na ciśnienie $m_d = \pm 0,005 \cdot 10^{-7}$ sek, oraz błąd redukcji ze względu na amplitudę $m_a = \pm 0,005 \cdot 10^{-7}$ sek.

Błąd redukcji ze względu na chód zegara określono z wykresu (rys. 5) przedstawiającego chód zegara Q_{11} względem 4 zegarów: DIZ, GBZ, MSF, FYP. Maksymalne rozbieżności tych wyznaczeń osiągają 0,006 sek, co daje po przeliczeniu błąd redukcji ze względu na chód zegara, opartej na jednym sygnale czasu, równy $0,17 \cdot 10^{-7}$ sek. Przy oparciu tej redukcji na 4 sygnałach czasu wpływ tego błędu na różnicę średnich stacyjnych okresów wynosi:

$$m_u = \pm \frac{0,17}{\sqrt{4}} \cdot \sqrt{\frac{2}{5}} = \pm 0,06 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

Błąd redukcji ze względu na siły przyływowe określono na podstawie dokładności wyznaczenia wartości sił przepływowych z wykresu, którą autorzy wykresu oceniają na $\pm 0,02$ mgal. Błąd redukcji okresów wahadeł wynosił zatem $\pm 0,05 \cdot 10^{-7}$ sek. Wpływ tego błędu na różnicę średnich stacyjnych wyniesie:

$$m_g = \pm 0,05 \cdot \sqrt{\frac{2}{5}} = \pm 0,03 \cdot 10^{-7} \text{ sek.}$$

Pominięcie redukcji ze względu na współdrżanie statywu nie wpłynie na różnicę średnich stacyjnych z błędem m_s większym niż $0,1 \cdot 10^{-7}$ sek, gdyż maksymalną wartość tej redukcji dla wahadła średniego określono na $0,1 \cdot 10^{-7}$ sek, (rozdz. 4.2).

Również wpływ systematyczny części błędu kompensacji magnetycznej na różnicę okresów m_k określa się dla stosowanej aparatury na $\pm 0,1 \cdot 10^{-7}$ sek [1].

6. Obliczenie Δg i analiza wyników

6.1. Zaobserwowane różnice przyspieszeń

Biorąc pod uwagę różnice okresów wahadeł zaobserwowanych na sąsiednich stanowiskach obliczono różnice przyspieszeń wg wzoru:

$$g_2 - g_1 = -\frac{2g_1}{T_1} (T_2 - T_1) + \frac{3g_1}{T_1^2} (T_2 - T_1)^2 + \dots$$

Obliczenia przeprowadzono dla par wahadeł. Ponieważ przy obserwacjach na wszystkich punktach — prócz Warszawy — aparat wahadłowy ustawiano na podstawie kamiennej; zaobserwowane różnice przyspieszeń Warszawa—Białystok i Warszawa—Lublin zredukowano ze względu na wysokość podstawy, przy czym wartość redukcji wynosi 0,04 mgal. Uzyskane wyniki zestawiono w tablicy 5.

Tablica 5

ZAOBSERWOWANE RÓŻNICE PRZYSPIESZEŃ

Nr obs.	Stanowiska	Δg mgal		
		para 1—3	para 2—4	wahadło średnie
1	WP I — Bł. I	+ 76,71	+ 77,77	+ 77,24
2	Bł. I — Gd. Ia	+136,61	+135,25	+136,43
3	Gd. Ib — Bł. II	-137,57	-135,99	-137,28
4	Bł. II — Lb. Ia	-158,78	-159,21	-159,00
5	Lb. Ib — Bł. III	+159,10	+158,76	+158,93
6	Bł. III — WP II	- 78,17	- 77,58	- 77,88
7	WP II — Lb. II	- 81,35	- 81,39	- 81,37
8	Lb. II — Rz. I	-136,50	-136,70	-136,60
9	Rz. I — Kr. I	+ 33,90	+ 33,74	+ 33,82
10	Kr. I — Lb. IIIa	+102,40	+103,11	+102,76
11	Lb. IIIb — Kr. II	-103,27	-103,24	-103,26
12	Kr. II — Rz. II	- 33,14	- 33,52	- 33,33
13	Rz. II — Lb. IV	+136,16	+136,72	+136,44
14	Lb. IV — WP III	+ 81,55	+ 81,36	+ 81,46

6.2. Ocena dokładności wyznaczenia Δg na podstawie analizy zredukowanych okresów wahadeł

Na podstawie uzyskanej w wyniku analizy zredukowanych okresów wahadeł wartości na średni błąd średniej stacyjnej M_s oraz błędów poszczególnych redukcji, określa się dokładność pojedynczego wyznaczenia różnicy przyspieszenia między punktami A—B:

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,4 \sqrt{2M_s^2 + m_i^2 + m_a^2 + m_b^2 + m_c^2 + m_d^2 + m_e^2 + m_f^2 + m_g^2} \text{ mgal.}$$

Podstawiając $M_s = \pm 0,36 \cdot 10^{-7}$ sek oraz przyjmując na poszczególne błędy redukcji wartości $\pm 0,1 \cdot 10^{-7}$ sek otrzymujemy:

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,23 \text{ mgal.}$$

Dla wartości średniej z obserwacji „tam” i „z powrotem”, tzn. obserwacji wykonanej wg programu $A-B-B-A$, średni błąd różnicy przyspieszenia wynosi:

$$m_{\Delta g} = \frac{(m_{\Delta g})_0}{\sqrt{2}} = \pm 0,16 \text{ mgal.}$$

Tablica 6

Punkty wah.	Nr obs.	Δg_{obs2-4}^{1-3} mgal	V mgal
WP — Bł.	1	+ 76,71	+0,85
		+ 77,77	—0,21
	6	+ 78,17	—0,61
		+ 77,58	—0,02
	śr.	+ 77,56	
Bł. — Gd.	2	+136,61	+0,25
		+136,25	+0,61
	3	+137,57	—0,71
		+136,99	—0,13
	śr.	+136,86	
Bł. — Lb.	4	—158,78	—0,18
		—159,21	+0,25
	5	—159,10	+0,14
		—158,76	—0,20
	śr.	—158,96	
WP — Lb.	7	— 81,35	—0,06
		— 81,39	—0,02
	14	— 81,55	+0,14
		— 81,36	—0,05
	śr.	— 81,41	
Lb. — Rz.	8	—136,50	—0,02
		—136,70	+0,18
	13	—136,16	—0,36
		—136,72	+0,20
	śr.	—136,52	
Rz. — Kr.	9	+ 33,90	—0,32
		+ 33,74	—0,16
	12	+ 33,14	+0,44
		+ 33,52	+0,06
	śr.	+ 33,58	
Kr. — Lb.	10	+102,40	+0,60
		+103,11	—0,11
	11	+103,27	—0,27
		+103,24	—0,24
	śr.	+103,00	

$(m_{\Delta g})_0$ — śr. błąd wyznaczenia Δg jedną parą wahadeł z pojedynczego nawiązania $A-B$

$m_{\Delta g}$ — śr. błąd Δg_{sr}

$$\begin{aligned} (m_{\Delta g})_0 &= \pm \sqrt{\frac{3,31}{21}} = \\ &= \pm \sqrt{0,157} = \\ &= \pm 0,40 \text{ mgal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\Delta g} &= \pm \frac{m_0}{\sqrt{4}} = \\ &= \pm 0,20 \text{ mgal} \end{aligned}$$

$$[vv] = 3,31$$

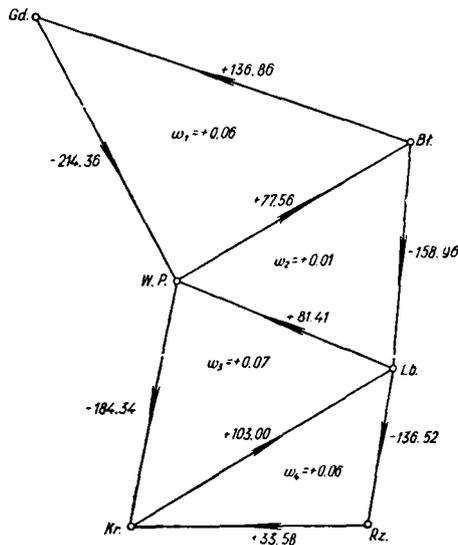
6.3. Analiza dokładności na podstawie wielokrotnych wyznaczeń Δg

Przyjmując pojedyncze wyznaczenia różnicy przyspieszenia jedną parą wahadeł za jednostkę, przy obserwacji „tam” i „z powrotem” uzyskujemy wielokrotne wyznaczenie różnicy przyspieszenia. Zestawiając w tablicy 6 wyniki obserwacji dla poszczególnych przęseł, obliczono z ich rozbieżności średni błąd wyznaczenia Δg .

$$m_{\Delta g} = \pm 0,20 \text{ mgal}.$$

6.4. Analiza zamknięć zaobserwowanych różnic przyspieszeń w trójkątach

Siedem przęseł sieci, dla których wyznaczono różnicę przyspieszenia siły ciężkości, tworzą z przęsełmi Gdańsk—Warszawa i Warszawa—Kraków, wyznaczonymi tym samym aparatem wahadłowym w roku 1956, 4 trójkąty, w których odchyłki ω zaobserwowanych różnic przyspieszeń pokazano na rys. 6.



Rys. 6 Zamknięcie w trójkątach zaobserwowanych różnic przyspieszeń

Celem określenia dokładności wyznaczenia pojedynczego przęśla za pomocą odchyłek ω zastosowano zależność, jaka zachodzi dla 4 trójkątów w czasie wyrownania między $[v\omega]$ a wolnymi wyrazami równań warunkowych [3].

$$[v\omega] = -[k\omega] = \frac{1}{55} \left\{ 21 (\omega_1^2 + \omega_4^2) + 24 (\omega_2^2 + \omega_3^2) - 16 (\omega_1 \omega_2 + \omega_3 \omega_4) - \right. \\ \left. - 18 \omega_2 \omega_3 + 6 (\omega_1 \omega_3 + \omega_2 \omega_4) - 2\omega_1 \omega_4 \right\}$$

Podstawiając wartości liczbowe ω do powyższego wzoru otrzymano:

$$[vv] = 0,0037$$

skąd średni błąd wyznaczenia różnicy przyspieszenia otrzymujemy według wzoru:

$$m_{\Delta g} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{r}} = \pm \sqrt{\frac{0,0037}{4}} = \pm 0,03 \text{ mgal.}$$

6.5. Zestawienie i ocena dokładności wyników

W wyniku przeprowadzonych pomiarów otrzymano następujące wartości różnic przyspieszeń dla 7 przęseł sieci wahadłowej:

Tablica 7

Nazwy punktów	Δg mgal
Warszawa — Białystok	+ 77,56
Białystok — Gdańsk	+ 136,86
Białystok — Lublin	- 158,96
Warszawa — Lublin	- 81,41
Lublin — Rzeszów	- 136,52
Rzeszów — Kraków	+ 33,58
Kraków — Lublin	+ 103,00

Podstawą do oceny dokładności wyników jest przeprowadzona analiza dokładnościowa zredukowanych okresów wahadeł (rozdz. 6.2.). Oparta jest ona na dużej liczbie poddanych analizie spostrzeżeń, uwzględnia zarówno przypadkowe jak i systematyczne błędy obserwacji, zmiany okresów wahadeł w czasie transportu i błędy dokonanych redukcji. Z analizy tej na błąd wyznaczenia różnicy przyspieszenia siły ciężkości otrzymano wartość:

$$m_{\Delta g} = \pm 0,16 \text{ mgal.}$$

Jako dodatkowe kryterium dokładności dokonano analizy zaobserwowanych różnic przyspieszeń, a mianowicie: z rozbieżności zaobserwowanych różnic przyspieszeń na tych samych przęsłach (rozdz. 6.3.) otrzymano $m_{\Delta g} = \pm 0,20$ mgal, zaś z analizy zamknięć zaobserwowanych różnic przyspieszeń w trójkątach (rozdz. 6.4.) otrzymano $m_{\Delta g} = \pm 0,03$ mgal. Z uwagi na małą liczbę wartości występujących w tej analizie jako spostrzeżenia, należy uznać wyniki analizy zaobserwowanych różnic przyspieszeń za zgodne z analizą zredukowanych okresów. Doskonale zamknięcie czterech trójkątów należy niewątpliwie traktować jako przypadek, nie mniej jednak świadczą one, że przyjęcie na błąd wyznaczonych różnic przyspieszeń wartości $m_{\Delta g} = \pm 0,16$ mgal jest zupełnie słuszną oceną dokładności dokonanych pomiarów.

LITERATURA

- [1] *Dobaczewska W., Ząbek Z.* Badanie aparatu czterowahadłowego firmy „Askania”. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Zeszyty Naukowe Nr 36, Geodezja Nr 4, Warszawa 1958.
- [2] *Ząbek Z., Dobaczewska W.* Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach bazy grawimetrycznej. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii. Tom V, Zeszyt 2 (11), Warszawa 1957.
- [3] *Ząbek Z., Dobaczewska W.* Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach zachodniej części sieci wahadłowej w Polsce. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii. Tom VI, Zeszyt 2 (14), Warszawa 1959.
- [4] Grafiki grawimetrycznych poprawok na 1959 god za priliwnyje wlijanija Łuny i Sołna. Moskiewski Instytut Inżynierów Geodezji, Fotogrametrii i Kartografii, Moskwa 1957.

ЗБИГНЕВ ЗОМБЭК
ВЭНЭДА ДОБАЧЭВСКА

ИЗМЕРЕНИЯ ЧЕТЫРЕХМАЯТНИКОВЫМ ПРИБОРОМ НА ПУНКТАХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МАЯТНИКОВОЙ СЕТИ ПОЛЬШИ

Работа, исполненная Кафедрой Высшей Геодезии Варшавского Политехнического Института в 1958 г.
в рамках сотрудничества с Институтом Геодезии и Картографии.

Р е з ю м е

В течение последних лет Кафедра Высшей Геодезии произвела ряд гравиметрических измерений в Польше четырехмаятниковым прибором фирмы Аскания [1]. В 1956 году определено разности ускорения силы тяжести между пунктами Гданьск, Варшава и Кракув, т.е. между пунктами гравиметрического базиса Гданьск—Каспровы Верх [2]. В следующем году были наблюдаемы маятниковые пункты в Щецине, Познани и Вроцлаве [3], а в 1958 году — пункты в Белостоке, Люблине и Жешове. Результаты наблюдения этого последнего года и являются темой нынешней статьи. В 1958 г. были наблюдаемы разности ускорения силы тяжести между этими тремя пунктами (Белостоком, Люблином и Жешовом) и эти пункты были привязаны к маятниковым пунктам в Гданьске, Варшаве и Кракове.

На выше упомянутых трех пунктах выполнено цикл наблюдений, соблюдая следующую очередность: Варшава I, Белосток I, Гданьск Ia, Гданьск Ib, Белосток II, Люблин Ia, Люблин Ib, Белосток III, Варшава II, Люблин II, Жешув I, Кракув I, Люблин IIIa, Люблин IIIb, Кракув II, Жешув II, Люблин IV, Варшава III. Из этих наблюдений были получены для каждого пролета (каждой стороны) сети непосредственные разности ускорения „туда” ($A - B$) и „обратно” ($B - A$). На каждом пункте было выполнено 5 шестичасовых наблюдений периодов качания маятников, компенсируя влияние вертикальной слагающей магнитного поля. Начальная амплитуда маятников была равна $15'$, давление под колпаком прибора — 9 мм столба ртути. Особенное внимание было обращено на соблюдение постоянства температуры во время наблюдений. Термические условия на наблюдаемых пунктах были, в общем, хорошие. Средняя разность температур на соседних станциях равнялась $1,5^\circ \text{C}$ (табл. 4).

При наблюдениях периодов качания маятников пользовались сигналами времени, передаваемыми с двух разных часов: сигналами с кварцевых часов

Q_{11} Главного Управления Мер в Варшаве, передаваемыми варшавской радиостанцией Польского Радио и сигналами Потсдамского Геодезического Института, передаваемыми радиостанцией DIZ. Для каждого наблюдения были получены периоды, выраженные в единицах кварцевых часов Q_{11} и часов DIZ.

В наблюденные периоды пар маятников введены поправки, приводящие их к периодам, соответствующим бесконечно малым амплитудам, температуре $+ 15^\circ \text{C}$ и давлению 0 мм столба ртути, поправки за ход часов и за переменное влияние притяжения Луны и Солнца. До термической редукции применяли коэффициенты, определенные в 1958 г. В таблице 1 даны значения термических коэффициентов, полученные в течение трех лет.

Поправки за ход рабочих часов Q_{11} и DIZ определили, сравнивая показания употребляемых сигналов времени с сигналами времени передаваемыми радиостанциями GBZ, MSF, FYP (рис. 5). В периоды пар маятников, которые были получены опираясь на оба рабочие часы, были введены независимые поправки, благодаря которым, для каждого наблюдения были получены независимые значения периодов качания маятников, выраженные в единицах каждого из двух рабочих часов (табл. 2).

Для дальнейших вычисления принято как окончательные, средние значения результатов, полученных по сигналам с часов Q_{11} и DIZ. По приведенным периодам пар маятников и среднего маятника вычислено средние периоды на пунктах (табл. 3). По внутреннему согласию наблюдению на пунктах вычислено — для полного цикла маятниковых наблюдений — среднюю квадратическую ошибку единичного определения периода пары маятников:

$m'_0 = \pm 0,78 \cdot 10^{-7}$ сек, а для периода среднего маятника: $M'_0 = \pm 0,73 \cdot 10^{-7}$ сек. Чисто случайная часть ошибки m'_0 : $\mu = \pm 0,37 \cdot 10^{-7}$ сек, а систематическая часть этой ошибки: $\chi = \pm 0,68 \cdot 10^{-7}$ сек.

Для исследования влияния ошибок сигналов времени был проведен анализ точности результатов наблюдению по одиночным часам. Для наблюдения, исполненного пользуясь сигналом времени передаваемым одной радиостанцией получено ошибку $\chi = \pm 0,75 \cdot 10^{-7}$ сек.

По разности полученных значения на величину ошибки χ , определено влияние ошибок сигнала времени на наблюдение, произведенное при использовании сигнала времени с одной радиостанции: $\chi_s = \pm 0,45 \cdot 10^{-7}$ сек (р. 5.1).

Анализируя разности периодов пар маятников, определено также среднюю квадратическую ошибку единичного наблюдения пары маятников $m_0 = \pm 0,61 \cdot 10^{-7}$ сек. Учитывая влияние ошибки χ получено окончательно среднюю квадратическую ошибку среднего периода на пункте:

$$M_s = \pm \sqrt{\frac{m_0'^2}{10} + \frac{\chi^2}{5}} = \pm 0,36 \cdot 10^{-7} \text{ сек.}$$

Анализ ошибок редукции указывает, что влияние введенных редукции на разности периодов маятников на соседних пунктах меньше $0,1 \cdot 10^{-7}$ сек.

Принимая ошибки одиночных редукции

$$m_r = \pm 0,1 \cdot 10^{-7} \text{ сек.}$$

получено среднюю квадратическую ошибку определения разности ускорения силы тяжести Δg для одиночной связи $A - B$ согласно формуле:

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,4 \sqrt{2M_s^2 + \sum_1^7 m_r^2} \text{ мгл}$$

получая $(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,23$ мгл. Для среднего значения „туда” и „обратно” ($A - B - B - A$) получается:

$$m_{\Delta g} = \pm 0,16 \text{ мгл.}$$

Наблюденные разности ускорения силы тяжести были вычислены по средним периодам маятников, наблюдаемых на соседних пунктах (табл. 6). Окончательные результаты наблюдения даны в табл. 7.

Как дополнительный критерий точности, по расхождениям наблюдаемых Δg на одиночных пролетах (сторонах) сети, вычислено среднюю квадратическую ошибку разности ускорения Δg :

$$m_{\Delta g} = \pm 0,20 \text{ мгл.}$$

Такую же ошибку вычислили по невязкам наблюдаемых разностей ускорений в треугольниках (рис. 6), получая $m_{\Delta g} = \pm 0,03$ мгл.

Согласие полученных результатов позволяет принять как окончательную оценку точности произведенных измерений значение:

$$m_{\Delta g} = \pm 0,16 \text{ мгл.}$$

т.е. значение, полученное из анализа приведенных периодов маятников. Этот анализ охватил своими вычислениями достаточно большое число наблюдений.

ZBIGNIEW ZĄBEK
WENEDA DOBACZEWSKA

MEASUREMENTS BY MEANS OF FOUR-PENDULUM APPARATUS ON STATIONS OF THE EASTERN PART OF PENDULUM GRAVITY NET IN POLAND

Surveyings made in 1958 by the Chair of Higher Geodesy of Warsaw Polytechnical College in cooperation with the Institute of Geodesy and Cartography.

S u m m a r y

Several gravimetric surveyings by means of four-pendulum apparatus Askania [1] have been executed in Poland by the Chair of Higher Geodesy. The differences in acceleration of gravity between the stations Gdańsk, Warszawa, Kraków, appurtenant to the gravity base Gdańsk—Kasprowy Wierch [2] were determined in 1956. The determination of farther pendulum stations i. e. in Szczecin, Poznań and Wrocław [3] was carried out in the next year; and the subject of this paper is the determination of pendulum station in Białystok, Lublin and Rzeszów observed in 1958. The differences in acceleration of gravity between the fixed points were measured and tied to pendulum stations in Gdańsk, Warszawa and Kraków.

On the above said points a cycle of observation was made, and its succession is as follows: Warszawa I, Białystok I, Gdańsk Ia, Gdańsk Ib, Białystok II, Lublin Ia, Lublin Ib, Białystok III, Warszawa II, Lublin II, Rzeszów I, Kraków I, Lublin IIIa, Lublin IIIb, Kraków II, Rzeszów II, Lublin IV, Warszawa III. From these observations the direct observations „forward” ($A-B$) and „back” ($B-A$) for each distance of the net were obtained.

At each station 5 six-hour observations of pendulum swing intervals were made using the compensation of vertical component of magnetic field. The starting amplitude was 15', the pressure inside the cover 9 mm of mercury and particular care was taken to preserve a constant temperature during observations. Thermic conditions at the station were on the whole favourable. Mean difference in temperature at neighbouring stations amounted to 1,5° C (table 4). Observations of swing interval of pendulums were made by using the time signals broadcasted by two different time offices — time signals emitted by Polish Radio according to the quartz clock Q_{11} of the Time Studio of the Central

Office of Measures, and those of Geodetic Institute in Potsdam emitted by the radio station DIZ. The swing intervals for each observations have been obtained in units of quartz clock Q_{11} and those of DIZ.

Observed intervals of pendulum pairs on account of clock rate and changeable influence of Moon and Sun attraction, have been reduced to infinitesimal small amplitude, to the temperature of 15° C, and to zero pressure.

The values of termic coefficients, determined in the course of three years, are listed in table 1.

With respect to the rate of used clocks Q_{11} and DIZ, the reductions were deduced from the comparison of used signals and these broadcasted by radio stations GBZ, MSF, FYP (diagr. 5). The cycles of pendulum pairs reclined on the two clocks were reduced autonomously and reductions obtained for each observation cycle are equal to those attained by using the both time signals (table 2).

The mean values obtained from the two clocks were accepted as definite values for the further computations.

From the reduced cycles of pendulum pairs and of mean pendulum the station means were calculated (table 3). The mean error of a single interval measurement of a pendulum pair $m'_0 = \pm 0,78 \cdot 10^{-7}$ sec. and of the mean pendulum $M'_0 = \pm 0,73 \cdot 10^{-7}$ sec. were computed from the inner accordance of the observations at the stations of the whole observation cycle. The purely accidental part of the error m'_0 $\mu = \pm 0,37 \cdot 10^{-7}$ sec. and its systematic part $\varkappa = \pm 0,68 \cdot 10^{-7}$ sec.

In order to study the influence of time errors an analysis of accuracy of observation results accordingly to particular clocks was made. For an observation executed by using a single clock only the error $\varkappa = \pm 0,75 \cdot 10^{-7}$ sec. was obtained.

From the differences of the obtained values of the error \varkappa , the influence of time errors on observation made by using one clock only was determined as $\varkappa_s = \pm 0,45 \cdot 10^{-7}$ sec. (chapter 5.1.).

Moreover the mean error of a single measurement of a pendulum pair $m''_0 = \pm 0,61 \cdot 10^{-7}$ sec. was determined from the analysis of interval differences of pendulum pairs. With respect to the influence of the error \varkappa the mean error of station mean was calculated

$$M_s = \pm \sqrt{\frac{m_0''^2}{10} + \frac{\varkappa^2}{5}} = \pm 0,36 \cdot 10^{-7} \text{ sec}$$

From the analysis of reduction errors follows that the influence of effected reductions the interval differences at neighbouring stations amount to less than $0,1 \cdot 10^{-7}$ sec. Assuming the errors of particular observations $m_r = \pm 0,1 \cdot 10^{-7}$ sec., the mean determination error of acceleration difference Δg from single tie $A-B$ was calculated according to the formula

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,4 \sqrt{2 M_s^2 + \sum_1^7 m_r^2} \text{ mgal.}$$

and was found to be $(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,23$ mgal. For the mean value of „forward” and „back” ($A-B-B-A$) was found

$$m_{\Delta g} = \pm 0,16 \text{ mgal.}$$

Observed differences of acceleration derived from the mean station cycles, observed at the neighbouring stations, are shown in table 6 . The final results of observations are listed in table 7.

As additional criterion of accuracy evaluation a mean error of determination of Δg , $m_{\Delta g} = \pm 0,20$ mgal has been deduced from the divergencies of Δg observed in particular lines (table 6). The said error has been derived from the closure of observed differences in acceleration in triangles (table 6) and it runs $m_{\Delta g} = \pm 0,03$ mgal.

Thus the above accordance of the results made it possible to accept the value

$$m_{\Delta g} = \pm 0,16 \text{ mgal}$$

derived from the analysis of reduced pendulum cycles and a sufficiently large number of observations lead into calculations, as the final evaluation of the carried out surveyings.

ZBIGNIEW ZĄBEK
WENEDA DOBACZEWSKA

SCHWERKRAFTMESSUNGEN MIT EINEM VIERPENDELAPPARAT IM ÖSTLICHEN TEIL DES POLNISCHEN SCHWERENETZES

Lehrstuhl für Höhere Geodäsie der Technischen Hochschule zu Warszawa unter Mitwirkung des Instituts für Geodäsie und Kartographie. Ausführungsjahr: 1958

Z u s a m m e n f a s s u n g

Das Personal des Lehrstuhls für Höhere Geodäsie führte in den letzten Jahren eine Reihe von Schwerkraftmessungen mit dem Askania-Vierpendelapparat [1] durch. Im Jahre 1956 wurden Schwerkraftdifferenzen zwischen Gdańsk, Warszawa und Kraków beobachtet, d.h. zwischen Stationen, die zur gravimetrischen Eichstrecke Gdańsk—Kasprowy Wierch [2] gehören. Im nächsten Jahre wurden Schwerkraftbestimmungen in Szczecin, Poznań und Wrocław [3] durchgeführt, und darauf, im Laufe des Jahres 1958 — Schwerkraftmessungen in Białystok, Lublin und Rzeszów. Die zuletzt genannten Arbeiten werden im vorliegenden Beitrag behandelt. Sie umfassen die Ermittlung der Schwerkraftdifferenzen zwischen je zwei der genannten Stationen und den Anschluss dieser Stationen an die Pendelpunkte Gdańsk, Warszawa und Kraków.

Die Beobachtungsreihenfolge der Pendelpunkte war die Folgende: Warszawa I, Białystok I, Gdańsk Ia, Gdańsk Ib, Białystok II, Lublin Ia, Lublin Ib, Białystok III, Warszawa II, Lublin II, Rzeszów I, Kraków II, Lublin IIIa, Lublin IIIb, Kraków II, Rzeszów II, Lublin IV, Warszawa III. Aus diesen Pendelmessungen wurden für jede Strecke des Pendelnetzes unmittelbare Beobachtungen ermittelt und zwar „hin“ ($A-B$) und „zurück“ ($B-A$). Auf jeder Station wurden 5 Pendelschwingungsperioden von sechsständiger Dauer beobachtet mit Berücksichtigung der Kompensation der Vertikalkomponente des erdmagnetischen Feldes. Die angewandte Anfangsamplitude betrug 15', der Luftdruck unter der Haube etwa 9 mm Hg. Während der Beobachtung hat man ausserdem auf die Konstanz der Temperatur der Umgebung besonders geachtet. Die mittlere Temperaturdifferenz der benachbarten Stationen lag bei 1,5° C (Tafel 4).

Bei den Beobachtungen der Schwingungszeiten wurden 2 unabhängige Zeitsignalen benutzt: das eine aus dem Haupteichamt Warszawa (Quarzuhr Q_{11}) — versandt vom Sender Warszawa und das zweite aus dem Potsdamer Geodätischen Institut — Sender DIZ. Für jede Messung wurden die Schwingungsperioden in den Einheiten der Quarzuhr Q_{11} und DIZ ausgedrückt.

Die beobachteten Schwingungsperioden der Pendelpaare wurden hiernach reduziert und zwar auf eine unendlich kleine Amplitude, zur Temperatur von 15°C auf einen Luftdruckwert gleich Null, im Hiensincht auf dem Uhrgang und die Schwerezeiten. Zur Berechnung der Temperaturkorrektur wurden die im Jahre 1958 ermittelten Konstanten verwendet. Tafel 1 bringt die im Zeitraum von 3 Jahren ermittelten Temperaturkonstanten.

Die mit Rücksicht auf den Uhrgang notwendigen Reduktionen der Uhren Q_{11} und DIZ, wurden durch Vergleich der verwendeten Zeitsignale mit den Signalen GBZ, MSF und FYP (Bild 5) bestimmt. Die Schwingungsperioden der Pendelpaaren wurden in Anlehnung an die zwei erwähnten Uhren unabhängig voneinander reduziert, wodurch für jede Beobachtung die reduzierten Schwingungsperioden mit Hilfe beider Zeitsignalsysteme errechnet wurden (Tafel 2).

Im weiteren Berechnungsverlauf wurden die aus beiden Uhren gemittelten Ergebnisse verwendet. Aus den reduzierten Schwingungsperioden der Pendelpaare und des Pendelmittels wurden Stationsmittel errechnet (Tafel 3). Aus der inneren Übereinstimmung der Stationsbeobachtungen wurde der mittlere Bestimmungsfehler einer Pendelpaarschwingungsperiode für die ganze Messreihe gefunden. Sie erreichte den Wert $m'_0 = \pm 0,78 \cdot 10^{-7}$ sek. Für das Pendelmittel fand man dagegen $M'_0 = \pm 0,73 \cdot 10^{-7}$ sek. Auf den rein zufälligen Anteil des Fehlers m'_0 entfiel $\mu = \pm 0,37 \cdot 10^{-7}$ sek, auf den systematischen Anteil dagegen $\varkappa = \pm 0,68 \cdot 10^{-7}$ sek.

Um den Einfluss der fehlerhaften Zeitannahme zu ermitteln wurde eine Untersuchung der Bestimmungsgenauigkeit aus jeder einzelnen Uhr durchgeführt. Als Bestimmungsfehler aus einer einzigen Uhr fand man den Wert $\varkappa = \pm 0,75 \cdot 10^{-7}$ sek. Die Differenz zwischen den erhaltenen Werten \varkappa führte zur Ermittlung des Einflusses fehlerhafter Zeitannahme für die mit Hilfe einer Uhr durchgeführte Bestimmung — $\varkappa_z = \pm 0,45 \cdot 10^{-7}$ sek (Abschn. 5.1).

Die Untersuchung der Schwingungsperiodendifferenzen der Pendelpaare ermöglichte die Errechnung des mittleren Fehlers einer einzelnen Messung für ein Pendelpaar — $m''_0 = \pm 0,61 \cdot 10^{-7}$ sek. Unter Berücksichtigung des \varkappa — fehlers wurde schliesslich der mittlere Fehler des Stationsmittels zu

$$M_s = \pm \sqrt{\frac{(m''_0)^2}{10} + \frac{\varkappa^2}{5}} = \pm 0,36 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

gefunden.

Auf Grund der durchgeführten Fehleruntersuchung lässt sich sagen, dass die aus den Reduktionsvorgängen resultierenden Einflüsse, auf die Schwingungsperiodendifferenzen benachbarter Stationen, kleiner sind als $0,1 \cdot 10^{-7}$ sek.

Diesen Wert als Reduktionsfehler m_r annehmend, wurde der mittlere Fehler einer Schwerkraftdifferenzbestimmung Δg aus einer einzelnen Messreihe $A-B$ ermittelt. Hierbei wurde folgende Formel benutzt

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,4 \sqrt{2M_s^2 + \sum_1^7 m_r^2} \text{ mgal.}$$

Man erhielt den Wert $(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,23$ mgal und als Mittelwert aus zwei Messreihen „hin“ und „zurück“ ($A-B-B-A$) — $m_{\Delta g} = \pm 0,16$ mgal.

Die Schwerkraftdifferenzen wurden aus den auf benachbarten Stationen beobachteten stationsmittleren Schwingungsperioden errechnet (Tafel 6). Die Endresultate sind in Tafel 7 zusammengestellt.

Zur zusätzlichen Genauigkeitsbeurteilung wurde aus der Divergenz der beobachteten Δg — Werte für die einzelnen Strecken (Tafel 6) der mittlere Bestimmungsfehler $m_{\Delta g}$ einer Schwerkraftdifferenzbestimmung hergeleitet; $m_{\Delta g} = \pm 0,20$ mgal. Dieser Fehlerwert wurde nochmals aus Dreiecksabschlüssen bestimmt (Bild 6). Man erhielt $m_{\Delta g} = \pm 0,03$ mgal.

Die Übereinstimmung angeführter Ergebnisse erlässt für die endgültige Genauigkeitsbeurteilung den Wert $m_{\Delta g} = \pm 0,16$ mgal annehmen, da er aus der Untersuchung reduzierter Pendelschwingungsperioden hervorgeht und bei seiner Berechnung eine genügend grosse Anzahl von Beobachtungen ausgewertet worden ist.