

Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach zachodniej części sieci wahadłowej w Polsce

Praca wykonana w roku 1957 przez Katedrę Geodezji Wyższej Politechniki Warszawskiej w ramach współpracy z Instytutem Geodezji i Kartografii.

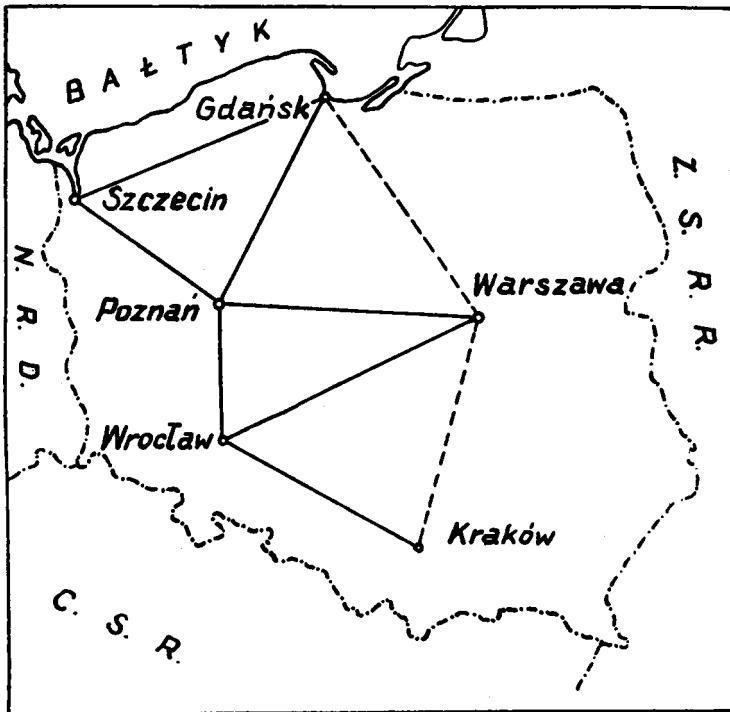
1. Wstęp

W roku 1956 Katedra Geodezji Wyższej wykonała pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach bazy grawimetrycznej Gdańsk — Kasprowy Wierch. Sprawozdanie z tych pomiarów zostało opublikowane w Zeszycie 2 (11), tom V „Prac Instytutu Geodezji i Kartografii”. Kontynuując prace aparatem czterowahadłowym, przeprowadzono w roku 1957 pomiary na punktach zachodniej części sieci wahadłowej w Polsce. Wyznaczono różnice przyspieszenia siły ciężkości pomiędzy punktami wahadłowymi w Szczecinie, Poznaniu i Wrocławiu oraz nawiązano je do punktów wahadłowych w Gdańsku, Warszawie i Krakowie (rys. 32). Różnice przyspieszenia siły ciężkości pomiędzy punktami Gdańsk — Warszawa i Warszawa — Kraków wyznaczone zostały w roku ubiegłym jako część bazy grawimetrycznej Gdańsk — Kasprowy Wierch. Prace omawiane w niniejszym artykule obejmowały zatem wyznaczenie różnicy przyspieszeń dla następujących przeseł powyższej sieci wahadłowej: Gdańsk — Szczecin, Gdańsk — Poznań, Szczecin — Poznań, Warszawa — Poznań, Warszawa — Wrocław, Poznań — Wrocław, Kraków — Wrocław.

Do pomiaru użyto aparatu czterowahadłowego firmy „Askania” Nr 5115295 z kompletem półsekundowych wahadeł inwarowych typu Sterneck’a i z aparaturą do rejestracji fotograficznej, stosując kompensację magnetyczną przy pomocy cewki Helmholtza. Szczegółowy opis aparatu czterowahadłowego, jak również aparatury do kompensacji magnetycznej, podano we wspomnianej poprzednio publikacji. W aparacie tym celem uzyskania lepszej pracy wahadeł zmieniono jedynie dobór par wahadeł i ponownie wyregulowano okresy. Poza tym, wiosną 1957 roku przeprowadzono kontrolne badania współczynników redukcji termicznej oraz wyznaczono empirycznie współczynniki równania redukcyjnego do nieskończenie małej amplitudy. Wyniki tych badań pociągnęły za sobą konieczność przeliczenia wyznaczonych w roku 1955 współczynników redukcji ze

względnie na ciśnienie oraz wprowadzenia poprawek do wyników pomiarów wykonanych w roku ubiegłym.

Obserwacji dla wyznaczenia różnic przespieszzeń na wyżej podanych przesłach dokonano w miesiącach sierpień — wrzesień 1957 roku. Przy obserwacjach, prócz autorów artykułu, brali udział pracownicy Katedry mgr inż. A. Farbiszewska i mgr inż. J. Śledziński. Tok prac związanych



Rys. 32. Szkic punktów wahadłowych

z pomiarami Δg dyskutowany 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. Nie-wiarowski i mgr inż. J. Bokun.

2. Badania laboratoryjne aparatury wykonane w pierwszym półroczu 1957 r.

2.1. Zamiana par i regulacja okresów wahadeł

Z analizy materiału obserwacyjnego uzyskanego z pomiarów w roku 1956 wyciągnięto wniosek, że redukcja ze względu na współdrżanie statywu dla par wahadeł może być zaniedbana. Aparat wykazał na wszystkich stanowiskach dobrą stabilność statywu, charakteryzującą się małym współ-

czynnikiem współdrgań statywu s (rzędu $10 \cdot 10^{-7}$ sek). Poza tym wahadła wykazały dobrą stałość okresów, co pozwoliło na utrzymanie w całym cyklu obserwacyjnym zgodności okresów w parach wahadeł, jaką uzyskano w wyniku regulacji. Ujemny wpływ na zjawisko współdrgań statywu miały stosunkowo duże rozbieżności współczynników termicznych poszczególnych wahadeł, a mianowicie:

$$\alpha_1 = -2,74$$

$$\alpha_2 = -1,49$$

$$\alpha_3 = -2,85$$

$$\alpha_4 = -1,67$$

Fabryczny dobór par wahadeł 1-2 i 3-4 okazał się wobec powyższego niekorzystny. Aby móc zaniebywać redukcje współdrgań statywu dla pary wahadeł niezależnie od temperatury, dobrano jako pary wahadła 1-3 i 2-4, zawieszając wahadło Nr 2 na łożysku Nr 3, zaś wahadło Nr 3 na łożysku Nr 2. W związku z tą zamianą zaszła konieczność dokonania regulacji okresów wahadła drugiego i trzeciego, co przeprowadzono, uzyskując zgodność okresów w granicach $5 \cdot 10^{-7}$ sek. Należy zaznaczyć, że taki dobór par wahadeł miał na celu nie tylko pominięcie redukcji współdrgań statywu (zmniejszenie pracochłonności obliczeń) lecz uzyskanie lepszej pracy wahadeł i podniesienie dokładności pomiarów.

2.2 Badanie kontrolne współczynników redukcji termicznej

Równania redukcyjne okresów wahadeł ze względu na temperaturę były wyznaczone zimą 1955/56 roku. Celem zbadania stałości współczynników redukcji termicznej wykonano w lutym 1957 r. następującą serię obserwacji:

- 2 obserwacje w temp. 25°C
- 1 obserwację w temp. malejącej od 24 do 19°C
- 3 obserwacje w temp. 12°C
- 1 obserwację w temp. wzrastającej od 11 do 18°C
- 3 obserwacje w temp. 23°C
- 1 obserwację w temp. malejącej od 23 do 16°C
- 3 obserwacje w temp. 9°C
- 1 obserwację w temp. wzrastającej od 8 do 16°C
- 2 obserwacje w temp. 25°C

Wyliczone współczynniki termiczne dla par wahadeł w układzie 1—3 i 2—4 oraz współczynnik termiczny dynamiczny dla wahadła średniego podaje tablica 1, w której dla porównania podano również współczynniki z roku 1955/56.

Tablica 1

	z roku 1955/56	z roku 1957
α_{1-3}	$(-2,80 \pm 0,06) \cdot 10^{-7}$ sek/1°C	$(-2,54 \pm 0,05) \cdot 10^{-7}$ sek/1°C
α_{2-4}	$(-1,58 \pm 0,05)$ „	$(-1,76 \pm 0,05)$ „
α_{sr}	$(-2,19 \pm 0,04)$ „	$(-2,15 \pm 0,05)$ „
α_{dt}	$+ 2,4 \cdot 10^{-7}$ sek/1°C/1h	$(+ 2,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-7}$ sek/1°C/1h

Na podstawie otrzymanych wyników nie można jeszcze wyprowadzić konkretnych wniosków co do stałości współczynników termicznych badanych wahadeł. Ponieważ współczynnik wahadła średniego z obu wyznaczeń otrzymano prawie identyczny, dla wyników pomiarów Δg nie będzie miało znaczenia zagadnienie wyboru współczynników do redukcji termicznej. Z uwagi jednak na powszechnie znane zjawisko zmienności współczynników termicznych wahadeł inwarowych, można było przyjąć współczynniki z ostatniego wyznaczenia.

2.3. Wyznaczenie współczynników równania redukcyjnego do nieskończenie małej amplitudy

Przyjmując przy redukcji zaobserwowanych okresów wahadeł teoretyczny wzór:

$$\Delta T_a = -\frac{T'}{16} \left(\frac{a_p + a_k}{2} \right)^2 \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{a_p - a_k}{a_p + a_k} \right)^2 - \frac{4}{45} \left(\frac{a_p - a_k}{a_p + a_k} \right)^4 \right]$$

należy się liczyć, że współczynnik $\frac{1}{16}$ może nie odpowiadać rzeczywistym wartościom tej redukcji dla danych wahadeł.

Celem wyznaczenia empirycznie tego współczynnika wykonano 3 serie dwunastogodzinnych obserwacji okresów wahadeł. W czasie każdej serii obserwacji wykonano również rejestracje po 4 i 8 godzinach. Wahadłom nadawano amplitudę początkową 17', uzyskując po 4 godzinach amplitudę 11', po 8 godzinach 7', po 12 godzinach 4'. Z każdej serii obliczano okresy wahadeł dla obserwacji od początku do 4-tej godziny, od 4-ej do 8-ej godziny i od 8-ej do 12-ej godziny, otrzymując z każdej serii 3 obserwacje w różnych amplitudach. Po wprowadzeniu redukcji do jednakowej temperatury i ciśnienia zerowego, ułożono równania poprawek wg wzoru:

$$T' + v + \Delta T_a = T_o$$

gdzie

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

zaś T_o — okres zredukowany do nieskończenie małej amplitudy.

Z wyrównania metodą najmniejszych kwadratów ($[vv] = \min.$) wyznaczono niewiadome A i T_o . Otrzymano dla wahadła średniego

$$A = (-0,0312 \pm 0,0017) \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

Wartość teoretycznego współczynnika dla danej aparatury wynosi $A = -\frac{T'}{16(\varrho')^2} = -0,0262 \cdot 10^{-7}$ sek. Ponieważ rozbieżność tych współczynników przekracza trzykrotnie wartość średniego błędu wyznaczenia współczynnika empirycznego, a teoretyczny współczynnik odpowiada warunkom idealnym, przyjęto stosować dla danej aparatury równanie redukcyjne ze współczynnikiem A wyznaczonym empirycznie.

2.4. Przeliczenie współczynników redukcji ze względu na ciśnienie

W wyniku powyżej opisanych prac badawczych stwierdzono, że w dotychczasowych pracach tą aparaturą niewłaściwe było postępowanie przy odczytywaniu amplitud i wprowadzaniu redukcji ze względu na amplitudę. — Rzeczywiste wartości amplitud były dwukrotnie mniejsze od odczytywanych, a przy redukcji stosowano teoretyczny współczynnik A , odbiegający od wyznaczonego empirycznie. W związku z powyższym zaszła konieczność przeliczenia współczynników równań redukcyjnych do ciśnienia zerowego, wyznaczonych zimą roku 1955/56. W seriach obserwacji wykonanych w różnych ciśnieniach (od 5 mm słupa rtęci do ciśnienia atmosferycznego) amplitudy końcowe wahań wahadeł były różne. Błąd redukcji zaobserwowanych okresów wahań do nieskończenie małej amplitudy przeniósł się na wyznaczone wówczas współczynniki równań redukcyjnych do ciśnienia zerowego. Stosując prawidłowy sposób odczytywania amplitud i empiryczny współczynnik równania redukcyjnego do nieskończenie małej amplitudy, wprowadzono do zaobserwowanych okresów właściwe redukcje ΔT_d i powtórzono wyrównanie serii obserwacji. W wyniku otrzymano następujące wartości współczynników równania redukcji okresów do ciśnienia zerowego:

$$\Delta T_d = K_1 d + K_2 \sqrt{d}$$

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

gdzie

b — ciśnienie powietrza wewnątrz klosza w mm słupa rtęci

t — temperatura powietrza w °C

$$K_1 = -0,793 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

$$K_2 = -4,34 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

3. Przeliczenie wyników obserwacji aparatem czterowahadłowym na punktach bazy grawimetrycznej Gdańsk-Kasprowy Wierch, wykonanych w roku 1956

Uwagi rozdziału 2.3 i 2.4 odnoszą się również do prac pomiarowych wykonanych w roku 1956 na punktach bazy grawimetrycznej Gdańsk — Kasprowy Wierch. Przeanalizowano wpływ wynikających w związku

z tym poprawek redukcji na wyznaczone wartości różnic przyspieszeń. Stwierdzono, że zastosowanie nowych współczynników redukcji do ciśnienia zerowego nie wpływa na końcowe wyniki, natomiast odnośnie redukcji do nieskończonej małej amplitudy stwierdzono konieczność wprowadzenia nowych wartości redukcji. Zaobserwowane amplitudy wszystkich obserwacji podzielono przez dwa i stosując empirycznie wyznaczony współczynnik, poprawiono wartości redukcji ze względu na amplitudę. Ze zredukowanych okresów wahań wahadeł obliczono średnie stacyjne wahadła średniego, z których obliczono zaobserwowane różnice przyspieszeń i powtórzono wyrównanie całego cyklu obserwacyjnego dla wahadła średniego. Otrzymano następujące poprawione różnice przyspieszeń:

Tablica 2

Nazwa punktu	Δg mgal	g mgal
Gdańsk — Wyższa Szkoła Pedagogiczna	— 214,36	981 451,56
Warszawa — Politechnika	— 184,34	981 237,2
Kraków — Obserwatorium Astronomiczne U. J.	— 255,90	981 052,86
Zakopane — Muzeum Tatrzańskie	— 34,78	980 796,96
Kuźnice — Prewentorium	— 217,77	980 762,18
Kasprowy Wierch — Obserwatorium Meteorologiczne		980 544,41

Analizy dokładności obserwacji nie powtarzano, gdyż wprowadzone poprawki nie zmieniają oceny dokładności.

4. Opis i przygotowanie punktów wahadłowych

Warszawa Politechnika (W.P.)

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

Punkt ten założony został w roku 1956, jako jeden z punktów bazy grawimetrycznej Gdańsk — Kasprowy Wierch. Szczegółowy opis punktu podano w wspomnianej uprzednio publikacji, Prace I G i K, Zeszyt 2 (11). Punkt nie wymagał specjalnych przygotowań.

Kraków (Kr.)

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

łodze marką. Dawny punkt grawimetryczny obserwacji wahadłowych oraz punkt wahadłowy bazy grawimetrycznej Gdańsk — Kasprowy Wierch założonej w roku 1956. Szczegółowy opis punktu podano w Pracach I G i K, Zeszyt 2 (11).

Punkt obserwacyjny starannie przygotowano do obserwacji. Usunięto z korytarza doprowadzającego do pomieszczenia obserwacyjnego wszystkie rzeczy oraz gruntownie posprzątało piwnicę i korytarz. Temperatura w piwnicy wynosiła 15°C , co odpowiadało temperaturze na sąsiednich stanowiskach. Pomocniczą aparaturę obserwacyjną umieszczono w korytarzu, uzyskując, pomimo małej kubatury pomieszczenia obserwacyjnego, zadowalającą stałość temperatury w czasie obserwacji.

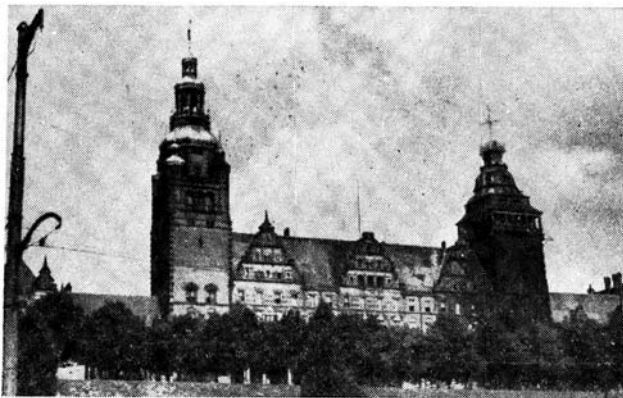
Gdańsk (Gd.)

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. Dawny punkt grawimetryczny obserwacji wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego. Punkt wahadłowy bazy grawimetrycznej Gdańsk — Kasprowy Wierch. Szczegółowy opis punktu podaje publikacja w Zeszytach 2(11) Prac I G i K.

Przed obserwacjami pomieszczenie z przylegającym korytarzem opróżniono, gruntownie posprzątało, ściany pobielono i betonową podłogę zaciągnięto cementem. Warunki obserwacji dobre.

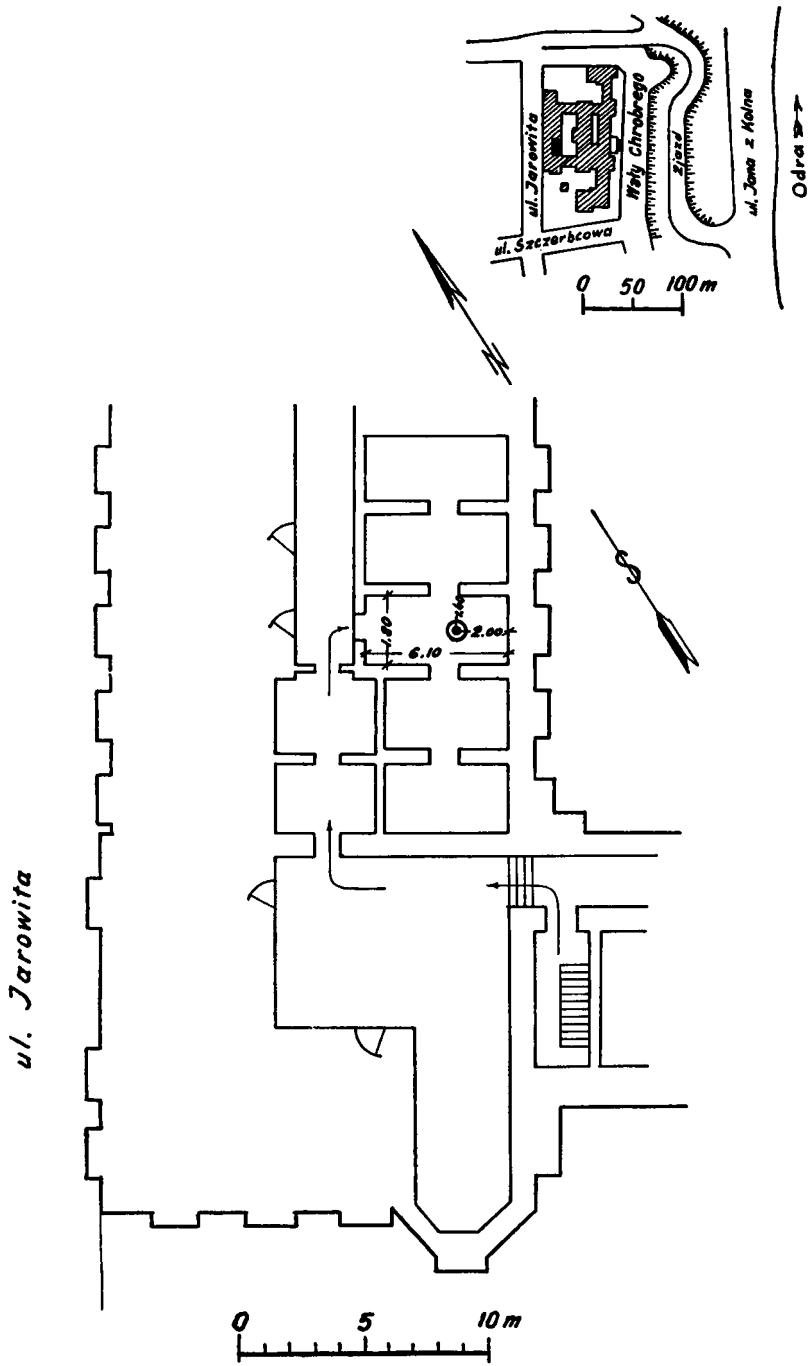
Szczecin (Sz.)

Szczecin, Wały Chrobrego 4, Gmach Prezydium Wojewódzkiej Rady Narodowej. Piwnica numer 45 położona w najniższej (drugiej) kondygnacji



Rys. 33a. Punkt wahadłowy Szczecin

piwnic, w części gmachu od strony ulicy Jarowita (część dawnego schronu przeciwlotniczego).



Rys. 33b. Punkt wahadlowy Szczecin

Stanowisko aparatu wahadłowego — podłoga betonowa. Punkt zaznaczony marką.

$$\varphi = 53^{\circ}25',9$$

$$\lambda = 14^{\circ}34',0$$

$$H = 12,5 \text{ m npm.}$$

Przed obserwacjami sufit i ściany piwnicy zostały pobielone. Pomieszczenie duże, okno zamurowane. Stałość temperatury dobra. Utrzymanie czystości łatwe. Poziom podłogi 4 m pod ziemią. Punkt obserwacyjny oddalony 15 m od ulicy (bez linii tramwajowej). Zakłóceń nie zauważono. Piwnica zelektryfikowana.

Poznań (Poz.)

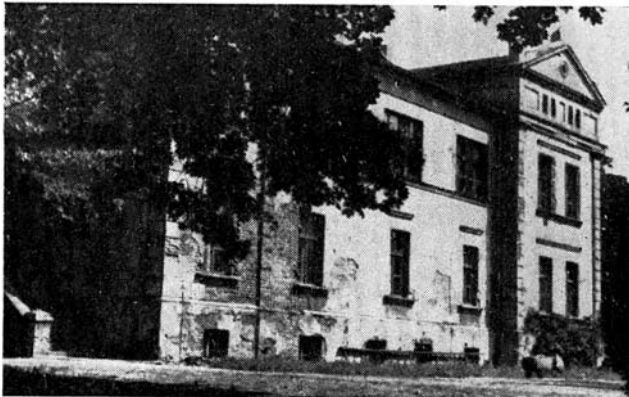
Poznań, ul. Słoneczna 36, Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Poznańskiego. Piwnica od północno-wschodniej strony budynku. Dawny punkt grawimetryczny obserwacji wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego.

Stanowisko aparatu wahadłowego — podłoga betonowa. Punkt zaznaczony marką.

$$\varphi = 52^{\circ}23',9$$

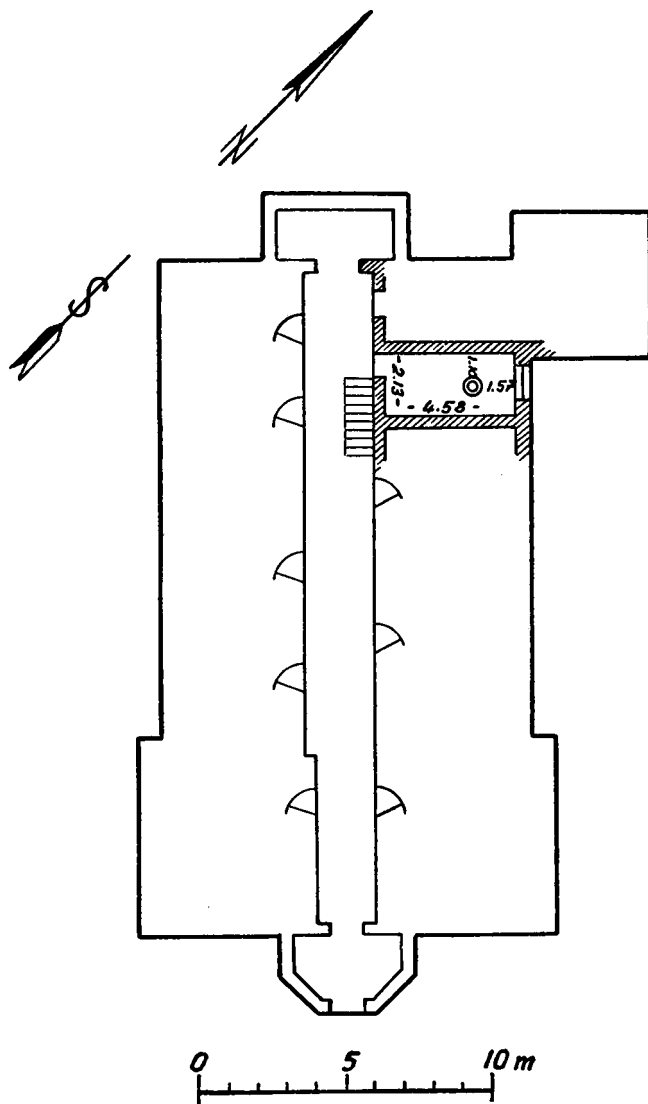
$$\lambda = 16^{\circ}53',3$$

$$H = 83,2 \text{ m npm.}$$



Rys. 34a. Punkt wahadłowy Poznań

Przed obserwacjami pomieszczenie opróżniono, wyrównano betonową podłogę i pobielono ściany. Wymiary piwnicy nieduże ($2 \times 4,5$ m). Pomieszczenie bardzo wilgotne. Utrzymanie czystości — trudne. Spokój zupełny. Piwnica zelektryfikowana. Bardzo duże wahania napięcia prądu w sieci oraz silne zakłócenia utrudniające odbiór sygnałów.



Rys. 34b. Punkt wahadlowy Poznań

Wrocław (Wr.)

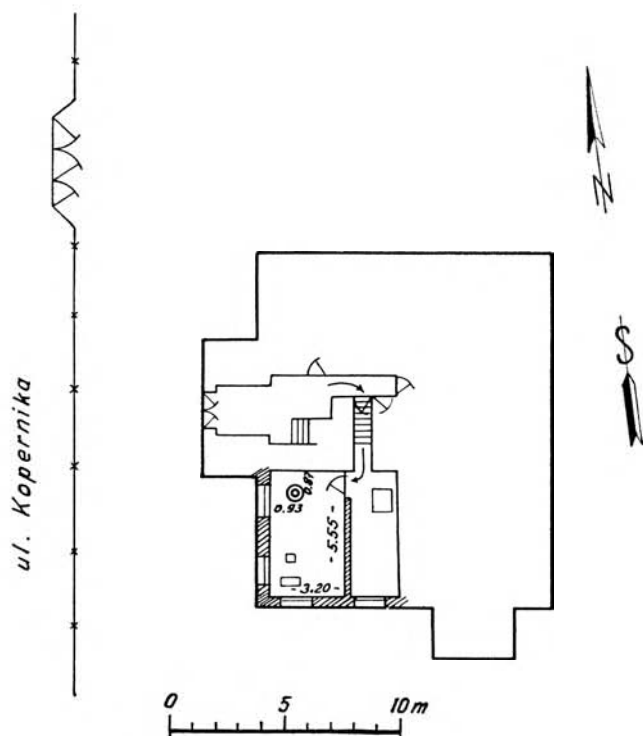
Wrocław, ul. Kopernika 11, Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Wrocławskiego. Piwnica, w której mieści się laboratorium astrofizyczne, położona w południowo-zachodnim narożniku budynku głównego. Stanowisko aparatu wahadlowego — podłoga betonowa. Punkt zaznaczony marką.

$$\varphi = 51^{\circ}06',6$$

$$\lambda = 17^{\circ}05',3$$

$$H = 115,1 \text{ m npm.}$$

Podłoga piwnicy położona 1,5 m pod ziemią. Piwnica posiada 3 okna. Południowe okno zabezpieczono przed działaniem promieni słonecznych.



Rys. 35. Punkt wahadłowy Wrocław

Nieznaczące wahania temperatury w pomieszczeniu. Odległość punktu obserwacyjnego od ulicy — 12 m. Ulica bardzo spokojna i zakłóceń nie zauważono. W pomieszczeniu stwierdzono silne zaburzenia pola magne-

tycznego, spowodowane prawdopodobnie obecnością mas magnetycznych pod podłogą piwnicy. Na punkcie wahadłowym inklinacja magnetyczna wynosi $I = 75^{\circ},5$, natomiast składowa pionowa $Z = 0,22 \Gamma$. Wyznaczone na zewnątrz budynku elementy pola magnetycznego wynoszą: $I = 68^{\circ}$, $Z = 0,41 \Gamma$. Zmian natężenia pola na punkcie wahadłowym w czasie obserwacji nie stwierdzono.

5. Obserwacje

Trzy punkty wyjściowe: Gdańsk, Warszawa i Kraków oraz wyznaczone obecnie trzy punkty: Szczecin, Poznań i Wrocław tworzą razem powierzchniową sieć trójkątów. Zadaniem niniejszej pracy było wyznaczenie różnic przyspieszeń Δg siedmiu przęseł tej sieci. Program kolejności obserwacji na punktach przyjęto w ten sposób, aby biorąc do obliczeń tylko różnicę okresów wahań zaobserwowanych na sąsiednich stanowiskach, otrzymać dla każdego przęsła (pomiędzy punktami A i B) obserwację „tam” (A—B) i „z powrotem” (B—A).

Zaprojektowano następujący cykl obserwacji: Warszawa I, Poznań I, Szczecin I, Gdańsk I, Poznań IIa, Poznań IIb, Gdańsk II, Szczecin II, Poznań III, Warszawa II, Wrocław I, Poznań IVa, Poznań IVb, Wrocław II, Kraków Ia, Kraków Ib, Wrocław III, Warszawa III. W czasie wykonania obserwacji otrzymano dużą rozbieżność wyników obserwacji Warszawa I — Poznań I i Poznań III — Warszawa II. Postanowiono zatem rozszerzyć powyższy program, powtarzając obserwacje przęsła Warszawa — Poznań. Ostatecznie wykonany cykl obserwacyjny przedstawia się następująco: Warszawa I, Poznań I, Szczecin I, Gdańsk I, Poznań IIa, Poznań IIb, Gdańsk II, Szczecin II, Poznań III, Warszawa II, Wrocław I, Poznań IV, Warszawa IIIa, Warszawa IIIb, Poznań V, Wrocław II, Kraków Ia, Kraków Ib, Wrocław III, Warszawa IV.

Powtórzenie obserwacji na stanowiskach Poznań II, Warszawa III i Kraków I (stanowiska oznaczone literami a, b) miały na celu uzyskanie jednokowych wag dla wszystkich obserwowanych przęseł. Wykonując program obserwacji $A_I - B_I - C_a - C_b - B_{II} - A_{II}$, otrzymujemy dla przęsła A-B dwie niezależne obserwacje $A_I - B_I$, $B_{II} - A_{II}$ czyli przęsło A-B wyznaczone jest z wagą 2. Dla przęsła B—C mamy również dwie niezależne obserwacje $B_I - C_a$ i $C_b - B_{II}$, obserwacja przęsła B—C posiada również wagę 2. Aby móc traktować obserwację b jako niezależną, wahadła — po zakończeniu serii obserwacyjnej a — były przewożone samochodem, a cała aparatura była ponownie zestawiana na stanowisku w ten sposób, że położenie aparatu było skręcane o kąt bliski 90° względem ustawienia przy serii a, przy czym wszystkie czynności związane z pomiarem na jednym stanowisku były powtarzane. Również przy obserwacjach „z powrotem” ($B_{II} - A_{II}$) ustawienie aparatury różniło się od jej ustawienia

przy obserwacji „tam” ($A_I - B_I$) skreśnieniem w azymucie o kąt możliwie bliski 90° .

Zgodnie z wnioskami uzyskanymi na podstawie przeprowadzonych badań aparatury i materiału obserwacyjnego z roku ubiegłego, wykonywano na stanowisku przeciętnie 5 sześciogodzinnych obserwacji obiema parami wahadeł równocześnie, z zastosowaniem kompensacji składowej pionowej pola magnetycznego. Praktycznie długości obserwacji zawarte były w granicach od 5 do 7 godzin, przy czym średnia długość wszystkich obserwacji na danym stanowisku wynosiła 6 godzin.

Celem uzyskania jednolitego materiału obserwacyjnego stosowano amplitudę początkową $15'$, czyli taką samą jak w roku ubiegłym przy pomiarach na punktach bazy grawimetrycznej. Amplituda końcowa po 6 godzinach wynosiła około $8'$.

Wszystkie obserwacje wykonano w ciśnieniu około 9 mm słupa rtęci, przy czym średnie wartości ciśnień na stanowiskach zawarte są w granicach $8,7-9,8$ mm słupa rtęci. Średnia różnica ciśnień między sąsiednimi stanowiskami wynosiła $0,3$ mm słupa rtęci. Szczelność klosza — bardzo dobra. Średni wzrost ciśnienia w czasie obserwacji sześciogodzinnej wyniósł $0,08$ mm słupa rtęci.

Pod względem termicznym warunki obserwacji były naogół zadowalające, jedynie na stanowisku Warszawy I średnia temperatura obserwacji (20°C) odbiegała od przeciętnej temperatury całego cyklu obserwacyjnego, w którym średnie wartości temperatur na stanowiskach wahają się w granicach od $16,7^\circ\text{C}$ do $13,7^\circ\text{C}$. Średnia różnica temperatur na sąsiednich stanowiskach wyniosła $1,2^\circ\text{C}$, zaś maksymalna (między stanowiskami Warszawa I — Poznań I) wyniosła $4,1^\circ\text{C}$. Różnice te nie budzą zastrzeżeń z uwagi na to, że badania temperatury wykonane w roku 1955 i 1956 nie wykazały specjalnie dużych zmian współczynników termicznych wahadeł w czasie. Przy wykonywaniu obserwacji zwrócono zatem specjalną uwagę na utrzymanie stałości temperatury w czasie obserwacji. Okna pomieszczeń obserwacyjnych zabezpieczono przed wpływami zewnętrznymi oraz przestrzegano zasady, aby jak najkrócej przebywać w pomieszczeniu obserwacyjnym w czasie obserwacji. Uzyskano w rezultacie średnią zmianę temperatury w czasie sześciogodzinnej obserwacji równą $0,11^\circ\text{C}$.

Wpływ pola magnetycznego na wahadła inwaryjne wyeliminowano, kompensując składową pionową przy pomocy cewki Helmholtza. Natężenie pola magnetycznego na punktach obserwacyjnych wynosiło: w Gdańsku $0,453 \Gamma$, w Warszawie $0,415 \Gamma$, w Krakowie $0,424 \Gamma$, w Szczecinie $0,422 \Gamma$, w Poznaniu $0,444 \Gamma$, we Wrocławiu $0,219 \Gamma$.

Zastosowana aparatura kompensowała pole magnetyczne w obszarze obejmującym wahadła z błędem nie przekraczającym 1% . Tak więc pomiar okresów wahadeł został wykonany na wszystkich stanowiskach w polu magnetycznym o natężeniu składowej pionowej $Z = 0 \pm 0,005 \Gamma$. Zastoso-

wanie do kompensacji magnetycznej posiadanej aparatury wymagało przy obserwacjach na podłodze podniesienia stanowiska aparatu wahadłowego na wysokość 13 cm, co zrealizowano przy pomocy podstawy kamiennej.

Przebieg obserwacji na jednym stanowisku był następujący:

- a) osadzenie na betonowej podłodze podstawy kamiennej przy użyciu zaprawy gipsowej,
- b) skompensowanie składowej pionowej pola magnetycznego,
- c) zestawienie i zjustowanie aparatury wahadłowej,
- d) wykonanie próbnej około 6-godzinnej obserwacji, którą traktowano jako okres stabilizacji temperatury, ciśnienia i „przyjścia do siebie” wahadeł po transporcie. W wypadku stwierdzenia znacznej zmiany we względnym chodzie wahadeł, w porównaniu do chodu na poprzednim stanowisku, powtarzano czyszczenie ostrzy wahadeł i ewentualnie justację, po czym powtarzano próbną obserwację,
- e) wykonanie obserwacji współdrgań statywu,
- f) wykonanie właściwych obserwacji, tj. pięciu 6-ciogodzinnych serii obserwacji okresów wahań wahadeł.

Dla wyznaczenia okresów wahadeł wykonywano rejestrację przejść wahadeł i radiowych sygnałów czasu na początku i na końcu obserwacji (po 6 godzinach) oraz odczytywano amplitudy, temperaturę i ciśnienie. Dla kontroli wykonywano również rejestrację po godzinie od początku obserwacji i godzinę przed końcem obserwacji. W wypadku wahań temperatury czy wzrostu ciśnienia, odczytywano je w godzinnych odstępach czasu.

Wszystkie obserwacje w terenie (poza Warszawą) wykonane zostały przy użyciu sygnałów czasu nadawanych przez rozgłośnie warszawskie Polskiego Radia z Pracowni Czasu Głównego Urzędu Miar, a mianowicie, tzw. popularnych sygnałów czasu, nadawanych co godzinę w postaci sześciu sekundowych kropek, i sygnałów nadawanych dla celów astronomicznych. Obydwa rodzaje sygnałów nadawane były z tego samego zegara kwarcowego Q_{11} . Przy obserwacjach na punkcie Warszawa używano tych samych sygnałów z G. U. M. przekazywanych drogą kablową. Tak więc zegarem roboczym w całym cyklu obserwacyjnym był zegar kwarcowy Q_{11} , a zaobserwowane okresy wszystkich obserwacji wyrażone zostały w jednostce czasu tego zegara. Celem wyznaczenia chodu zegara Q_{11} prowadzone było przez Pracownię Czasu Głównego Urzędu Miar porównywanie na chronografie piórkowym wskazań tego zegara ze wskazaniem drugiego zegara kwarcowego Q_{10} , w sposób ciągły, oraz dwa razy na dobę z zagranicznymi sygnałami czasu GBZ, MSF i FYP. Materiał ten pozwolił na wyprowadzenie redukcji okresów wahadeł ze względu na chód zegara.

6. Redukcje zaobserwowanych okresów wahadeł

6.1. Redukcja okresów do nieskończenia małej amplitudy

Zaobserwowane okresy poszczególnych wahadeł zredukowano do nieskończenia małej amplitudy wg wzoru:

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

gdzie

a_p — amplituda początkowa wahadła w minutach łuku

a_k — amplituda końcowa wahadła w minutach łuku

$A = -0,0312 \cdot 10^{-7}$ — współczynnik wyznaczony empirycznie.

6.2. Redukcja okresów ze względu na współdrżanie statywu

Ponieważ współczynnik współdrżań statywu s na żadnym stanowisku nie przekraczał wielkości $13,8 \cdot 10^{-7}$ sek, a przeciętnie wynosił $9,6 \cdot 10^{-7}$ sek, zaś różnice zaobserwowanych okresów wahadeł w parach nie wykazały w całym cyklu obserwacyjnym znacznie większych odskoków, można było zgodnie z wnioskami rozdziału 2.1. zaniedbać redukcje ze względu na współdrżanie statywu dla par wahadeł.

Wobec powyższego, przyjęto jako jednostkę obserwacyjną traktować średni okres pary wahadeł.

6.3. Redukcja okresów ze względu na temperaturę

Zaobserwowane okresy par wahadeł zredukowano do temperatury 15°C wg wzoru:

$$\Delta T_t = \alpha \cdot (t - 15^\circ) + \alpha_{\Delta t} \cdot \Delta t / 1^h,$$

stosując współczynniki wyznaczone w lutym 1957 roku

$$\alpha_{1-3} = -2,54 \cdot 10^{-7} \text{ sek}/1^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{2-4} = -1,76 \cdot 10^{-7} \text{ sek}/1^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{\Delta t} = +2,5 \cdot 10^{-7} \text{ sek}/1^\circ\text{C}/1^h$$

6.4. Redukcja okresów ze względu na ciśnienie

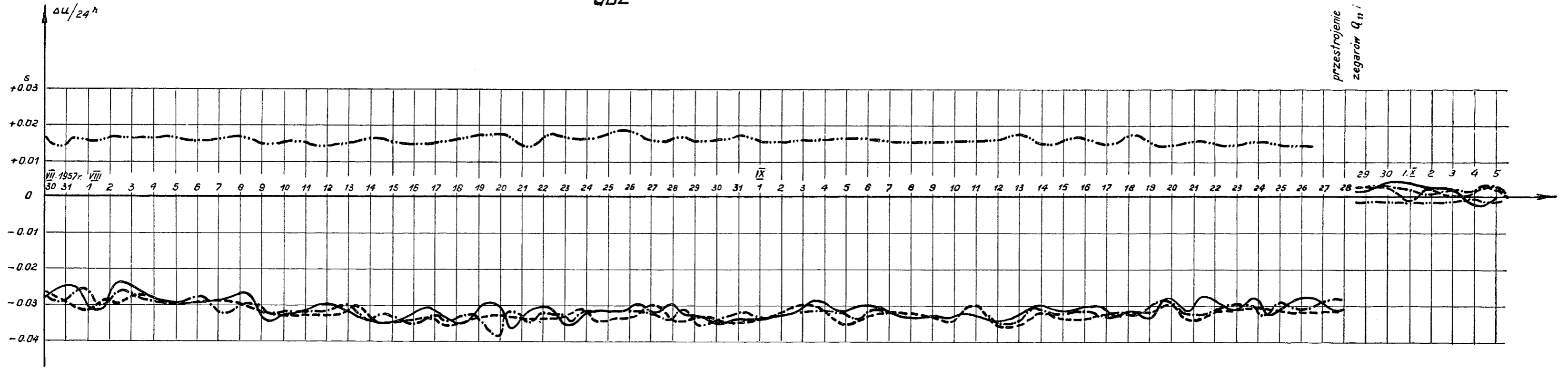
Zaobserwowane okresy par wahadeł zredukowano do ciśnienia zerowego przy pomocy tablic ułożonych na podstawie wzoru:

$$\Delta T_d = K_1 d + K_2 \sqrt{d}$$

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

Wykres chodu zegara kwarcowego GUM Q₁₁

względem	zegara	kwarcowego	GUM Q ₁₀	-----
~ " ~	~ " ~		FYP	=====
~ " ~	~ " ~		MSF	-----
~ " ~	~ " ~		GBZ	-----



Rys. 36. Wykres chodu zegara kwarcowego GUM Q₁₁

gdzie

b — ciśnienie powietrza wewnątrz klosza w mm słupa rtęci

t — temperatura powietrza w °C

$$K_1 = -0,793 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

$$K_2 = -4,34 \cdot 10^{-7} \text{ sek.}$$

Wpływ wilgotności powietrza pominięto, gdyż w niskich ciśnieniach w jakich wykonywano obserwacje jest on praktycznie równy zero.

6.5. Redukcja okresów ze względu na chód zegara

Z dostarczonego przez Pracownię Czasu Głównego Urzędu Miar (GUM) materiału obserwacyjnego wskazań zegara kwarcowego Q_{11} , który dla naszych obserwacji był zegarem roboczym, względem wskazań zegara kwarcowego Q_{10} i sygnałów czasu GBZ, MSF, FYP, wyprowadzono chód dobowy (przyspieszenie na 24 godziny) zegara Q_{11} , względem zegara Q_{10} i zegarów, z których nadawane były sygnały GBZ, MSF i FYP. Uzyskane wyniki naniesiono na wykres (rys. 36), z którego wynika, że zegary GBZ, MSF i FYP miały w czasie całego cyklu obserwacyjnego zupełnie zgodny względem siebie chód. Widoczne na wykresie rozbieżności chodów tych trzech zegarów, rzędu 0,005 sek., mają charakter krótkookresowy, można więc przyjąć, że w przeważającej części są one wynikiem błędów wyznaczeń (błędów przekazania sygnałów drogą radiową i błędów aparatury rejestrującej). Wobec powyższego, stałość chodów zegarów GBZ, MSF i FYP nie budziła zastrzeżeń i redukcję okresów wahadeł ze względu na chód zegara roboczego Q_{11} oparto na sygnałach tych zegarów. Wartość tej redukcji obliczono wg wzoru:

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

gdzie $\Delta u/24^h$ — chód dobowy zegara Q_{11} , w sek.

określając $\Delta u/24^h$ z wykresu na średni moment obserwacji niezależnie względem każdego z trzech zegarów odniesienia.

6.6. Zestawienie wyników obserwacji i redukcji

W tabelicy 3 zestawiono następujące dane obserwacyjne: data i czas obserwacji, średnie wartości temperatury — t_{sr} i ciśnienia — b_{sr} , zmianę temperatury w czasie obserwacji — $\Delta t/1^h$, amplitudy początkowe — a_p i końcowe — a_k dla par wahadeł, obliczone jako wartości średnie z amplitud odczytanych dla poszczególnych wahadeł oraz zaobserwowane okresy par wahadeł — T' , otrzymane także jako wartości średnie z obliczonych okresów dla pojedynczych wahadeł. Następnie podano wartości redukcji zaob-

serwowanych okresów par wahadeł: do nieskończonej małej amplitudy — ΔT_a (średnie z obliczonych redukcji dla poszczególnych wahadeł), do temperatury 15°C — ΔT_t , do ciśnienia zerowego — ΔT_d i ze względu na chód zegara — ΔT_u . W ostatniej rubryce podano okresy zredukowane par wahadeł i wahadła średniego.

7. Analiza zredukowanych okresów wahadeł

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

Zredukowane okresy par wahadeł i wahadła średniego zestawiono w tabelicy 4. Z wewnętrznych zgodności obserwacji na stanowisku obliczono dla całego cyklu obserwacji średni błąd pojedynczego pomiaru okresu dla pary wahadeł:

$$m'_0 = \pm 0,85 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

zaś dla wahadła średniego:

$$M'_0 = \pm 0,82 \cdot 10^{-7} \text{ sek.}$$

Na błąd m'_0 składają się błędy czysto przypadkowe — μ i błędy wspólne w danej obserwacji dla obu par wahadeł — κ (np. błąd czasu, ciśnienia, temperatury, okresowe zmiany przyspieszenia siły ciężkości), zatem:

$$m_0'^2 = \mu^2 + \kappa^2 = 0,728$$

$$M_0'^2 = \frac{1}{2} \mu^2 + \kappa^2 = 0,679$$

Stąd czysto przypadkowa część błędu m'_0 $\mu = \pm 0,31 \cdot 10^{-7}$ sek, zaś systematyczna część błędu m'_0 $\kappa = \pm 0,79 \cdot 10^{-7}$ sek.

Ponieważ przeważającą część błędu m_0 stanowi systematyczna część κ , należałoby w przyszłych pomiarach, celem osiągnięcia jak najwyższej dokładności, zwrócić szczególną uwagę na te momenty, które mogą być źródłem tego błędu. Przede wszystkim można dopatrywać się tutaj błędów w przekazywaniu sygnałów czasu z roboczego zegara kwarcowego na taśmę rejestracyjną aparatury wahadłowej. Wpływy błędów pomiaru temperatury wahadeł i ciśnienia powietrza pod kloszem wydają się tutaj bardzo znikome, gdyż stałość temperatury i ciśnienia w czasie obserwacji była zupełnie zadowalająca. Niewątpliwie może mieć tutaj znaczenie okresowa zmienność przyspieszenia siły ciężkości w czasie (wpływy Księżyca i Słońca). Należy zaznaczyć, że błąd κ dla wielokrotnych obserwacji na stanowisku ma charakter przypadkowy.

W tabelicy 4 zestawiono również różnicę zredukowanych okresów par wahadeł $\Delta = T_{1-3} - T_{2-4}$. Na wyznaczenie różnicy przyspieszenia dla

d. c. tablicy 3

Stano- wisko	Data godz.	t_{sr} $\Delta t/1^h$ °C	b_{sr} mm	Nr wah.	a_p	a_k	T' sek.	ΔT_a	ΔT_t	ΔT_d	ΔT_u	T sek.	
Wr. II	19.9 0-6	13,66 -0,02	9,20	1,3 2,4	15,3 15,3	7,6 7,6	459,4 458,4	-3,9 -3,9	+ 3,3 + 2,3	-19,8 -19,8	+1,8 +1,8	440,8 438,8 439,8	
	19.9 8-14	13,70 0,00	9,20	1,3 2,4	15,0 15,0	7,2 7,2	458,8 458,2	-3,7 -3,7	+ 3,3 + 2,3	-19,8 -19,8	+1,8 +1,8	440,4 438,8 439,6	
	19.9 15-21	13,65 -0,01	9,20	1,3 2,4	15,2 15,2	7,4 7,4	458,4 457,7	-3,8 -3,8	+ 3,4 + 2,4	-19,8 -19,8	+1,7 +1,7	439,9 438,2 439,0	
	19-20 23-5	13,58 -0,01	9,24	1,3 2,4	15,0 15,0	7,2 7,3	457,9 457,4	-3,7 -3,8	+ 3,6 + 2,5	-19,9 -19,9	+1,7 +1,7	439,6 437,9 438,8	
							0,4955						0,4955
	21.9 8-15	14,23 +0,11	9,37	1,3 2,4	15,0 15,2	6,4 6,4	723,4 721,6	-3,4 -3,4	+ 2,2 + 1,6	-20,0 -20,0	+1,8 +1,8		704,0 701,6 702,8
	21.9 17-23	14,60 0,00	9,60	1,3 2,4	15,0 15,2	7,4 7,4	724,6 722,6	-3,8 -3,8	+ 1,0 + 0,7	-20,3 -20,3	+1,8 +1,8		703,3 701,0 702,2
	22.9 0-6	14,68 -0,01	9,65	1,3 2,4	15,0 15,0	7,2 7,3	724,4 722,6	-3,7 -3,7	+ 0,8 + 0,6	-20,4 -20,4	+1,8 +1,8		702,9 700,9 701,9
	22.9 7-13	14,77 +0,02	9,69	1,3 2,4	15,1 15,0	7,3 7,2	724,7 722,6	-3,8 -3,7	+ 0,6 + 0,4	-20,4 -20,4	+1,8 +1,8		702,9 700,7 701,8
	22.9 14-19	15,00 0,00	9,80	1,3 2,4	15,3 15,2	8,4 8,4	729,4 726,3	-4,2 -4,2	0,0 0,0	-20,6 -20,6	+1,8 +1,8		706,4 703,3 704,8
							0,4955						0,4955
	Kr. Ia	24.9 8-14	15,19 -0,01	9,07	1,3 2,4	15,2 15,2	7,9 7,9	997,4 993,7	-4,0 -4,0	- 0,5 - 0,3	-19,5 -19,5	+1,8 +1,8	975,2 971,7 973,4
	24.9 15-21	15,18 -0,01	9,19	1,3 2,4	15,0 15,0	7,7 7,8	996,0 992,7	-3,9 -3,9	- 0,5 - 0,3	-19,7 -19,7	+1,8 +1,8	973,7 970,6 972,2	
	25.9 0-6	15,22 -0,01	9,20	1,3 2,4	15,1 15,1	8,0 8,0	998,5 994,6	-4,0 -4,0	- 0,6 - 0,4	-19,7 -19,7	+1,8 +1,8	976,0 972,3 974,2	
	25.9 8-14	15,31 -0,02	9,24	1,3 2,4	15,0 15,0	7,7 7,8	998,0 994,2	-3,8 -3,9	- 0,8 - 0,5	-19,8 -19,8	+1,8 +1,8	975,4 971,8 973,6	
						0,4955						0,4955	
Kr. Ib	26.9 0-6	15,17 -0,01	9,26	1,3 2,4	15,2 15,2	7,6 7,8	997,2 995,0	-3,9 -4,0	- 0,4 - 0,3	-19,8 -19,8	+1,7 +1,7	974,8 972,6 973,7	

d. c. tablicy 3

Stano- wisko	Data godz.	t_{sr} $\Delta t/1^h$ °C	b_{sr} mm	Nr wah.	a_p	a_k	T' sek.	ΔT_a	ΔT_t	ΔT_d	ΔT_u	T sek.	
Wr. III	26. 9 8-14	15,18 -0,01	9,44	1,3 2,4	15,2 15,2	7,7 7,5	996,3 994,3	-4,0 -3,9	- 0,5 - 0,3	-20,1 -20,1	+1,7 +1,7	973,4 971,7 972,6	
	26. 9 17-23	15,18 -0,01		1,3 2,4	15,3 15,3	7,5 7,4	997,6 995,2	-3,9 -3,8	- 0,5 - 0,3	-20,2 -20,2	+1,7 +1,7	974,7 972,6 973,6	
	27. 9 0-6	15,11 -0,03	9,60	1,3 2,4	15,4 15,4	7,6 7,6	997,5 995,3	-4,0 -4,0	- 0,4 - 0,3	-20,3 -20,3	+1,7 +1,7	974,5 972,4 973,4	
													0,4955
	29. 9 9-15	14,80 +0,02	9,76	1,3 2,4	15,2 15,2	7,4 7,6	726,8 724,4	-3,8 -3,9	+ 0,6 + 0,5	-20,5 -20,5	-0,1 -0,1	703,0 700,4 701,7	
	29. 9 16-22	14,82 -0,04		1,3 2,4	15,2 15,3	7,4 7,5	728,2 725,6	-3,8 -3,9	+ 0,4 + 0,2	-20,6 -20,6	-0,1 -0,1	704,1 701,2 702,6	
	29-30 23-5	14,65 -0,01	9,20	1,3 2,4	15,2 15,4	7,6 7,6	726,4 724,9	-3,9 -4,0	+ 0,9 + 0,6	-19,7 -19,7	-0,1 -0,1	703,6 701,7 702,6	
	30. 9 15-21	14,58 +0,02		1,3 2,4	15,2 15,2	7,6 7,6	724,9 723,6	-3,9 -3,9	+ 1,2 + 0,8	-20,0 -20,0	-0,1 -0,1	702,1 700,4 701,2	
													0,4955
	W.P. IV	3. 10 7-13	15,00 +0,02	8,70	1,3 2,4	15,2 15,4	7,4 7,6	528,8 529,0	-3,8 -4,0	+ 0,1 + 0,1	-19,0 -19,0	0,0 0,0	506,1 506,1 506,1
		3. 10 14-20	15,20 +0,02		1,3 2,4	15,0 15,2	7,2 7,5	529,8 529,5	-3,7 -3,8	- 0,5 - 0,4	-19,7 -19,7	0,0 0,0	505,9 505,6 505,8
		4. 10 7-14	15,58 +0,01	9,70	1,3 2,4	15,2 15,2	6,0 6,1	533,4 533,1	-3,3 -3,3	- 1,5 - 1,0	-20,4 -20,4	-0,1 -0,1	508,1 508,3 508,2
4. 10 15-20		15,69 +0,02	1,3 2,4		15,1 15,2	8,0 8,0	536,0 535,2	-4,0 -4,0	- 1,8 - 1,2	-20,6 -20,6	-0,1 -0,1	509,5 509,3 509,4	
5. 10 7-13		15,69 +0,02	9,40	1,3 2,4	15,0 15,0	7,0 7,1	532,5 532,7	-3,6 -3,6	- 1,7 - 1,1	-20,0 -20,0	-0,1 -0,1	507,1 507,9 507,5	

Analiza zredukowanych okresów wahadeł

Tablica 4

Stano- wisko	Data	Okresy zredukowane par wahadeł						Δ	V
		1-3	v	2-4	v	śr.	v		
W.P. I.	1957 r.	0,4955							
	29. 7	510,2	+2,2	511,3	+2,8	510,8	+2,5	-1,1	+1,5
		513,9	-1,5	514,8	-0,7	514,4	-1,1	-0,9	+1,3
	30. 7	512,6	-0,2	514,8	-0,7	513,7	-0,4	-2,2	+2,6
		513,6	-1,2	515,5	-1,4	514,6	-1,3	-1,9	+2,3
	31. 7	512,0	+0,4	514,3	-0,2	513,2	+0,1	-2,3	+2,7
		511,9	+0,5	514,1	0,0	513,0	+0,3	-2,2	+2,6
		512,4		514,1		513,3			
		0,4955							
	Poz. I	3. 8	442,5	-0,1	441,8	-0,1	442,2	-0,1	+0,7
4. 8		441,5	+0,9	441,5	+0,2	441,5	+0,6	0,0	+0,4
		443,1	-0,7	442,0	-0,3	442,6	-0,5	+1,1	-0,7
4-5. 8		442,7	-0,3	441,6	+0,1	442,2	-0,1	+1,1	-0,7
		442,4		441,7		442,1			
	0,4955								
Sz I.	7. 8	170,0	-1,5	168,0	-0,7	169,0	-1,1	+2,0	-1,6
	8. 8	168,9	-0,4	167,5	-0,2	168,2	-0,3	+1,4	-1,0
		168,1	+0,4	167,3	0,0	167,7	+0,2	+0,8	-0,4
		167,8	+0,7	166,9	+0,4	167,4	+0,5	+0,9	-0,5
	8-9. 8	167,6	+0,9	167,0	+0,3	167,3	+0,6	+0,6	-0,2
		168,5		167,3		167,9			
	0,4954								
Gd. I	11. 8	971,8	-0,3	970,4	-0,7	971,1	-0,5	+1,4	-1,0
		971,2	+0,3	969,8	-0,1	970,5	+0,1	+1,4	-1,0
	11-12. 8	971,9	-0,4	969,8	-0,1	970,8	-0,2	+2,1	-1,7
	12. 8	971,4	+0,1	969,5	+0,2	970,4	+0,2	+1,9	-1,5
		971,1	+0,4	969,2	+0,5	970,2	+0,4	+1,9	-1,5
	12-13. 8	971,4	+0,1	969,6	+0,1	970,5	+0,1	+1,8	-1,4
		971,5		969,7		970,6		+0,4	
	0,4955								
Poz. IIa	15. 8	442,2	-0,7	440,0	+0,5	441,1	-0,1	+2,2	-1,8
		441,7	-0,2	440,7	-0,2	441,2	-0,2	+1,0	-0,6
	15-16. 8	441,1	+0,4	440,7	-0,2	440,9	+0,1	+0,4	0,0
	16. 8	441,0	+0,5	440,5	0,0	440,8	+0,2	+0,5	-0,1
		441,5		440,5		441,0			
	0,4955								
Poz. IIb	17. 8	442,1	-1,2	442,2	-1,0	442,2	-1,2	-0,1	+0,5
		440,9	0,0	441,2	0,0	441,0	0,0	-0,3	+0,7
	18. 8	440,7	+0,2	441,1	+0,1	440,9	+0,1	-0,4	+0,8
		440,5	+0,4	441,0	+0,2	440,8	+0,2	-0,5	+0,9
		440,1	+0,8	440,4	+0,8	440,2	+0,8	-0,3	+0,7
		440,9		441,2		441,0			
	0,4954								
Gd. II	20. 8	970,5	-0,8	970,6	-0,6	970,6	-0,8	-0,1	+0,5
		969,2	+0,5	969,3	+0,7	969,2	+0,6	-0,1	+0,5
	20-21. 8	970,0	-0,3	970,4	-0,4	970,2	-0,4	-0,4	+0,8
	21. 8	969,6	+0,1	970,1	-0,1	969,8	0,0	-0,5	+0,9
		969,2	+0,5	969,6	+0,4	969,4	+0,4	-0,4	+0,8
	969,7		970,0		969,8				

d. c. tabl. 4

Stano- wisko	Data	Okresy zredukowane par wahadeł						Δ	\mathcal{V}	
		1-3	v	2-4	v	śr.	v			
Sz. II	24. 8	0,4955								
		166,8	+0,4	165,8	+0,2	166,3	+0,3	+1,0	-0,6	
	24-25. 8	165,4	+1,8	164,9	+1,1	165,2	+1,4	+0,5	-0,1	
		168,5	-1,3	167,0	-1,0	167,8	-1,2	+1,5	-1,1	
	25. 8	167,9	-0,7	166,4	-0,4	167,2	-0,6	+1,5	-1,1	
		167,2	0,0	165,8	+0,2	166,5	+0,1	+1,4	-1,0	
	26. 8	167,5	-0,3	166,0	0,0	166,8	-0,2	+1,5	-1,1	
		167,2		166,0		166,6		+0,4		
	Poz. III	28. 8	0,4955							
			439,5	+0,9	440,0	+0,7	439,8	+0,8	-0,5	+0,8
28-29. 8		439,3	+1,1	440,1	+0,6	439,7	+0,9	-0,8	+1,1	
		441,3	-0,9	441,5	-0,8	441,4	-0,8	-0,2	+0,5	
29. 8		440,0	+0,4	440,2	+0,5	440,1	+0,5	-0,2	+0,5	
30. 8		441,6	-1,2	441,7	-1,0	441,6	-1,0	-0,1	+0,4	
		441,0	-0,6	440,7	0,0	440,8	-0,2	+0,3	0,0	
		440,4		440,7		440,6				
	0,4955									
W.P. II	2. 9	510,2	-0,3	510,4	-0,7	510,3	-0,5	-0,2	+0,5	
		509,3	+0,6	509,1	+0,6	509,2	+0,6	+0,2	+0,1	
	3. 9	510,1	-0,2	509,8	-0,1	510,0	-0,2	+0,3	0,0	
		510,3	-0,4	510,0	-0,3	510,2	-0,4	+0,3	0,0	
		509,7	+0,2	509,4	+0,3	509,6	+0,2	+0,3	0,0	
		509,9		509,7		509,8				
	0,4955									
	Wr. I	7. 9	704,6	+0,3	704,5	+0,3	704,6	+0,3	+0,1	+0,2
706,4			-1,5	705,9	-1,1	706,2	-1,3	+0,5	-0,2	
704,6			+0,3	704,6	+0,2	704,6	+0,3	0,0	+0,3	
8. 9		704,5	+0,4	704,5	+0,3	704,5	+0,4	0,0	+0,3	
		704,5	+0,4	704,7	+0,1	704,6	+0,3	-0,2	+0,5	
		704,9		704,8		704,9				
	0,4955									
	Poz. IV	10. 9	443,3	-1,7	442,0	-1,5	442,6	-1,5	+1,3	-1,0
441,2			+0,4	440,4	+0,1	440,8	+0,3	+0,8	-0,5	
441,4			+0,2	440,0	+0,5	440,7	+0,4	+1,4	-1,1	
11. 9		441,3	+0,3	440,2	+0,3	440,8	+0,3	+1,1	-0,8	
		440,8	+0,8	439,9	+0,6	440,4	+0,7	+0,9	-0,6	
		441,6		440,5		441,1		+0,3		
		0,4955								
		W.P. IIIa	13. 9	509,0	0,0	508,1	+0,3	508,6	+0,1	+0,9
508,6	+0,4			507,8	+0,6	508,2	+0,5	+0,8	+0,6	
13-14. 9	509,6		-0,6	508,6	-0,2	509,1	-0,4	+1,0	+0,4	
	508,9		+0,1	509,2	-0,8	509,0	-0,3	-0,3	+1,7	
	509,0		508,4		508,7					
	0,4955									
	W.P. IIIb	15. 9	509,4	-0,1	508,9	+0,1	509,2	-0,1	+0,5	+0,9
510,0			-0,7	509,5	-0,5	509,8	-0,7	+0,5	+0,9	
509,3			0,0	509,1	-0,1	509,2	-0,1	+0,2	+1,2	
16. 9		508,4	+0,9	508,3	+0,7	508,4	+0,7	+0,1	+1,3	
		509,3		509,0		509,1				

d. c. tabl. 4

Stano- wisko	Data	Okresy zredukowane par wahadeł						Δ	V
		1-3	v	2-4	v	śr.	v		
Poz. V	18. 9	0,4955							
		441,6	-1,1	439,5	-0,9	440,6	-1,0	+2,1	-0,7
	19. 9	440,8	-0,3	438,8	-0,2	439,8	-0,2	+2,0	-0,6
		440,4	+0,1	438,8	-0,2	439,6	0,0	+1,6	-0,2
	19-20. 9	439,9	+0,6	438,2	+0,4	439,0	+0,6	+1,7	-0,3
		439,6	+0,9	437,9	+0,7	438,8	+0,8	+1,7	-0,3
		440,5		438,6		439,6			
Wr. II	21. 9	0,4955							
		704,0	-0,1	701,6	-0,1	702,8	-0,1	+2,4	-1,0
	22. 9	703,3	+0,6	701,0	+0,5	702,2	+0,5	+2,3	-0,9
		702,9	+1,0	700,9	+0,6	701,9	+0,8	+2,0	-0,6
		702,9	+1,0	700,7	+0,8	701,8	+0,9	+2,2	-0,8
		706,4	-2,5	703,3	-1,8	704,8	-2,1	+3,1	-1,7
		703,9		701,5		702,7		+1,4	
Kr. Ia	24. 9	0,4955							
		975,2	-0,1	971,7	-0,1	973,4	-0,1	+3,5	-1,7
	25. 9	973,7	+1,4	970,6	+1,0	972,2	+1,1	+3,1	-1,3
		976,0	-0,9	972,3	-0,7	974,2	-0,9	+3,7	-1,9
		975,4	-0,3	971,8	-0,2	973,6	-0,3	+3,6	-1,8
		975,1		971,6		973,3			
Kr. Ib	26. 9	0,4955							
		974,8	-0,4	972,6	-0,3	973,7	-0,4	+2,2	-0,4
	27. 9	973,4	+1,0	971,7	+0,6	972,6	+0,7	+1,7	+0,1
		974,7	-0,3	972,6	-0,3	973,6	-0,3	+2,1	-0,3
		974,5	-0,1	972,4	-0,1	973,4	-0,1	+2,1	-0,3
		974,4		972,3		973,3			
Wr. III	29. 9	0,4955							
		703,0	+0,2	700,4	+0,5	701,7	+0,3	+2,6	-0,8
	29-30. 9	704,1	-0,9	701,2	-0,3	702,6	-0,6	+2,9	-1,1
		703,6	-0,4	701,7	-0,8	702,6	-0,6	+1,9	-0,1
	30. 9	702,1	+0,9	700,4	+0,5	701,2	+0,8	+1,7	+0,1
703,2			700,9		702,0				
W.P. IV	3. 10	0,4955							
		506,1	+1,2	506,1	+1,3	506,1	+1,3	0,0	+1,8
	4. 10	505,9	+1,4	505,6	+1,8	505,8	+1,6	+0,3	+1,5
		508,1	-0,8	508,3	-0,9	508,2	-0,8	-0,2	+2,0
	5. 10	509,5	-2,2	509,3	-1,9	509,4	-2,0	+0,2	+1,6
		507,1	+0,2	507,9	-0,5	507,5	-0,1	-0,8	+2,6
		507,3		507,4		507,4		+1,8	
[vv]			64,76		47,24		52,27		114,89
m_o^2			0,841		0,614		0,679		0,624
m_o			$\pm 0,92$		$\pm 0,78$		$\pm 0,82$		$\pm 0,79$

d. c. tabl. 4

 m_o – śr. błąd pojedynczego pomiaru okresu dla pary wahadeł M_o – śr. błąd pojedynczego pomiaru okresu dla wahadła średniego μ – czysto przypadkowa część błędu m_o κ – systematyczna część błędu m_o (wspólna dla obu par wahadeł w danej obserwacji) M_s – średni błąd średniej stacyjnej

Z analizy wewnętrznych zgodności okresów na stanowiskach:

$$m'_o = \pm \sqrt{\frac{m_{1-3}^2 + m_{2-4}^2}{2}} = \pm \sqrt{0,728} = \pm 0,85 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

$$M'_o = \pm 0,82 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

$$M_s = \pm \frac{M'_o}{\sqrt{5}} = \pm 0,37 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

$$m_o'^2 = \mu^2 + \kappa^2 = 0,728$$

$$M_o'^2 = \frac{1}{2} \mu^2 + \kappa^2 = 0,679$$

$$\mu = \pm 0,31 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

$$\kappa = \pm 0,79 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

Z analizy względnych zmian okresów w czasie:

$$m''_o = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{2(n-m)}} = \pm \sqrt{\frac{114,89}{2(97-5)}} = \pm \sqrt{0,624} = \pm 0,79 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

$$M_s = \pm \sqrt{\frac{m_o''^2}{10} + \frac{\kappa^2}{5}} = \pm \sqrt{0,187} = \pm 0,43 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

prześła A-B mają wpływ zmiany okresów wahadeł, jakie zachodzą w czasie pomiaru „tam” (A-B) i „z powrotem” (B-A), tj. w czasie wykonywania obserwacji na czterech stanowiskach. Dla wyznaczenia średniego błędu dla całego cyklu obserwacyjnego wzięto pod uwagę, przez analogię, stałość okresów wahadeł podczas kolejnych czterech stanowisk. Cały cykl obserwacyjny rozbito na 5 części (po 4 stanowiska) oraz obliczono dla każdej części średnią wartość Δ i poprawki $V = \Delta_{sr} - \Delta$. Z poprawek V wyliczono średni błąd pojedynczego pomiaru dla pary wahadeł:

$$m''_o = \pm 0,79 \cdot 10^{-7} \text{ sek.}$$

Ponieważ Δ jest wolne od wspólnego błędu obu par wahadeł κ , obliczając średni błąd średniej stacyjnej, uwzględniono wpływ tego błędu. Dla prze-

ciężnie wykonanych 5 obserwacji na stanowisku otrzymujemy średni błąd średniej stacyjnej:

$$M_s = \pm \sqrt{\frac{m''_o}{10} + \frac{x^2}{5}} = \pm 0.43 \cdot 10^{-7} \text{ sek.}$$

7.2. Analiza błędów redukcji

Na błąd wyznaczenia różnicy przyspieszenia, prócz błędów obserwacji, składają się również błędy redukcji. Dla oceny wpływu błędów redukcji na pomiar różnicy przyspieszenia zestawiono w tablicy 5 następujące dane dla stanowisk obserwacyjnych: średnią temperaturę obserwacji i różnice temperatur między sąsiednimi stanowiskami, średnie ciśnienia i ich różnice, średnie wartości pierwiastków ciśnienia i ich różnice, średnie amplitudy oraz średnie wartości redukcji ze względu na chód zegara, obliczone względem poszczególnych zegarów odniesienia.

Na różnicę okresów wahadeł otrzymaną z dwóch sąsiednich stanowisk przenoszą się błędy redukcji w następujący sposób:

a) Błąd redukcji termicznej.

Ze wzoru redukcyjnego $\Delta T_t = \alpha \cdot t$ określono błąd redukcji:

$$m_t = m_\alpha \cdot \Delta t_{sr}$$

gdzie:

błąd współczynnika termicznego wahadła średniego

$$m_\alpha = \pm 0,048 \cdot 10^{-7} \text{ sek/}^{\circ}\text{C}$$

średnia różnica temperatur na sąsiednich stanowiskach

$$\Delta t_{sr} = 1,2^{\circ}\text{C}$$

otrzymując: $m_t = \pm 0,06 \cdot 10^{-7} \text{ sek.}$

b) Błąd redukcji ze względu na ciśnienie.

Ze wzoru redukcyjnego $\Delta T_d = k_1 d + k_2 \sqrt{d}$ określono błąd redukcji:

$$m_d = \pm \sqrt{m_{k_1}^2 (\Delta d_{sr})^2 + m_{k_2}^2 (\Delta \sqrt{d_{sr}})^2}$$

gdzie:

błędy współczynników redukcji wynoszą: $m_{k_1} = \pm 0,003 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$

$$m_{k_2} = \pm 0,09 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

średnia różnica ciśnienia w mm na sąsiednich stanowiskach $(\Delta d)_{sr} = 0,3$

średnia różnica pierwiastków ciśnienia na sąsiednich stanowiskach $(\Delta \sqrt{d})_{sr} = 0,05$

otrzymując $m_d = \pm 0,005 \cdot 10^{-7} \text{ sek.}$

c) Błąd redukcji ze względu na amplitudę.

Ze wzoru redukcyjnego $\Delta T_a = A \cdot a^2$, określono błąd redukcji

$$m_a = m_A \cdot \Delta a^2$$

gdzie:

błąd empirycznie wyznaczonego współczynnika A

$$m_A = \pm 0,0017 \cdot 10^{-7} \text{ sek,}$$

zaś dla różnicy średnich wartości kwadratów amplitud na sąsiednich stanowiskach przyjęto maksymalną wartość $\Delta a_{sr}^2 = 18$

otrzymując $m_a = \pm 0,03 \cdot 10^{-7}$ sek.

d) Błąd redukcji ze względu na chód zegara.

Wartość tej redukcji wyprowadzono niezależnie w oparciu o sygnały czasu GBZ, MSF i FYP. Z rozbieżności tych redukcji obliczono średni błąd redukcji dla jednego stanowiska (tabl. 5):

$$m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{3(n-m)}} = \pm 0,04 \cdot 10^{-7} \text{ sek.}$$

Wpływ tego błędu na różnicę okresów wynosi:

$$m_u = \pm m \sqrt{2} = \pm 0,06 \cdot 10^{-7} \text{ sek.}$$

Tablica 5

Stanowisko	t_{sr}	$ \Delta t_{sr} $	d_{sr}	$ \Delta d_{sr} $	\sqrt{d}	$\Delta \sqrt{d}$	a_{sr}	ΔT_u				V		
								GBZ	MSF	FYP	śr.	GBZ	MSF	FYP
W.P. I	20,0	4,1	9,3	0,5	3,05	0,09	11,0	+1,5	+1,6	+1,6	+1,6	+0,1	0,0	0,0
Poz. I	15,9	0,6	8,8	0,7	2,96	0,12	11,5	+1,6	+1,7	+1,7	+1,7	+0,1	0,0	0,0
Sz. I	15,3	1,6	9,5	0,2	3,08	0,03	11,5	+1,6	+1,7	+1,8	+1,7	+0,1	0,0	-0,1
Gd. I	16,9	0,5	9,7	0,6	3,11	0,09	10,8	+1,8	+1,8	+1,8	+1,8	0,0	0,0	0,0
Poz. IIa	16,4		9,1		3,02		11,6	+1,9	+2,0	+2,0	+2,0	+0,1	0,0	0,0
Poz. IIb	16,4	0,3	9,1	0,2	3,02	0,04	11,7	+1,9	+2,0	+1,9	+2,0	+0,1	0,0	+0,1
Gd. II	16,7	1,7	8,9	0,1	2,98	0,02	11,7	+1,9	+1,9	+1,9	+1,9	0,0	0,0	0,0
Sz. II	15,0	0,1	9,0	0,4	3,00	0,07	11,6	+1,8	+2,0	+1,8	+1,9	+0,1	-0,1	+0,1
Poz. III	14,9	1,3	9,4	0,2	3,07	0,03	11,6	+1,9	+2,0	+1,9	+1,9	0,0	-0,1	0,0
W.P. II	16,2	0,1	9,6	0,3	3,10	0,05	11,5	+1,7	+1,8	+1,8	+1,8	+0,1	0,0	0,0
Wr. I	16,3	1,5	9,3	0,0	3,05	0,00	11,4	+1,9	+1,8	+1,9	+1,9	0,0	+0,1	0,0
Poz. IV	14,8	2,0	9,3	0,5	3,05	0,08	11,5	+1,8	+1,8	+1,8	+1,8	0,0	0,0	0,0
W.P. IIIa	16,8		9,8		3,13		11,5	+1,8	+1,8	+1,8	+1,8	0,0	0,0	0,0
W.P. IIIb	16,4	2,7	8,7	0,5	2,95	0,08	11,4	+1,8	+1,9	+1,8	+1,8	0,0	-0,1	0,0
Poz. V	13,7	0,9	9,2	0,4	3,03	0,07	11,2	+1,8	+1,8	+1,7	+1,8	0,0	0,0	+0,1
Wr. II	14,6	0,6	9,6	0,4	3,10	0,07	11,2	+1,7	+1,8	+1,8	+1,8	+0,1	0,0	0,0
Kr. Ia	15,2		9,2		3,03		11,5	+1,8	+1,8	+1,8	+1,8	0,0	0,0	0,0
Kr. Ib	15,2	0,5	9,5	0,0	3,08	0,00	11,4	+1,6	+1,8	+1,7	+1,7	+0,1	-0,1	0,0
Wr. III	14,7	0,7	9,5	0,1	3,08	0,02	11,4	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	+0,1	-0,1	0,0
W.P. IV	15,4		9,6		3,10		11,2	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0
średnia		1,2		0,3		0,05								
												[VV] = 0,22		

e) Błąd pominięcia redukcji ze względu na współdrżanie statywu.

Przy pomiarach wykonanych niniejszą aparaturą w roku 1956 średnie wartości redukcji ze względu na współdrżania statywu wahały się na stanowiskach w granicach od 0,00 do $-0,06 \cdot 10^{-7}$ sek. Materiał obserwacyjny obecnych pomiarów nie wskazuje na to, aby występowały większe wpły-

wy współdrgań statywu. Pominięcie więc tej redukcji wpłynęło na różnice okresów wahadeł z błędem mniejszym od $0,1 \cdot 10^{-7}$ sek.

f) Błąd kompensacji pola magnetycznego.

Wpływ błędu kompensacji zastosowaną aparaturą na różnicę okresów wahadeł na dwóch stanowiskach określono w trakcie badania aparatury na $\pm 0,2 \cdot 10^{-7}$ sek. Czysto przypadkowa część tego błędu (zmienna w czasie obserwacji na jednym stanowisku) wchodzi w skład przypadkowych błędów obserwacji okresów. Należy więc jeszcze uwzględnić tylko systematyczną część tego błędu m_k , którą można przyjąć, że jest rzędu $0,1 \cdot 10^{-7}$ sek.

8. Obliczenie różnic przyspieszeń i analiza wyników

8.1. 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—Poznań i Warszawa—Wrocław zredukowano ze względu na wysokość podstawy. Dla wysokości kamienia równej 13 cm wielkość tej redukcji wyniosła 0,04 mgal. Uzyskane wyniki zestawiono w tablicy 6.

Tablica 6

Zaobserwowane różnice przyspieszeń

Nr obs.	Stanowiska	Δg mgal		
		para 1-3	para 2-4	wahadło średnie
1	W.P. I — Poz. I	+27,73	+28,72	+28,22
2	Poz. I — Sz. I	+108,51	+108,68	+108,60
3	Sz. I — Gd. I	+78,03	+78,28	+78,16
4	Gd. I — Poz. IIa	-186,17	-186,46	-186,32
5	Poz. IIb — Gd. II	+186,63	+186,64	+186,64
6	Gd. II — Sz. II	-78,25	-77,64	-77,94
7	Sz. II — Poz. III	-108,21	-108,80	-108,50
8	Poz. III — W.P. II	-27,55	-27,38	-27,46
9	W.P. II — Wr. I	-77,19	-77,23	-77,21
10	Wr. I — Poz. IV	+104,28	+104,68	+104,48
11	Poz. IV — W.P. IIIa	-26,74	-26,94	-26,84
12	W.P. IIIb — Poz. V	+27,29	+27,88	+27,58
13	Poz. V — Wr. II	+104,32	-104,09	-104,20
14	Wr. II — Kr. Ia	-107,37	-106,94	-107,16
15	Kr. Ib — Wr. III	+107,36	+107,46	+107,41
16	Wr. III — W.P. IV	+77,51	+76,57	+77,04

8.2. Ocena dokładności wyznaczenia różnic przyspieszeń 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 wg wzoru:

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm \frac{2g}{T} m_{(T_2 - T_1)},$$

czyli:

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,4 \sqrt{2 \cdot M_s^2 + m_t^2 + m_d^2 + m_a^2 + m_u^2 + m_s^2 + m_k^2} \text{ mgal.}$$

Podstawiając $M_s = \pm 0,43 \cdot 10^{-7}$ sek. oraz przyjmując na poszczególne błędy redukcji wartości $\pm 0,1 \cdot 10^{-7}$ sek. (wartości otrzymane w wyniku analizy były mniejsze od $0,1 \cdot 10^{-7}$ sek.) otrzymujemy:

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,26 \text{ mgal.}$$

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

$$m_{\Delta g} = \frac{(m_{\Delta g})_0}{\sqrt{2}} = \pm 0,18 \text{ mgal.}$$

8.3. Analiza dokładności na podstawie wielokrotnych wyznaczeń różnic przyspieszeń

Traktując jako jednostkę pojedyncze wyznaczenie różnicy przyspieszenia jedną parą wahadeł, zestawiono w tablicy 7 wyniki obserwacji dla poszczególnych przęseł. W analizie zestawionego materiału obserwacyjnego uwzględniono możliwości liniowej zmiany okresów wahadeł w czasie. Zaobserwowane średnie stacyjne okresów par wahadeł zredukowano do poziomu Warszawy, przez odjęcie różnicy okresów wahadeł w Warszawie i na danym punkcie, a otrzymane wartości naniesiono na wykres (rys. 37), uzyskując graficzny obraz zmian okresów wahadeł w czasie. Linie pary wahadeł wykazywały w czasie całego cyklu obserwacyjnego tendencję do systematycznego malenia okresów. Ponieważ liniowa zmiana okresów wahadeł nie wpływa na wynik obserwacji przy zastosowanym programie A-B-B-A, wyznaczono z wykresu zmianę okresu pary wahadeł w czasie jednego nawiązania i uwzględniono jako systematyczną część poprawki V' zaobserwowanej różnicy przyspieszeń.

Analizę dokładności przeprowadzono osobno dla przęsła Warszawa — Poznań (8 obserwacji) i osobno dla wszystkich pozostałych 6 przęseł

Tablica 7

Punkty wahadlowe	Obs.	$\Delta g_{\text{obs}}^{(1-3)}$ mgal	V' mgal	$V =$ $V' - p$
W.P. – Poz.	1	+27,73	-0,20	-0,14
		+28,72	-1,19	-1,09
	8	+27,55	-0,02	-0,08
		+27,33	+0,15	+0,05
	11	+26,74	+0,79	+0,73
		+26,94	+0,59	+0,49
	12	+27,29	+0,24	+0,30
		+27,88	-0,35	-0,25
	śr	+27,53	[ν]	=2,14
Poz. – Sz.	2	+108,51	+0,04	+0,10
		+108,68	-0,13	-0,03
	7	+108,21	+0,34	+0,28
		+108,80	-0,25	-0,35
	śr	+108,55		
Sz. – Gd.	3	+78,03	+0,02	+0,08
		+78,28	-0,23	-0,13
	6	+78,25	-0,20	-0,26
		+77,64	+0,41	+0,31
	śr	+78,05		
Gd. – Poz.	4	-186,17	-0,31	-0,25
		-186,46	-0,02	+0,08
	5	-186,63	+0,15	+0,09
		-186,64	+0,16	+0,06
	śr	-186,48		
W.P. – Wr.	9	-77,19	+0,07	+0,13
		-77,23	+0,11	+0,21
	16	-77,51	+0,39	+0,33
		-76,57	-0,55	-0,65
	śr	-77,12		
Wr. – Poz.	10	+104,28	+0,06	+0,12
		+104,68	-0,34	-0,24
	13	+104,32	+0,02	-0,04
		+104,09	+0,25	+0,15
	śr	+104,34		
Wr. – Kr.	14	-107,37	+0,09	+0,15
		-106,94	-0,34	-0,24
	15	-107,36	+0,08	+0,02
		-107,46	+0,18	+0,08
	śr	-107,28		

[ν] = 1,25

p — systematyczna część poprawki V' , uwzględniająca liniową zmianę okresów wahadeł w czasie

$p_{1-3} = -0,06$ mgal

$p_{2-4} = -0,10$ mgal

$(m_{\Delta g})_0$ — śr. błąd Δg , wyznaczonego z jednej pary wahadeł z pojedynczego nawiązania A-B

$m_{\Delta g}$ — śr. błąd $\Delta g_{\text{śr}}$

Dla przejścia WP-Poz. (dwukrotne nawiązanie A-B-B-A)

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm \sqrt{\frac{2,14}{7}} = \pm \sqrt{0,306} = \pm 0,55 \text{ mgal}$$

$$m_{\Delta g} = \pm \frac{m_0}{\sqrt{8}} = \pm \sqrt{0,038} = \pm 0,20 \text{ mgal}$$

Dla pozostałych 6 przejść (jednokrotne nawiązanie A-B-B-A)

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm \sqrt{\frac{1,25}{18}} = \pm \sqrt{0,069} = \pm 0,26 \text{ mgal}$$

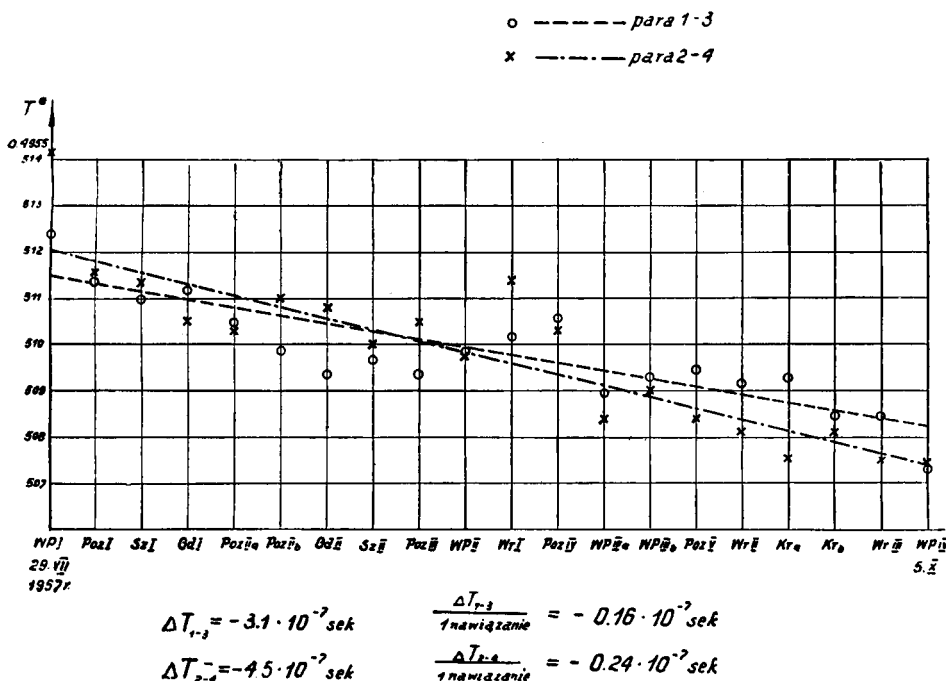
$$m_{\Delta g} = \pm \frac{m_0}{\sqrt{4}} = \pm \sqrt{0,017} = \pm 0,13 \text{ mgal}$$

$$\text{Średnio: } m_{\Delta g} = \pm \sqrt{\frac{6 \cdot 0,017 + 0,038}{7}} = \pm \sqrt{0,020} = \pm 0,14 \text{ mga}$$

(po 4 obserwacje na każdym przęśle). Uzyskano następujące wartości na średni błąd średniej różnicy przyspieszenia:

$$\begin{aligned} \text{dla przęsła Warszawa — Poznań} & \quad m_{\Delta g} = \pm 0,20 \text{ mgal} \\ \text{dla pozostałych przęseł} & \quad m_{\Delta g} = \pm 0,13 \text{ mgal} \end{aligned}$$

Można zatem przyjąć, że dokładność wyznaczenia przęsła Warszawa — Poznań jest tego samego rzędu, co i pozostałych przęseł, a więc w ogólnym wyrównaniu sieci wahadlowej należy przypisać wszystkim zaobserwowanym średnim różnicom przyspieszeń jednakowe wagi.



Rys. 37. Wykres zmian okresów par wahań w czasie od 29. VII do 5. X. 1957 r.

Jako ostateczny wynik niniejszej analizy, obliczono średnią wartość błędu $m_{\Delta g}$ z uzyskanych wartości dla poszczególnych przęseł

$$m_{\Delta g} = \pm \sqrt{\frac{(0,20)^2 + 6 \cdot (0,13)^2}{7}} = \pm 0,14 \text{ mgal.}$$

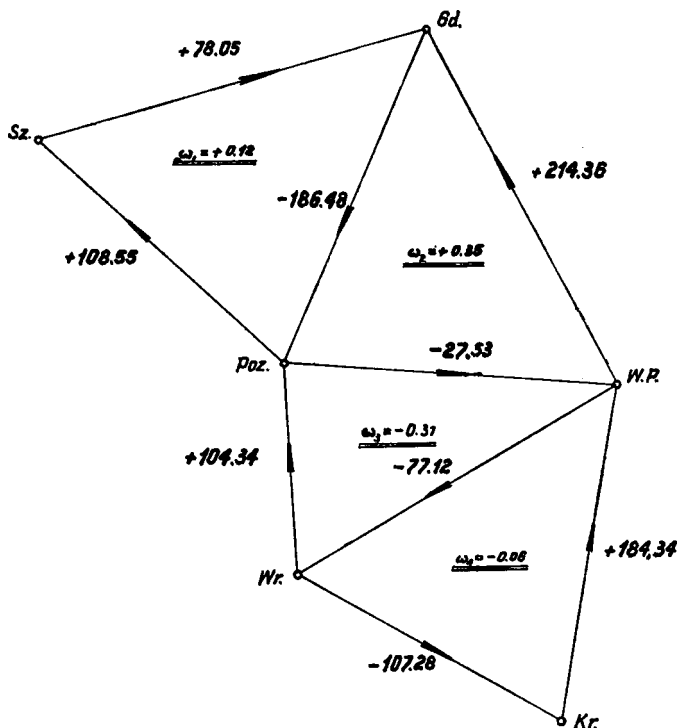
8.4. Analiza zamknięć zaobserwowanych różnic przyspieszeń w trójkątach

Zestawiając zaobserwowane różnice przyspieszeń dla 7 przęseł sieci z wyznaczonymi w 1956 roku tym samym aparatem wahadlowym przęsłami Gdańsk — Warszawa i Warszawa — Kraków, uzyskujemy 4 trójkąty,

w których obliczono odchyłki ω zaobserwowanych różnic przyspieszeń (rys. 38):

w trójkącie: Gd — Poz — Sz — Gd	$\omega = + 0,12$ mgal
„ WP — Gd — Poz — WP	$\omega = + 0,35$ „
„ WP — Wr — Poz — WP	$\omega = - 0,31$ „
„ WP — Wr — Kr — WP	$\omega = - 0,06$ „

Celem określenia dokładności wyznaczenia pojedynczego przęsła za pomocą odchyłek ω , wyprowadzono zależność, jaka zachodzi w czasie wy-



Rys. 38. Zamknięcie w trójkątach zaobserwowanych różnic przyspieszeń

równania między $[vv]$, a wolnymi wyrazami równań warunkowych. W rozpatrywanej sieci czterech trójkątów układ równań warunkowych, jakie muszą spełniać poprawki 9 obserwacji, będzie następujący:

$$\begin{aligned}
 v_1 + v_2 + v_3 &+ \omega_1 = 0 \\
 v_3 + v_4 + v_5 &+ \omega_2 = 0 \\
 v_5 + v_6 + v_7 &+ \omega_3 = 0 \\
 v_7 + v_8 + v_9 + \omega_4 &= 0
 \end{aligned}$$

Równania normalne korelat przyjmują następującą postać:

$$\begin{aligned}
 3K_1 + K_2 &+ \omega_1 = 0 \\
 K_1 + 3K_2 + K_3 &+ \omega_2 = 0 \\
 K_2 + 3K_3 + K_4 + \omega_3 &= 0 \\
 K_3 + 3K_4 + \omega_4 &= 0
 \end{aligned}$$

Korelaty z powyższego układu równań wyrażono przez wolne wyrazy równań warunkowych:

$$K_1 = \frac{1}{55} (-21\omega_1 + 8\omega_2 - 3\omega_3 + \omega_4)$$

$$K_2 = \frac{1}{55} (8\omega_1 - 24\omega_2 + 9\omega_3 - 3\omega_4)$$

$$K_3 = \frac{1}{55} (-3\omega_1 + 9\omega_2 - 24\omega_3 + 8\omega_4)$$

$$K_4 = \frac{1}{55} (\omega_1 - 3\omega_2 + 8\omega_3 - 21\omega_4)$$

skąd znaleziono szukany związek:

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

Podstawiając wartości liczbowe ω do powyższego wzoru, otrzymano:

$$[vv] = 0,114$$

skąd średni błąd wyznaczenia różnicy przyspieszenia określono ze wzoru:

$$m_{\Delta g} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{r}} = \pm \sqrt{\frac{0,114}{4}} = \pm 0,17 \text{ mgal.}$$

8.5. Zestawienie i ocena dokładności wyników

Ostatecznym rezultatem omawianej pracy są zaobserwowane różnice przyspieszeń siedmiu przęseł sieci wahadłowej.

Tablica 8

Nazwy punktów	Δg mgal
Gdańsk – Szczecin	-78,05
Gdańsk – Poznań	-186,48
Szczecin – Poznań	-108,55
Warszawa Polit. – Poznań	+27,53
Warszawa Polit. – Wrocław	-77,12
Poznań – Wrocław	-104,34
Kraków – Wrocław	+107,28

Analizę dokładności wykonanych pomiarów przeprowadzono różnymi metodami. Średni błąd wyznaczenia różnicy przyspieszenia $m_{\Delta g}$, wyprowadzony na podstawie analizy zredukowanych okresów (rozdz. 8.2), jest

najbardziej wiarygodny, z uwagi na dużą liczbę obserwacji poddanych analizie. Błąd ten wynosi:

$$m_{\Delta g} = \pm 0,18 \text{ mgal.}$$

Przeprowadzoną ocenę dokładności na podstawie analizy zaobserwowanych różnic przyspieszeń (rozdz. 8.3 i 8.4) należy traktować jako dodatkowe kryterium, ze względu na niedużą liczbę wyznaczanych różnic przyspieszeń. Z rozbieżności zaobserwowanych różnic przyspieszeń na tych samych przesłach otrzymano: $m_{\Delta g} = \pm 0,14$ mgal, zaś z analizy zamknięć zaobserwowanych różnic przyspieszeń w trójkątach: $m_{\Delta g} = \pm 0,17$ mgal.

Należy podkreślić bardzo dobrą zgodność wyników powyższych analiz przeprowadzonych niezależnymi drogami, co stanowi podstawę przyjęcia wartości $m_{\Delta g} = \pm 0,18$ mgala, wyznaczonej z analizy zredukowanych okresów, jako ostatecznej oceny dokładności wyznaczonych różnic przyspieszeń.

ЗБИГНЕВ ЗОМБЭК
ВЭНЭДА ДОБАЧЕВСКА

НАБЛЮДЕНИЯ ЧЕТЫРЕХМАЯТНИКОВЫМ ПРИБОРОМ НА ПУНКТАХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МАЯТНИКОВОЙ СЕТИ ПОЛЬШИ

РАБОТА ИСПОЛНЕННАЯ В 1957 ГОДУ КАФЕДРОЙ ВЫСШЕЙ ГЕОДЕЗИИ ВАРШАВСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В РАМАХ СОТРУДНИЧЕСТВА С ИНСТИТУТОМ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ

Резюме

Измерения 1957 года являются продолжением измерения произведенных в 1956 году и опубликованных в „Трудах Института Геодезии и Картографии” вып. 2 (11) том V.

Определены разности ускорения силы тяжести между маятниковыми пунктами в Щецине, Познани и Вроцлаве и связано эти пункты с маятниковыми пунктами в Гданьске, Варшаве и Кракове (рис. 32). Разности ускорения силы тяжести между пунктами в Гданьске, Варшаве и Кракове были определены в 1956 г.

Измерения выполнены тем же четырехмаятниковым прибором, что и в 1956 году. В приборе изменили только очередность подвески маятников, подбирая как пары маятники с одинаковыми термическими коэффициентами и тщательно уравнивая их периоды, что позволило не вводить поправки за сокачение штатива. Весной 1957 г. были вторично определены термические коэффициенты маятников (табл. 1), причем получили удовлетворительное постоянство коэффициента среднего маятника. Эмпирическим путем определено также коэффициент формулы для приведения к бесконечно малой амплитуде (глава 2.3), при чем оказалось, что при измерениях, исполненных в 1956 г., истинные амплитуды были на половину меньше отсчитанных. В связи с этим вторично вычислили барометрические коэффициенты для приведения периодов маятников к условиям наблюдения в пустоте (гл. 2.4), а также перевычислено поправки всех наблюдений, произведенных в 1956 г. при определении гравиметрического базиса Гданьск — Каспровы Верх. Исправленные разности ускорения даны в таблице 2.

Чтобы определить разности ускорения силы тяжести для каждой стороны сети треугольников по наблюдениям рейса „там” (A—B)

и рейса „обратно” (B—A), был исполнен следующий цикл наблюдений: Варшава I, Познань I, Щецин I, Гданьск I, Познань IIa, Познань IIb, Гданьск II, Щецин II, Познань III, Варшава II, Вроцлав I, Познань IV, Варшава IIIa, Варшава IIIb, Познань V, Вроцлав II, Кракув Ia, Кракув Ib, Вроцлав III, Варшава IV. На каждом пункте производили 5 шестичасовых наблюдений периодов качания маятников с введением компенсации вертикальной слагающей магнитного поля. Особое внимание было обращено на соблюдение одинаковых условий при всех наблюдениях. Начальная амплитуда маятников была равна 15', давление под колпаком аппарата 9 мм столба ртути, заботились также о соблюдении постоянства температуры во время наблюдений. Средняя разность температур на соседних пунктах равняется 1.2°C.

При всех наблюдениях пользовались сигналами времени, передаваемыми варшавской радиостанцией Польского Радио с кварцевых часов Q_{11} Лаборатории Времени Главного Управления Мер в Варшаве. Показания часов Q_{11} были сравниваемы с показаниями других кварцевых часов Q_{10} и с сигналами Международной Службы Времени GBZ, MSF и FYP. На графике (рис. 36) представлен ход часов Q_{11} , определенный относительно выше упомянутых часов. Поправки наблюдаемых периодов маятников за ход часов ΔT_u вычислено, опираясь на сигналах времени GBZ, MSF и FYP.

В наблюдаемые периоды пар маятников введено также поправки, приводящие их к периодам, соответствующим бесконечно малым амплитудам, температуре +15°C и давлению 0 мм столба ртути. Результаты наблюдений и поправки приведены в таблице 3.

По приведенным периодам пар маятников вычислено средние периоды на пунктах и проанализировано точность наблюдений (табл. 4). По внутреннему согласию наблюдений на пунктах из полного цикла наблюдений вычислено среднюю квадратическую ошибку единичного измерения периода пары маятников $m'_0 = \pm 0.85 \cdot 10^{-7}$ сек., а периода среднего маятника $M'_0 = \pm 0.82 \cdot 10^{-7}$ сек., откуда получается величина случайной части ошибки $m'_0 : \mu = \pm 0.31 \cdot 10^{-7}$ сек., и систематической части: $\kappa = \pm 0.79 \cdot 10^{-7}$ сек., Кроме того вычислено разности периодов пар маятников, по которым опять определено среднюю квадратическую ошибку единичного наблюдения пары маятников: $m''_0 = \pm 0.79 \cdot 10^{-7}$ сек. Учитывая влияние ошибки κ , окончательно вычислено среднюю квадратическую ошибку среднего периода на пункте:

$$M_s = \pm \sqrt{\frac{m_0''^2}{10} + \frac{\kappa^2}{5}} = \pm 0,43 \cdot 10^{-7} \text{ сек.}$$

Учитывая ошибки поправок за температуру — m_t , давление — m_d , амплитуды — m_a , ход часов — m_u , ошибку возникшую по поводу неучитывания сокачания штатива и ошибку компенсации вертикальной слагающей магнитного поля, величины которых, согласно анализу

(глава 7,2) меньше $0,1 \cdot 10^{-7}$ сек., вычислено ошибку определения разности ускорения силы тяжести Δg для одиночной связи А-В по формуле:

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,4 \sqrt{2M_s^2 + m_i^2 + m_d^2 + m_a^2 + m_u^2 + m_s^2 + m_k^2} \text{ мгл}$$

получая $(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,26$ мгл., а для среднего значения из наблюдении „там” и „обратно” (А-В-В-А):

$$m_{\Delta g} = \pm 0,18 \text{ мгл}$$

В дальнейшем, по средним периодам пар маятников и среднего маятника, наблюдаемым на соседних пунктах, вычислено разности ускорения силы тяжести (табл. 6).

Из анализа точности по несогласию наблюдаемых Δg на одиночных пролетах (табл. 7) получилось $m_{\Delta g} = \pm 0,14$ мгл. Увязка наблюдаемых разностей ускорения в треугольниках (рис. 38) дала возможность определить $m_{\Delta g}$ другим путем, при чем получили $m_{\Delta g} = \pm 0,17$ мгл.

Окончательные значения наблюдаемых разностей ускорения даны в таблице 8; их точность характеризуется средней квадратической ошибкой:

$$m_{\Delta g} = \pm 0,18 \text{ мгл.}$$

Правильность этой оценки подтверждается согласием результатов анализа веденного разными способами.

ZBIGNIEW ZĄBEK
WENEDA DOBACZEWSKA

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

SURVEINGS MADE IN 1957 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

The work presents a continuation of measurements made in 1956, published in part 2(11) volume V of "Proceedings of the Institute of Geodesy and Cartography".

The differences in acceleration of gravity have been determined between pendulum stations in Szczecin, Poznań, Wrocław, and then tied with pendulum stations in Gdańsk, Warszawa and Kraków (fig. 32). The differences in acceleration of gravity between stations in Gdańsk, Warszawa and Kraków were determined in the previous year.

Observations were made by means of the same apparatus as in previous year. The change in succession of pendulum suspension through matching pendulum pairs with equal termic coefficients, and the regulation of their oscillation period, permitted to neglect the reduction of pendulum periods on account of tripool co-vibration. Termic coefficients of pendulums were again determined in spring 1957, and the obtained coefficient constancy of mean pendulum was satisfactory (table 1). The coefficient of reduction equation to infinitesimal small amplitude has been determined empirically (chapter 2,3) and found that in observations made in previous year the real amplitudes were half as great as those read.

In connection with the above the reduction coefficients were computed again with respect to pressure (chapter 2,4), and the reductions of all observations for determination of the gravimetric base Gdańsk — Kasprowy Wierch made in the previous year have been recomputed. Corrected differences in gravity acceleration are entered in table 2.

To determine the gravity difference for each distance of the net from observation "forward" (A-B) and "back" (B-A) the following cycle of observation was made: Warszawa I, Poznań I, Szczecin I, Gdańsk I, Po-

znań IIa, Poznań IIB, Gdańsk II, Szczecin II, Poznań III, Warszawa II, Wrocław I, Poznań IV, Warszawa IIIa, Warszawa IIIb, Poznań V, Wrocław II, Kraków Ia, Kraków Ib, Wrocław III, Warszawa IV. At each station 5 six-hour observations of pendulum swing intervals were made using the compensation of vertical component of magnetic field. A stress was laid to preserve equal conditions of observations. The starting amplitude was 15', the pressure inside the cover 9 mm of mercury, and care was taken to preserve a constant temperature during observations. Mean difference in temperature at neighbouring stations amounted to 1,2°C.

All observations were made by using the time signals broadcasted by Polish Radio according to the quartz clock Q_{11} of the Time Studio of the Central Office of Measures. The indications of the clock Q_{11} were compared with those of the second clock Q_{10} , and with the signals of the International Time Service GBZ, MSF and FYP. The derived clock rate of Q_{11} in relation to the clocks mentioned above is shown in the diagram 36. With respect to the clock rate, the reductions T_u of observed swing interval were based on time signals of GBZ, MSF and FYP.

Moreover the observed swing intervals were reduced to infinitesimally small amplitude, to the temperature of 15°C and to the zero pressure. The results of observations and reductions are entered in table 3.

From the reduced intervals of pendulum pairs the station means were calculated and then an analysis of accuracy of the observations was made (table 4).

The mean error of a single interval measurement of a pendulum pair $m'_0 = \pm 0,85 \cdot 10^{-7}$ sec., and of the mean pendulum $M'_0 = \pm 0,82 \cdot 10^{-7}$ sec., were computed from the inner accordance of the observations at the stations of the whole observation cycle; hence the purely accidental error part of m'_0 $\mu = \pm 0,31 \cdot 10^{-7}$ sec., and the systematic part of m'_0 $\kappa = 0,79 \cdot 10^{-7}$ sec. Moreover the mean error of a single measurement of a pendulum pair was determined from the calculated interval difference of pendulum pairs. With error taken into account, the final mean error of a station mean was

$$M_s = \pm \sqrt{\frac{m_0''}{10} + \frac{\kappa^2}{5}} = \pm 0,43 \cdot 10^{-7} \text{ sec.}$$

Accounting for reduction errors due to temperature — m_t , pressure — m_d , amplitude — m_a , clock rate — m_u , to the error due to the neglected co-vibration of the tripod and to the error of magnetic compensation, in result of an analysis (chapter 7.2) they were made smaller than $0,1 \cdot 10^{-7}$ sec, the determination error of acceleration difference Δg from a single tie A-B according to the formula:

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,4 \sqrt{2M_s^2 + m_t^2 + m_d^2 + m_a^2 + m_u^2 + m_s^2 + m_k^2} \text{ mgal}$$

was found to be: $(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,26 \text{ mgal}$

and for mean value of "forward" and "back" (A-B-B-A) observation

$$m_{\Delta g} = \pm 0,18 \text{ mgal}$$

Then from station intervals of pendulum pairs and of mean pendulum observed at neighbouring stations the observed differences in acceleration were derived (table 6).

The analysis of accuracy based on discrepancies of observed Δg at particular segments (table 7) resulted in $m_{\Delta g} = \pm 0,14$ mgal. The closure of observed acceleration differences in triangles (fig. 38) enabled the determination of $m_{\Delta g}$ in different way and resulted in $m_{\Delta g} = \pm 0,17$ mgal.

The final acceleration differences observed are listed in table 8. and their accuracy is estimated by a mean error

$$m_{\Delta g} = 0,18 \text{ mgal}$$

which is also proved satisfactory conformity of analyses made in different manners.

ZBIGNIEW ZĄBEK
WENEDA DOBACZEWSKA

SCHWEREBESTIMMUNGEN MIT DEM VIERPENDELAPPARAT IM WESTLICHEN TEIL DES POLNISCHEN PENDELSCHWERENETZES

AUSGEFÜHRT IM JAHRE 1957 AM LEHRSTUHL FÜR HÖHERE GEODÄSIE
DER WARSCHAUER TECHNISCHEN HOCHSCHULE UNTER MITWIRKUNG DES FORSCHUNGS-
INSTITUTES FÜR GEODÄSIE UND KARTOGRAPHIE

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

Der vorliegende Beitrag gilt als Fortsetzung des Berichtes über die im Jahre 1956 durchgeführten Schwerebestimmungen (vergl. Heft 2(11) Band V der „Veröffentlichungen des Forschungsinstitutes für Geodäsie und Kartographie“).

Es wurden Schwerkraftdifferenzen zwischen den Pendelpunkten Szczecin, Poznań und Wrocław ermittelt und diese Punkte an diejenigen in Gdańsk, Warszawa und Kraków angeschlossen (s. Bild 32). Schwerkraftdifferenzbestimmungen zwischen in den letztgenannten Städten gelegenen Pendelpunkten waren im vergangenen Jahr ausgeführt worden.

Bei den Beobachtungen bediente man sich desselben Gerätes wie im vergangenen Jahr. Nur die Pendel des Apparates hat man in anderer Reihenfolge angebracht, indem man Pendel mit fast gleichen Werten der Temperaturkonstante zu einem Paar vereinigte. Ausserdem wurde ihre Schwingungsdauer reguliert, so, dass man später die Korrektion wegen Mitschwingen des Stativs vernachlässigen konnte. Im Frühjahr 1957 wiederholte man die Bestimmung der Temperaturkonstanten (s. Tafel 1) und es wurde eine befriedigende Beständigkeit dieser Konstante festgestellt. Ausserdem ermittelte man auf experimentellem Wege den Koeffizienten der für die unendlich kleine Amplitude gültigen Reduktionsgleichung (s. Kapitel 2,3), wobei festgestellt wurde, dass die wahren Amplituden der vorjährigen Beobachtungen um die Hälfte kleiner waren als aus den Skalenablesungen hervorging. Es wurden deshalb erneut die Korrekturen wegen Luftdichte errechnet (Kapitel 2,4) sowie alle vorjährigen Beobachtungen, die sich auf die Eichstrecke Gdańsk — Kasprowy Wierch beziehen, von neuem durchgerechnet. Die verbesserten Schwerkraftunterschiede sind in der Tafel 2 zusammengestellt.

Zwecks Bestimmung der Schwerekraftunterschiede für jede Seite des Dreiecksnetzes wurden die Beobachtungen in Richtung „hin“ (A-B) und „zurück“ (B-A) wie folgt angeordnet: Warszawa I, Poznań I, Szczecin I, Gdańsk I, Poznań IIa, Poznań IIb, Gdańsk II, Szczecin II, Poznań III, Warszawa II, Wrocław I, Poznań IV, Warszawa IIIa, Warszawa IIIb, Poznań V, Wrocław II, Kraków Ia, Kraków Ib, Wrocław III, Warszawa IV. Auf jedem Standpunkt wurden 5 sechsstündige Schwingungszeitbeobachtungen ausgeführt. Hierbei wurden Vorkehrungen zur Kompensation der vertikalen Magnetfeldkomponente getroffen. Auf allen Standpunkten war man bestrebt gleiche Beobachtungsbedingungen zu schaffen. So wurde überall mit der Anfangsamplitude 15' und dem Luftdruck unter dem Kasten gleich 9 mm gearbeitet. Die Temperatur während den Beobachtungen war annähernd konstant. Der mittlere Temperaturunterschied auf benachbarten Standpunkten erreichte den Wert von 1,2°C.

Zwecks Zeitbestimmung wurden Signale des Polnischen Rundfunks verwendet. Diese stützten sich auf Angaben der Quarzuhr Q₁₁ des Hauptamtes für Masse und Gewichte. Der Gang dieser Uhr wurde mittels der Quarzuhr Q₁₀ sowie regelmässiger Aufnahme der Internationalen Zeitdienstsignale GBZ, MSF sowie FYP kontrolliert. Den auf diese Weise ermittelten Gang der Quarzuhr Q₁₁ zeigt Bild 36. Die Reduktionen der beobachteten Schwingungszeiten ΔT_u wurden unter Berücksichtigung des Uhranges sowie der Zeitsignale GBZ, MSF und FYP durchgeführt.

Die beobachtete Schwingungsdauer eines jeden Pendelpaares wurde ausserdem auf die unendlich kleine Amplitude, auf die Temperatur 15°C und auf 0 mm Luftdruck reduziert. Die Beobachtungs- sowie Reduktionsergebnisse sind in Tafel 3 zusammengestellt.

Auf Grund der erzielten reduzierten Schwingungsdauer wurden die Beobachtungen einer Genauigkeitsanalyse unterworfen (Tafel 4). Aus innerer Übereinstimmung der Messungen auf gegebenen Standpunkten wurde aus den gesamten Beobachtungseintragungen gefunden: der mittlere Fehler einer einzelnen Schwingungsdauerbeobachtung für ein Pendelpaar $m_o' = \pm 0,85 \cdot 10^{-7}$ sek; derselbe mittlere Fehler für das mittlere Pendel $M_o' = \pm 0,82 \cdot 10^{-7}$ sek; der zufällige Anteil am Fehler m_o' gleich $\mu = \pm 0,31 \cdot 10^{-7}$ sek und der systematische Anteil gleich $\varkappa = \pm 0,79 \cdot 10^{-7}$ sek.

Aus Schwingungsdauerunterschieden zwischen Pendelpaaren wurde erneut der mittlere Fehler einer einzelnen Schwingungsdauerbestimmung für ein Pendelpaar ermittelt. Man erhielt hierbei $m_o'' = \pm 0,79 \cdot 10^{-7}$ sek. Nach Berücksichtigung des Fehleranteils \varkappa , errechnete man den mittleren Fehler des Mittelwertes für alle Beobachtungen auf einem gegebenen Standpunkt.

$$M_s = \pm \sqrt{\frac{m_o''^2}{10} + \frac{\varkappa^2}{5}} = \pm 0,43 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

Folgende Fehlereinflüsse wurden einer Untersuchung unterzogen (s. Kapitel 7,2: Pendeltemperatur — m_t , Luftwiderstand — m_d , Amplitudenkorrektur — m_a , Uhrgangbestimmung — m_u . Ausserdem, wie schon erwähnt, ist der Einfluss des Stativmitschwingens sowie der nicht vollkommenen Kompensation des Magnetfeldes vernachlässigt worden. Der summarische Einfluss der genannten Fehlerquellen beträgt weniger als $0,1 \cdot 10^{-7}$ sek.

Nun folgte die Errechnung des mittleren Fehlers einer Schwerkraftunterschiedsbestimmung Δg auf Grund einer einzelnen Messung $A-B$ nach der Formel

$$(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,4 \cdot \sqrt{2 \cdot M_s^2 + m_t^2 + m_d^2 + m_a^2 + m_u^2 + m_s^2 + m_k^2} \text{ mgal}$$

Man erhielt den Wert $(m_{\Delta g})_0 = \pm 0,26$ mgal. Als mittleren Fehler für eine Doppelmessung, also „hin“ und „zurück“ nach der Anordnung $A-B-B-A$, erhielt man

$$m_{\Delta g} = \pm 0,18 \text{ mgal.}$$

In der Folge wurden Unterschiede der Schwerkraftbeschleunigung aus gemittelten Schwingungsdauern der Pendelpaare und des Pendelmittels für benachbarte Standpunkte gefunden (s. Tafel 6). Eine Genauigkeitsanalyse in bezug auf Widersprüche zwischen den wiederholt beobachteten Δg (s. Tafel 7) ergab $m_{\Delta g} = \pm 0,14$ mgal. Die Summenwidersprüche der Schwerkraftbeschleunigungsunterschiede in Dreiecken (s. Bild 38) gestatteten den Fehler $m_{\Delta g}$ erneut auf anderem Wege zu bestimmen. Das Resultat lautete $m_{\Delta g} = \pm 0,17$ mgal.

Die endgültigen Werte der Schwerkraftbeschleunigungsunterschiede sind in der Tafel 8 zusammengestellt. Die Genauigkeit dieser Werte wird mit $m_{\Delta g} = \pm 0,18$ mgal beurteilt.

Eine Bestätigung dieser Beurteilung liegt in der Übereinstimmung der auf verschiedenen Wegen errechneten mittleren Fehlerwerte.

S P I S T R E Ś C I

STEFAN HAUSBRANDT	
Przybliżone wyrównanie niezależnych sieci powierzchniowych	163
STANISŁAW DMOCHOWSKI	
Nowa metoda wyrównania radialnej triangulacji instrumentalnej	187
STANISŁAW DMOCHOWSKI	
Zasady przeprowadzania identyfikacji <i>f</i> - i <i>z</i> -punktów w terenie, przy opracowaniach map wielko- i średnioskalowych	228
JERZY BOKUN — JERZY NIEWIAROWSKI	
Projekt podstawowej sieci wahadłowej w Polsce	255
ZBIGNIEW ZĄBEK — WENEDA DOBACZEWSKA	
Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach zachodniej części sieci wahadłowej w Polsce	262

C O D E R Ж А Н И Е

СТЕФАН ХАУСБРАНДТ	
Приближенное уравнивание независимых поверхностных сетей	163
СТАНИСЛАВ ДМОХОВСКИ	
Новый метод уравнивания инструментальной радиальной триангуляции	187
СТАНИСЛАВ ДМОХОВСКИ	
Принципы идентифицирования <i>f</i> - и <i>z</i> -точек при полевых работах и при обработке карт большого и среднего масштаба	228
ЕЖИ БОКУН — ЕЖИ НЕВЯРОВСКИ	
Проект основной маятниковой сети Польши	255
ЗБИГНЕВ ЗОМБЭК — ВЭНЭДА ДОБАЧЕВСКА	
Наблюдения четырехмаятниковым прибором на пунктах западной части маятниковой сети Польши	262

C O N T E N T S

STEFAN HAUSBRANDT	
Approximate adjustment of independent surface nets	163
STANISŁAW DMOCHOWSKI	
A new method of adjustment of instrumental radial triangulation	187
STANISŁAW DMOCHOWSKI	
Principles of identification of <i>f</i> - and <i>z</i> -photopoints on the ground for the purpose of large and middle scale maps preparation	228
JERZY BOKUN — JERZY NIEWIAROWSKI	
A project of Polish basic pendulum net	255
ZBIGNIEW ZĄBEK — WENEDA DOBACZEWSKA	
Measurements by means of four- pendulum apparatus on stations of the western part of pendulum gravity net in Poland	262

SACHREGISTER

STEFAN HAUSBRANDT

Das Verfahren der Näherungsausgleichung in Anwendung auf selbständige Flächennetze 163

STANISŁAW DMOCHOWSKI

Eine neue Methode der instrumentuellen Radialtriangulation 187

STANISŁAW DMOCHOWSKI

Leitsätze bei der Geländeidentifizierung der Lage- und Höhenpasspunkte bei der Herstellung von Karten in großen und mittleren Maßstaben 228

JERZY BOKUN — JERZY NIEWIAROWSKI

Entwurf eines polnischen Pendelgrundnetzes 255

ZBIGNIEW ZĄBEK — WENEDA DOBACZEWSKA

Schwerebestimmungen mit dem Vierpendelapparat im westlichen Teil des polnischen Pendelschwerenetzes 262

Redaktor techniczny
Włodzimirz Kołodziejski

PPWK – W-wa 1959. Wyd. 1 – Nakł. 500 + 150 egz.
Ark. wyd. 14,5 – arkuszy drukowych 9,5+15 wklejek
Papier 70 × 100 drukowy sat. kl. III. 100 g
z Fabryki Papieru w Kluczach – Oddano do
składania dnia 15. VI. 1959 roku. – Podpisano do
druku 19 grudnia 1959 roku. – Druk ukończono
w grudniu 1959 roku.

Cena zł 36,25

