526.72/75 (438)

ZBIGNIEW ZĄBEK WENEDA DOBACZEWSKA

Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach bazy grawimetrycznej

Praca wykonana w roku 1956 przez Katedrę Geodezji Wyższej Politechniki Warszawskiej w ramach współpracy z Instytutem Geodezji i Kartografii

1. Wstęp

Sieć grawimetryczna dla potrzeb geodezyjnych powinna dawać przyspieszenia siły ciężkości w jednolitym układzie i w jednostce gala. W związku z tym, specjalnie ważnym momentem w pomiarach grawimetrami jest cechowanie i systematyczna kontrola ich stałych na bazie grawimetrycznej, opartej na jak najbardziej dokładnych pomiarach wahadłowych.

W związku z rozwojem prac grawimetrycznych w Polsce, Katedra Geodezji Wyższej Politechniki Warszawskiej dokonała na zlecenie Centralnego Urzędu Geodezji i Kartografii wyznaczenia aparatem czterowahadłowym różnic przyspieszenia siły ciężkości między sześcioma punktami wahadłowymi założonej bazy grawimetrycznej. Punktami tymi są: Gdańsk, Warszawa, Kraków, Zakopane, Kuźnice i Kasprowy Wierch; z których dwa, Gdańsk i Kraków, obrano na dawnych punktach wahadłowych, natomiast pozostałe punkty obrano w pomieszczeniach dających możliwie najlepsze warunki dla obserwacji wahadłowych. Obrane punkty dają praktycznie maksymalną rozbieżność przyspieszeń dla terenu Polski, umożliwiając przy tym szybki transport grawimetrów, a mianowicie na odcinkach Gdańsk — Warszawa — Kraków drogą lotniczą, Kraków — Zakopane — Kuźnice samochodem, zaś Kuźnice — Kasprowy Wierch kolejką linową (rys. 11).

W okresie lato 1955 r. — wiosna 1956 r. przeprowadzono w Katedrze Geodezji Wyższej doświadczalne obserwacje i badanie posiadanej aparatury wahadłowej, uzupełniając ją urządzeniem do kompensacji magnetycznej. Po opracowaniu metod i szczegółowego procesu pomiarowego można było podjąć prace pomiarowe przygotowaną aparaturą.





Pomiary wahadłowe wyżej opisanej bazy grawimetrycznej wykonano w okresie czerwiec — listopad 1956 roku. W czerwcu przygotowano obrane punkty, na których obserwacje przeprowadzono w m-cach lipiec i sierpień, zaś obliczenia i wyrównanie całego materiału obserwacyjnego zakończono w listopadzie, uzyskując w wyniku wartości różnic przyspieszeń między sześcioma punktami bazy.

Prace powyższe wykonali autorzy niniejszego artykułu, przy czym w obserwacjach brali udział pracownicy Katedry mgr inż. W. Chełmiński, mgr inż. A. Farbiszewska i mgr inż. J. Śledziński. Wyniki i projekty kolejnych etapów pracy omawiane były 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. Aparatura

Pomiaru różnicy przyspieszeń pomiędzy punktami bazy dokonano za pomocą posiadanego przez Katedrę aparatu czterowahadłowego firmy Askania Nr 5115295 z rejestracją fotograficzną, przy zastosowaniu aparatury kompensacji magnetycznej własnej konstrukcji. Aparat wahadłowy (rys. 12) wyposażony jest w komplet półsekundowych wahadeł inwarowych typu Sterneck'a. Wahadła są pozłacane, zaś w głowice wahadeł wpasowane są ostrza agatowe. Jedna strona głowicy doszlifowana jest na lustro, przez co zachowana jest stałość płaszczyzny zwierciadła względem wahadła. Głowica statywu posiada formę krzyża, na ramionach którego umieszczone są łożyska agatowe wahadeł doszlifowane na lustro do wspólnej płaszczyzny. Wahadłom nadaje się amplitudę za pomocą czterech dźwigni sprzęgniętych z gałką do nadawania amplitudy specjalnym mechanizmem, który gwarantuje równoczesność puszczenia wszystkich czterech wahadeł. Wielkość nadawanej amplitudy jest dowolnie dobierana przez odpowiednie wychylenie dźwigni za pomocą gałki, zaś równość amplitud wszystkich czterech wahadeł koryguje się śrubkami rektyfikacyjnymi poszczególnych dźwigni. Uruchomione za pomocą tego mechanizmu wahadła wahają się parami w płaszczyznach prostopadłych, w fazach przeciwnych i z równymi amplitudami. Na ruchomej części statywu, podnoszonej i opuszczanej w granicach 2 mm ruchem bardzo powolnym za pomocą korby aretażu, znajdują się mosiężne łożyska pomocnicze wahadeł, służące do zawieszania i zdejmowania wahadeł oraz wmontowany jest mostek optyczny doprowadzający światło do luster wahadeł. Pryzma-

ty mostka optycznego dają się pochylać i skręcać tak, że można optykę dostrajać do aparatów rejestrujących różnych systemów oraz korygować bieg promieni przy każdorazowym zestawieniu aparatury. Do poziomowania statywu służą dwa krótkie wahadła z libelami o czułości 10". Statyw aparatu wyposażony jest w barometr rtęciowy i termometr, które zamontowane są na wspólnej oprawie metalowej. Zakres działania barometru od 0 do 160 mm, dokładność odczytów obu końców słupka rtęci — 0,1 mm. Podziałka termometru co 0,2°C, o zakresie od -9º do + 42ºC. Dokładność odczytu temperatury - 0,05° C. Do wyposażenia aparatury należy jeszcze olejowa pompa próżniowa, przy pomocy której uzyskać można pod kloszem aparatu wahadłowego ciśnienie rzędu 5 mm słupa rteci.



Rys. 12. Statyw aparatu czterowahadłowego z wahadłem i libelą (fot. T. Boncler)

Aparat rejestracji fotograficznej rejestruje na taśmie światłoczułej, napiętej na poruszający się ruchem śrubowym walec, momenty przejść wahadeł przez punkty spoczynku, radiowe sygnały czasu i pomocnicze znaki interpolacyjne. Na arkuszu papieru fotograficznego o wymiarach 16×50 cm można wykonać rejestrację trwającą 6 minut. W ściance ciemni aparatu rejestracyjnego znajduje się pozioma szczelinka rejestrująca. Przy prawidłowo zestawionej aparaturze cztery punktowe promienie skierowane do aparatu wahadłowego, po odbiciu od zwierciadeł spokojnie wiszących wahadeł, odwzorują się na szczelinie. Po nadaniu wahadłom amplitudy, promienie te wahają się w kierunku pionowym, dając przy przejściu przez szczelinę cztery znaki na papierze fotograficznym. Sygnały czasu przekazywane są z głośnikowego, względnie słuchawkowego wyjścia radioodbiornika poprzez transformator na czuły układ oscylograficzny. Promień świetlny odbity od zwierciadła oscylografu pada na szczelinkę rejestrującą, kreśląc na papierze fotograficznym linię ciągłą. Elektryczne impulsy prądu przekazywanych sygnałów czasu wprawiają lusterko w ruch drgający i na papierze fotograficznym powstaje przerwa. Dla łatwiejszego odczytywania przejść wahadeł względem rejestrowanych sygnałów czasu, jak też dla wyeliminowania błędów ze względu na niejednostajną szybkość obrotu bębna (napędzanego sprężyną) i skurcz papieru fotograficznego, wysyłane są przy pomocy 50-okresowych widełek strojowych impulsy świetlne, które kreślą na papierze światłoczułym linię przerywaną (znaki interpolacyjne).

Przy pomocy tych znaków określa się aparatem odczytowym, działającym na zasadzie klina mierniczego, położenie znaków przejść wahadeł na taśmie rejestracyjnej względem znaków sygnałów czasu. Pomiaru amplitudy dokonuje się przez obserwację wahań promieni odbitych od zwierciadeł wahadeł na wyskalowanej matówce. Podział jej jest tak dobrany, że jedna działka skali odpowiada jednej minucie łuku wychylenia wahadła.

Właściwym dla tej aparatury radioodbiornikiem jest aparat zasilany prądem stałym (bateryjny). Przy niniejszej pracy używano radicodbiornika telekomunikacyjnego zasilanego prądem zmiennym z sieci. Ponieważ drgania zmiennego prądu sieciowego rzędu 50 cykli przenoszą się na



Rys. 13. Aparatura wahadłowa z cewką Helmholza na punkcie pomiarowym

czuły układ oscylograficzny aparatu rejestracyjnego, zakłócając rejestrację sygnałów czasu, zbudowano filtr, obcinający drgania tej częstotliwości, który umożliwia zastosowanie odbiornika sieciowego.

Celem wyeliminowania wpływu zmian natężenia ziemskiego pola magnetycznego na okres wahadeł inwarowych stosowano podczas pomiarów kompensację tego pola za pomocą cewki Helmholtza (rys. 13). Aparatura do kompensacji magnetycznej została zaprojektowana i wykonana przez pracowników Katedry Geodezji Wyższej w 1955/56 roku. Do wytwarzania kompensującego pola magnetycznego służy cewka Helmholtza o promieniu 80 cm i 56 zwojach w każdym z kół. Dla skompensowania pola o natężeniu około 0,5 Γ natężenie prądu w cewce wynosi około 0,75 A. Źródłem prądu są żelazoniklowe akumulatory o napięciu 12 V. Celem regulacji natężenia prądu włączony jest w obwód cewki potencjometr z miliamperomierzem. Do wyznaczania stanu skompensowania pola magnetycznego wewnątrz cewki zbudowano induktor ziemski, który połączony z galwanometrem z plamką świetlną (o czułości 10⁻⁸ A) daje czułość rzędu 0,001 Γ . Biorąc pod uwagę niejednorodność pola wytwarzanego przez cewkę, błąd zerowania przy pomcy induktora z galwanometrem oraz dokładność utrzymania stałości natężenia prądu w cewce Helmholtza w czasie obserwacji, można powiedzieć, że błąd skompensowania ziemskiego pola magnetycznego w obszarze wahadeł nie przekracza 1%.

3. Badanie i przygotowanie aparatury do pomiarów

3. 1. Długość interwału czasu obserwacji i obliczenie okresu

W trakcie przygotowania aparatury do obserwacji w 1955 r. wyregulowano okresy wahadeł w temp. 18° C, uzyskując ich zgodność w granicach $5 \cdot 10^{-7}$ sek. Przy ustalaniu zatem długości interwału czasu obserwacji można było nie liczyć się ze zjawiskiem rozchodzenia się faz par wahadeł przy dłuższym czasie trwania obserwacji.

Ustalenia właściwego interwału dokonano, uwzględniając błędy rejestracji i sygnałów czasu oraz zakładając, że istnieje optymalna amplituda wahadeł, przy której wpływ błędów ostrzy wahadeł i ich zanieczyszczeń jest najmniejszy. Na podstawie analizy wykonanej serii 10-godzinnych obserwacji z amplitudą początkową 30', przyjęto - jako właściwy dla danej aparatury czas trwania obserwacji — interwał około 6-godzinny. Przy tej długości interwału, czas przejścia wahadła przez położenie spoczynku wyznacza się z odczytów dwóch kolejnych znaków wahadła na taśmie rejestracyjnej z błędem \pm 0,7 · 10⁻³ sek. Rejestracje znaków wahadeł obarczone są błędem ustawienia aparatu rejestracyjnego, przy czym znak tego błędu zależy od kierunku przejścia wahadła. Zatem średnia arytmetyczna odczytów dwóch kolejnych znaków wahadła na taśmie rejestracyjnej wolna jest od tego błędu i nazywamy ją czasem przejścia wahadła przez położenie spoczynku, oznaczając przez 0. Odczytując 3 kolejne przejścia wahadła przez punkty spoczynku (czterosekundowy odcinek rejestracji) dla początku i końca obserwacji, błędy odczytów przeniosą się na obliczony okres wahadła według wzoru

$$T = rac{\Theta_k - \Theta_p}{ilość \ wahnień}$$

z wielkością rzędu $0.1 \cdot 10^{-7}$ sek. Dokładność ta jest wystarczająca i nie zachodzi potrzeba obliczania okresów z rejestracji wykonanych w interwałach częściowych w czasie trwania obserwacji.

3. 2. Ustalenie wzorów i sposobu redukcji okresów wahadeł ze względu na amplitudę i współdrganie statywu

Przyjmując sześciogodzinny interwał czasu obserwacji, zaszła konieczność sprawdzenia, czy stosowane wzory redukcji ze względu na amplitudę i współdrganie statywu będą słuszne dla tak długiego interwału. Analizę przeprowadzono na materiale otrzymanym z kilku obserwacji, w których wykonywano bieżąco co godzinę rejestrację chodu wahadeł i amplitud. Obliczono wartości redukcji z rejestracji początkowych i końcowych i porównano je z wartościami redukcji otrzymanymi z rejestracji bieżących.

Analizie poddano powszechnie stosowany wzór redukcji do nieskończenie małej amplitudy [9]

$$\Delta T_{a} = -\frac{T'}{16} \left(\frac{a_{p} + a_{k}}{2}\right)^{2} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{a_{p} - a_{k}}{a_{p} + a_{k}}\right)^{2} - \frac{4}{45} \left(\frac{a_{p} - a_{k}}{a_{p} + a_{k}}\right)^{4}\right]$$

gdzie:

T' — okres zaobserwowany,

 $a_{p_{1}}, a_{k}$ — amplituda początkowa i końcowa.

Uzyskano zgodność wyników redukcji otrzymanych z interwałów sześciogodzinnych obserwacji ze średnimi wartościami redukcji obliczonych w interwałach jednogodzinnych w granicach $\pm 0.2 \cdot 10^{-7}$ sek, zatem redukcję tę dla sześciogodzinnej obserwacji można obliczać z rejestracji tylko początkowych i końcowych.

Odnośnie redukcji ze względu na współdrganie statywu, wzięto pod uwagę dwa wzory Schmehla:

a) z roku 1927 [5]

$$\begin{split} \Delta T_{si} &= s \Biggl[-1 + \frac{\left(\frac{a}{a_i}\cos\varphi\right)_p + \left(\frac{a}{a_i}\cos\varphi\right)_k}{2} + \\ &+ \frac{\pi^2 (T-T_i) \left\{\frac{a}{a_i} \left(T-T_i\right) + s \left[\left(\frac{a}{a_i}\right)^2 \cdot 3 - 1\right]\right\} \left(\Delta t^2}{12 \ T^4_{sr}} \Biggr] \end{split}$$

gdzie:

indeks i oznacza wahadło, dla którego oblicza się redukcję; wartości T i a nieoznaczone odnoszą się do wahadła drugiego z pary;

 φ — oznacza różnicę faz plus 180° (cos φ > 0); indeks p oznacza początek obserwacji, k — koniec obserwacji;

w ostatnim wyrazie T- T_i oznacza różnicę okresów wahadeł. zredukowanych ze względu na amplitudę i współdrgania statywu według pierwszych członów wzoru;

 $\frac{d}{a_i}$ -- stosunek amplitud w momencie, gdy fazy ich różnią się o 180° (φ =0); Δt -- czas trwania obserwacji.

b) z roku 1930 [9]

$$\Delta_{i} = -s - \frac{T - T_{i}}{2} + \frac{T^{2}}{\pi t} \cdot \alpha_{i}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{i} = \frac{\frac{\pi}{T^{2}} \left(-s \, \alpha_{o} \cos \varphi_{o} + \frac{T - T_{i}}{2} \right) \cdot \frac{\operatorname{tg} \omega t}{\omega}}{1 + \frac{\pi}{T^{2}} \cdot s \cdot a_{o} \sin \varphi_{o} \cdot \frac{\operatorname{tg} \omega t}{\omega}}$$

$$\omega = \frac{\pi}{T^{2}} \cdot \sqrt{\left(\frac{T - T_{i}}{2}\right)^{2} + s^{2}}$$

$$a_{o} = \frac{a}{a_{i}}; \qquad \varphi_{o} = \varphi - \varphi_{i} = \operatorname{rożnica} \operatorname{faz}$$

gdzie:

indeks *i* odnosi się do wahadła, dla którego oblicza się redukcję; wartości T, a, φ bez indeksów odnoszą się do wahadła drugiego z pary; t — czas trwania obserwacji;

 $T-T_i$ oznacza różnicę okresów zredukowanych ze względu na amplitudę i współdrgania.

Indeks O oznacza wartości początkowe obserwacji; dając Δ_i dla początku obserwacji, zaś kładąc indeks O dla końca obserwacji i zmieniając znak wartości t otrzymuje się Δ_i dla końca obserwacji.

Wartości poprawek redukcyjnych, obliczanych według powyższych wzorów dla obserwacji dziesięcio- i siedmiogodzinnej, odbiegały od wartości poprawek wyprowadzonych z rejestracji bieżących w interwałach dwugodzinnych o wielkości dochodzące do $1,0 \cdot 10^{-7}$ sek. Ponieważ zmianę stosunku amplitud i różnicy faz pary wahadeł w dwugodzinnych interwałach czasu można przyjąć na podstawie dokonanej analizy za liniową, ustalono, że redukcję ze względu na współdrganie statywu należy obliczać według pierwszego członu wzoru Schmehl'a z roku 1927 w częściowych, nie przekraczających 2 godzin, interwałach czasu obserwacji.

3. 3. Wyznaczenie równań redukcji okresów wahadeł ze względu na ciśnienie i temperaturę

W związku z przygotowaniem aparatury do pomiaru, przeprowadzono w pracowni grawimetrycznej Katedry Geodezji Wyższej, w okresie od listopada 1955 do lutego 1956 roku, badanie zmienności okresów wahadeł, jako funkcji ciśnienia i temperatury. Równanie redukcyjne okresów do ciśnienia zerowego wyznaczono empirycznie z 3 serii obserwacji w stałej tamperaturze.

Ι	seria	w	ciśnieniu	około:	5,11,20,50,120,120,50,20,11,5	mm	słupa	rtęci
II	seria	w	ciśnieniu	około:	11,5,11	mm	słupa	rtęci
III	seria	w	ciśnieniu	około:	10,150,760,760,150,10	mm	słupa	rtęci

Dla kontroli wykonano w każdym wyżej podanym ciśnieniu po dwie sześciogodzinne obserwacje, jedynie w ciśnieniu atmosferycznym, ze względu na wygaszanie amplitudy, wykonano po trzy trzygodzinne obserwacje. Na równanie redukcyjne przyjęto powszechnie stosowany wzór

$$\Delta T_{d} = k_{1}d + k_{2}\sqrt{d}$$
$$d = \frac{b - 0.378 \ e}{1 + 0.00367 \ t}$$

gdzie:

d — gęstość powietrza

b — ciśnienie powietrza wewnątrz klosza w mm słupa rtęci

 $t - \text{temperatura w }^{\circ}C$

e — wilgotność wewnątrz klosza w mm

$$e = e_o \frac{b}{B};$$
 $e_o = e'_o \cdot w$

e – wilgotność powietrza zewnątrz klosza w mm

B -- ciśnienie powietrza zewnątrz klosza w mm słupa rtęci

e'₀ — prężność pary nasyconej (tabulowana wg argumentu temperatury)

w — wilgotność w $^{0}/_{0}$ mierzona przed wypompowaniem powietrza z klosza.

Zaobserwowane okresy wahadeł zredukowano ze względu na amplitudę, współdrganie statywu i temperaturę (przy pomocy przybliżonych współczynników termicznych), a następnie wyrównano metodą spostrzeżeń pośrednich, otrzymując w wyniku następujące wartości współczynników k_1 i k_2 w jednostkach 10⁻⁷ sek.

dla	wahadła	1	$k_1 = -$ 0,778 \pm 0,009	$k_2 = -4,97 \pm 0,24$
"	"	2	$k_1 = -$ 0,769 \pm 0,004	$k_2 = -5,18 \pm 0,13$
,,	,,	3	$k_1 = -$ 0,788 \pm 0,009	$k_2 = -4,62 \pm 0,25$
,,	,,	4	$k_1 =0,783 \pm 0,006$	$k_2 = -4,63 \pm 0,15$
,,	,,	średniego	$k_1 =0,775 \pm 0,003$	$k_2 = -4,99 \pm 0,09$

Ponieważ rozbieżność współczynników poszczególnych wahadeł od wahadła średniego otrzymano w granicach błędów ich wyznaczenia, przyjęto ostatecznie stosować wspólne współczynniki dla wszystkich wahadeł, otrzymane z wyrównania wahadła średniego. Dla wyznaczenia równania redukcji okresów wahadeł ze względu na temperaturę wykonano 3 serie obserwacji w ciśnieniu około 10 mm słupa rtęci.

I seria w temp. 11, 17, 23, 30, 30, 23, 17, 11, 6°C II " " 6, 11, 17, 23, 30, 30, 23, 17, 11, 6°C III " w temp. 13.7°C, w temp. wzrastającej od 14,1°C do 20,4°C i w temp. 20,4°C

W każdej temperaturze serii I i II wykonano po dwie obserwacje sześciogodzinne. Z III serii obserwacji wyznaczono współczynnik redukcji termicznej dynamicznej $\Delta T_{\Delta t} = \alpha_{\Delta t} \cdot \Delta t \mathbb{C}_{1}^{0} \mathbb{1}^{h}$, otrzymując $\alpha_{\Delta t} = +2.4 \cdot 10^{-7}$ sek/1°C/1^h.

Ponieważ współczynnik ten jest zwykle tego samego rzędu co współczynniki termiczne wahadeł i przy sześciogodzinnych obserwacjach średnie przyrosty temperatury są zwykle nieduże, poprzestano na jednokrotnym orientacyjnym wyznaczeniu tego współczynnika. Zaobserwowane okresy wahadeł w I i II serii obserwacji zredukowano ze względu na amplitudę, współdrganie statywu, ciśnienie i zmiany temperatury w czasie obserwacji i naniesiono na wykres, na podstawie którego przyjęto liniową formę równania redukcji termicznej.

$$\Delta T_t = \alpha \left(t - t_o \right)$$

Z wyrównania obserwacji metodą spostrzeżeń pośrednich wyznaczono wartości współczynnika « dla poszczególnych wahadeł, otrzymując

 $\begin{array}{l} \alpha_1 = -\ 2.74 \pm 0.06 \cdot 10^{-7} \, {\rm sek}^{/1^0 \rm C} \\ \alpha_2 = -\ 1.49 \pm 0.02 \qquad ,, \\ \alpha_3 = -\ 2.85 \pm 0.10 \qquad ,, \\ \alpha_4 = -\ 1.67 \pm 0.10 \qquad ,, \end{array}$

3. 4. Eliminacja wpływu ziemskiego pola magnetycznego

Przygotowując aparaturę wahadłową do pomiarów, zbudowano aparaturę kompensującą ziemskie pole magnetyczne, a działającą na zasadzie cewki Helmholtza. Opis aparatury podany jest w rozdziale 2. Celem określenia błędu pomiaru różnicy przyspieszenia siły ciężkości, wynikającego z różnicy natężenia ziemskiego pola magnetycznego na dwóch punktach, wyznaczono momenty magnetyczne posiadanych wahadeł inwarowych. Określając wpływ składowej pionowej pola magnetycznego na okres wahadeł inwarowych wzorem [3]

$$\Delta T = Q\left(N + az\right)z$$

gdzie: N --- stały moment magnetyczny wahadła,

- a indukcyjny moment magnetyczny wahadła,
- z natężenie składowej pionowej pola magnetycznego,
- Q współczynnik w przybliżeniu równy 1.10⁻⁸

Z obserwacji okresów wahadeł w ziemskim polu magnetycznym, zerowym i ujemnym, otrzymano dla wahadła średniego następujące wartości momentów magnetycznych (w systemie cgs)

$$N = 138$$
$$a = 275$$

Zakładając zmianę natężenia składowej pionowej ziemskiego pola magnetycznego między dwoma punktami o 0,1 Γ , z jaką należy się liczyć na terenie Polski, wpływ jej na różnicę okresów wahadła średniego wyniesię 4 . 10⁻⁷ sek. Daje to błąd systematyczny wyznaczanej różnicy przyśpieszenia siły ciężkości między tymi punktami, wynoszący 1,6 mgal. Błąd ten eliminuje się przy zastosowaniu kompensacji magnetycznej zbudowaną aparaturą, przy czym błąd kompensacji przeniesie się na pomiar różnicy przyspieszenia z wielkością mniejszą od 0,1 mgal, jako błąd przypadkowy.

4. Opis i przygotowanie punktów wahadłowych bazy

Gdańsk (Gd.)

Gdańsk-Wrzeszcz ul. Sobieskiego 18, Wyższa Szkoła Pedagogiczna. Budynek administracyjno-gospodarczy przylegający od strony południowej do głównego gmachu WSP. Piwnica środkowa od strony wschodniej, tzw. szatnia Studium Wojskowego (rys. 14 a, b, c). Dawny punkt grawimetryczny obserwacji wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego.



Rys. 14a. Punkt wahadłowy Gdańsk

Stanowisko aparatu wahadłowego - podłoga. Punkt zaznaczony marką.

$$arphi = 54^{\circ}22',1$$

 $\lambda = 18^{\circ}37',0$
 $H = 20,7$ m npm.

Na 4 tygodnie przed obserwacjami położona została w tej piwnicy, na dawnej podłodze murowanej z cegieł, podłoga cementowa grubości około 5 cm. Ściany i sufit zostały świeżo pobielone, piwnica całkowicie opróż-



Rys. 14b.



niona. Warunki obserwacyjne dobre, piwnica duża, jasna, zelektryfikowana, utrzymanie czystości podczas pomiarów łatwe, stałość temperatury dobra. Punkt obserwacyjny oddalony około 40 m od ulicy. Linii tramwajowych w pobliżu nie było. Zakłóceń nie zauważono. Warszawa (WP)

Warszawa pl. Jedności Robotniczej 1. Politechnika Warszawska, gmach główny, Pracownia Grawimetryczna Katedry Geodezji Wyższej, położona w niskim parterze w skrzydle gmachu głównego od ulicy Noakowskiego (rys. 15).

Stanowisko aparatu wahadłowego - słup grawimetryczny Nr 1.

Punkt ten nawiązany był do głównego punktu grawimetrycznego Polski "Warszawa Główny Urząd Miar ul. Elektoralna 2". Różnica przyspieszenia siły ciężkości między tymi punktami, wyznaczona z pomiarów aparatem czterowahadłowym w 1955 roku przez Katedrę Geodezji Wyższej i z wielokrotnych pomiarów grawimetrem Nörgaarda przez Instytut Geodezji i Kartografii, wynosi $g_{WP} - g_{GUM} = -3,1$ mgal.

$$\label{eq:phi} \begin{split} \phi &= 52^{\circ}13', 3 \\ \lambda &= 21^{\circ}00', 8 \\ H &= 114, 3 \text{ m npm.} \end{split}$$

Warunki obserwacyjne bardzo dobre. Utrzymanie czystości łatwe; pozwala na to podłoga pracowni, wyłożona linoleum oraz ściany i sufit



Rys. 15. Punkt wahadłowy Warszawa

pomalowane na olejno. Stałość temperatury dobra. Od zewnętrznych wpływów tempertury zabezpiecza pracownię założona na okno i drzwi izolacja termiczna. Stanowisko wahadłowe stanowi niezależny słup murowany z cegieł na zaprawie cementowej o wymiarach 80×80 cm i wys. 70 cm od poziomu podłogi, posiadający ławę fundamentową 180 cm poniżej poziomu podłogi.

Odległość słupa od ulicy (bez ruchu tramwajowego) 25 m. Zakłóceń z powodu ruchu kołowego nie zauważono.

Pracownia posiada bezpośrednie połączenie kablowe z pracownią służby czasu GUM.

Kraków (Kr.)

Kraków, ul. Kopernika 27. Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego, piwnica sejsmiczna (rys. 16a, b). Dawny punkt grawimetryczny obserwacji wahadłowych.





Rys. 16a. Punkt wahadlowy Kraków

Stanowisko aparatu wahadłowego — podłoga. Punkt zaznaczony marką.

$$\varphi = 50^{\circ}03',9$$

 $\lambda = 19^{\circ}57',6$
 $H = 205,9$ m npm.

Piwnica sejsmiczna posiada bardzo nieregularny kształt, wymiary jej są niewielkie. Jedną część piwnicy zajmują dwa duże sejsmografy, w dru-



Rys. 16b

giej części wybudowany jest niewielki słup murowany o wymiarach 42×42 cm i wys. 42 cm, będący dawnym punktem grawimetrycznym.

Z powodu małych wymiarów słupa nie można było na nim wykonać obserwacji aparatem wahadłowym. Stanowisko instrumentu obrano wiąc na podłodze cementowej na wprost wejścia w odległości około 1,40 m od drzwi.

Warunki obserwacji bardzo utrudnione. Normalna temperatura w piwnicy bardzo niska, około 12° C. Z powodu małej kubatury pomieszczenia utrzymanie stałości temperatury bardzo trudne. Utrzymanie czystości w pomieszczeniu obserwacyjnym bardzo trudne.

Piwnica położona około 4 m pod ziemią i 25 m od ulicy (bez linii tramwajowej). Zakłóceń z powodu ruchu kołowego nie zauważono. Piwnica zelektryfikowana.

Zakopane (Zak.)

Zakopane, ul. Krupówki. Muzeum Tatrzańskie, piwnica położona w południowym narożniku budynku (rys. 17).

Stanowisko aparatu wahadłowego — podłoga. Punkt zaznaczony marką.

$$\varphi = 49^{\circ}17',8$$

 $\lambda = 19^{\circ}57',1$
 $H = 829,6$ m npm

Piwnica duża, jasna, stałość temperatury dobra. Utrzymanie czystości utrudnione, gdyż pomieszczenie nie zostało na czas pomiarów całkowicie



opróżnione. Podłoga cementowa. Punkt obserwacyjny oddalony około 40 m od ulicy. Zakłóceń nie zauważono. Piwnica zelektryfikowana.

Rys. 17. Punkt wahadłowy Zakopane

Kuźnice (Kuź.).

Kuźnice, Prewentorium, budynek główny, piwnica położona przy środkowym, wewnętrznym narożniku (rys. 18).

Stanowisko aparatu wahadłowego - podłoga. Punkt zaznaczony marką.

$$arphi = 49^{\circ}16',4$$

 $\lambda = 19^{\circ}59',0$
 $H = 993,3$ m npm.

Przed obserwacjami sufit i ściany zostały pobielone. Pomieszczenie duże, bez okien. Stałość temperatury dobra. Utrzymanie czystości łatwe. Zakłóceń nie zauważono. Piwnica zelektryfikowana.



Rys. 18. Punkt wahadłowy Kuźnice

Kasprowy Wierch (KW)

Kasprowy Wierch, Wysokogórskie Obserwatorium Meteorologiczne. Pokój przedostatni, z prawej strony korytarza, w najniższej kondygnacji budynku (rys. 19).

Stanowisko aparatu wahadłowego - podłoga.

$$\varphi = 49^{\circ}14',0$$

 $\lambda = 19^{\circ}59',0$
 $H = 1985,1 \text{ m npm}.$

Pomieszczenie bardzo małe, na skutek tego utrzymanie stałości temperatury utrudnione. Utrzymanie czystości łatwe. Podłoga pokoju cementowa, na wysokości terenu. Zakłóceń nie zauważono. Pokój zelektryfikowany.

Współrzędne geograficzne punktów określano z mapy w skali 1:100000. Wysokości punktów nad poziom morza określano przez niwelację geometryczną, dowiązując się do reperów państwowej sieci niwelacyjnej, a na Kasprowym Wierchu do reperu w budynku obserwatorium, którego wysokość określona była trygonometrycznie.



Rys. 19. Punkt wahadłowy Kasprowy Wierch

5. Obserwacje

5. 1. Program obserwacji

Przyjęte 6 punktów wahadłowych bazy grawimetrycznej tworzą otwarty ciąg pomiarowy, usytuowany na ogół w kierunku południkowym. Zastosowanie przy opracowywaniu programu obserwacji zasady pomiaru wzdłuż ciągu "tam" i "z powrotem", ściśle wg kolejności położenia punktów, dałoby w rezultacie stosunkowo najsłabsze nawiązanie punktów



końcowych ciągu, tj. Gdańska i Kasprowego Wierchu. Kierując się zasadami uzyskania możliwie najwyższej jednakowej dokładności wyznaczenia różnic przyspieszeń między sąsiednimi punktami wahadłowymi bazy oraz określenia możliwie z najwyższą jednakową dokładnością dla wszystkich punktów przyspieszeń odniesionych do Warszawy, jako punktu głównego Polski, przyjęto następujący cykl obserwacji: Warszawa I, Zakopane I, Kasprowy Wierch I, Kuźnice I, Zakopane II, Kuźnice II, Kasprowy Wierch II, Kuźnice III, Kraków I, Warszawa II, Gdańsk I, Warszawa III, Kraków II, Zakopane III, Kraków III, Warszawa IV, Gdańsk II, Warszawa V.

Duża ilość powtórzeń obserwacji (5-krotne stanowisko) na punkcie głównym Warszawa daje dobrą kontrolę stałości okresów wahadeł w czasie całego cyklu obserwacji. Program ten daje dwukrotne stanowiska na punktach końcowych bazy, zaś na pozostałych punktach pośrednich trzykrotne stanowiska, zachowując przy tym w miarę możności symetrię rozmieszczenia obserwacji w czasie.

Przechodząc do programu obserwacji na stanowiskach, należy zaznaczyć, że przyjęto zasadę zachowania jednakowej długości interwału czasu wszystkich obserwacji, a to celem uzyskania na wszystkich stanowiskach możliwie jak najbardziej jednakowych warunków obserwacji, a szczególnie wielkości amplitud. Tak więc program obserwacji na stanowisku przewidywał wykonanie pięciu 6-godzinnych serii obserwacji obiema parami wahadeł równocześnie, z zastosowaniem kompensacji składowej pionowej ziemskiego pola magnetycznego. Przyjęto stosować amplitudę początkową 30', ciśnienie pod kloszem około 10 mm słupa rtęci, zaś dopuszczalną różnicę średnich temperatur na 2 stanowiskach 4°C. Dla wyznaczenia redukcji ze względu na współdrgania statywu przewidziano wykonanie rejestracji przejść wahadeł przez położenie równowagi bieżąco co 1 godzinę oraz obserwacji współdrgań statywu przed i po 6-godzinnej obserwacji okresów. Powyższe założenia co do sposobu, długości i warunków obserwacji zostały przyjęte na podstawie badania aparatury przeprowadzonego przez Katedrę Geodezji Wyższej P.W. zimą 1955/56 r. i objęte warunkami technicznymi opracowanymi przez Instytut Geodezji i Kartografii.

Zastosowanie kompensacji tylko składowej pionowej ziemskiego pola magnetycznego podyktowane było brakiem słupów na wszystkich punktach poza Warszawą, a całkowita kompensacja posiadaną aparaturą możliwa jest tylko przy obserwacji na słupie.

5. 2. Wykonanie obserwacji

Zastosowanie do kompensacji składowej pionowej ziemskiego pola magnetycznego cewki Helmholtza o promieniu 80 cm wymagało, przy obserwacji na podłodze, podniesienia stanowiska aparatu wahadłowego o około 13 cm, co zrealizowano przy pomocy płyty kamiennej o wadze około 80 kg.

Kolejność czynności na jednym stanowisku była następująca:

a) osadzenie na podłodze betonowej podstawy kamiennej przy użyciu zaprawy gipsowej,

b) zmontowanie aparatury kompensacji magnetycznej i wyznaczenie natężenia prądu w cewce Helmholtza, kompensującego składową pionową pola ziemskiego, kontrolując przy tym stan kompensacji induktorem ziemskim połączonym z galwanometrem,

c) zestawienie aparatury wahadłowej, zagipsowanie nóżek statywu aparatu wahadłowego, poziomowanie statywu, czyszczenie ostrzy wahadeł, justacja, regulacja amplitud, wypompowanie powietrza spod klosza, zmontowanie radioodbiornika i ostateczne przygotowanie aparatury do obserwacji,

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 poprawiano justację, poczym powtarzano próbną obserwację, e) wykonanie właściwych obserwacji, tj. pięciu 6-godzinnych serii obserwacji okresów wahadeł, z obserwacjami współdrgań statywu w przerwach między seriami.

Przy obserwacji okresów stosowano amplitudę początkową 30', przy czym amplituda końcowa (po 6 godzinach) wynosiła około 15'. Amplitudy odczytywano bezpośrednio przed i po rejestracji przejść wahadeł i radiowych sygnałów czasu (6 sekund), przyjmując na moment rejestracji wartości średnie z odczytów. W odstępach godzinnych odczytywano temperaturę i ciśnienie pod kloszem, regulowano natężenie prądu w cewce Helmholtza oraz — dla celów redukcji ze względu na współdrganie statywu — dokonywano krótkiej rejestracji przejść wahadeł i odczytów amplitud. Sygnały czasu wystarczało w zasadzie rejestrować tylko w pierwszej (początkowej) i ostatniej (końcowej) rejestracji, jednak celem zabezpieczenia się na wypadek niemożliwości wykorzystania którejś z tych rejestracji do obliczenia okresów, starano się wykonywać rejestrację drugą i przedostatnią również z sygnałami czasu. Poza tym, dla obliczenia przybliżonego okresu wahadeł, jedną z rejestracji na danym punkcie wykonywano z 2-3 minut trwającymi radiowymi sygnałami czasu.

Celem wyznaczenia współczynnika współdrgań statywu, obserwowano zjawisko rozkołysania spokojnie wiszących wahadeł 2 i 3 przez wahadła 1 i 4, którym nadawano amplitudę 60'. Amplitudy wahadeł rozkołysanych 2 i 3 odczytywano po 15, 20, 25, 30, 35 i 40 minutach od momentu uruchomienia wahadeł rozkołysujących.

Na ogół, po uzyskaniu prawidłowego względnego chodu wahadeł w ramach przygotowań (poz. c, d) przeprowadzano obserwacje, zachowując uzyskaną już stałość warunków obserwacji, a więc nie powtarzając czyszczenia ostrzy ani nie zmieniając położenia statywu. Jednak na 7 stanowiskach, po stwierdzeniu nieregularności w chodzie wahadeł w czasie pierwszych obserwacji, powtórzono czyszczenie ostrzy i poziomowanie statywu, a mianowicie na stanowiskach: Zakopane I po 2 obs., Kasprowy Wierch I po 3 obs., Kraków I po 3 obs., Gdańsk I po 2 obs., Warszawa III po 2 obs., Kraków III po 2 obs. i Gdańsk II po 1 oraz po 6 obs.

Odnośnie wykonania założeń programu obserwacji należy stwierdzić, że długości interwałów czasu obserwacji z przyczyn technicznych (program nadawania sygnałów i zakłócenia w nadawaniu czy w odbiorze sygnałów) wahają się od 5 do 7 godzin, przy czym przeważają obserwacje 6-godzinne, a średnie długości obserwacji na stanowiskach nie odbiegają od 6 godzin więcej jak 0,2 godz. Ilość powtórzeń obserwacji na stanowisku (5 serii) naogół została utrzymana. Jedynie na stanowisku Kraków III otrzymano ostatecznie 4 serie obserwacji, a to z powodu nie nadania przez kilka godzin sygnałów czasu, zaś na stanowiskach Gdańsk I wykonano 7 serii obserwacji i Gdańsk II 8 serii, gdzie celowo zwiększono ilość obserwacji ze względu na zauważone nieregularności w chodzie wahadeł. Pod względem termicznym punkty obserwacyjne w Warszawie, Zakopanem i Kuźnicach w zupełności spełniały wymagania. Natomiast temperatury pomieszczeń obserwacyjnych w Krakowie i Gdańsku sztucznie podniesiono przy pomocy grzejników elektrycznych, zaś na Kasprowym Wierchu, z powodu niemożności wyłączenia centralnego ogrzewania w sąsiednich pomieszczeniach, jak również ze względu na znaczne wahania temperatury zewnątrz budynku, temperaturę regulowano w czasie obserwacji przez odpowiednie uchylenie wywietrznika. Ostatecznie otrzymano maksymalną rozbieżność średnich temperatur na sąsiednich stanowiskach — $1,2^{\circ}$ C.

Wszystkie obserwacje wykonano w ciśnieniu około 10 mm sł. rt., przy czym należy podkreślić doskonałą szczelność aparatu w czasie obserwacji. Co prawda dwukrotnie zaszła konieczność uszczelnienia klosza przez założenie nowych smarów na osiach korby aretażu i mechanizmu do nadawania amplitudy, jednak w rezultacie uzyskano średni wzrost ciśnienia w czasie obserwacji 6-godzinnej — 0,15 mm. Pozwoliło to oczywiście na uzyskanie nieznacznych rozbieżności ciśnień na poszczególnych stanowiskach, a mianowicie średnie wartości ciśnień na stanowiskach zawarte są w granicach 8,6 — 10,0 mm sł. rt., zaś średnia różnica ciśnień między sąsiednimi stanowiskami wyniosła 0,4 mm sł. rt.

Jako środka lokomocji używano autokaru, którym przewożona była aparatura pomiarowa i zespół obserwatorów. Zwracano przy tym uwagę na takie umieszczenie walizki z wahadłami, które najlepiej amortyzowało wstrząsy, a mianowicie trzymano ją na kolanach, względnie kładziono na grubej warstwie materaców, ułożonych na jednym z przednich siedzeń samochodu. Jedynie przy dwóch przejazdach, a mianowicie Warszawa III — Kraków II i Warszawa IV — Gdańsk II wahadła przewożone były samolotem. Z przelotów tych nie można jeszcze wyciągnąć wniosków co do oceny tego środka lokomocji pod kątem wpływu transportu na wahadła inwarowe. Na odcinku Kuźnice — Kasprowy Wierch aparatura przewożona była kolejką linową.

6. Służba 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 Q_6 , nadawanych co godzinę w postaci sześciu sekundowych kropek, i sygnałów Q_7 nadawanych w lipcu dla obserwacji astronomicznych. Stosowano przy tym regułę rozpoczynania i kończenia danej obserwacji na tego samego rodzaju sygnałach. Aparatury, z których nadawane były obydwa rodzaje sygnałów, sterowane były przez ten sam zegar kwarcowy Q_{11} . Przy obserwacjach na punkcie Warszawa, w Pracowni Grawimetrycznej Politechniki Warszawskiej, używano tych samych sygnałów przesyłanych z G.U.M. drogą kablową. Ponieważ na taśmie rejestracyjnej przy pomocy oscylografu rejestrowane były sygnały odbierane z wyjścia słuchawkowego radioodbiornika, względnie otrzymywane z G.U.M. drogą kablową, zegarem roboczym w całym cyklu obserwacyjnym był zegar kwarcowy Q_{11} i 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 wskazaniami drugiego zegara kwarcowego Q_{10} w sposób ciągły oraz dwa razy na dobę, o godz. 11⁰⁰ i 19⁰⁰, z zagranicznymi sygnałami czasu GBR i MSF. Materiał ten pozwolił na wyprowadzenie redukcji okresów wahadeł ze względu na chód zegara.

7. Redukcja zaobserwowanych okresów wahadeł

7. 1. Redukcja okresów do nieskończenie małej amplitudy

Zaobserwowane okresy poszczególnych wahadeł zredukowano do nieskończenie małej amplitudy wg wzoru

$$\Delta T_{a} = -\frac{T'}{16(\rho')^{2}} \left(\frac{a_{p} + a_{k}}{2}\right)^{2} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{a_{p} - a_{k}}{a_{p} + a_{k}}\right)^{2} - \frac{4}{45} \left(\frac{a_{p} - a_{k}}{a_{p} + a_{k}}\right)^{4}\right]$$

gdzie

 a_p — amplituda początkowa wahadła w minutach łuku, a_k — amplituda końcowa wahadła w minutach łuku T' — przybliżony okres wahadła w jednostkach 10^{-7} sek. $\frac{T'}{16 (p')^2} = 0,0262$

Wartości redukcji określano z tablic ułożonych według wyżej podanego wzoru. Tablice te podają wartości ΔT_a dla wahadeł o okresie 0,4955 sek., według argumentów amplitudy początkowej a_p i końcowej a_k w granicach dla a_p 28 — 31' i a_k 5 — 16' w interwałach co 0',1. Wartość redukcji ΔT_a podana jest w jednostkach 10⁻⁷ sek. z dokładnością 0,1 jednostki.

W nielicznych wypadkach, gdy amplituda końcowa była większa od 16', redukcję ΔT_a obliczano bezpośrednio ze wzoru.

7. 1. Redukcja okresów ze względu na współdrganie statywu

Wpływ współdrgania statywu s na okres pojedyńczo wahającego się wahadła wyznaczano z obserwacji amplitud wahadła rozkołysującego i drugiego, będącego na początku obserwacji w spoczynku. Wielkość tego wpływu obliczano ze wzoru

$$s = \frac{a_2}{a_1} \frac{T^2}{\pi t}$$

gdzie: a, — amplituda wahadła rozkołysującego,

- a., amplituda wahadła rozkołysanego,
- T okres wahadeł,
- t czas obserwacji amplitud od momentu puszczenia wahadeł.

Współdrgania statywu wyznaczano między poszczególnymi obserwacjami i do redukcji przyjmowano s średnie ze wszystkich wyznaczeń na stanowisku. Wartość s dla poszczególnych stanowisk wahała się dla pary 1-2 od 7,0 do $9,2 \cdot 10^{-7}$ sek. a dla pary 3-4 od 9,0 do $11,5 \cdot 10^{-7}$ sek

Redukcje okresów ze względu na współdrganie statywu, dla wahadeł wahających się parami, obliczono według wzoru:

$$\Delta T_{s_i} = s \left[-1 + \frac{\left(\frac{a}{a_i}\cos\varphi\right)_p + \left(\frac{a}{a_i}\cos\varphi\right)_k}{2} \right]$$

gdzie:

indeks i oznacza wahadło, dla którego oblicza się redukcję,

wartości T i a nieoznaczone odnoszą się do wahadła drugiego z pary,

 φ — oznacza różnicę faz plus 180° (cos $\varphi > 0$)

indeks p oznacza początek interwału, k — koniec interwału.

Różnice faz obliczano z wzajemnego położenia wahadeł w parach na taśmie rejestracyjnej.

Wzór powyższy stosowano dla częściowych, dwugodzinnych interwałów obserwacji, w których można już uważać, że wartość chwilowej redukcji $\Delta T_{s_i} = s \left(-1 + \frac{a}{a_i} \cos \varphi\right)$ zmienia się liniowo. W wypadku gdy chód wahadeł był nieregularny, co można było zauważyć na taśmie rejestracyjnej, obliczano redukcje ΔT_s z interwałów godzinnych.

Jako ostateczną wartość redukcji brano średnią arytmetyczną, otrzymaną z kolejnych interwałów częściowych. W wypadku interwałów nierównych, obliczano średnią, uwzględniając wagi proporcjonalne do długości interwałów częściowych obserwacji.

W dwóch obserwacjach, przy których chód wahadeł zarejestrowany był tylko na początku i na końcu, obliczono redukcje na współdrganie statywu ze wzoru:

$$\Delta T_{si} = \Delta_i' + \Delta_i''$$

$$\Delta_i' = -s \left\{ 1 - \frac{\left(\frac{a}{a_i}\right)_p + \left(\frac{a}{a_i}\cos\varphi\right)_k}{2} \right\}$$

$$\Delta_i'' = \frac{s\pi^2 \Delta t^2}{12T_{4r}^4} (T - T_i) \left\{ (T - T_i) + 2s \right\}$$

gdzie Δt — czas trwania obserwacji, a inne oznaczenia — te same co przy wzorze poprzednim.

Przeciętna wartość bezwzględna redukcji ΔT_s dla poszczególnych wahadeł była rzędu 0,3 · 10⁻⁷ sek, przy czym maksymalna wartość nie przekraczała 0,7 · 10⁻⁷ sek. Wartość redukcji dla wahadła średniego była mniejsza od 0,1 · 10⁻⁷ sek.

7. 3. Redukcja okresów ze względu na temperaturę

Zaobserwowane okresy wahadeł zredukowano do temperautry $15^{\circ}\ {\rm C}$ według wzoru

$$\Delta T_t = \alpha \left(t - 15^0 \right) + \alpha_{\Lambda t} \cdot \Delta t / 1'$$

stosując współczynniki wyznaczone w trakcie badania (rozdz. 3.3)

$$\alpha_{1} = -2.74 \cdot 10^{-7} \text{ sek/1 °C}$$

$$\alpha_{2} = -1.49 \quad \text{,}$$

$$\alpha_{3} = -2.85 \quad \text{,}$$

$$\alpha_{4} = -1.67 \quad \text{,}$$

$$\alpha_{\Delta t} = +2.4 \cdot 10^{-7} \text{ sek/1 °C/1}^{h}$$

Temperaturę średnią t obserwacji obliczano z wykonywanych co godzinę odczytów termometru umieszczonego wewnątrz klosza.

Przeciętny przyrost temperatury w czasie obserwacji na jedną godzinę wynosił 0,03°C, maksymalny 0,2°C.

7. 4. Redukcja okresów ze względu na ciśnienie

Zaobserwowane okresy wahadeł zredukowano do ciśnienia zerowego przy pomocy tablic ułożonych wg wzoru

$$\Delta T_d = k_1 d + k_2 \sqrt{d}$$
$$d = \frac{b}{1 + 0.00367 t}$$

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

t — temperatura powietrza w °C,

 $k_1 = -0.775 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$ $k_2 = -4.99 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$

Współczynniki k_1 i k_2 wyznaczono empirycznie w trakcie badania aparatury (rozdz. 3.3). Wpływ wilgotności powietrza pominięto, gdyż w niskich ciśnieniach, dla jakich ułożono tablice, jest on praktycznie równy zeru. Tablice podają wartości redukcji ΔT_d z dokładnością $0,1 \cdot 10^{-7}$ sek, jako funkcję dwóch zmiennych b i t, a mianowicie dla b w zakresie od 8,0 do 13,0 mm sł. rt., w interwałach co 0,1 mm, zaś dla t w zakresie od 5° do 30°C, w interwałach co 5°C.

Redukcje zaobserwowanych okresów określano przez liniową interpolację wyżej opisanych tablic dla wartości argumentu b, równej średniemu ciśnieniu powietrza pod kloszem dla danej obserwacji (ciśnienie



Rys. 20. Wykres chodu zegara kwarcowego Q₁₁

odczytywano co godzinę) i wartości argumentu t, równej temperaturze powietrza pod kloszem.

7. 5. Redukcje okresów ze względu na chód zegara.

Z dostarczonego przez Pracownie Czasu Głównego Urzędu Miar materiału obserwacyjnego wskazań zegara kwarcowego Q11, który dla naszych obserwacji był zegarem roboczym, względem wskazań zegara kwarcowego Q₁₀ i sygnałów czasu GBR i MSF, wyprowadzono chód dobowy (przyspieszenie na 24 godziny) zegara Q₁₁ względem zegara Q₁₀ i zegarów, z których nadawane były sygnały GBR i MSF. Z uzyskanych wyników sporządzono wykres (rys. 20), który stanowi podstawę dalszego postępowania. Widoczna na wykresie prawie zupełna zgodność chodów zegarów GBR i MSF prowadzi do wniosków, że zupełnie wystarczającym dla naszych celów będzie oparcie obserwacji na tych zegarach. Dla określenia różnicy przyspieszeń na dwóch stanowiskach konieczna jest jedynie stałość chodu zegara, do którego odniesione są obserwacje okresów wahadeł. Przyjmując, że stałość chodów zegarów GBR i MSF w okresie przeprowadzania przez nas pomiarów była zachowana w granicach rozbieżności ich chodów względem siebie, można było redukcje zaobserwowanych okresów oprzeć na tych zegarach. Potwierdziła to w zupełności przeprowadzana później analiza błędów redukcji. Ewentualne wprowadzenie dalszej redukcji okresów wahadeł, ze względu na poprawki astronomiczne sygnałów GBR i MSF, miałoby jedynie znaczenie dla analizy stałości okresów wahadeł w dłuższym okresie czasu.

Tak więc, redukcję okresów wahadeł, ze względu na chód zegara roboczego Q_{11} , oparto na sygnałach czasu GBR i MSF, obliczając wg wzoru

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

gdzie chód zegara $Q_{11} = (\Delta u/24^h)$ w sekundach określono względem zegarów GBR i MSF z wykresu na średni moment obserwacji. Jako ostateczną wartość redukcji, przyjmowano średnią z obliczonych względem tych dwóch zegarów odniesienia.

7. 6. Zestawienie wyników obserwacji i redukcji

W tablicy 1 zestawiono następujące dane obserwacyjne: data i czas obserwacji, średnie wartości odczytów temperatury t i ciśnienia b powietrza pod kloszem, szybkość zmian temperatury w czasie obserwacji $\Delta t/1^h$, amplitudy początkowe a_p i końcowe a_k wahadeł oraz zaobserwowane okresy poszczególnych wahadeł T'. Podano również, wyznaczone na poszczególnych stanowiskach, wpływy współdrgań statywu na okresy pojedyńczo wahających się wahadeł dla pary 1-2 — $S_{1,2}$ i dla pary 3-4 — $S_{3,4}$ w jednostce 10^{-7} sek. Następnie zestawiono wartości wszystkich redukcji zaobserwowanych okresów wahadeł (jedn. 10^{-7} sek.), zaś w ostatniej rubryce tablic podano zredukowane okresy poszczególnych wahadeł i wahadła średniego.

8. Analiza zredukowanych okresów wahadeł

8. 1. Obliczenie średnich błędów z wewnętrznych zgodności wyników na stanowiskach

Zredukowane okresy poszczególnych wahadeł i wahadła średniego zestawiono w tablicy 2. Celem przygotowania do obliczeń różnic przyspieszeń, wyliczono średnie wartości okresów na danym stanowisku, które nazwano średnimi stacyjnymi. Ponieważ naogół na stanowisku wykonanych było 5 serii obserwacji, przyjęto przypisywać w przyszłości wszystkim średnim stacyjnym jednakowe wagi. Z wewnętrznych zgodności obserwacji na stanowisku obliczono z całego cyklu obserwacji średni błąd pojedynczego pomiaru okresu dla pojedynczego wahadła

$$m_o = \pm 1.9 \cdot 10^{-7} \, \text{sek}.$$

zaś dla wahadła średniego

$$M_o = \pm 1.3 \cdot 10^{-7}$$
 sek.

Na błąd m_0 składają się błędy czysto przypadkowe μ i błędy wspólne czterech wahadeł \varkappa (błąd czasu, ciśnienia, temperatury), zatem

$$m_0^2 = \mu^2 + x^2 = 3,48$$

 $M_0^2 = \frac{1}{4}\mu^2 + x^2 = 1,72$

skąd czysto przypadkowa część błędu $m_0 \mu = \pm 1.5$. 10^{-7} sek. zaś systematyczna część błędu $m_0 \varkappa = \pm 1.1$. 10^{-7} sek.

WYNIKI OBSERWACJI

Stanowisko <i>s</i>	Data godz.	Nr wah.	t °C	${\Delta t/1^h} {}^{ m oC}$	b mm	a_p	a _k
Warszawa Politechnika I $s_{1,2} = \frac{8,1}{100}$	1956 r. 30.6 7 ⁰⁰ —13 ⁰⁰	1 2 3 4	17,99	+ 0,02	10,05	29,8 30,0 29,8 29,9	, 14,0 16,0 14,9 14,2
s _{3,4} = 10,0	80.6 14 ⁰⁰ —20 ⁰⁰	1 2 3 4	18,17	0,00	10,30	29,3 29,3 29,1 29,2	! 4,2 14,3 14,4 13,9
	2.7 7 ⁰⁰ —13 ⁰⁰	1 2 3 4	17,71	+ 0,03	8,80	29,6 29,6 29,7 29,7	13,9 16,9 15,5 15,5
	2. 7 14 ⁰⁰ —20 ⁰⁰	1 2 3 4	17,89	+ 0,02	8,80	29,8 29,6 29,6 29,5	15,0 16,0 14,4 15,8
	3. 7 7 ³⁰ —13 ³⁰	1 2 3 4	18,09	+ 0,02	9,00	30,5 30,6 30,6 50,5	16,2 16,2 16,9 15,1
Zakopane I $s_{1,2} = 8,7$ $s_{3,4} = 9,8$	6—7.7 19 ³⁰ —0 ³⁰	1 2 3 4	15,08	— 0,04	9,65	29,0 29,0 29,1 29,2	15,2 16,0 15,8 15,7
	7.7 100 <u>7</u> 06	1 2 3 4	15,00	0,00	10,00	29,7 30,0 29,7 30,4	14,0 14,6 14,8 14,2
	7.7 8 ⁰⁰ —14 ⁰⁰	1 2 3 4	15,23	0,02	9,95	28,8 29.2 28,8 29,7	12,8 13,6 13,0 13,1
	7.7 17 ⁰⁰ —23 ⁰⁰	1 2 3 4	15,24	0,07	9,50	29,2 29,2 29,2 29,3	13,2 13.6 13,4 13,4
	8.7 1 ⁰⁰ 7 ⁰⁰	1 2 3 4	15,22	0,00	9,70	29,2 29,4 29,3 29,4	13,0 13,4 13,2 13,2

I REDUKCJI

Tablica 1

T' sek.	ΔT_{a}	ΔT_s	ΔT_{i}	$\Delta T_{\Delta t}$	ΔT_d	ΔT_{u}	T sek.
0,4955 541.7 538.8 541.5 541.2	-12.0 -13.4 -12.6 -12.2	+0.5 - 0.6 - 0.0	-8.2 4.5 8.5 5.0	0.0 0.0 0.0 0.0	-22.6 -22.6 -22.6 -22.6 -22.6	0.0 0.0 0.0 0.0	0,4955 499.4 497.7 497.8 501.4 499.1
548.9 538.8 541.3 539.8	$-11.9 \\ -11.9 \\ -11.9 \\ -11.6$	$0.0 \\ - 0.1 \\ - 0.3 \\ + 0.3$	-8.7 -4.7 -9.0 -5.3	0.0 0.0 0.0 0.0	23.0 23.0 23.0 23.0	0.0 0.0 0.0 0.0	500.3 499.1 497.1 500.2 499.2
538.3 533.6 536.8 536.8	$-11.8 \\ -13.8 \\ -12.9 \\ -12.9$	+0.6 - 0.6 + 0.1 - 0.1	- 7.4 4.0 7.7 4.5	+ 0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1	-20.7-20.7-20.7-20.7-20.7	0.0 0.0 0.0 0.0	499.1 494.6 495.7 498.7 497.0
540.8 535.3 538.2 538.9	$-12.7 \\ -13.2 \\ -12.2 \\ -13.0$	+0.3 -0.4 +0.5 -0.4		0.0 0.0 0.0 0.0	- 20.7 - 20.7 - 20 7 - 20.7	0.0 0.0 ().0 0.0	499.8 496.7 497.6 500.0 498.5
541.0 536.7 540.1 539.1	$-13.8 \\ -13.9 \\ -14.4 \\ -13.1$	$0.0 \\ -0.1 \\ -0.5 \\ +6.5$	-8.5 -4.6 -8.8 -5.2	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0$	0.0 0.0 0.0 0.0	497.7 497.1 495.4 500.3 497.6
0,4956 643.8 642.2 641.8 646.8	-12.4 -12.9 -12.8 -12.8 -12.8	+0.2 - 0.2 - 0.0 - 0.0 - 0.0 - 0.0	-0.2 -0.1 -0.2 -0.1	-0.1 -0.1 -0.1 -0.1	$-22.2 \\ -22.2 \\ -22.2 \\ -22.2 \\ -22.2$	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	0,4956 609.2 606.8 606.6 611.7 608.6
642.4 642.4 641.6 647.2	-12.0 -12.5 -12.5 -12.4	+0.3 - 0.2 - 0.0 - 0.1	0.0 0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0 0.0	$-22.7 \\ -22.$	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	608.1 607.1 606.5 612.1 608.4
644.8 643.4 644.1 649.5	10.8 11.4 10.9 11.4	+0.2 - 0.3 + 0.2 - 0.2	-0.6 -0.3 -0.6 -0.4	0.0 0.0 0.0 0.0	22 7 22.7 22.7 22 7	+ 0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1	611.0 608.8 610.2 614.9 611.2
644.8 642.6 643.3 648.3	$-11.2 \\ -11.4 \\ -11.3 \\ -11.4$	$+ 0.2 \\ - 0.2 \\ 0.0 \\ 0.0$	$-0.7 \\ -0.4 \\ -0.7 \\ -0.4$	-0.2 -0.2 -0.2 -0.2	$-22.0 \\ -22.0 \\ -22.0 \\ -22.0 \\ -22.0$	+0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.2	611.1 608.6 609.3 614.5 610.9
644.2 642.3 642.7 647.9	-11.1 -11.4 -11.2 -11.3	+0.2 - 0.2 - 0.1 - 0.1 - 0.0		0.0 0.0 0.0 0.0	$ \begin{array}{r}22.3 \\22.3 \\22.3 \\22.3 \\22.3 \\ \end{array} $	+0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.2	610.6 608.3 608.7 614.1 610.4

Stanowisko <i>s</i>	Data godz.	Nr wah.	t °C	$\Delta t 1^h$ "C	b mm	a _p	a,
Kasprowy Wierch I $s_{1,2} = 8,3$ $s_{3,4} = 11,5$	9—10. 7 19 ³⁰ —0 ³⁰	1 2 3 4	17,57	- 0,02	8,10	, 29,4 29,3 29,4 28,8	, 15,4 16,0 15,4 15,2
	10. 7 8 ⁰⁰ 14 ⁰⁰	1 2 3 4	17,78	+ 7,05	8,70	30,1 30.0 30,0 30,0	14,6 15,0 14.8 14.8
	10. 7 16 ⁰⁰ 22 ³⁰	1 2 3 4	18,21	- 0,03	9,00	29,6 29,1 29,2 29,1	12,1 13,0 12,3 12,3
	11.7 1 ⁰⁰ —7 ⁰⁰	1 2 3 4	18,00	+ 0,05	9,40	29,4 29,1 29,0 29,0	13,2 14,0 13,4 13,2
	11.7 8 ⁰⁰ —15 ⁰⁰	1 2 3 4	18,22	0,00	9,70	30,6 29,8 29,9 29,8	11,6 12,1 11,8 11,8
Kuźnice I $s_{1,2} = 9,2$ $s_{3,4} = 11,3$	12.7 7 ⁰⁰ —14 ⁰⁰	1 2 3 4	15,88	+ 0,01	8,55	29,2 29,4 29,2 29,0	12,1 13,2 12,6 12,4
	12. 7 16 ⁰⁰ 21 ⁰⁰	1 2 3 4	15,50	0,02	8,60	28,9 29,2 29,0 28,8	15,8 16,4 16,0 16,2
	$\frac{12-13}{22^{00}-5^{10}}$	1 2 3 4	17,78	+ 0,01	8,60	29,7 29,7 29,7 29,6	11,5 12,4 11,7 11,4
	13.7 6 ⁰ —11 ⁰⁰	1 2 3 4	15,77	- 0,04	8,70	29,0 29,1 29,0 28,8	15,4 16,4 16,0 15,6
	13.7 13 ⁰⁰ —18 ⁰⁰	1 2 3 4	15,82	0,00	8,90	29,0 29,2 29,0 28,9	15,2 16,5 16,0 15,6

D. c. tablicy 1

T' sek.	ΔT_a	ΔT_s	ΔT_{t}	ΔT_{Δ} .	ΔT_d	ΔT_u	T sek.
0,4957 283.6 279.3 286.5 288.2	$-12.7 \\ -13.0 \\ -12.7 \\ -12.3$	+0.1 -0.1 -0.2 -0.2	$ \begin{array}{r} -7.0 \\ -3.8 \\ -7.3 \\ -4.3 \end{array} $	0.0 0.0 0.0 0.0	-19.6 19.6 19.6 19.6	+0.2 +0.2 +0.2 +0.2 +0.2	0,4957 244.6 243.0 246.9 252.4 246.7
287.1 281.1 289.3 290.5	$ \begin{array}{c} - 12.6 \\ 12.8 \\ - 12.6 \\ - 12.6 \\ \end{array} $	0.0 0.0 0.0 0.0	7.6 4.1 7.9 4.6	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	20.6 20.6 20.6 20.6	+ 0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.2	246.6 243.9 248.5 253.0 248.0
290.1 285.3 289.8 290.8	-10.7 - 11.0 - 10.6 - 10.6	$- \begin{array}{c} 0.0 \\ 0.1 \\ 0.0 \\ 0.0 \end{array}$	-8.8 -48 -9.1 5.4	-0.1 -0.1 -0.1 -0.1	21.0 21.0 21.0 21 0	+0.3 +0.3 +0.3 +0.3	249,8 248.6 249.3 254.0 250.4
290.5 286.0 290.8 291.9	$- 11.3 \\ - 11.7 \\ - 11.2 \\ - 11.1$	-0.2 + 0.1 - 0.0 - 0.0 - 0.0	8.2 4.5 8.6 5.0	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	-21.7-21.7-21.7-21.7-21.7	+0.4 +0.4 +0.4 +0.4	249.8 248.7 249.6 254.4 250.6
291.3 285.9 291.1 292.1	10.8 10.8 10.6 10.6	0.2 0.0 0.0 0.0	8 8 4.8 9.2 5.4	0.0 0.0 0.0 0.0	$\begin{array}{r} - 22.1 \\ - 22.1 \\ - 22.1 \\ - 22.1 \\ - 22.1 \end{array}$	+0.4 +0.4 +0.4 +0.4	249.8 248.6 249.6 254.4 250.6
0,4956 729.8 727.1 729.8 733.1	-10.5 -11.3 -10.8 -10.6	+ 0.3 - 0.4 - 0.0 + 0.1	-1.0 -0.6 -1.1 -0.6	0.0 0.0 0.0 0.0	20.5 20.5 20.5 20.5	+0.4 +0.4 +0.4 +0.4	0,4956 698.5 694.7 697.8 701.9 698.2
731.3 727.1 730.2 734.3	- 12.8 - 13.3 - 12.9 - 12.9	$+0.3 - 0.1 \\ 0.0 \\ 0.0$	-1.4 - 0.7 - 1.4 - 0.8	0.0 0.0 0.0 0.0	20.6 20.6 20.6 20.6	+0.4 +0.4 +0.4 +0.4	697.2 692.8 695.7 700.4 696.5
732.8 728.0 731.2 734.4	$-10.4 \\ -10.9 \\ -10.5 \\ -10.2$	+0.2 - 0.3 - 0.1 - 0.0	-2.1 -1.2 -2.2 -1.3	0.0 0.0 0.0 0.0	20.6 20.6 20.6 20.6	+ 0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.4	700.3 695.4 698.2 702.7 699.2
734.6 729.3 733.1 735.6	$-12.5 \\ -13.2 \\ -12.9 \\ -12.5$	$0.0 \\ - 0.1 \\ - 0.1 \\ + 0.1$	2.1 1.1 2.2 1.3	0.1 0.1 0.1 0.1	20.7 20.7 20.7 20.7	+0.4 +0.4 +0.4 +0.4	699.6 694.5 697.5 701.5 698.3
733.9 729.5 732.8 735.6	$-12.4 \\ -13.3 \\ -12.9 \\ -12.6$	+0.3 - 0.3 - 0.0	-2.2 -1.2 -2.3 -1.4	0.0 0.0 0.0 0.0	$\begin{array}{r} 21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \end{array}$	+0.4 +0.4 +0.4 +0.4	699.0 694.1 697.0 701.0 697.8

Stanowisko <i>s</i>	Data godz.	Nr wah.	t °C	$\Delta t/1^{h}$ °C	b mm	ap	а. к
Zakopane II $s_{1,2}=7,2$ $s_{3,4}=9,6$	14.7 14 ⁰⁰ —19 ⁰⁰	1 2 3 4	15,80	0,00	9,40	, 29,7 30,0 29,8 29,8	, 15.1 15,7 15,5 15,3
	16.7 9 ⁰⁰ —15 ⁻⁰	1 2 3 4	15,88	+ 0,02	8,85	29,1 29,3 29,2 29,3	13,2 14,0 13,7 13,5
	16.7 16 ⁰⁰ —21 ³⁰	1 2 3 4	15,98	+ 0,02	9,15	29,2 29,4 29,2 29,4	14,2 14,8 14,3 14,4
	16—17.7 22 ⁰⁰ —5 ⁰⁰	1 2 3 4	16,14	+ 0,03	9,30	29,0 29,2 29,0 29,0	11,8 12,4 12.1 12,0
	17.7 6 ⁰⁰ —13 ⁰⁰	1 2 3 4	16,32	0,00	9,40	29,0 29,2 29,2 29,1	10,8 11,5 11,2 11,2
Kuźnice II s _{1,2} = 8,5 s _{3,4} = 10,8	18.7 13 ⁰⁰ —19 ⁰⁰	1 2 3 4	16,09	— 0,03	9,95	28,8 29,0 29,0 29,0	13,3 13,9 14,2 13,6
	18—19.7 19 ³⁰ —0 ³⁰	1 2 3 4	16,15	+ 0,04	10,00	29,6 29,7 29,6 29,7	15,4 16,0 15,9 15,8
	19.7 1 ⁰⁰ —7 ⁰⁰	1 2 3 4	16,08	— 0,03	10,20	29,6 29,7 29,5 29,6	13,4 14,4 14,1 13,8
	19.7 8 ⁰⁰ —14 ⁰⁰	1 2 3 4	16,00	0,03	10, 4 0	28,8 29,0 28,9 28,8	12,9 13,4 13,1 13,0
	19.7 15 ⁰⁰ —22 ⁰⁰	1 2 3 4	15,98	0,00	8,70	29,0 29,0 29,0 29,0 29,0	12,4 18.7 12,9 12,9

163

D.	c.	tablicy	1

T' sek.	ΔT_a	ΔT_s	ΔT_{t}	$\Delta T_{\Delta t}$	ΔT_d	ΔT_u	T sek.
0,4956 646.2 644.5 647.4 649.0	$-12.7 \\ -13.2 \\ -13.0 \\ -12.9$	+0.2 -0.1 -0.1 0.0	-2.2 -1.2 -2.3 -1.3	0.0 0.0 0.0 0.0	-21.8 -21.8 -21.8 -21.8 -21.8	+ 0.5 + 0.5 + 0.5 + 0.5	0,4956 610.2 608.7 610.7 613.5 610.8
642.8 640.9 643.9 646.6	$-11.1 \\ -11.8 \\ -11.5 \\ -11.4$	+0.1 - 0.1 - 0.0 - 0.0 - 0.0	-2.4 1.3 2.5 1.5	0.0 0.0 0.0 0.0	-20.9-20.9-20.9-20.9-20.9	+0.6 +0.6 +0.6 +0.6	$\begin{array}{c} 609.1 \\ 607.4 \\ 609.6 \\ 613.4 \\ 609.9 \end{array}$
647.6 644.1 647.6 650.3	$-11.8 \\ -12.3 \\ -11.9 \\ -12.1$	+0.2 - 0.2 = 0.0 - 0.1	-2.7 -1.5 -28 -1.6	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.4 \\ -21.4 \\ -21.4 \\ -21.4 \\ -21.4$	+0.6 +0.6 +0.6 +0.6 +0.6	612.5 609.3 612.1 615.7 612.4
646.6 643.6 647.1 649.9	$-10.2 \\ -10.7 \\ -10.4 \\ -10.4$	+0.2 - 0.2 - 0.0	$ - 3.1 \\ - 1.7 \\ - 3.2 \\ - 1.9 $	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	$-21.6 \\ -21.6 \\ -21.6 \\ -21.6 \\ -21.6$	+0.7 + 0.7 + 0.7 + 0.7	612.7 610.2 612.7 616.8 613.1
646.7 643.9 646.8 649.2	$\begin{array}{r} - & 9.6 \\ - & 10.1 \\ - & 10.0 \\ - & 9.9 \end{array}$	+0.2 -0.2 0.0 0.0	$ \begin{array}{r}3.6 \\2.0 \\3.8 \\2.2 \end{array} $	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.7 \\ -21.7 \\ -21.7 \\ -21.7 \\ -21.7$	+0.7 +0.7 +0.7 +0.7	612.7 610.6 612.0 616.1 612.8
0,4956 739.3 731.0 737.2 738.0	-11.1 -11.5 -11.7 -11.4	+0.1 -0.3 -0.2 +0.2	-3.0 - 1.6 - 3.1 - 1.8	0.1 0.1 0.1 0.1	-22.6 -22.6 -22.6 -22.6	+0.8 +0.8 +0.8 +0.8	0,4956 703.4 695.7 700.3 703.1 700.6
787.3 781.2 786.7 787.8	$-12.8 \\ -13.3 \\ -13.1 \\ -13.1$	$0.0 \\ - 0.1 \\ - 0.1 \\ - 0.1$	3.2 1.7 3.3 1.9	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	$-22.6 \\ -22.6 \\ -22.6 \\ -22.6 \\ -22.6$	+0.8 + 0.8 + 0.8 + 0.8 + 0.8	699.6 694.4 698.5 701.0 698.4
735.5 731.0 735.4 737.9	$-11.5 \\ -12.2 \\ -11.9 \\ -11.8$	$+0.3 \\ -0.3 \\ -0.1 \\ +0.1$	-3.0 -1.6 -3.1 -1.8	$-0.1 \\ -0.1 \\ -0.1 \\ -0.1$	$ \begin{array}{r} -22.9 \\ -22.9 \\ -22.9 \\ -22.9 \\ -22.9 \\ \end{array} $	+0.8 +0.8 +0.8 +0.8	699.1 694 7 698.1 702.2 698.5
738.6 731.4 735.3 738.4	$ \begin{array}{c} -10.8 \\ -11.2 \\ -11.0 \\ -10.9 \end{array} $	+0.1 - 0.3 - 0.0 - 0.0	-2.7 -1.5 -2.8 1.7	$-0.1 \\ -0.1 \\ -0.1 \\ -0.1$	$ \begin{array}{c}23.2 \\23.2 \\23.2 \\23.2 \\23.2 \end{array} $	+0.9 +0.9 +0.9 +0.9	702.8 696.0 699.1 703.4 700.3
733.9 728.6 732.4 733.7	$ \begin{array}{c}10.6 \\11.4 \\10.9 \\10.9 \end{array} $	$ \begin{array}{c} + \ 0.4 \\ - \ 0.5 \\ + \ 0.1 \\ - \ 0.1 \end{array} $	-2.7 -1.5 -2.8 -1.6	0.0 0.0 0.0 0.0	$ \begin{array}{r}20.7 \\ -20.7 \\ -20.7 \\ -20.7 \\ -20.7 \end{array} $	$ \left \begin{array}{c} + 0.9 \\ + 0.9 \\ + 0.9 \\ + 0.9 \\ + 0.9 \end{array}\right $	701.2 695.4 699.0 701.3 699.2

Stanowisko <i>s</i>	Data godz.	Nr wah.	t °C	$\Delta t/1^{h}$ $^{\circ}C$	b mm		a _k
Kasprowy Wierch II $s_{1,2} = 7,2$ $s_{3,4} = 10,6$	20. 7 15 ⁰⁰ —21 ⁰⁰	1 2 3 4	15,46	— 0,03	9,15	, 29.1 29.2 29,2 29,2	, 12,2 13,0 13,0 12,8
	20—21 .7 22 ³⁰ —5 ⁰⁰	1 2 3 4	16,20	0,00	9,35	27,4 27,4 27,4 27,4 27,4	11,0 11,9 11,4 11,5
	$\begin{array}{c} \textbf{21.7} \\ \textbf{6^{00}} \textbf{11^{00}} \end{array}$	1 2 3 4	16,37	+ 0,04	9,50	29,1 29.2 29,2 29,2	15,9 16,4 16,1 16,2
	$\begin{array}{c} 21.\ 7\\ 14^{00} - 19^{00}\end{array}$	1 2 3 4	16,32	- 0,03	9,60	29,0 29,0 29,0 29,1	15,0 15,5 15'3 15,0
	$21 - 22.7 \\ 23^{00} - 7^{00}$	1 2 3 4	15,93	+ 0,02	9;80	30,2 30,2 30,2 30,3	10,6 11,4 11,0 10,8
Kuźnice III $s_{1,2} = 7,8$ $s_{3,4} = 9,9$	$\begin{array}{c} \textbf{23. 7} \\ \textbf{5}^{00} \textbf{11}^{00} \end{array}$	1 2 3 4	16,16	+ 0,02	9,30	29,0 28,9 29,0 28,8	14,2 14,8 14,4 14,4
	$\begin{array}{c} 23.\ 7\\ 14^{00}-19^{30}\end{array}$	1 2 3 4	16,30	0,00	9,35	26,0 26,1 26,2 25,6	13,0 14,5 13,4 13,3
	24.7 5 ⁰⁰ —11 ⁰⁰	1 2 3 4	16,20	0,00	9,40	28,9 28,9 28,8 28,8 28,8	13,4 14,4 14,2 13,9
	$\begin{array}{c} 24.7 \\ \mathbf{14^{00}-\!\!\!-19^{00}} \end{array}$	1 2 3 4	16,34	+ 0,01	9,40	29,2 29,0 29,1 29,0	16,2 16,6 16,5 16,2
	$\begin{array}{c} 24 - 25.\ 7 \\ 22^{00} - 5^{00} \end{array}$	1 2 3 4	16,38	+ 0,01	9;40	29,9 29,8 29,8 29,7	12.4 13,6 12,7 12,6

D. c. tablicy 1

T' sek.	ΔT_a	ΔT_s	ΔT_t	$\Delta T_{\Delta t}$	ΔT_d	ΔT_u	T sek.
0,4957 277.9 277.7 281.6 281.9	-10.5 -11.1 -11.1 -10.9	+0.2 -0.2 0.0 0.0		-0.1 - 0.1 - 0.1 - 0.1 - 0.1	$-21.4 \\ -21.4 \\ -21.4 \\ -21.4 \\ -21.4$	+ 0.9 + 0.9 + 0.9 + 0.9 + 0.9	0,4957 245.7 245.1 248.6 249.6 247.2
283.5 280.2 283.7 285.4	- 9.1 - 9.5 - 92 9.3	+0.3 - 0.2 - 0.1 - 0.0	3.3 1.8 3.4 2.0	0.0 0.0 0.0 0.0	$-217 \\ -21.7 \\ -21.7 \\ -21.7 \\ -21.7$	+0.8 +0.8 +0.8 +0.8	250.5 247.8 250.1 253.2 250.4
283.1 280.1 283.1 285.6	- 12 9 - 13.3 - 13.1 - 13.1	+0.3 01 +01 0.1	-3.8 -2.0 -3.9 -2.3	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	$\begin{array}{r} -21 \ 9 \\ -2 \ .9 \\ -21 \ 9 \\ -21 \ 9 \\ -21 \ 9 \end{array}$	+0.7 +0.7 +0.7 +0.7	245.6 243 6 245.1 249.0 245.8
285.7 281.8 285 2 287.7	- 12,2 12.6 12.4 - 12.3	0.0 - 0 1 0.0 0.0	8.6 2.0 3.8 2.2	0.1 0.1 0.1 0.1	$-22.1 \\ -22.1 \\ -22.1 \\ -22.1 \\ -22.1$	+0.8 +0.8 +0.8 +0.8	248.5 245.7 247.6 251.8 248.4
282.1 280 1 283.5 285.5	10.0 10.5 10.3 10.2	+0.2 -0.3 -0.1 +0.1	-2.5 -14 2.6 -1.6	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	$\begin{array}{r}22.4 \\22.4 \\22.4 \\22.4 \\22.4 \end{array}$	+0.9 +0.9 +0.9 +0.9 +0.9	248.4 246.5 249.1 252.4 249.1
0,4956 734.0 729.0 731 7 732.8	- 11 7 - 12.1 - 11.9 - 11.8	+0.1 -0.2 -0.1 +0.1	3.2 1.7 3.3 1.9	0.0 0.0 0.0 0.0	-21.6 -21.6 -21.6 -21.6 -21.6	+ 0.9 + 0.9 + 0.9 + 5.9	0,4956 698.5 694.3 695 7 698.5 696.8
735.6 728.2 733.2 733.8	9.6 10.5 10.0 9.6	+0.2 - 0.4 - 0.1 + 0.3	3.6 1.9 - 3.7 2.2	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.7 \\ -21.7 \\ -21.7 \\ -21.7 \\ -21.7$	+ 0.9 + 0.9 + 0 9 + 0.9	701.8 694.6 698.6 701.5 699.1
735.8 730.2 733.6 735.8	$-11.2 \\ -11.8 \\ -11.6 \\ -11.4$	+0.2 0.3 0.1 +0.1	3.3 1.8 3.4 2.0	0.0 0.0 0.0 0.0	$\begin{array}{r}218\\21.8\\218\\21.8\\21.8\end{array}$	+ 0.9 + 0.9 + 0.9 + 0.9	700.6 695.4 697.6 701.6 698.8
736.8 728.9 734.1 734.9	- 13.1 - 13.3 - 13.3 - 13.0	$0.0 \\ 0.0 \\ - 0.1 \\ + 0.1$	-3.7 -2.0 -3.8 -2.2	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.7 \\ -21.7 \\ -21.7 \\ -21.7 \\ -21.7$	+ 1.0 + 1.0 + 1.0 + 1.0	699.3 692.9 696.2 699.1 696.9
735.6 728.7 732.7 734.1	-11.0 - 11.7 - 11.2 - 11.0	+0.1 -0.3 -0.2 +0.1	3.8 2 0 8.9 2.3	0.0 0.0 0.0 0.0	$ \begin{array}{r}21.7 \\21.7 \\21.7 \\21.7 \\21.7 \\ \end{array} $	+1.0 +1.0 +1.0 +1.0	700.2 694.0 696.7 700.2 697.8

Stanowisko &	Data godz.	Nr wah.	t °C	$\Delta t/1^h$ °C	b mm	a_p	a _k
Kraków I $s_{1,2} = 8.7$ $s_{2,4} = 11.2$	26. 7 5 ⁰⁰ —11 ⁰⁰	1 2 3 4	14,81	+ 0,02	9,85	, 30,0 29,8 29,8 29,7	, 18,9 14,2 14,2 13,8
	26. 7 13 ⁰⁰ —19 ⁰⁰	1 2 3 4	15,07	+ 0,03	9,95	29,9 29,9 30,0 29,8	14,2 14,5 14,3 14,2
	26—27. 7 19 ³⁰ —0 ³⁰	1 2 3 4	15,33	0,01	10,10	29,0 29,0 28,9 28,8	15,5 16,2 16,2 15,4
	27. 7 7 ⁰⁰ 14 ⁰⁰	1 2 3 4	15,40	0,00	10,05	29,5 29,4 29,4 29,4 29,4	11,2 11,8 11,5 11,1
	27.7 15 ⁰⁰ —21 ⁰⁰	1 2 3 4	15,39	- 0,01	9,15	30,4 30,2 30,3 30,0	14,6 14.6 14,6 14,2
Warszawa Politechnika II $s_{1,2} = 8.7$	30—31. 7 19 ³⁰ —2 ³⁰	1 2 3 4	19,10	- 0,04	8,15	29,8 29,8 29,8 29,6	14,0 16,0 14,9 14,6
σ _{\$14} = 10,0	81. 7 3 ⁸⁰ 9 ⁸)	1 2 3 4	18,90	0,00	8,40	29,4 29,4 29,4 29,4 29,4	15,4 17,0 15,9 16,2
	31. 7 10 ⁰⁰ —15 ⁰⁰	1 2 3 4	18,90	0,00	8,65	29,2 29,2 29,2 29,2 29,2	16,3 19,0 17,9 17,6
	31. 7 16 ³⁰ —23 ⁰⁰	1 2 3 4	19,00	0,00	8,75	29,2 29,1 29,2 29,2	14,5 15,0 14,3 14,8
	1.8 8 ⁰⁰ —14 ⁰⁰	1 2 3 4	18,79	+ 0,02	9,05	29,4 29,4 29,4 29,4	15,4 17,1 15,8 16,0

T' sek.	ΔT_a	ΔT_s	ΔT_{t}	$\Delta T_{\Delta t}$	ΔT_d	ΔT_u	T sek.
0,4955 994.3 993.9 993.9 993.9 997.7	$-12.0 \\ -12.1 \\ 12.1 \\ -11.8$	+0.1 - 0.1 - 0.1 - 0.0 - 0.0 - 0.0	+ 0.5 + 0.3 + 0.5 + 0.3 + 0.3	0.0 0.0 0.0 0.0		+1.0 +1.0 +1.0 +1.0	0,4955 961.4 960.5 960.8 964.7 961.8
997.8 996.6 996.2 999.7	$-12.2 \\ -12.4 \\ -12.3 \\ -12.1$	+ 0.1 - 0.1 - 0.1 - 0.0 - 0.0	$\begin{array}{rrrr} - & 0.2 \\ - & 0.1 \\ - & 0.2 \\ - & 0.1 \end{array}$	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	$-22.6 \\ -22.6 \\ -22.6 \\ -22.6 \\ -22.6$	+1.0 +1.0 +1.0 +1.0 +1.0	964.0 962.5 962.2 966.0 963.7
998.3 996.3 996.6 999.3	-12.6 -13.0 -13.0 -12.4	+0.2 - 0.2 - 0.2 + 0.2	- 0.9 - 0.5 - 0.9 - 0.6	0.0 0.0 0.0 0.0	-22.9-22.9-22.9-22.9-22.9	+ 1.0 + 1.0 + 1.0 + 1.0 + 1.0 + 1.0	963.1 960.7 960.6 964.6 962,2
1000.8 995.2 998.2 999.6	$-10.1 \\ -10.4 \\ -10.2 \\ -10.0$	$0.0 \\ 0.0 \\ - 0.4 \\ + 0.4$	$\begin{array}{rrrr} - & 1.1 \\ - & 0.6 \\ - & 1.1 \\ - & 0.7 \end{array}$	0 0 0.0 0.0 0.0	$-22.8 \\ -22.$	+0.9 +0.9 +0.9 +0.9 +0.9	967.7 962.3 964.6 967.4 965.5
997.7 992.8 995.0 998.8	$-12.7 \\ -12.6 \\ -12.7 \\ -12.2$	0.0 - 0.1 - 0.2 + 0.1	$\begin{array}{rrrr} - & 1.1 \\ - & 0.6 \\ - & 1.1 \\ - & 0.6 \end{array}$	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.4 \\ -21.4 \\ -21.4 \\ -21.4 \\ -21.4$	+ 0.9 + 0.9 + 0.9 + 0.9 + 0.9 + 0.9	963.4 959.0 960.5 965.6 962.1
0,4955 539.9 532.4 537.0 539.1	-12.0 -13.3 -12.6 -12.3	+0.4 -0.6 -0.1 +0.1	-11.2 - 6.1 - 11.7 - 6.8	-0.1 -0.1 -0.1 -0.1	-19.6 -19.6 -19.6 -19.6	+12 + 1.2 + 1.2 + 1.2 + 1.2 + 1.2	0,4955 498.6 493,9 494 1 501.6 497.0
537.1 534.3 534.5 542.3	-12.7-18.7-13.0-13.2	+0.4 - 0.5 + 0.3 - 0.3	-10.7 -5.8 -11.1 -6.5	0.0 0.0 0.0 0.0	-20.1-20.1-20.1-20.1-20,1	+1.2 +1.2 +1.2 +1.2 +1.2	495.2 495.4 491.8 503 4 496.4
539.2 532.6 538.8 538.9	13.2 15.0 14.3 14.0	+0.5 -0.6 +0.1 -0.1	$-10.7 \\ - 5.8 \\ - 11.1 \\ - 6.5$	0.0 0.0 0.0 0,0	$20.4 \\20.4 \\20.4 \\20.4$	+1.3 +1.3 +1.3 +1.3	496.7 492.1 494.4 499.2 495.6
541.3 532.3 538.8 539.9	$-12.0 \\ -12.3 \\ -11.9 \\ -12.2$	+0.2 - 0.3 + 0.2 - 0.2	-11.0 - 6.0 - 11.4 - 6.7	0.0 0.0 0.0 0.0	$\begin{array}{c}20.6\\20.6\\20.6\\20.6\end{array}$	+1.3 + 1.3 + 1.3 + 1.3 + 1.3	499.2 494.4 496.4 501.5 497.9
540.5 533.2 538.0 540 8	-12.7 -13.8 -13.0 -13.1	+0.4 -0.5 -0.2 +0.2	$-10.4 \\ - 5.6 \\ - 10.8 \\ - 6.3$	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0$	+1.3 +1.3 +1.3 +1.3 +1.3	498.1 493.6 494.3 501.9 497 0

Stanowisko &	Data godz.	Nr w a h.	t ºC	Δt 1 ^h °C	b mm	a_p	a _k
Gdańsk I $s_{1,2} = 7,5$ $s_{3,4} = 9,7$	3.8 6 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	1 2 3 4	16,01	— 0,01	8,40	, 29,0 29,0 29,0 29,1	, 12,7 14,8 14,2 13,2
	3.8 14 ⁰⁰ —19 ⁰⁰	1 2 3 4	16,54	+ 0,12	8,55	28,6 28,6 28,6 28,6	16,2 17,6 16,2 17,6
	3—4.8 23 ⁰⁰ —5 ⁰⁰	1 2 3 4	17,42	+ 0,05	10,10	29,3 29,4 29,4 29,2	13,5 14,4 15,0 13,4
	4.8 6 ⁰⁰ 11 ⁰⁰	1 2 3 4	17,82	+ 0,02	10,60	28,4 28,6 28,6 28,6	15, 3 16,3 15,6 15,8
	5.8 7 ⁰⁰ —13 ⁰⁰	1 2 3 4	17,11	+ 0,10	8,80	29,1 29,4 29,4 29,2	14,4 15,9 15,4 15,2
	5.8 15 ⁰⁰ —21 ⁰⁰	1 2 3 4	17,90	+ 0.07	8,95	29,3 29,3 29,4 29,4	14,2 16,2 15,9 14,7
	5-6.8 $23^{00}-5^{00}$	1 2 3 4	18,05	— 0,02	9,10	29,2 29,2 29,2 29,2 29,2	15,0 16,2 15,2 15,6
Warszawa Politechnika III $s_{1,2} = 8,5$ $s_{2,4} = 11.5$	8.8 7 ⁰⁰ —13 ⁰⁰	1 2 3 4	18,13	+ 0,06	9,60	29,3 29,2 29,3 29,3	13,8 16,2 15,8 14,8
	$\begin{array}{c} 8.8 \\ 14^{00} - 20^{00} \end{array}$	1 2 3 4	18,30	+ 0,02	9,75	29,5 29,5 29,5 29,5	14,4 15,3 15,2 14,4
	8-9.8 21 ³⁰ -3 ³⁰	1 2 3 4	18,36	0,07	9,55	29,4 29,2 29,3 29,2	13,0 14,8 13,3 13,6
D. c. tablicy 1

<i>T</i> '' sek.	ΔT_{a}	ΔT_{s}	ΔT_t	$\Delta T_{\Delta t}$	ΔT_d	ΔT_{u}	T sek.
0,4954 990.9 984.1 987.4 993.7	$-10.8 \\ -12.1 \\ -11.7 \\ -11.1$	+0.1 -0.2 -0.2 +0.1	-2.8 - 1.5 - 2.9 - 1.7	0.0 0.0 0.0 0.0	$-20.2 \\ -20.2 \\ -20.2 \\ -20.2 \\ -20.2$	+ 1.2 + 1.2 + 1.2 + 1.2 + 1.2 + 1.2	0.4954 958.4 951.3 953 6 962.0 956.3
989.0 990.1 992.3 992.2	$-12.8 \\ -13.7 \\ -12.8 \\ -13.7$	+0.2 -0.2 +0.3 -0.3	4.2 2.3 4.4 2.6	+0.3 + 0.3 + 0.3 + 0.3 + 0.3	$\begin{array}{r} - 20.5 \\ - 20.5 \\ - 20.5 \\ - 20.5 \\ - 20.5 \end{array}$	+1.3 +1.3 +1.3 +1.3	953.3 955.0 956.5 956.7 955.4
986.2 992.6 996.1 991.1	$-11.4 \\ -12.1 \\ -12.4 \\ -11.3$	+0.1 -0.2 -0.4 +04	-6.6 -3.6 -6.9 -4.0	+01 +01 +0.1 +0.1	$-22.8 \\ -22.8 \\ -22.8 \\ -22.8 \\ -22.8$	+1.3 +1.3 +1.3 +1.3	946.9 955.3 955.0 954.8 953.0
994.4 990.8 995.1 997.6	$-12.1 \\ -12.9 \\ -12.4 \\ -12.5$	+0.2 - 0.2 + 0.4 - 0.4	$ \begin{array}{r} -7.7 \\ -4.2 \\ -8.0 \\ -4.7 \end{array} $	0.0 0.0 0.0 0.0	23.4 23.4 23.4 23.4	+1.3 +1.3 +1.3 +1.3	952.7 951.4 953.0 957.9 953.8
990.4 986.4 986.9 995.4	11.9 13.0 12.7 12.5	+0.4 -0.4 -0.1 0.0	$ \begin{array}{r}58 \\3.1 \\6.0 \\3.5 \end{array} $	+0.2 +0.2 +0.2 +0.2 +0.2	-20.8 -20.8 -20.8 -20.8	+1.3 +1.3 +1.3 +1.3	953.8 950.6 948.8 960.1 953.3
992.6 992.2 994.5 995.1	- 11.9 - 13.2 - 13.0 - 12.3	$+0.5 \\ -0.5 \\ -0.4 \\ +0.3$	7.9 4 3 8.3 4.8	+0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.2	$-21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0$	+1.4 +1.4 +1.4 +1.4	953.9 954.8 953.4 958.9 955.2
998.1 989.5 993.7 997.6	$-12.3 \\ -13.1 \\ -125 \\ -12.7$	+0.2 - 0.4 + 0.1 - 0.2	8.4 4.5 8 7 5.1	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.2 \\ -21.2 \\ -21.2 \\ -21.2 \\ -21.2$	+ 1.4 + 1.4 + 1.4 + 1.4	957.8 951.7 952.8 959.8 955.5
$\begin{array}{c} 0,4955\\ 535.1\\ 528.0\\ 534.2\\ 540.0\end{array}$	11.6 13.1 12.9 12.3	+0.1 -0.4 -0.3 +0.3	8.6 4.7 8 9 5.2	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	$-22.0 \\ -22 0 \\ -22.0 \\ -22.0 \\ -22.0$	+1.5 +1.5 +1.5 +1.5	0,4955 494.6 489.4 491.7 502.4 494.5
539.0 530 4 536.2 540.6	$-12.1 \\ -12.7 \\ -12.6 \\ -12.1$	$\begin{array}{c c} & 0.0 \\ - & 0.3 \\ - & 0.3 \\ + & 0.2 \end{array}$	9.0 4.9 9.4 5 5	0.0 0.0 0.0 0.0	22.2 22 2 22.2 22.2	+1.5 +1.5 +1.5 +1.5	497.2 491.8 493.2 502.5 496.2
537.3 531.0 538.7 538.8	$ \begin{array}{r}11.2 \\12.2 \\11.3 \\11.4 \end{array} $	+0.5 -0.5 +0.1 -0.1	9.2 5.0 9.6 5.6	$ \begin{array}{r} -0.2 \\ -0.2 \\ -0.2 \\ -0.2 \\ -0.2 \end{array} $	$-21.9 \\ -21.9 \\ -21.9 \\ -21.9 \\ -21.9$	+ 1.4 + 1.4 + 1.4 + 1.4	496.7 492.6 497.2 501.0 496.9

Stanowisko <i>s</i>	Data godz.	Nr wah.	t °C	$\Delta t/1^h$ °C	b mm	a_p	a _k
	9.8 4 ⁰⁰ —10 ⁰⁰	1 2 3 4	18.03	0,00	8,80	29,0 29,0 29,0 29,0	13,0 14,7 13,4 13,8
	9.8 11 ⁰⁰ —17 ⁰⁰	1 2 3 4	18,14	+ 0,02	9,15	29,4 29,2 29,2 29,3	13,8 15,5 14,6 14,8
Kraków II $s_{1,2} = 8,4 \ s_{3,4} = 11,5$	$11.8 \\ 5^{00} - 11^{00}$	1 2 3 4	15,93	+ 0,05	9,35	29,5 29,4 29,7 29,2	13,8 14,8 14,6 14,5
	11.8 13 ⁰⁰ —19 ⁰⁰	1 2 3 4	16,37	+ 0,03	9,55	29,4 29,4 29,5 29,4	14,1 15,2 14,3 14,8
	$11-12.8 \\ 19^{30}-0^{29}$	1 2 3 4	16,58	+ 0.02	9,80	29,5 29,5 29,6 29,4	15,1 16,1 16,0 15,4
	12. 8 0 ³⁰ —7 ⁰⁰	1 2 3 4	16,45	- 0,03	9,90	30,0 29,9 30,1 30,0	13,5 15,4 14,4 14,6
	12. 8 8 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	1 2 3 4	16,64	+ 0,05	10,05	29,2 29,2 29,3 29,2	13,9 15,1 14,8 14,3
Zakopane III $s_{1,2} = 7.0$ $s_{3,4} = 9.8$	14.8 10 ⁰⁰ —16 ⁰⁰	1 2 3 4	16,09	+ 0,03	8,65	29,6 29,6 29.6 29,6	15,2 15,8 15,5 15,2
	$14.8 \\ 17^{00} - 23^{00}$	1 2 3 4	16,44	+ 0,02	8,90	29,3 29,4 29,4 29,2	15,1 15,4 15,4 15,2
	15. 8 0 ⁰⁰ —6 ⁰⁰	1 2 3 4	16,74	+ 0,01	9,10	29,2 29,2 29,2 29,2 29,2	15,0 15,8 15,3 15,2

D. c. tablicy 1

T' sek.	ΔT_a	ΔT_s	ΔT_{t}	$\Delta T_{\Delta t}$	ΔT_d	ΔT_{u}	T sek.
537.8 525.5 535.9 537.8	$ \begin{array}{r} -11.0 \\ -12.0 \\ -11.2 \\ -11.5 \end{array} $	+ 0.4 - 0.6 + 0.4 0.4	8.3 4.5 8.6 5.1	0.0 0.0 0.0 0.0	$-20.7 \\ -20.7 \\ -20.7 \\ -20.7 \\ -20.7$	+1.4 +1.4 +1.4 +1.4	499.6 489.1 497.2 501.5 496.8
538.6 580.1 540.3 536.1	$-11.7 \\ -12.7 \\ -12.1 \\ -12.3$	0.0 - 0.3 0.0 0.0	8.6 4.7 8.9 5.2	+ 0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1	$-21.2 \\ -21.2 \\ -21.2 \\ -21.2 \\ -21.2$	+1.5 +1.5 +1.5 +1.5	498.7 492.8 499.7 499.0 497.6
0,4955 994.2 991.7 994.1 997.0	-11.7 -12.3 -12.3 -12.3 -12.0	$+0.3 \\ -0.3 \\ 0.0 \\ 0.0$		+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	21.7 21.7 21.7 21.7	+3.3 +3.3 +3.3 +3.3 +3.3	0.4955 962.0 959,4 960.8 965.1 961.8
994.5 991.4 995.5 996.4	$-11.9 \\ -12.6 \\ -12.0 \\ -12.3$	+0.2 - 0.3 + 0.2 - 0.2	3.8 2.0 3.9 2.3	+ 0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1	$-22.0 \\ -22.0 \\ -22.0 \\ -22.0 \\ -22.0$	+ 3.4 + 3.4 + 3.4 + 3.4	960.5 958.0 961.3 963.1 960.7
999.7 998.6 997.2 1000 0	$-12.6 \\ -13.2 \\ -13.2 \\ -12.7$	+0.1 0.1 +0.1 0.1	4.3 2.4 4.5 2.6	0.0 0.0 0.0 0.0	$-22.4 \\ -22.4 \\ -22.4 \\ -22.4 \\ -22.4$	+ 3.5 + 3.5 + 3.5 + 3.5	964.0 959.0 960.7 965.7 962.4
996.8 993.2 996.2 998.3	-11.8 - 13.0 - 12.4 - 12.5	+0.4 0.4 0.1 0.0	$- 4.0 \\ - 2.2 \\ - 4.1 \\ - 2.4$	0.1 0.1 0.1 0.1	22.5 22.5 22.5 22.5	+ 3.5 + 3.5 + 3.5 + 3.5	962.3 958.5 960.5 964.3 961.4
999.5 993.9 996.7 998.9	$-11.6 \\ -12.4 \\ -12.3 \\ -11.9$	$+0.3 \\ -0.4 \\ -0.3 \\ +0.2$	- 4.5 - 2.4 - 4.7 - 2.7	+ 0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1	$-22.7 \\ -22.7 \\ -22.7 \\ -22.7 \\ -22.7$	+ 3.5 + 3.5 + 3.5 + 3.5	964.6 959.6 960.3 965.4 962.5
0,4956 646.9 641.8 643.4 646.3	$-12.7 \\ -18.1 \\ -12.9 \\ -12.7$	+0.1 -0.1 -0.1 0.0	-3.0 -1.6 -3.1 -1.8	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	$-20.6 \\ -20.6 \\ 20.6 \\ -20.6$	+1.8 + 1.8 + 1.8 + 1.8 + 1.8	0,4956 612.6 608.3 608.6 613.1 610.6
646.3 641.6 643.3 645.4	$-12.5 \\ -12.7 \\ -12.7 \\ -12.5$	+0.1 -0.2 -0.1 +0.1	$- 3.9 \\ - 2.1 \\ - 4.1 \\ - 2.4$	0.0 0.0 0.0 0.0	$ \begin{array}{c c} -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \end{array} $	+1.9 +1.9 +1.9 +1.9 +1.9	610.9 607.5 607.3 611.5 609.3
647.8 642.6 644.9 646.8		+ 0.1 - 0.2 - 0.1 + 0.1 - 0.1 - 0.1 - 0.1 - 0.2 - 0.1 - 0.2 - 0.1 - 0.2 - 0.1 - 0.2 - 0.1 - 0.2 - 0.1 - 0	$ \begin{array}{r} -4.8 \\ -2.6 \\ -5.0 \\ -2.9 \end{array} $	0.0 0.0 0.0 0.0	$ \begin{array}{c c} -21.2 \\ -21.2 \\ -21.2 \\ -21.2 \\ -21.2 \end{array} $	+1.8 +1.8 +1.8 +1.8 +1.8	611 4 607.5 607.9 612.1 609.7

Stanowisko 8	Data godz.	Nr wah.	t ⁰C	$\frac{\Delta t/1^h}{^{0}\mathrm{C}}$	b mm	a _p	a _k
	15.8 7 ⁰⁰ 13 ⁰⁰	1 2 3 4	16,71	- 0,03	9;25	29,4 29,5 29,5 29,5 29,4	15,0 15,2 15,1 15,0
	15.8 14 ⁰⁰ —20 ⁰⁰	1 2 3 4	16,86	+ 0,05	9,35	29,5 29,6 29,5 29,5	15,0 15,2 15,0 15,0
Kraków III $s_{1,2} = 7,3$ $s_{3,4} = 9,1$	17 8 9 ⁰ ''—15 ⁰⁰	1 2 3 4	17,27	+ 0,07	9,50	29,4 29,2 29,1 29,2	14,3 15.4 14,8 15,0
	17.8 16 ⁰⁰ —22 ⁰⁰	1 2 3 4	17,77	0,00	9,75	29 4 29,5 29,5 29,6	14,5 15,5 14,4 15,4
	18 8 15 ⁰⁰ —21 ⁰³	1 2 3 4	18,07	+ 0,02	8,65	29.0 29,0 29,1 29,2	14,3 15,2 14,2 15,2
	18—198 23 ⁰⁰ —6 ^{0.).}	1 2 3 4	18.33	— 0,04	8,75	29,0 29,0 29,1 29,0	13,4 15,0 13,6 14,4
Warszawa Politechnika IV $s_{1,2} = 8,4$ $s_{3,4} = 9,9$	21 8 7 ⁶⁰ —13 ⁰⁰	1 2 8 4	17,81	0,00	9,30	29,0 28,8 29,0 29,0	14,8 15,2 15,2 15,0
	21.8 14 ⁰⁰ —20 ⁰⁰	1 2 3 4	17,95	+ 0,02	9,40	29,0 29,0 29,0 29,0	15,8 16,2 16,0 15,8
	21-22.8 21 ⁰⁰ -3 ⁰⁰	1 2 3 4	17,98	- 0,01	9,50	29,3 29,3 29,1 29,4	15,0 16,4 15,4 15,6
	22.8 4 ⁰⁰ —10 ⁰⁰	1 2 3 4	17,97	0,00	9,50	29,2 29,0 29,2 29,2	15,4 15,4 14,8 15,4

D. c. tablicy 1

T' sek.	ΔT_a	ΔT_s	ΔT_{i}	$\Delta T_{\Delta t}$	ΔT_d	ΔT_{u}	T sek.
647.4 642.5 644.4 646,4	$ \begin{array}{ c c c } - 12.4 \\ - 12.6 \\ - 12.6 \\ - 12.4 \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} 0.0 \\ -0.1 \\ -0.1 \\ +0.1 \end{array}$	4 7 2.5 4.9 2.9	-0.1 -0.1 -0.1 -0.1	$-21.5 \\ -21.5 \\ -21.5 \\ -21.5 \\ -21.5$	+1.7 +1.7 +1.7 +1.7 +1.7	610 4 607.4 606.9 611.3 609 0
648.3 643.4 645 7 647.2	$-12.5 \\ -12.7 \\ -12.5 \\ -12.5 \\ -12.5$	+ 0.1 - 0.1 - 0.1 - 0.0 - 0.0 - 0.0	-5.1 -2.8 -5.3 -3.1	+0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1	$-21.6 \\ -21.6 \\ -21.6 \\ -21.6 \\ -21.6$	+1.5 +1.5 +1.5 +1.5	610.8 607.8 607.9 611.6 609.5
0,4955 1006.4 994.7 999.4 1001.1	-12.0 -12.6 -12.2 -12.3	$ \begin{array}{r} 0.0 \\ - 0.3 \\ 0.0 \\ 0.0 \end{array} $	-6.2 -3.4 -6.5 -38	+0.2 +02 +0.2 +0.2	$-21.9 \\ -21.9 \\ -21.9 \\ -21.9 \\ -21.9$	+14 +1.4 +1.4 +1.4	0,4955 967.9 958.1 960.4 964.7 962.8
1006.3 997.4 1001.2 1002 2	$-12.1 \\ -12.8 \\ -12.1 \\ -12.8$	+0.1 -0.3 +0.3 -0.2	7.0 3.8 7.3 4.3	0.0 0.0 0.0 0.0	$-22,2 \\ -22.2 \\ -22.2 \\ -22.2 \\ -22.2$	+ 1.5 + 15 + 1.5 + 1.5 + 1.5	966.6 959.8 961.4 964.2 963.0
1004.9 999 6 1002.8 1002.7	$-11.8 \\ -12.4 \\ -11.8 \\ -12.5$	$+0.2 \\ -0.2 \\ +0.4 \\ -0.4$	-8.4 -4.6 -8.7 -5.1	0.0 0.0 0.0 0.0	$-20.5 \\ -20.5 \\ -20.5 \\ -20.5 \\ -20.5$	+ 1.8 + 1.8 + 1.8 + 1.8 + 1.8	966.2 963.7 964.0 966.0 965.0
1005.3 998.2 1002.2 1001.7	$-11.2 \\ -12.2 \\ -11.4 \\ -11.9$	+0.2 - 0.4 + 0.3 - 0.3	-9.1 -5.0 -9.5 -5.6	0.1 0.1 0.1 0.1	$-20.7 \\ -20.7 \\ -20.7 \\ -20.7 \\ -20.7$	+ 1.8 + 1.8 + 1.8 + 1.8 + 1.8 + 1.8	966.2 961.6 962.5 964.9 963.8
0.4955 538.0 529.2 532.5 535.8	$ \begin{array}{r} -12.1 \\ -12.3 \\ -12.4 \\ -12.2 \end{array} $	$ \begin{array}{r} - 0.2 \\ - 0.1 \\ - 0.1 \\ 0.0 \end{array} $	-7.7 -4.2 -8.0 -4.7	0.0 0.0 0.0 0.0	-21.5 -21.5 -21.5 -21.5 -21.5	+1.9 +1.9 +1.9 +1.9	0,4955 498.4 493.0 492.4 499.3 495.8
536.8 532.2 535 7 536 6	$ \begin{array}{c c} - 12.8 \\ - 13.0 \\ - 12.9 \\ - 12.8 \end{array} $	$\begin{array}{c} 0.0 \\ - \ 0.1 \\ - \ 0.1 \\ + \ 0.1 \end{array}$	$ \begin{array}{r} - 8.1 \\ - 4.4 \\ - 8.4 \\ - 4.9 \\ \end{array} $	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.7 \\ -21.7 \\ -21.7 \\ -21.7 \\ -21.7$	+2.1 + 2.1 + 2.1 + 2.1 + 2.1 + 2.1	496.3 495.1 494.7 499.4 496.4
539 1 529.4 535.1 535.8	$ \begin{array}{c c} - 12.4 \\ - 13.3 \\ - 12.6 \\ - 12.8 \end{array} $	+0.1 - 0.5 + 0.3 - 0.3	-8.2 4.4 8.5 5.0	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.8 \\ -21.8 \\ -21.8 \\ -21.8 \\ -21.8$	+2.3 +2.3 +2.3 +2.3 +2.3	499.1 491.7 494.8 498.2 496,0
538.6 530.5 536.3 535.9	$ \begin{array}{r} -12.6 \\ -12.5 \\ -12.2 \\ -12.6 \end{array} $	$ \begin{array}{c} - \ 0.3 \\ + \ 0.1 \\ + \ 0.2 \\ - \ 0.2 \end{array} $		0.0 0.0 0.0 0.0	-21.8 -21.8 -21.8 -21.8 -21.8	+2,5 +2.5 +2.5 +2.5	498.3 494.4 496.5 498 8 497.0

Stanowisko <i>s</i>	Data godz.	Nr wah.	t °C	Δt/1 ^h °C	b mm	a _p	a _k
	22.8 11 ⁰⁰ — 17 ⁰⁰	1 2 3 4	17,99	0,00	9,50	, 29,3 29,4 29,4 29,5	, 15,2 16,4 15,5 15,4
Gdańsk II $s_{1,2} = 8,5$ $s_{3,4} = 9,9$	24.8 $9^{00} - 15^{00}$	1 2 3 4	18,11	— 0,18	8,65	30,0 29,8 30,0 29,7	16,7 16,1 15,6 16,6
	24.8 17 ⁰⁰ — 23 ⁰⁰	1 2 3 4	17,69	— 0,12	9,20	29,4 29,9 29,7 29,6	14,6 14,1 14,2 14,5
	25.8 0 ⁶⁰ — 6 ⁰⁰	1 2 3 4	17,61	0,00	9,50	29,6 29,6 29,6 29,6	13,5 15,4 14,5 14,4
	25.8 9 ⁰⁰ — 16 ⁰⁰	1 2 3 4	17,77	- 0,01	9,60	29,1 29,1 29,0 29,0	12,0 13,6 12,3 13,0
	25.8 17 ⁰⁰ — 23 ⁰⁰	1 2 3 4	17,68	0,04	9,90	29,8 29,8 29,8 29,8	14,2 14,6 14,4 14,3
	26.8 0 ⁰⁰ — 6 ⁰⁰	1 2 3 4	17,78	+ 0,03	10,00	30,0 30,0 30,0 30,0 30,0	13,6 15,2 14,1 15,3
	26.8 18 ⁰⁰ — 23 ⁰⁰	1 2 3 4	17,52	+ 0,04	8.70	29,6 29,9 29,8 29,5	15,5 17,4 16,8 17,0
	27.8 0 ⁰⁰ — 6 ⁰⁰	1 2 3 4	17,74	+ 0,04	9,00	30,0 30,0 30,0 30,0 30,0	14,5 15,8 14,9 15,7

D.	c.	tablicy	1
----	----	---------	---

T' sek.	ΔT_a	ΔT_s	ΔT_t	$\Delta T_{t\Delta}$	ΔT_d	ΔT_{μ}	T sek.
542.3 526.6 586.3 536.2	- 12.5 - 13.4 - 12.8 - 12.8	+0.1 -0.5 +0.4 -0.3	- 8.2 - 4.5 - 8.5 - 5 0	0.0 0.0 0.0 0.0	$ \begin{array}{r} -21.8 \\ -21.8 \\ -21.8 \\ -21.8 \\ -21.8 \end{array} $	+2.5 +2.5 +2.5 +2.5	502 4 488.9 496.1 498.8 496.6
0,4954 998.4 990.1 990.9 1000.4	- 13.9 - 13.4 - 13.2 - 13.6	$\begin{array}{c} 0.0 \\ -0.1 \\ +0.2 \\ -0.4 \end{array}$	8.5 4 6 8.9 5.2	0.4 0.4 0.4 0.4	20.5 20.5 20.5 20.5	+ 3.4 + 3.4 + 3.4 + 3.4 + 3.4 + 3.4	0,4954 958.5 954.5 951.5 963.7 957.0
989.7 991.6 997.2 992.8	$-12.2 \\ -12.1 \\ -12.1 \\ -12.2$	$\begin{array}{r} 0.0 \\ - 0.1 \\ 0 0 \\ - 0.1 \end{array}$	- 7.4 - 4.0 - 7.7 - 4.5	-0.3 0.3 0.3 0.3	-21.3 -21.3 -21.3 -21.3 -21.3	+0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.2	948.7 954.0 956.0 954.6 953.3
999.7 991.3 997.8 998.1	$ \begin{array}{c} - 11.6 \\ - 12.8 \\ - 12.2 \\ - 12.2 \end{array} $	+0.4 -0.5 -0.2 +0.2	7.2 3.9 7.4 4.4	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.8 \\ -21.8 \\ -21.8 \\ -21.8 \\ -21.8$	+1.0 +1.0 +1.0 +1.0	960.5 953.3 957.2 960.9 958.0
997.4 994.1 998.7 997.1		+0.6 -0.6 +0.1 -0.1	$ \begin{array}{r} -7.6 \\ -4.1 \\ -7.9 \\ -4.6 \end{array} $	0.0 0.0 0.0 0.0	$-22.0 \\ -22.0 \\ -22.0 \\ -22.0 \\ -22.0$	+ 0.7 + 0.7 + 0.7 + 0.7 + 0.7 + 0.7	958.7 956.7 959.1 960.1 958.6
995.6 998.2 1002.0 996.9	$ \begin{array}{c}12.1 \\ -12.4 \\ -12.3 \\ -12.2 \end{array} $	+0.2 -0.2 -0.1 0.0	$ \begin{array}{r} -7.3 \\ -4.0 \\ -7.6 \\ -4.5 \end{array} $	-0.1 -0.1 -0.1 -0.1	-22.4 -22.4 -22.4 -22.4	+ 0.7 + 0.7 + 0.7 + 0.7	954.6 959.8 960.2 958.4 958.2
998.5 992.4 995.8 1000.3	$ \begin{array}{c}11.8 \\ -12.9 \\ -12.2 \\ -13.0 \end{array} $	+0.2 -0.1 -0.6 -0.6	7.6 4.1 7.9 4.6	+ 0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1	-22.5 -22.5 -22.5 -22.5	+ 0.7 + 0.7 + 0.7 + 0.7	957.6 953.6 954.6 960.4 956.6
988.9 986 9 994.1 995.8	$ \begin{array}{r} -12.9 \\ -14.2 \\ -13.8 \\ -13.8 \end{array} $	+0.6 -0.5 +0.1 -0.1	6.9 3.8 7.2 4.2	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	$-20.6 \\ -20.6 \\ -20.6 \\ -20.6 \\ -20.6$	+0.7 +0.7 +0.7 +0.7	949.9 948.6 953.4 957.9 952.4
997.8 990.0 996.7 999.2	- 12.4 - 13.3 - 12.7 - 13.2	$ \begin{array}{c} + \ 0.1 \\ - \ 0.3 \\ + \ 0.2 \\ - \ 0.2 \end{array} $	$ \begin{array}{ c c } -7.5 \\ -4.1 \\ -7.8 \\ -4.6 \\ \end{array} $	+0.1 +0.1 +0.1 +0.1	$ \begin{array}{c c} -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \end{array} $	+ 0.7 + 0.7 + 0.7 + 0.7	957.8 952.1 956.2 961.0 956.8

Stanowisko <i>s</i>	Data godz.	Nr wah.	t °C	Δ <i>t</i> /1 ^{<i>h</i>} °C	b mm	a _p	a _k
Warszawa Politechnika V $s_{1,2} = 9.2$ $s_{3,4} = 11.0$	29. 8 7 ⁰⁰ —18 ⁰⁰	1 2 3 4	17,79	+ 0,02	10,05	, 29,8 29,8 29,8 29,8	, 13,8 16,2 14,4 15,2
	29.8 14 ⁰⁰ 20 ⁰⁰	1 2 3 4	17,90	0,00	10,25	29,3 29,2 29,2 29,2 29,2	14,2 15,7 15,0 14,6
	30. 8 7 ⁰⁰ —13 ⁰⁰	1 2 3 4	17,79	+ 0,02	10,40	29,6 29,4 29,5 29,3	14,0 16,0 14,3 15,6
	30. 8 14 ⁰⁰ —20 ⁰⁰	1 2 3 4	17,92	0,00	10,40	29,2 29,0 29,2 29,2	14,2 15,1 14,2 14,9
	31.8 8 ⁰⁰ —14 ⁰⁰	1 2 3 4	17,90	0,00	9,00	29,6 29,6 29,6 29,6	15.6 16,2 15.6 16,2

D. c. tablicy 1

T' sek.	ΔT_a	ΔT_s	ΔT_t	$\Delta T_{\Delta t}$	ΔT_{d}	ΔT_{μ}	T sek.
0,4955 537.8 531.8 537.9 539 7		+ 0.7 - 0.7 + 0.3 - 0.3	-7.6 -42 -8.0 -4.7	0.0 0.0 0.0 0.0	-22.6 -22.6 -22.6 -22.6 -22.6	+ 0.6 + 0.6 + 0.6 + 0.6	0,4955 497.0 491 5 495.9 499.9 496.1
541.5 532.5 540 4 539 8	$-11.9 \\ -12.8 \\ -12.3 \\ -12.1$	+0.1 - 0.4 - 0.2 + 0.2	-7.9 -4.3 -8.3 -4.8	0.0 0.0 0.0 0.0	-22.9-22.9-22.9-22.9-22.9	+0.3 +0.3 +0.3 +0.3	499.2 492.4 497.0 500.5 497.3
540 0 531.9 538.3 540.1	$-11.9 \\ -13.1 \\ -12.0 \\ -12.8$	+0.6 -0.7 +0.5 -0.4	7.6 4.2 8.0 4.7	0.0 0.0 0.0 0.0	$-23.1 \\ -23.1 \\ -23.1 \\ -23.1 \\ -23.1$	$^+$ 0.6 + 0.6 + 0.6 + 0.6	498.6 491.4 496.3 499.7 496.5
541 2 533.0 587.9 542.8	$ \begin{array}{c} -11.8 \\ -12.3 \\ -11.8 \\ -12.3 \end{array} $	+0.4 -0.6 +0.3 -0.4	8.0 4.4 8.3 4.9	0 0 0.0 0.0 0.0	$-23.1 \\ -23.1 \\ -23.1 \\ -23.1 \\ -23.1$	+0.6 +0.6 +0.6 +0.6	499.3 493.2 495.6 502.7 497.7
535.8 531.9 535.6 539.2	- 12.9 - 13.3 - 12.9 - 13.3	+0.3 - 0.3 - 0.0 - 0.0 - 0.0	7 9 4.3 8.3 4.8	0.0 0.0 0.0 0.0	$-21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0 \\ -21.0$	+ 0.5 + 0.5 + 0.5 + 0 5	494.8 493.5 498.9 500 6 495.7

Э.	14	- 0.9	11.5	- 1.7		- 0.1	- 0.5	- 0.4	}	- 2.5	- 1.8	- 0.6	}	- 0.5	⊢ 0.7 - 0.8	0.0	2.2	2		⊢ 0.1	Н 0.5	⊢ 0.1
			<u>ן ו</u> סמים	 				-+-+ 	- ,	-+- 	9 C	201-	-	+	τ-1 	- 	0	<	ו⊤† ק∞		T :	 ກຸ
- (T,	V_{a}		- 0 0 -			0 	o'o 	-	\$	 +	+	000 ++	5 -	ю +	++	000 -+-		-		- -+		° +
,	2	1.5	0.0	2.4		11	1.6	0.6	2	0.8	1.2	0.6	> 1	0.6	0.8	0.0	0.0	r 0	- 4	0.2	0.0	0.2
Ĩ	_	+-	++-	++	•	+	++	++	-	<u> </u>	1-1	-++	-	<u> </u>				-		-		+
(T _{sr}	11	- 0.4	* * *	9.0 - -		- 0.1	-1.0	0.5	5	- 2.8	-1 a -1 a -1 a	 		— 0.4	0.0	9.0 	0.0 -	G 7	11	- 0.6		P.0
	4	- 2.3	,	- 2.7		- 3.1	- 3.7 - 3.7	- 3.6	5	- 5.7	0.0 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	ວດ. ແມ່ນ 	2	- 3.7	0.8		201	C	- 1 2 2 5 7	- 3.3	- 3.7	1 33
E I	3 S	+ 1:3		+ 0.8		+ 2.0	6. - +	++-	-	— 0.2	9 -	++-	-	+ 0.4	++0.8	-+-	0 n +	-		+ 0.3	+ 0.4	+ 0.8
T _{sr}	5	+ 1.4	- - - + - +	+ 1.8 ++	•	+ 1.8	++		-	+ 3.7	++ 4.1 8.1	++-	-	+ 3.5	++3.7	000 r 0 m m 	+	- -	52 + +	+ 3.1	+ 5.9	7.77
	7	- 0.3		- 1 3 - 0.1 3		- 0.6	0°3 ++) }	+ 2.1	+-1-4	9.0 ++-	-	- 0.3	 	- 19	7.T 	00	8 0 -+	- 0.1	4 .0	
	a	0.8	9 1 9	0.6		13		0.0	3	- 2.6		4.1	2	. 0.2	1.5	10.0	2'0-	¢	6	- 0.6	ີ່	0.1. -
~				1+	~		+			+	+1	11	~~~		+					- 		 m
a d	<i>ŝr</i>	499.1	497.0	497.6	498.5	608.6	608.4	610.4	3.609	246.	248.(250.6	249.5	698.5	696.	69869	0869	610.6	800 800 800 800	612.4	613.	1779
w a h	a	- 1.3	-+- -+-	-+0-1 		+ 1.8	+14	- 1.0	5	+ 1.3	+ 0.7	- 0.9	5	- 04	:: +	200 100 100		9 F	+ 1.7	- 0.6	- 1.7	P:1
n e	4	501.4 500.9	498.7	500.3 500.3	500.1	611.7	612.1 614.9	614.5 614.1	613.5	252.4	253.0	254.6 254.4	253.7	701.9	700.4	701.5	701.5	610 K	613.4	615.7	616.8	010.1
o w a	а	- 1.1	*0.1 +	+ 1.3		+ 1.7	+1.8	1.0	5	+ 1.9	+ +	010	2	- 0.6	22 	0.00 -	7.0 +	-	- 00 	- 0.7	- - -	0.0
d u k	ന	497.8 407.1	495.7	495.4	496.7	606.6	606.5	609.3	608.3	246.9	248.5	249.6 249.6	248.8	697.8	695.7	697.5	697.2	6107	9 609 9 609	612.1	612.7	0.210
zre	a	- 0.7		+ 0.7 0.7		+ 1:1	8.0 + 0 + 1	0.7	5	+ 3.5	- - - - - - - - - - - - - - - - - - -			- 0.4	97 - -	- 0.5	7 n 7	24	-+	- 0.1	10	- 1.4
esy	5	497.7	494.6	497.1	497.0	606.8	607.1 608.8	608.6 608.3	607.9	243.0	243.9 248.6	248.4	246.5	694.7	692.8 695.4	694.5	694.3	600 7	607.4	609.3	610.2	0'010
0 k r	a	-0.1	+	+1.6		+ 0.8	+19 101	- 1.1	}	+ 3.5	+1	- 1.8 - 1.7		+ 0.4	+12	- 0.7	3	0 - -	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	- 11	n, e 	1 12
	1	0,4955 499.4 500 2	499.1	497.7	499.3	0,4956 609.2	608.1 611.0	610.6	610.0	0,4957 244.6	246.6 249.8	249.9 249.8	248.1	0,4956 698.5	697.2	699.6	0.999.9	0,4956	609.1	612.5	612.7	012.10
Data		1956 r. 30. 6	2.7	3.7		6.7	7.7	8.7		9.7	10.7	11.7		12.7		13.7		14.7	16.7		1	
Stano-	wisko	W. P.	-			Zak.	-			K. W.	-			Kuź.	H			7 ab	ц Ц			

178

ANALIZA OKRESÓW ZREDUKOWANYCH

jednostka —10⁻⁷sek.

d c. tablicy 2

Data Okresyz	Okresyz	Okresy z	esy z		r e	d u k	0 W a	n e	vah.	adeł			T_{sr}	E -		$(T_{sr} -$	- T) _{śr} -	- (T _{sr} -	- T)
			а	2	a	e	a	4	v	81	<i>a</i>		5	e S	4	- ¹ /	V_2	V_{3}	V_4
18. 7 0,4956 703.4	0,4956 703.4 200.6		-2.2	695.7		700.3 608.5		703.1	-0.9	700.6	1.2	- 2.8	4.9	+0.3	-2.5	+2,1	-2.0	+0.8	-0.7
19.7 699.1	699.1 699.1		+2.1	694.7	0.0 + +	698.1	-0.0 	702.2	100 -	698.5	0.0 - -	9.0	2 00 0 F 60 F	+0.+	13.7	- -	0.0	2.0	+0.5
701.2	701.2		0.0	695.4	0.2	0.999.0	0.0	701.3		699.2	+0.2	-2.0	+ + 3.8	+-0.5		- - - - - - - - - - - - - - - - - - -	-0,9	+ 0.9	
701.2	701.2			695.2		699.0		702.2		699.4	_								
2457 2457	0,4957 245.7		+2.0	245.1	+0.6	248.6	-0.5	249.6	+1.6	247.2	+1.0	+1.5	+2.1	-1.4	-2.4	-2.2	+0.8	+2.5	-0.8
250.5	250.5		-2.8	247.8	-2.1	250.1	-2.0	253.2	-2.0	250.4	-2.2	-0.1	+2.6	+0.3	-2 -2 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0	-0.6	+0.3	+0.8	4.0-
21. 7 240.0	248.5	<u></u>		245.7	10.0	247.6	-0.5 +0.5	251.8	-0.6	248.4	-0.5 	+0.1	+2.2	- 8.0 	-3.4	-0.6	-0-+	+0. +0.3	+0.2
248.	248.	-	-0.7	246 5	-0.8	249.1	-1.0	252.4	-1.2	249,1	-0.9	+0,7	+2.6	0.0	-3.3	-1.4	+0.3	-:- +-	
247.	247.	0		245.7		248.1		251.2		248.2									
92 7 0,495	0,49f	94	Н 1 в	604 9	10	605.7	+ 1 2	608 K		606 g		1 7	19 F	-	1	¥ I T	TO T	00	15
701	102	j œ	-1.7	694.6	-0.4	698.6	-1.6	701.5	-1.3	699.1	-1.2	-2.7	4.5	-0.5	-2.4	+2:0	-1.6	+0.6	8.0
24.7 700	200	9.0	-0.5	695.4	- 1:2	697.6	0.0	701.6		698.8	-0.9	-1.8 8. 6	+3.4	+1.2	9 6 9 7 1 1		0.0	1.0	4.0
002	002	50	0.1 0.1	694.0	-0.5	696.7	0.3	700.2		697.8	••• ++	-2.4	+3.8		-2.4		-0.9	••••	
200	700			694.2	· · · ·	0.769		700.2		6.97.9									
26.7 961	0,493	102	+2.5	960.5	40 +	960.8	6.0+	964.7	+	961.8		+0.4	+1.3	+1.0	-2.9	-1.1	+1.6	+0.1	-0.3
	964	0		962.5	-1.5	962.2	-0.5	966.0	-0.3	963.7	-0.6	-0.3	+1.2	+1.5	-2.3	-0.4	+1.7	4.0	6.0
963	963 7 20	-1	8.0+	960.7	+0.3	960.6	+1:1	964.6 067.4	+	962.2 065.5	+0.9	6.0 	+1.5	+1.6	-2.4	2.2 	+- •- •-		8. a 0. f
	- 696 963	4	+0.5	959.0	+2.0	960.5	+1.2	565.6		962.1	+1.0	- - - - - - - - - - - - - - - - - - -	+3.1	+1.6	-3.5	9.0	-0.2	0.5	+0.3
963	963	6		961.0		961.7		965.7		963.1	,							-	
0,49	0,49	55	•	0 607		1 10		2010	Ċ	0 2 01	60	ц Т	1 2 1	061	4 6	801	60	a	4
31.7 495	495	3 01	+2:3	495.4	-1.5	491.8	+2.4	503.4	-1.9	496.4	+0.4	+1.2		+4.6	-1.0	-1.9	+1.9	-3.5	-+
496	496	C- C	+0.8	492.1	+1.8	494.4 406.4	-0.2	499.2 501 5	+2.3	495.6	+1		++ 3.2	21 IS	9.9 9.9 9.9	+0.4 0.4	9.9	0.1	++0++
1.8 496	49	17	-0.6	493.6	+0.3	494.3	10	501.9	-0.4	497.0	-0.2	-1.1	+3.4	+2.7	-4.9	+0.4	-0.5	-1,6	+
497	497	Ū.		493.9		494.2		501.5		496.8									

£	74	25	-0.0.0	4.7 3.1 1.5 1.5 1.5	0.10.0.8	0.7 1.0 0.9 1.1	220 222 21
		+1	+ + + +	++++!	+ +		
(T _{śr}	V_3	-1.6 +2.2	++ - 0.3 - 0.4 - 0.7 - 0.3	+++1.5	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++		
$(T)_{sr}$	V_2	+2.5	++++		+0.5 0.0 0.0	+++0.6 +++1.1 +1.2	-1.8 ++1.6 +0.7
(T _{sr} -	V_1	+1.4 -2.8	+1.6	0.6 	+1.4	+1.3 +0.9 +0.7 +0.7	++4.4 ++2.9 +1.7
	4	-57 -13				2.5 2.4 2.3 2.1 2.1	
- T	3	+2.7 -1.1	++++	+2.8 +3.0 -0.3 -0.4 -2.1	++1.0	++2.0 ++2.0 +2.1	++1.6 +1.3
T_{sr} -	2	+5.6 +0.4	+2.4 +2.7 +3.8 +3.8	+++++ 70-4-4-1-4- 4-4-1-4- 8-14-	++++22 2.5 2.9 2.9	++2.3 +-1.6 +7	++++++2-22
	1	-2.1 -2.1		-2.8	-0.2 -0.2 -0.4 -2.1	-2.0 -1.6 -1.7 -1.4 -1.3 -1.3	-5.1 -3.6 -1.2 -2.4
4	n	-1.7 -0.8		++1.9 -0.5 -0.5 -1.2	++++ 0.0 40.6 4.0 4.0	++ 0.3 ++ 0.4 ++ 0.4	+++0 6.0 4.0 4.0 5.0 4.0 5.0 4.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5
ade	ŝr	956.3 955.4 952.0	953.3 953.3 955.2 955.5 954.6	404.5 496.2 496.9 496.8 497.6 497.6	961.8 960.7 962.4 962.5 962.5 961.8	610.6 609.3 609.7 609.0 609.5 609.5	962.8 963.0 963.0 963.4 963.6
wah	a		-1.5	+2.3	+0.4 +1.6 +0.4 -0.7	+0.4 +0.2 +0.6	++0.3
n e	4	962.0 956.7 956.7	958.6 958.6	502.4 502.5 501.0 501.5 499.0 501.3	965.1 965.1 965.7 965.4 965.4 965.4	613.1 611.5 611.5 612.1 611.3 611.3 611.6	964.7 964.7 964.2 966.0 964.9 965.0
ома	а	-0.3 -3.2	++++0.3	+ + 4.1 + + 	-0.1 -0.6 +0.6 -0.6 -0.6 -0.6	-+0.9 -0.2 -0.2 -0.2 -0.2 -0.2	+1.7 -1.4 -1.4
d u k	3	953.6 956.5 956.5	953.0 953.0 953.4 952.8 953.3	491.7 493.2 497.2 497.2 499.7 499.7	960.8 960.8 960.7 960.5 960.3 960.3	608.6 607.3 607.9 607.9 607.9 607.7	960.4 951.4 964.0 962.5 962.1
zre	а	+1.6 -2.1	++1.5	+1.7 +2.0 +2.0 -1.7	+0.5 +0.9 +0.4 -0.7		++2.7 -2.9 -0.8
esy	2	951.3 955.0 955.0	951.4 950.6 954.8 954.8 951.7 952.9	489.4 491.8 492.6 489.1 489.1 492.8 492.8	959.4 959.4 959.0 959.0 959.6 959.6	608.3 607.5 607.5 607.4 607.4 607.7	958.1 959.8 963.7 961.6 960.8
0 k r	s a	-4.6 -4.6 -4.6	+1.1 	+2.8 +0.2 -1.3 -1.3	+0.7 +0.7 +0.4 -1.9	++ 0.3 +0.8 •••	+0.5
	1	0,4954 958.4 953.3 946.0	953.8 953.8 953.9 957.8 957.8	0,4955 494.6 497.2 496.7 499,6 499,6 498.7 497.4	0,4955 962.0 964.0 964.0 962.3 962.3 962.3 962.3 962.3	0,4956 612.6 610.9 611.4 610.4 610.8 610.8	0,4955 967.9 966.6 966.2 966.2 966.2
Data		33 36 30	4.8 5.8	8 8 8 8	11.8	14. 8 15. 8	17. 8 18. 8
Stano-	wisko	Gd. I		W. Р. Ш	Kr. II	Zak. III	Кr. Ш

Zbigniew Ząbek, Weneda Dobaczewska

d. c. tablicy 2

180

2
сy
H
B
ΞĻ
ు

ano-	Data	0	k r e	S V	zrec	l u k (o w a	n e	wah	a d e l			T '*	– T		$(T_{sr}$	$-T)_{tr}$	- (T _s , -	(L -
õ			n	5	<i>v</i>	ຄ	a	4	а	śr.	а	T	2	en I	4	14	$V_{\cdot 2}$	V_3	V_4
	21.8	0,4955	+ 0.5	493,0	-0.4	492.4	+2.5	499.3	-0.4	495.8	+0.6	-2.6	+2.8	+3.4	13.5	+19	+0.1	-23	+0.3
		496.3	+2.6	495.1	-2.5	494.7 404 e	+0.2	499.4	-0.5	4964	0.0	+0.1	+1.0	+12	-3.0	0.8	-1.6	90	- 0.5
-	99. R	498.3	9.0 +	494.4		496.5		498.8		497.0	+0.4		+ + 6	1 C	× ×	+ 2 + + 2 + + 0 -	4. - - -	1.04	
		502.4	– – 9.0.0	488.9	+3.7	496.1	-1.2	498.8	+0.1	496.6	-0.2	- 2.9	+7.7	+0.5	-2.2	+5.1	- - -	+0.6	-1:0
		498.9		492.6		494.9		498.9	,	496.3			•	-				-	
		0,4954																	
	24.8	958.5	-2.7	954.5	-0.4	951.5	+4.5	963.7	-4.1	957.0	-0.6	-1.5	+2.5	+5.5	-6.7	+0.8	+0.4	-44	+3.5
	2	948.7	+7.1	954.0	+ 0.1	956.0	0.0	954.6	+2.0	953.3	+3.1	+4.6		-2.7	1.3	- 15.3	+3.6	+3.8	-1.9
	20.8	960.0	-4- 	905.0	8.0 +	207.2		800.8	 2.3	958.U	0.1-	0.2	- 4	204	2.4	× 3	x c -		20 1 1 1
		900.1 954.6	+ 4.9	920.6		1 808	1.6 –	958 4		0.000	1 2		ب ا + آ	0.0	0.1	0.0		0.1 + 1.0 + 3.1	
	26.8	957.6	1	953.6	+0.5	954.6	+14	960.4		9566	-0.2	- 1	0.54	- - - - - -	2 00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0			-00-1	-090
	5	949.9	+ 5.9	948.6	- 1 - 1 - 1	953.4	+2.6	957.9	+1.7	952.4	+4.0	+2.5		-1-0	15.5	- 3.2	6.0 -	+2.1	+23
	27.8	957.8	-2.0	952.1	+2.0	956.2	-0.2	961.0	-1.4	956.8	-04	-1.9	+4.7	+0.6	-4.2	+0.3	-1.8	+0.5	+ 1.0
		955.8		954.1		956.0		959.6		956.4									
		0,4955																	
<u>.</u>	29.8	497.0	+0.8	491.5	+0.9	495.9	-05	499.9	0.8	496.1	+0.6	6.0	+46	+0.5	8. 8. 9. 9. 9. 9. 9. 9. 9. 9. 9. 9. 9. 9. 9.	+0.2	-1.7	+0.9	90+
	30.8	498.6	+ 0.0	491.4	+1.0	496.3	9.0	499.7	+1.0	496.5	+05	-2.1	+ 5.1	+ + 0.2	1 9.7	+ +	-2.2	0.0 + +	0.0
		499.3	-1.5	493.2	-0.8	495.6	+0.1	502.7	-2.0	497.7	-1.0	-1.6	+45	+2.1	5.0	+0.9	-1.6	-1.0	+1.8
	31.8	494.8	+3.0	493.5	-1.1	493.9	+1.8	500.6	+0.1	4957	+10	+0.9	+2.2	+1.8	-4.9	-1.6	+0.7	-0.7	+1.7
		497.8		492.4		495.7		5007		496.7									
Г —	') sr				3				C L Y		2	ž 0-	+2.9	+1.1	-3.2			ŝ	
[aa]			403		245		237		1/6		131					283	234	168	183
` ` 	[aa [19		5.30		3.22		3.11		2.31		1.72								
m,) •		2.3		± 1.8		+ 1.8		+ 1.5	τı	± 1.31								
		2	2	10	-		-			2 12	01.6	-		-1					
	/ m1	$+ m_{2}^{-}$ +	$m_3 + n$	- "1" +	1/3 48-	+ + 8	6 10 ⁻⁷	sek	- 0	• - 	07,0		 	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + +		 	= + 1.77	. 10-7	sek.
- - +	3 • 10	4 -7 sek.		·I					$M_{0}^{2} = -$	$\frac{1}{4}\mu^2 +$	$x^{2} = 1,$	72	5		. 07e	02 			
-	M,	1 -							 1-	\pm 1,5 \cdot	10^{-7} s(ek.	- M	m + -	+	1 U U U	0-7-01	<u>.</u>	
÷.	- 2 2	= ± 0,53	· - 10_ · 2	sek.					 ×	+ 1.1	10^{-7} se	sk.	- S -	- 27	- 8	0,±0			
	2									1	ſ			•	,				

Pomiary aparatem czterowahadłowym

Średni błąd średniej stacyjnej wahadła średniego określono

$$M_s = \frac{M_o}{\sqrt{5}} = \pm 0.58 \cdot 10^{-7} \, \text{sek}.$$

Analogiczne obliczenie błędu średniej stacyjnej przeprowadzono dla obserwacji na stanowiskach Gdańsk I i II (gdzie liczba obserwacji była zwiększona) otrzymując $M_s = \pm 0.7 \cdot 10^{-7}$ sek, co potwierdziło słuszność przyjęcia jednakowych wag dla wszystkich średnich stacyjnych.

8. 2. Analiza stałości okresów wahadeł w czasie całego cyklu obserwacji

W tablicy 2 zestawiono również różnice między wartościami zredukowanych okresów wahadła średniego i poszczególnych wahadeł ($T_{sr} - T$). Ponieważ na wyznaczenie różnic przyspieszeń mają wpływ zmiany okresów wahadeł, jakie zachodzą w czasie od wyjścia z jakiegoś stanowiska do powrotu na to stanowisko, czyli w czasie zamkniętego cyklu obserwacji, dla analizy stałości ($T_{sr} - T$) rozbito całość materiału obserwacyjnego na 5 części (rozbicie to nie jest uwidocznione w tablicy). Obliczono dla każdej części średnie wartości ($T_{sr} - T$) i poprawki V zaobserwowanych ($T_{sr} - T$). Wyliczono z poprawek V średni błąd pojedynczego spostrzezenia, a następnie średni błąd średniej stacyjnej, który wyniósł

$$M_s = \pm 0.38 \cdot 10^{-7}$$
 sek.

Celem skontrolowania stałości okresów w czasie dwumiesięcznego cyklu obserwacji, obliczenia powtórzono względem wartości średnich $(T_{sr} - T)$ ze wszystkich obserwacji (podane w tablicy 2), uzyskując w wyniku

$$M_s = \pm 0.40 \cdot 10^{-7}$$
 sek.

Otrzymane wartości na M_s w powyższych dwóch analizach świadczą o tym, że względne zmiany wahadeł miały charakter krótkookresowy i nie narastały w sposób systematyczny w dłuższym okresie czasu. Porównując uzyskaną wartość średniego błędu średniej stacyjnej $M_s = \pm 0,40$. 10^{-7} sek. z analogicznym błędem, uzyskanym z analizy wewnętrznej zgodności obserwacji na stanowiskach $M_s = \pm 0,58 \cdot 10^{-7}$ sek, można stwierdzić, że zmiany okresów wahadeł w czasie transportu były małe w porównaniu do pozostałych błędów obserwacji. Można było zatem przystąpić do obliczenia różnic przyspieszeń i wyrównania obserwacji.

8. 3. Analiza błędów redukcji i dokładności wyznaczenia różnicy przyspieszenia

Na błąd wyznaczenia różnicy przyspieszenia składają się błędy obserwacji okresów, błędy redukcji i błąd kompensacji ziemskiego pola magnetycznego. W rozdziale 8. 1. i 8. 2. określono już średni błąd średniej stacyjnej, a mianowicie z wewnętrznej zgodności wyników na stanowiskach otrzymano $M_s = \pm 0.58 \cdot 10^{-7}$ sek, zaś z analizy stałości okresów wahadeł w czasie otrzymano $M_s = \pm 0.40 \cdot 10^{-7}$ sek. Dla oceny wpływu błędów redukcji na pomiar różnicy przyspieszenia, zestawiono w tablicy 3 średnie warunki obserwacji na stanowiskach, a mianowicie średnią temperaturę, ciśnienie i amplitudę, średnią wartość redukcji na współdrganie statywu oraz różnicę redukcji na chód zegara, odniesionych do dwóch różnych sygnałów czasu.

Та	bl	ica	3
	~~		

Stanowisko	t _{śr}	\(\Lambda t_{\(\sigma\)r}\)	d _{śr}	$ \Delta d_{sr} $	a śr	$ \Delta a_{sr} $	$ \Delta T_s _{sr}$	$\Delta T_u GBR + - \Delta T_u MSF$
WP. I Zak. I KW. I Kuź. I Zak. II Kuź. II Kw. II Kuź. III Kr. I Gd. I WP. III Kr. II Zak. III Kr. III WP. IV Gd. I WP. V	°C 18.0 15 2 18.0 15.6 16.0 16.1 16.1 16.1 16.3 15.2 18.9 17.3 18.2 16.4 16.6 17.8 17.9 17.7 17.9	°C 2.8 2.8 2.4 0.4 0.1 0.0 0.2 1.1 8.7 1.6 0.9 1.8 0.2 1.2 0.1 0.2 0.2	mm 9.4 9.8 9 0 8.7 9 2 9 8 9.5 9.4 9.8 8.6 9.2 9.4 9.7 9.0 9.2 9.4 9.3 10.0	mm 0.4 0.8 0.3 0.5 0.6 0.3 0.1 0.4 1.2 0.6 0.2 0.2 0.3 0.7 0.2 0.2 0.2 0.1 0.7	 22.5 21.6 21.5 21.8 21.3 21.6 21.2 21.4 21.8 22.6 22.1 21.9 22.1 22.3 21.9 22.3 22.3 	0.9 0.1 0.3 0.5 0.3 0.4 0.2 0.4 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.4 0.4 0.4 0.0 0.0	$10^{-7} \text{ sek} \\ -0.02 \\ -0.02 \\ -0.02 \\ -0.02 \\ -0.02 \\ -0.02 \\ -0.02 \\ -0.01 \\ -0.04 \\ -0.02 \\ -0.02 \\ -0.01 \\ -0.06 \\ -0.03 \\ -0.02 \\ -0.04 \\ -0.06 \\ -0.02 \\ -0.04 \\ -0.02 \\ -0.03 \\ -0.02 \\ -0.03 \\ -0.02 \\ -0.03 \\ -0$	$10^{-7} \text{ sek} \\ 0.00 \\ - 0.02 \\ - 0.14 \\ + 0.10 \\ + 0.04 \\ - 0.16 \\ - 0.14 \\ + 0.06 \\ + 0.06 \\ + 0.04 \\ + 0.03 \\ - 0.06 \\ - 0.16 \\ - 0.16 \\ - 0.16 \\ - 0.16 \\ - 0.16 \\ - 0.00 \\ - 0.16 \\ - 0.16 \\ - 0.00 \\ - 0.16 \\ - 0.00 \\ - 0.16 \\ - 0.00 \\ - 0.16 \\ - 0.00 \\ - 0.16 \\ - 0.00 \\ - 0.16 \\ - 0.16 \\ - 0.00 \\ - 0.16 \\ - 0.14 \\ - 0.04 \\ - 0.04 \\ - 0.04 \\ - 0.06 \\ - 0.16 \\ - 0.06 \\ - 0.16 \\ - 0$
Średnia		1.2		0.4				[dd] = 0.112

a) Błąd redukcji termicznej

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

 $m_t = m_a \cdot \Delta t_{sr}$

gdzie m_{α} — błąd współczynnika termicznego wahadła średniego równy ± 0,04 . $\cdot 10^{-7} \text{ sek}/1^{\circ}\text{C}$

 Δt_{tr} — średnia różnica temperatur na sąsiednich stanowiskach, równa 1,2°C

otrzymując: $m_t = \pm 0.05 \quad 10^{-7}$ sek.

b) Błąd redukcji ze względu na ciśnienie Ze wzoru redukcyjnego

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

określono błąd redukcji

$$m_d = \pm \sqrt{-m_{\ell_s}^2 (\Delta d_{sr})^2 + m_{k_s}^2 (\Delta \sqrt{d_{sr}})^2}$$

gdzie błędy współczynników redukcji: $m_{k_1} = \pm 0,003.10^{-7}$ sek $m_{k_2} = \pm 0,09.10^{-7}$ sek

 $(\Delta d)_{sr}$ — średnia różnica ciśnienia na sąsiednich stanowiskach, równa 0,4, otrzymując: $m_d = \pm 0,007 \cdot 10^{-7}$ sek.

c) Błąd redukcji ze względu na amplitudę

Uwzględniając pierwszy człon wzoru redukcyjnego

 $\Delta T_a = -0.0262 \cdot a^2 = A \cdot a^2$

błąd tej redukcji określono

$$m_a = m_A$$
 . $\Delta a_{\acute{s}r}^2$

gdzie m_A — błąd teoretycznego współczynnika A (przyjęto 20%) $m_A = 0,0052$ Δa_{ir}^2 — średnia różnica kwadratów amplitud na sąsiednich stanowiskach, równa (22.3² — 22.0²)

otrzymując: $m_a = \pm 0.07 \cdot 10^{-7}$ sek.

d) Błąd redukcji ze względu na współdrganie statywu

Ponieważ średnie wartości tej redukcji na stanowiskach są mniejsze od $0.1 \cdot 10^{-7}$ sek. można przyjąć, że błąd m_s jest mniejszy od $0.1 \cdot 10^{-7}$ sek.

e) Błąd redukcji ze względu na chód zegara

Wartość tej redukcji wyprowadzono niezależnie w oparciu o sygnały czasu GBR i MSF. Z rozbieżności tych redukcji d obliczono średni błąd redukcji, opartej na jednym zegarze

$$m_{u} = \pm \sqrt{rac{[dd]}{2n}} = \pm 0,07 \ . \ 10^{-7} \ {
m sek}.$$

f) Błąd kompensacji

Wpływ całkowitego błędu kompensacji ziemskiego pola magnetycznego 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 na danym stanowisku, którą można przyjąć, że jest rzędu $\pm 0.1 \cdot 10^{-7}$ sek.

Uzyskane wartości na poszczególne błędy pozwalają określić dokładność wyznaczenia Δg z pojedynczego nawiązania A-B

$$(m_{\Delta g})_o = \pm 0.4 \cdot V \quad 2M_s^2 + m_t^2 + m_d^2 + m_a^2 + m_s^2 + m_u^2 + m_k^2 \text{ mgal}$$

Przyjmując na M_s maksymalną z uzyskanych wartości w analizie $M_s = \pm 0.6 \cdot 10^{-7}$ sek, oraz na poszczególne błędy redukcji wartości $\pm 0.1 \cdot 10^{-7}$ otrzymujemy

$$(m_{\Delta g})_o = \pm 0.4 \sqrt{2 \cdot (0.6)^2 + 6 \cdot (0.1)^2} = \pm 0.35$$
 mgal.

9. Obliczenie różnic przyspieszeń i wyrównanie całego cyklu obserwacji

9. 1. Zaobserwowane różnice przyspieszeń

Ze średnich stacyjnych okresów sąsiednich stanowisk obliczono zaobserwowane różnice przyspieszeń w/g 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 i wahadła średniego. Uzyskane wyniki podaje tablica 4.

Tablica 4

Nr	Stanowiska	Δ	g zaobserwowar	1e
obs.	Statiowiska	para 1 — 2	para 3 — 4	wahadło śr.
1	WP. I — Zak. I	439.75	- 440.38	- 440.07
2	Zak. I — KW. I	-252.60	- 253.39	253.00
3	KW. I — Kuź. I	+ 217.90	+ 218.37	+ 218.13
4	Kuź, I — Zak. II	+ 34.15	+ 34.07	+ 34.11
5	Zak. II — Kuź. II	- 34.83	- 34.59	- 34.67
6	Kuź. II — KW. II	- 216.98	- 217.22	- 217.14
7	KW. II — Kuź. III	+217.46	+218.06	+217.74
8	Kuź. III — Kr. I	+ 290.80	+ 290.84	- - 290.84
9	Kr. I — WP. II	+ 184.80	+ 184.44	+ 184.64
10	WP. II — Gd. I	+ 214.83	+ 214.63	+ 214.71
11	Gd. I — WP. III	- 214.21	- 214.92	- 214.56
12	WP. III — Kr. II	- 184.75	- 183.80	184.24
13	Kr. II — Zak. III	-256.73	256.14	-256.45
14	Zak. III — Kr. III	+25559	+25583	+255.71
15	Kr. III — WP. IV	+ 185.81	+184.76	+ 185.03
16	WP. IV — Gd. II	+ 214.20	+213.52	+213.84
17	Gd. II — WP. V	- 213.97	- 214.05	- 214.01

ZESTAWIENIE ZAOBSERWOWANYCH RÓŻNIC PRZYSPIESZEŃ

jednostka — mgal

9. 2. Wyrównanie metodą obserwacji pośrednich

Przypisując średnim stacyjnym (jako okresom zaobserwowanym) poprawki v, wyrównanie obserwacji metodą najmniejszych kwadratów tj. przy spełnieniu warunku [vv] = minimum, prowadzi do obliczenia średnich ze wszystkich zaobserwowanych średnich stacyjnych na danym punkcie i wyznaczenia z nich Δg wyrównanego. Jednak ze względu na ewentualną zmianę okresów wahadeł w czasie, zakres stosowania tego sposobu wyrównania ogranicza się jedynie do programu rozmieszczającego obserwacje na punktach symetrycznie w czasie i dającego tylko bezpośrednie nawiązania.

Ponieważ wykonany cykl obserwacji warunków tych nie spełnia całkowicie, przyjęto jako wartości zaobserwowane różnice przyspieszeń, obliczone z obserwacji na sąsiednich stanowiskach, które wyrównano metodą spostrzeżeń pośrednich. Jako niewiadome, przyjęto różnice przyspieszeń między sąsiednimi wahadłowymi punktami bazy, a mianowicie:

> Δg Warszawa — Kraków Δg Kraków — Zakopane Δg Zakopane — Kuźnice Δg Kuźnice — Kasprowy Wierch Δg Warszawa — Gdańsk

Dla zaobserwowanej różnicy przyspieszeń $\Delta g'_{pk}$ między kolejnymi stanowiskami na punktach p i k można napisać równanie

$$\Delta g'_{pk} + v = \sum_{p}^{k} \Delta g$$

Przyjmując przybliżone wartości niewiadomych Δg_o , czyli zakładając

$$\Delta g = \Delta g_o + d \, \Delta g_i$$

otrzymujemy

$$\Delta g'_{pk} + v = \sum_{p}^{k} (\Delta g_{o} + d\Delta g) = \sum_{p}^{k} \Delta g_{o} + \sum_{p}^{k} d\Delta g$$

Ostatecznie równanie poprawki przyjmuje postać

$$v = \sum_{p}^{k} d\Delta g + l,$$
gdzie: $l = \sum_{p}^{k} \Delta g_{o} - \Delta g'_{pk}$

Na przybliżone wartości niewiadomych przyjęto:

Δg_o	Warszawa — Kraków	=	184	mgal.
Δg,	Kraków — Zakopane	=	256	,,
Δg_o	Zakopane Kuźnice		34	,,
Δg_o	Kuźnice — Kasprowy	W. =	218	,,
Δg_o	Warszawa — Gdańsk	= +	214	"

Dla określenia wag przeanalizowano dwie możliwe kombinacje:

1) przy programie obserwacji na stanowiskach A-B-C-D, średni błąd obserwacji B-C

$$m_{B-C} = M_s \sqrt{2}$$

gdzie: M_s — średni błąd stacyjny

2) przy programie obserwacji na stanowiskach A-B-C-B-A średni błąd

obserwacji B-C-B
$$m_{B-C-B} = M_s \sqrt{\frac{3}{2}}$$
, zaś $m_{B-C} = m_{B-C-B} \sqrt{2}$,
czyli $m_{B-C} = M_s \sqrt{3}$

Przyjmując dla programu pierwszego wagę $p_1 = 1$, otrzymujemy dla programu drugiego wagę $p_2 = \frac{2}{3}$.

Celem kontroli zgodności wyników obserwacji parami wahadeł, wyrównanie przeprowadzono niezależnie dla pary 1-2, pary 3-4 i wahadła średniego. Równania poprawek zestawiono w tablicy 5.

Z równań poprawek otrzymano 3 układy równań normalnych z 5-cioma niewiadomymi, z rozwiązania których wyznaczono niewiadome $d\Delta g$, współczynniki wagowe niewiadomych Q i średnie błędy niewiadomych $m_{\Delta g}$. Wyniki wyrównania jak również wartości $\Delta g = \Delta g_0 + d\Delta g$ zestawiono w tablicy 6.

Obliczony z rozbieżności wyników pary 1-2 i pary 3-4 średni błąd wyrównanych wartości Δg (\pm 0,16 mgal) wskazuje na dobrą zgodność wyników i świadczy, że błędy Δg obliczone dla wahadła średniego (w granicach od \pm 0,21 do \pm 0,25 mgal) są zupełnie wiarogodne.

9. 3. Wyrównanie metodą średniej ogólnej z obserwacji Δg bezpośrednich i kombinowanych

Celem kontroli metody zastosowanej w punkcie 9. 2, obliczono wartości niewiadomych, przyjętych w poprzednim wyrównaniu jako średnie ogólne, z bezpośrednich obserwacji tych niewiadomych i z wartości uzyskanych z kombinacji innych obserwacji.

Z całego cyklu obserwacji na 18 stanowiskach obliczono zaobserwowane różnice przyspieszeń Δg z dwóch, względnie trzech kolejnych stanowisk obserwacyjnych, w zależności od programu obserwacji, przypisując im odpowiednie wagi, a mianowicie:

ŝ	
ablica	
H	

188

ZESTAWIENIE RÓWNAÑ POPRAWEK

1																		· · ·	
	wah. śr.	— 0.37	+0.36	- 0.25	+ 0.65	- 0.09	- 0.74	+ 0.14	-0.16	-0.12	-0.43	+0.28	-0.28	+0.53	+0.21	- 0.51	+ 0.44	- 0.27	1.95
v mgal	para 3-4	0.00	+0.49	-0.21	+ 0.67	- 0.15	- 0.94	+ 0.10	- 0.06	-0.10	-0.35	+0.64	-0.54	+0.10	+0.21	-0.42	+0.76	-0.23	2.50
	para 1–2	- 0.73	+ 0.20	- 0.31	+ 0.66	+0.02	- 0.61	+ 0.13	-0.22	- 0.09	- 0.53	- 0.09	+ 0.04	+ 0.96	+ 0.18	- 0.60	+ 0.10	- 0.33	2.55
<i>g'</i>	wah. śr.	+ 0.07	+ 1.00	-0.13	- 0.11	+ 0.67	0.86	+0.26		0.64	- 0.71	+0.56	+0.24	+ 0.45	+0.29	- 1.03	+0.16	+ 0.01	ł
$= \sum_{p}^{k} \Delta g_{o} - \Delta$	para 3-4	+ 0.38	+ 1.39	-0.37	- 0.07	+0.59	0.78	- 0.06	0.84	-0.44	- 0.63	+ 0.92	-0.20	+ 0.14	+ 0.17	-0.76	+ 0.48	+ 0.05	[aad]
<i>l</i> =	para 1-2	- 0.25	+ 0.60	+0.10	-0.15	+ 0.83	-1.02	+0.54	- 0.80	- 0.80	- 0.83	+0.21	+0.75	+0.73	+0.41	- 1.31	- 0.20	- 0.03	
$d \Delta g$ WP - Gd											7	1					1	1	
d ∆ g K115 –KW			1	-			+1	-1											
$d \Delta g$ Zak -Kuź			7		-1	+1													
$d \Delta g$ KrZak		7							1					Ŧ	ī				
$d \Delta g$ WP-Kr		7								-			7			Ī			
d		1.00	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0 67	1.00	1.00	0.67	0.67	1.00	0.67	0.67	1.00	0.67	0.67	
Nr bs.		ц	5	က	4	ю	9	2	æ	6	10	11	12	13	14	15	16	17	

Zbigniew Ząbek, Weneda Dobaczewska

 ± 0.402

 0.461 ± 0.456

 $m_o =$

9	
сa	
bli	
ы Б	

			$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[p:v]}{12}}$ $\pm 0.461 \text{ mgal}$ ± 0.402 ± 0.402		$(m_{\Delta_{\delta}})_{sr} = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{4n}}$ = \pm 0.16 mgal
ERWACJI	WP — Gd.	mgal + 0.30 + 0.28	0.373 + 0.28 + 0.25	+ 214.30 + 214.28 + 214.28	+ 0.02
METODĄ OBS	Kuź. – KW	mgal + 0.41 - 0.16 + 0.12	0.333 + 0.27 + 0.26 + 0.23	— 217.59 — 218.16 — 217.88	+ 0.57
YRÓWNANIA DÉREDNICH	Zak. — Kuź.	mgal - 081 - 0.74 - 0.76	0.368 +++++ 0.28 0.24		- 0.07
WYNIKÓW W PO	Kr. — Zak.	mgal + 0.23 + 0.04 + 0.08	0.362 ± 0.28 ± 0.27 ± 0.24	255.77 256.04 255.92	+ 0.27
ZESTAWIENIE	WP – Kr.	mgal - 0.71 - 0.34 - 0.52	0.273 ± 0.24 ± 0.24 ± 0.21		- 0.37
		d Δ <i>q</i> para 1−2 ,, 3−4 wah. śr.	$Q \qquad m_{\Delta g} = m_0 \sqrt{Q} \text{ para } 1-2$ $m_{\Delta g} = m_0 \sqrt{N} \qquad m_{\Delta g} = 4$ wah. śr.	$\Delta g = \Delta g_0 + d\Delta g$ para $1 - 2$, $3 - 4$ wah. śr.	$d = \Delta g_{1-2} - \Delta g_{3-4}$

Pomiary aparatem czterowahadłowym

1) przy programie obserwacji A-B-C-D, obliczonemu Δg_{B-C} z dwóch stanowisk przypisano wagę 1

2) przy programie obserwacji A-B-C-D, obliczonemu Δg_{B-C-B} z trzech stanowisk przypisano wagę 1,33.

W wyniku otrzymano 12 zaobserwowanych wartości Δg , które podaje tablica 7.

Tablica 7

Nr obs.	Stanowiska	<i>p</i>	Δg _{obs} mgal
1	WP. I — Zak. I	1.00	- 440.07
2	Zak. I — KW. I	1.00	-253.00
3	KW. I — Kuź. I	1.00	- 218.13
4	Kuź. I – Zak. II – Kuź. II	1.33	— 34.39
5	Kuź. II – KW. II – Kuź. III	1.33	217.44
6	Kuź. III — Kr. I	1.00	- 290.84
7	Kr. I — WP. II	1.00	- 184.64
8	WP. II — Gd. I — WP. III	1.33	+ 214.64
9	WP. III — Kr. II	1.00	184.24
10	Kr. II — Zak. III — Kr. III	1.33	- 256.08
11	Kr. III — WP. IV	1.00	- 185.03
12	WP. $IV - Gd. II - WP. V$	1.33	+ 213.92
	1		

Dla obliczenia różnicy przyspieszeń między sąsiednimi punktami bazy np. A-B, wzięto pod uwagę bezpośrednie wyznaczenie Δg_{A-B} oraz uzyskane wartości Δg_{A-B} z różnic obserwacji, np. Δg_{A-C} minus bezpośredni pomiar Δg_{B-C} . Obliczenie średnich ogólnych Δg , poprawek Δg zaobserwowanych i średnich błędów podaje tablica 8.

10. Zestawienie i ocena dokładności wyników

Każde z opisanych wyżej wyrównań wyników obserwacji przeprowadzone zostało niezależnie przez dwie osoby. Uzyskane wyniki z obu metod są zadowalająco zgodne. Jako ostateczne Δg przyjęto średnie wartości z dwóch wyrównań, które zredukowano jeszcze ze względu na wysokość używanej podstawy kamiennej pod aparatem wahadłowym. Ponieważ podstawę tę używano przy obserwacjach na podłodze i jedynie na punkcie obserwcyjnym Warszawa Politechnika (słup) podstawa ta nie była używana, zastosowanie płyty kamiennej wpłynęło na Δg Warszawa — Kraków i Δg Warszawa — Gdańsk. Uzyskne wyniki zestawiono w tablicy 9.

Dla ostatecznej oceny wyników pomiarów wzięto pod uwagę średnie błędy pojedynczego nawiązania m_o wyprowadzone różnymi drogami, a mianowicie:

1) z analizy wyników poszczególnych obserwacji na stanowiskach oraz z analizy błędów redukcji otrzymano $m_o = \pm 0.35$ mgal.

Tablica 8

Nr Oblicze- Δg_{wyr} . Δg_{obs} . \boldsymbol{v} pvNawiązanie obsernie p $m_{\Delta g}$ mgal mgal mgal wacji wag WP.-Kr. 7 1.00 - 184 64 + 0.11 +0.11-0.299 1.00 -184.24-0.29-0.501.00 -183.03- 0.50 11 1 -- 10 -0.54- 0.31 0.57 - 183.99 1 1 1.33 ł 3.57 -184.53+0.01-184.550.25 ++0.13Kr. – Zak. 10 1.33 -- 256.08 +0.101 0.75 -255.44-0.54- 0.40 1-(7,9,11) 1 3.00 1 +0.276 - 40.57-256.45+0.471 $1 + \frac{1}{1.33}$ 2.65-255.980.00 -255.98± 0.29 Zak. – Kuź. 1.33 -- 34.39 -0.32- 0.43 4 2 - 3.5) 0.70 35.26 +0.55+0.382.33 +0.05+0.036 - 100.57 34.761 1.33 34.71 2.60 - 3471 -0.020.29 +0.22Kuź. – KW. --- 218.13 +0.223 1.00 - 0.63 1.33 - 217.44 - 0.47 5 1 2 - 40.57 -218.61+0.70+0.401 $1 + \frac{1}{1.33}$ - 0.01 -217.912.90-217.91± 0.27- 0.48 WP. - Gd. 8 1.33 + 214.64-0.36+213.92+ 0.36+0.4812 1.33 +214.28+214.280.00 2.66 0.29 ÷

OBLICZENIE ŚREDNICH OGÓLNYCH Z OBSERWACJI $\triangle g$ BEZPOŚREDNICH I KOMBINOWANYCH

[pvv] = 2.188

$$m_0^2 = rac{2.188}{10} =$$

= 0.2188
 $m_0 = \pm 0.47$

Tablica 9

192

ZESTAWIENIE WYNIKÓW WYRÓWNAÑ I OSTATECZNYCH WARTOŚCI Δg

	°m	± 0.40	<u>+</u> 0.47			
WP. – Gd.	w w	± 0.25	± 0.29			± 0.29
	Δ <i>g</i> mgal	+ 214 28 30	+ 214.28 30	+ 214.29	+ 0.04	+ 214.33
- KW.	w	± 0.23	± 0.27			± 0.27
Kuź	$\Delta \eta$ mgal	— 217.88 89	- 217.91 91	- 217.90	1	- 217.90
– Kuź.	m	± 0.24	+ 0.29			± 0.29
Zak	Δ <i>g</i> mgal	— 34.76 77	- 34.71 71	- 34.74	l	- 34.74
- Zak.	m	± 0.24	+ 0.29			± 0.29
Kr	∆ <i>g</i> mgal	- 255.92	- 255.98	- 255.94	ł	- 255.94
– Kr.	m	+ 0.21	± 0.25			± 0.25
WP.	Δ <i>g</i> mgal	— 184.52 53		- 184.53	+ 0.04	- 184.49
		Wyrównanie metodą obserwacji pośrednich	Wyrównanie metodą średniej ogólnej Δg	Δg śr.	Redukcja do poziomu podłogi ze względu na podstawę kamienną	Ostateczne ∆g

2) z wyrównania całego cyklu obserwacji metodą spostrzeżeń pośrednich otrzymano $m_{.o} = \pm 0.40$ mgal, zaś metodą średniej ogólnej Δg otrzymano $m_o = \pm 0.47$ mgal.

Jako ostateczne średnie błędy wyrównanych Δg , przyjęto wartości odpowiadające maksymalnemu średniemu błędowi pojedynczego nawiązania, tj. uzyskane z wyrównania metodą średniej ogólnej. Błędy te kształtują się w granicach

od \pm 0,25 do \pm 0,29 mgal.

Oparcie tej oceny o wielostronną analizę wyników oraz przyjęcia, jako ostatecznych średnich błędów, wartości maksymalnych, stanowi gwarancję wiarogodności powyższej oceny.

Przechodząc do obliczenia przyspieszeń w punktach bazy, przyjęto dla punktu wyjściowego tj. dla Politechniki Warszawskiej, przyspieszenie odniesione do punktu głównego Polski, Warszawa Główny Urząd Miar $g_{GUM} = 981,2403$ gal. Różnicę przyspieszenia między punktami Główny Urząd Miar i Politechnika Warszawska przyjęto z pomiarów wahadłowych, wykonanych przez Katedrę Geodezji Wyższej w roku ubiegłym, oraz z wielokrotnych obserwacji grawimetrem Nörgaarda, wykonanych przez Instytut Geodezji i Kartografii

$$g_{WP} - g_{GUM} = -3.1$$
 mgal.

Przyspieszenia siły ciężkości na punktach bazy w powyższym układzie przedstawiono w tablicy 10.

Tablica 10

Nazwa punktu	Δg mgal	<i>g</i> mgal
Gdańsk — Wyższa Szkoła Pedagogiczna Warszawa — Politechnika Kraków — Obserwatorium Astr. U. J. Zakopane — Muzeum Tatrzańskie Kuźnice — Prewentorium Kasprowy Wierch — Obs. Meteorolog.	214.33 184.49 255.94 34.74 217.90	981451,53 981237,2 981052,71 980796,77 980762,03 980544,13

Odnośnie oceny dokładności wyznaczonych przyspieszeń g w układzie Warszawy można przyjąć, że ze względu na dużą ilość obserwacji (5-krotne stanowisko) na punkcie Politechnika Warszawska, średnie błędy przyspieszeń g punktów Zakopane, Kuźnice i Kasprowy Wierch, odniesionych do Warszawy, są tego samego rzędu co średnie błędy poszczególnych Δg , a więc mieszczą się w granicach \pm 0,3 mgal.

LITERATURA

- Andersen E. Relative Bestimmung der Schwerkraft auf den Stationen Kobenhavn, Potsdam, Stockholm, Helsinki, Pulkowo, Tallin, Riga, Kaunas und Danzig (1930). Ballische Geodätische Kommision Sonderveröff. N. 6. Helsinki 1937.
- [2] Brockamp B. Bestimmung der Schweredifferenz Kopenhagen-Potsdam (1935). Baltische Geodätische Kommision Sonderveröff. N. 6, Helsinki 1937.
- [3] Bułanże Ju D. Wlijanije magnitnowo pola ziemli na inwarnyje majatniki. Akadiemija Nauk SSSR. Trudy Gieofiziczeskowo Instituta Nr. 2 (129). Moskwa-Leningrad 1948.
- [4] Hirvonen R. A. Relative Bestimmungen der Schwerkraft in Finnland in den Jahren 1931, 1933 und 1935. Suomen Geodeettisen Laitoksen Julkaisuja, Veröffentlichungen des Finnischen Geodätischen Institutes N. 23. Helsinki 1937.
- [5] Kwiatkowski A. Wyznaczenie przyspieszenia siły ciężkości w 14-tu punktach Pomorza w r. 1928. Główny Urząd Miar, Warszawa 1931.
- [6] Kwiatkowski A. Prace grawimetryczne w latach 1933-1934. Głów.iy Urząd Miar, Warszawa, 1935.
- [7] Kwiatkowski A. Prace grawimetryczne w latach 1936 i 1937. Główny Urząd Miar, Warszawa, 1938.
- [8] Pesonen U. Relative Bestimmungen der Schwerkraft in Finnland in den Jahren 1926-1929. Suomen Geodettisen Laitoksen Julkaisuja, Veröffentlichungen des Finnischen Geodätischen Institutes N. 13, Helsinki 1930.
- [9] Schmehl H. Relative Bestimmung der Schwerkraft auf den Stationen Kopenhagen, Stockholm, Helsinki, Pulkowo, Tallin, Riga, Kaunas, Danzig im Anschluss an Potsdam (1930). Baltische Geodätische Komission, Sonderveröff. N. 6, Helsinki, 1937.
- [10] Swick Cl. H. Pendulum Gravity Measurements and Isostatic Reductions. U S. Departament of Comerce, Special Publikation Nr 232, 1942.

ЗБИГНЕВ ЗОМБЭК ВЭНЭДА ДОБАЧЕВСКА

НАБЛЮДЕНИЯ ЧЕТЫРЕХМАЯТНИКОВЫМ ПРИБОРОМ НА ПУНКТАХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО БАЗИСА

Работа, исполненная Кафедрой Высшей Геодезии Варшавского Политехнического Института в 1956 г. в рамах сотрудничества с Институтом Геодезии и Картографии.

Резюме

Исполненные нами маятниковые наблюдения имели своей целью определение, с возможно высокой точностью, разностей ускорения силы тяжести между шестью маятниковыми пунктами гравиметрического базиса Гданьск—Каспровы Верх. Полевые наблюдения были исполнены в течение июля и августа 1956 года, а все вычисления окончено в ноябре того же года.

Наблюдения производились четырехмаятниковым прибором Аскания № 5115295 с фотографической записью, комплектом полусекундных инварных маятников типа Штернека. Верхняя пластинка колонки штатива инструмента имеет четыре выступающие кронштейны, с врезанными на их концах плоско отшлифованными агатовыми подушками для маятников (фиг. 12). На фотограмме записываются радиосигналы времени (или сигналы передаваемые по проводу) и моменты прохождении маятников через положения равновесия.

При всех наблюдениях влияние вертикальной слагающей магнитного поля Земли было компенсировано при помощи специальной аппаратуры собственной конструкции. Главным элементом этой аппаратуры есть катушка Гельмгольца, радиуса 80 см., питаемая постоянным током напряжения 12,5 вольт. Степень компенсации магнитного поля определялась индуктором с чуствительностью 0,001 Г. Эта аппаратура позволяет компенсировать магнитное поле в пространстве вокруг маятников с точностью 1 %. Чтобы маятники во время наблюдении находились в середине катушки, в помещениях, где не было специального маятникового столба, маятниковый прибор ставился на каменной подставке. выс. 13 см., связанной гипсовым раствором с бетонным полом. Маятниковый прибор был приготовлен к наблюдениям в 1955 году. Периоды маятников были отрегулированы и согласованы, получая равенство периодов всех четырех маятников в пределах 5 · 10⁻⁷ сек.

Произведено целый ряд опытных наблюдении, на основании которых определено, что най более соответственной программой наблюдении на каждом пункте будет 5 шестичасовых наблюдении маятников, причем периоды маятников следует вычислять из четырехсекундных, начальных и концевых записей.

Зимой 1955/56 г. были определены и исследованы коэффициенты и формулы поправок к наблюденным периодам маятников, а именно: Формула для приведения к бесконечно малой амплитуде:

$$\Delta T_{a} = -\frac{T'}{16} \cdot \left(\frac{a_{p} + a_{k}}{2}\right)^{2} \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{a_{p} - a_{k}}{a_{p} + a_{k}}\right)^{2} - \frac{4}{45} \left(\frac{a_{p} - a_{k}}{a_{p} + a_{k}}\right)^{4}\right]$$

и, относительно влияния сокачания штатива — формулы Шмеля 1927 [5] и 1930 [9]. Оказалось, что поправку ΔT_a согласно в. под. формуле можно вводить при шестичасовых наблюдениях по начальной и концевой записях (по фотограмме), но поправка за сокачание, вычисленная для шестичасовых наблюдении, отягчена ошибкой, доходящей до $1 \cdot 10^{-7}$ сек. Вследствие этого, поправку за сокачание вычисляли, учитывая первый член формулы Шмеля 1927 г.

$$\Delta T_{si} = s \cdot \left[-1 + \frac{\left(\frac{a}{a_i}\cos\varphi\right)_p + \left(\frac{a}{a_i}\cos\varphi\right)_k}{2} \right]$$

для частичных двучасовых промежутков, в течении которых изменение поправки можно считать линейным.

Барометрические коэффициенты маятников для приведения их пёриодов к нулевому давлению были эмпирически определены из трех серии наблюдении при постоянной температуре:

1-ая серия при давлениях: 5, 11, 20, 50, 120, 120, 50, 20, 11, 5 мм столба ртути

2-ая	,,	,,	,,	11, 5, 11 мм столба ртути
3-ae	,,	,,	,,	10, 150, 760, 760, 150, 10 мм. столба ртути

Поправки периодов за давление вычислялись по формуле :

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

где d — плотность воздуха, выраженная в мм. столба ртути.

Так как расхождение коэффициентов каждого из четырех маятников и среднего маятника получалось в пределах ошибок их опреде-

ления, принято окончательно общий коэффициент для всех четырех маятников:

$$k_1 = (-0.775 \pm 0.003) \cdot 10^{-7}$$
 сек.
 $k_2 = (-4.99 \pm 0.09) \cdot 10^{-7}$ сек.

Для поправки за температуру принято формулу:

$$\Delta T_t = \alpha \left(t - t_o \right) + \sigma_{\Delta t} \Delta t / 1^h.$$

Температурный коэффициент а был определен из двух серий наблюдении периодов при постоянном давлении:

1-ая серия: температура: 11, 17, 23, 30, 30, 23, 17, 11, 6 °С 2-ая ,, ,, 6, 11, 17, 23, 30, 30, 23, 17, 11, 6 °С

получая для отдельных маятников следующие значения:

$a_1 = (-2,74 \pm 0,06)$	· 10 ⁻⁷	сек/1	°C
$a_2 = (-1,49 \pm 0,02)$,,	,,	,,
$a_3 = (-2,85 \pm 0,10)$,,	,,	,,
$a_4 = (-1,67 \pm 0,10)$,,	,,	,,

Динамический температурный коэффициент определено из наблюдении периодов при возрастающей температуре, получая, для градиента температуры + 1 °C/1^h:

$$a_{\Delta t} = 2.4 \cdot 10^{-7}$$
 сек.

Кроме того, исследовано влияние изменении напряжения магнитного поля Земли на периоды маятников. Определено магнитные моменты маятников и вычислено, что изменение напряжения магнитного поля на 0,1 Г, вызывает ошибку определения разности ускорении порядка 1,6 мгл. Эту ошибку элиминировано, применяя специально для этой цели построенную компенсационную аппаратуру; ошибка компенсации может вызвать случайную ошибку разности ускорении, не превышающую \pm 0,1 мгл.

Из шести маятииковых пунктов гравиметрического базиса: Гданьск, Варшава, Кракув, Закопанэ, Кузьницэ и Каспровы Верх – два, а именно: Гданьск и Кракув тождественны с старыми маятниковыми пунктами. Остальные пункты были избраны в помещениях, гарантирующих самые лучшие условия наблюдении. Обращено особенное внимание на соответственное приготовление помещении и их чистоту (новое крашение стен, отсутствие пыли).

На пункте Варшава, Политехнический Институт, маятниковый прибор ставился на специальном маятниковом столбе, а на остальных пунктах — на специальной каменной подставке, связываемой гипсовым раствором с бетонным полом.

Чтобы получить с возможно одинаковой точностью разности ускорении силы тяжести между соседними пунктами, принято следующий

цикл наблюдении: Варшава I, Закопанэ I, Каспровы Верх I, Кузьницэ I, Закопанэ II, Кузьницэ II, Каспровы Верх II, Кузьницэ III, Кракув I, Варшава II, Гданьск I, Варшава III, Кракув II, Закопанэ III, Кракув III, Варшава IV, Гданьск II, Варшава V. Большое число повторении наблюдении на главном пункте — Варшава — дает хороший контроль постоянства периодов маятников во времени. Выше поданный цикл размещает набюдения на остальных пунктах возможно равномерно и симметрично во времени.

Относительно программы наблюдении на пунктах, как правило, принято соблюдение одинаковых условии всех наблюдении, а именно: одинаковой продолжительности наблюдении, одинаковых амплитуд маятников, давления и температуры; как допускаемую разницу средних температур на двух соседних пунктах принято 4 °C.

На каждом наблюдаемом пункте соблюдали следующий ток работы:

- 1. Закрепление каменного основания на бетонном полу (гипсовым раствором).
- 2. Сборка компенсирующей магнитной аппаратуры и компенсирование вертикальной слагающей магнитного поля.
- 3. Установка маятникового прибора, удаление пыли с ребер агатовых призм маятников, юстировка, выкачание воздуха из под колпака маятникового прибора до давления 9 мм.
- 4. Пробное, приблизительно шестичасовое наблюдение, расматриваемое как период стабилизаций температуры, давления и перехода маятников, после транспорта в условия наблюдении. В случае большого изменения относительного хода маятников в сравнении с их ходом на предыдущим пункте, вторично возвращались к очистке ребер призм маятников, проверяли юстировку и опять исполняли пробное наблюдение.

5. Исполнение надлежащих наблюдении, т. е. пяти шестичасовых наблюдении периодов маятников и наблюдении сокачания штатива. Для службы времени ползовались популярными сигналами времени (6 точек) и сигналами для астрономических наблюдении, передаваемыми варшавской радиостанцией. В течение всего времени маятниковых наблюдений (июль-август 1956 г.), эти сигналы были передаваемы с кварцевых часов Q_{11} Главного Управления Мер в Варшаве. Для определения поправок к наблюденным периодам маяатников за ход часов Q_{11} , часы Q_{11} были сравниваемы с кварцевыми часами Q_{10} и сигналами международной службы времени GBR и MSF. На графике (фиг. 20) представлен ход часов Q_{11} относительно трех часов $2T_u$, определенных относительно GBR и MSF, вычислено среднюю квадратическую ошибку поправки ΔT_u $m_u = \pm 0,07 \cdot 10^{-7}$ сек.

В наблюденные периоды маяатников введены поправки, приводящие их к периодам, соответствующим бесконечно малым амплитудам,

температуре + 15° С, давлению 0 мм. стслба ртути и поправки за сокачание штатива, согласно формулам, принятым при исследовании маятникового прибора. Результаты наблюдении и поправки поданы в таблице 1.

По приведенным периодам маятников вычислено средние периоды на пунктах и проанализировано точность наблюдении (таблица 2). По внутреннему согласию наблюдении на пунктах вычислено — из полного цикла маятниковых наблюдении — среднюю квадратическую ошибку единичного определения периода для единичного маятника $m_o = \pm 1,9.10^{-7}$ сек., а для периода среднего маятника $M_o = \pm 1,3.10^{-7}$ сек. При пяти наблюдениях на пункте, средняя квадратическая ошибка среднего периода на пункте получилась:

$$M_s = \pm 0.6 \cdot 10^{-7}$$
 сек.

Для пунктов Гданьск I и II (на которых число наблюдении было увеличено), аналогично вычисленная средняя квадратическая ошибка имела величину $M_s = \pm 0.7 \cdot 10^{-7}$ сек.; вследствие этого, для всех средних периодов на пунктах принято одинаковые весы.

Для исследования неизменности периодов маятников вычислено их относительные изменения в течение целого цикла наблюдении и из них определено среднюю квадратическую ошибку среднего периода на пункте $M_s = \pm 0.4 \cdot 10^{-7}$ сек. Сравнивая эту ошибку с ранее полученной величиной $M_s = \pm 0.6 \cdot 10^{-7}$ сек., можно утверждать, что изменения периодов маятников во время транспорта были меньше других ошибок наблюдении. Принимая окончательно среднюю квадратическую ошибку среднего периода на пункте $M_s = \pm 0.6 \cdot 10^{-7}$ сек. и учитывая ошибки поправок: за температуру — m_t , за плотность воздуха — m_d , за амплитуду — m_a , за сокачание штатива — m_s , за ход часов — m_u и ошибку исключения влияния магнитного поля Земли — m_k , которые, как следует из анализа, меньше $0.1 \cdot 10^{-7}$ сек., ошибку определения разности ускорения силы тажести Δg из единичной связи A-B определено по формуле:

$$(m_{\Delta g})_o = \pm 0,4$$
 // 2 · $M_s^2 + m_t^2 + m_d^2 + m_a^2 + m_s^2 + m_a^2 + m_k^2$ мгл.

получая численно:

$$(m_{\Delta y})_o = \pm 0,35$$
 мгл.

В дальнейшем вычислено разности ускорении и уравновешено целый цикл всех наблюдений. По средним периодам пар маятников и среднего маятника, полученным на соседних пунктах, вычислено разности ускорении $\Delta g'$ (таблица 4), которые уравновешено по методу посредственных наблюдении; уравнения поправок имели вид: $\Delta g' + v = \Delta g$. Как неизвестные были приняты разности ускорении между соседними маятниковыми пунктами, применяя подстановку $\Delta g = \Delta g_o + d\Delta g$. Как

наблюдение с весом, равным единице, принято единичное определение разности ускорении $\Delta g_{(B-C)}$, при программе наблюдении A - B - C - D. При поочередных наблюдениях на пунктах A - B - C - B - A, полученная разность ускорении $\Delta g_{(B-C-B)}$ получает вес p = 1,33, а разность $\Delta g_{(B-C)}$ а также разность $\Delta g_{(C-B)}$ получит вес p = 0,67.

В таблице 5-ой даны уравнения поправок, а также их числовые значения полученные после уравновешения. В таблице 6-ой даны уравновешенные разности ускорении для пар маятников и для среднего маятника, а также их средние квадратические ошибки, которых числовые значения для окончательных значении Δg находятся в пределах от \pm 0,21 до \pm 0,25 мгл. Средняя квадратическая ошибка уравновешенных Δg , вычисленная из расхождении результатов пары маятников 1—2 и пары 3—4, равна \pm 0,16 мгл, что потверждает хорошее согласие пар.

Для контроля вторично уравновешено полный цикл наблюдении, вычисляя искомые значения разностей ускорении на соседних маятниковых пунктах как общие средние непосредственно полученных разностей и разностей найденных косвенным путем. Такое уравновешение исполнено для среднего маятника (таблица 7 и 8).

Все вычисления были исполняемы независимо на две руки. Как окончательные значения разностей ускорении Δg принято средние из полученных двумя путями уравновешения. Эти средние были еще исправлены поправкой за высоту каменной подставки (табл. 9).

Для окончательной оцены результатов наблюдении принято во внимание средние квадратические ошибки единичной связи m_o , полученные разными путями, а именно:

- 1) из анализа одиночных наблюдении на пунктах и анализа ошибок поправок получено: $m_o = \pm 0,35$ мгл.,
- 2) при уравновешении полного цикля наблюдении методом посредственных наблюдении получено: m_o = ± 0,40 мгл., а методом общей средней лg получено: m_o = ± 0,47 мгл.

Как окончательные средние квадратические ошибки управновешенных Δg принято их максимальные значения, т. е. полученные при уравновешении методом общей средней. Эти ошибки находятся в пределах :

от
$$\pm$$
 0,25 до \pm 0.29 мгл.

В табл. 10 даны значения ускорения силы тяжести для маятниковых пунктов гравиметрического базиса, принимая для исходного пункта — Варшава, Политехнический Институт — значение g = 981237,2 мгл. Зпачение g для этого пункта получено путем непосредственной связи (маятниками и гравиметрами) с основным исходным пунктом — Варшава, Главное Управление Мер.

ZBIGNIEW ZABEK WENEDA DOBACZEWSKA

MAKING MEASUREMENTS WITH THE HELP OF THE FOUR-PENDULUM APPARATUS AT THE POINTS OF A GRAVIMETRIC BASE

WORK DONE BY THE CHAIR OF HIGHER GEODESY AT THE WARSAW COL-LEGE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY IN CO-OPERATION WITH THE INSTI-TUTE OF GEODESY AND CARTOGRAPHY IN 1956

Summary

The object of the work was to determine, with as great accuracy as possible, the differences in acceleration of gravity between the six pendulum points of the Gdańsk — Kasprowy Wierch gravimetric base (Fig. 11). Measurements were made in July and August and the whole computation work finished in November 1956.

The measurements were made with the help of the Askania fourpendulum apparatus No. 5115295 with a set of invar half-second pendulums of the Sterneck type and a photo-recording device. The head of the tripod has the form of a cross on the bar of which the agate bearings of the pendulums are fixed (Fig. 12). The photo-recording apparatus registers on light-sensitive tape time-signals received by radio or by cable and moments of passing of the pendulums at the resting points.

In all observations the vertical component of the terrestrial magnetic field was compensated with the help of an apparatus constructed by the authors. A Helmholtzian bobbin of a radius of 80 cm to which direct current of 12,5 V was supplied was the essential part of the apparatus. In order to place the pendulums in the middle of the bobbin on the floorduring the observation the pendulum apparatus was fixed on a stone base 13 cm in height (Fig. 13). In order to determine the compensation of the magnetic field an inductor of a sensitivity of 0,001 Γ was installed. This apparatus secured the accuracy of the compensation of the terrestrial magnetic field within the area of the pendulums inside 1 per cent.

The apparatus was ready for observations in 1955. Pendulum periods were regulated so that the periods of all four pendulums were equal and inside $5 \cdot 10^{-7}$ sec. A cycle of experimental observations was made and on

its ground it was decided as the proper procedure to make five six-hour observations at the station and celculate the periods only from the initial and final four-second recordings.

The reduction equation of the pendulum periods were examined and determined in winter 1955-56. On the basis of the observation material the formulae of reduction to an infinitesimally small amplitude

$$\Delta T_{a} = \frac{T'}{16} \left(\frac{a_{p} + a_{k}}{2}\right)^{2} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{a_{p} - a_{k}}{a_{p} + a_{k}}\right)^{2} - \frac{4}{45} \left(\frac{a_{p} - a_{k}}{a_{p} + a_{k}}\right)^{4}\right]$$

were analysed and so were Schmehl's formulae of 1927 [5] and 1930 [9] in view of the sympathetic vibration of the tripod ΔT_s . As a result it was found that the reduction ΔT_a according to the given formula may be applied to a six-hour interval of the observation time from the initial and final recordings, while the reduction ΔT_s calculated for this interval contains an error amounting to $1 \cdot 10^{-7}$ sec. It was decided therefore to calculate the reduction ΔT_s by taking into account the first term of Schmehl's formula of 1927

$$\Delta T_{si} = s \left[-1 + \frac{\left(\frac{a}{a_i}\cos\varphi\right)_p + \left(\frac{a}{a_i}\cos\varphi\right)_k}{2} \right]$$

in partial two-hour intervals in which the momentary change in reduction may be treated as linear.

Coefficients of reduction to the zero pressure were determined empirically from three series of observations of the periods at the same temperature.

Series 1 at a pressure of about 5, 11, 20, 50, 120, 120, 50, 20, 11, 5 mm of mercury,

Series 2 at a pressure of about 11, 5, 11 mm of mercury,

Series 3 at a pressure of about 10, 150, 760, 760, 150, 10 mm of mercury.

As reduction equation the function of the second degree

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

was accepted, where d = density of air expressed in mm of mercury. Since the discrepancies between the coefficients of each of the pendulums and those of the mean pendulum were obtained inside the errors of their determination the common coefficients

$$k_1 = (-0.775 \pm 0.003) \cdot 10^{-7}$$
 sec.
 $k_2 = (-4.99 \pm 0.09) \cdot 10^{-7}$ sec.

were finally accepted.

The aquation of reduction for temperature was accepted in the form

$$\Delta T_{t} = \alpha \left(t - t_{o} \right) + \alpha_{\Delta t} \Delta t / 1^{h}.$$

The thermal coefficient α was determined from two series of observations of the periods at the same pressure:

Series 1 at a temperature of 11, 17, 23, 30, 30, 23, 17, 11, 6°C. Series 2 at a temperature of 6, 11, 17, 23, 30, 30, 23, 17, 11, 6°C. the following values being obtained for each of the pendulums:

$$\alpha_{1} = (-2.74 \pm 0.06) \cdot 10^{-7} \operatorname{sec}/1^{0} \mathrm{C}.$$

$$\alpha_{2} = (-1.49 \pm 0.02) ,,$$

$$\alpha_{3} = (-2.85 \pm 0.10) ,,$$

$$\alpha_{4} = (-1.67 \pm 0.10) ,,$$

The thermodynamic coefficient $\alpha_{\Delta t}$ was determined from the observation of the periods at a temperature growing at the rate of $1^{\circ}C/1^{h}$

$$\alpha_{\Delta t} = + 2.4 \cdot 10^{-7}$$
 sec.

being obtained.

Moreover the effect of the change in the intensity of the terrestrial magnetic field on the applied set of invar pendulums was examined. The magnetic moments of the pendulums were determined and it was found on this basis that the change of the intensity of the terresstrial magnetic field in Poland by $0,1 \Gamma_i$ brought about an error in the determination of the acceleration difference of an order of 1,6 mgal. This error was eliminated by magnetic compensation carried out with the help of an apparatus specially constructed for the purpose; the error in compensation accounts for the accelerations which will not exceed $\pm 0,1$ mgal.

Of the six pendulum points of the established base (Gdańsk, Warsaw, Cracow, Zakopane, Kuźnice, Kasprowy Wierch — Fig. 14-19). Gdańsk and Crocow are old. The other, new points were selected in buildings securing the best possible conditions of observation. Special stress was laid on the preparation of the buildings as regards cleanliness (the walls were repainted). The instrument was placed on a gravimetric pillar at the Warsaw station and on a stone base directly laid on the cement floor at the other stations.

In order to determine, with possibly the same accuracy, the differences in acceleration between the neighbouring points of the base the following cycle of observations was accepted: Warsaw I, Zakopane I, Kasprowy Wierch I, Kuźnice I, Zakopane II, Kuźnice II, Kasprowy Wierch II, Kuźnice III, Cracow I, Warsaw II, Gdańsk I, Warsaw III, Cracow II, Zakopane III, Cracow II, Warsaw IV, Gdańsk II, Warsaw V. A great number of repeated observations at the main point at Warsaw allowed the constancy of the pendulum periods in time to be properly checked. This programme also provided for possibly rhythmical and symmetrical timing of observations at the other points. As regards the programme of

observations at the stations the priciplewas accepted of ensuring possibly the same conditions for all observations, viz., the same lengths of observation, amplitudes, pressure and temperature, the maximum allowable difference in the mean temperature between two station being fixed at 4° C.

Work at the measuring stations proceeded as follows:

(1) A stone base was fixed on the cement floor with the help of plaster of Paris.

(2) The apparatus for magnetic compensation was mounted and the vertical component of the terrestrial magnetic field compensated.

(3) The pendulum apparatus was set up, the edges of the pendulums cleaned, adjustments made and the air pumped out fo bell glass so as to obtain a pressure of 9 mm.

(4) A tentative observation of about six hours was made to allow the temperature and the pressure stabilise and the pendulums "recover" after the travel. If a considerable change in the relative swing of the pendulums were observed as compared with their swing at the previous station the edges of the pendulums were cleaned again, adjustments corrected if necessary and the tentative observation repeated.

(5) The observations proper, i.e., the five six-hour observations of the pendulum periods plus the observations of the sympathetic vibrations of the tripod, were made.

All observations were made with the help of popular time signals (six dots) and signals for astronomical observations sent by the Polish Radio. These signals were sent throughout the observation period from the Q_{11} quartz timepiece at the Time Studio of the Central Office of Measures. In order to deduce the corrections ΔT_u of the observed pendulum periods for the rate of the Q_{11} timepiece, indications of this timepiece vere compared with those of the Q_{10} quartz clock and with signals of the international GBR and MSF time services. The deduced rate of the Q_{11} timepiece as compared with the rate of the above three clocks is shown in a diagram (Fig. 20). From the discrepancies between the reductions ΔT_u referred to GBR and MSF (Table 3) the mean error of these reductions was determined to amount to $\pm 0.07 \cdot 10^{-7}$ sec.

The observed periods of each of the pendulums were besides reduced to an infinitesimally small amplitude, because of the sympathetic vibration of the tripod, to a temperature of 15° C and to the zero pressure, fololwing the formulae fixed during the examination of the apparatus. The results of the observation and reduction are compared in Table 1.

The station means were calculated from the reduced pendulum periods and an analysis of the accuracy of the observations was made (Table 2). The mean error of a single measurement of the period of a single pendulum $m_o = \pm 1.9 \cdot 10^{-7}$ sec., and of the mean pendulum $M_o = \pm 1.3 \cdot 10^{-7}$ sec. were calculated from the internal coincidences of the observations
205

at the stations of the whole observation cycle. The five observations at the station gave the mean error of the station mean

$$M_s = \pm 0,60 \cdot 10^{-7}$$
 sec.

For the stations Gdańsk I and II (when the number of observations was increased) the mean error, calculated in a similar way, was $M_s = \pm 0.7$. . 10^{-7} sec. and therefore the same weights were accepted for all station means. In order to examine the constancy of the pendulum periods thei relative changes during the whole observation cycle were calculated and the mean error of the station mean $M_s = \pm 0.4 \cdot 10^{-7}$ sec. was obtained from them. It follows from the comparison of this error with the above value $M_s = \pm 0.6$. 10^{-7} sec. that the changes in the pendulum periods during the travel were small when compared with other errors of observation. When the mean error of the station mean $M_s = \pm 0.6 \cdot 10^{-7}$ sec. was finally accepted and the errors of reduction for temperature m_{i} , pressure m_{d} , amplitude m_{a} , the sympathetic vibration of the tripod m_{s} , clock rate m_{u} as well as the error of magnetic compensation m_k , which, as it follows from the above analysis, are under $0.1 \cdot 10^{-7}$ sec., taken into consideration, the error of the determination of the difference in acceleration Δg was determined from the single connection A-B according to the formula

$$(m_{\Delta g})_o = +0.4 \sqrt{2} \cdot M_s^2 + m_t^2 + m_d^2 + m_a^2 + m_s^2 + m_u^2 + m_k^2 \text{ mgal}$$

so that $(m_{\Delta g})_0 = \pm 0.35$ mgal was obtained.

Next the calculation of the differences in acceleration and compensation of the whole observation cycle started. From the station means of periods of the pairs of pendulums an the mean pendulum observed at the neighbouring stations the differences in acceleration $\Delta g'$ (Table 4) were calculated and they were compensated by the method of indirect observations with the help of the correction equation $\Delta g' + v = \Delta g$. The differences in acceleration between the neighbouring points of the base were accepted as unknown quantities with the substitution $\Delta g = \Delta g_o +$ $+ d\Delta g$. A single determination of the difference in acceleration $\Delta g_{(B-C)}$ with the observation programme A-B-C-D was accepted as typical observation and the weight p = 1 was ascribed to it. If the order of observation at the station is A-B-C-B-A the observed $\Delta g_{(B-C-B)}$ receives the weight p = 1,33, and $\Delta g_{(B-C)}$ or $\Delta g_{(C-B)}$ the weight p = 0,67. The correction equations are shown in Table 5, where also the values of the corrections calculated from compensation were given. Table 6 shows the differences in acceleration for the pairs of pendulums and the mean pendulum as obtained from compensation and their mean errors which vary from \pm 0,21 to \pm 0,25 mgal for the final values of Δg . The mean error of the compensated Δg , calculated from the discrepancies of the results of pair 1-2 and pair 3-4 and amounting to \pm 0,16 mgal, indicates a considerable degree of coincidence.

For the sake of control the compensation of the observation cycle was repeated and the values of the differences in acceleration between the neighbouring points of the base were calculated as general means from the results of direct observations and the results obtained from the differences of other observations. The compensation was carried out for the mean pendulum (Tables 7 & 8).

Each of the compensations was carried out independently by two persons. The mean values of Δg were accepted as final and they were still reduced for the height of the stone base used during the observation on the floor (Table 9).

In order finally to estimate the results of the measurements the mean errors of the single connection m_o were taken into account. These were deduced in a variety of ways:

(1) from the analysis of the results of each of the observations at the stations and from the analysis of the errors of the reductions $m_0 = \pm 0.35$ mgal was obtained;

(2) from the compensation of the whole observation cycle by the method of indirect observations $m_0 \pm 0.40$ mgal was obtained, while by the method of the general mean of $\Delta g \ m_0 = \pm 0.47$ mgal was obtained.

The maximum values, i. e., those obtained from compensation by the method of the general mean, were accepted as final mean errors of the compensated Δg . These errors vary

from
$$\pm$$
 0,25 to \pm 0,29 mgal.

Table 10 shows the values of acceleration of gravity for the pendulum points of the base, g = 981237,2 mgal being accepted as the value of the initial point at the Warsaw College of Science and Technology. This value was obtained from direct connection with the pendulum point at the Central Office of Measures at Warsaw.

ZBIGNIEW ZĄBEK WENEDA DOBACZEWSKA

DIE MESSUNGEN MIT DEM ASKANIA- VIERPENDELAPPARAT AUF DEN PUNKTEN DER GRAVIMETRISCHEN EICHSTRECKE

DIE ARBEIT IST DURCH DEN LEHRSTÜHL FÜR HÖHERE GEODÄSIE AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN WARSZAWA IM JAHRE 1956 — IM BEREICH DER MITARBEIT MIT DEM INSTITUT FÜR GEODÄSIE UND KARTO-GRAPHIE AUSGEFÜHRT WORDEN.

Zusammenfassung

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist eine möglichst genaue Bestimmung der Schweredifferenz zwischen sechs Pendelpunkt der gravimetrischen Eichstrecke Gdańsk — Kasprowy Wierch (Fig. 11). Die Messungen waren in den Monaten Juli und August ausgeführt worden. Die Berechnungen waren in November 1956 abgeschlossen.

Die Ausführung der Messungen erfolgt mit Hilfe eines Askania- Vierpendelhaubenapparates Nr 5115295 mit Halbsekunden- Invarpendeln und photographischem Registrierapparat. Der kreuzförmige Stativkopf ist mit vier Agatpendellagern versehen (Fig. 12). Funkzeitzeichen bzw. andere elektrische Zeitimpulse sowie die Durchgänge der Pendel durch die Gleichgewichtslage wurden auf einem lichtempfindlichen Streifen registriert.

Die vertikale Komponente des magnetischen Erdfeldes wurde während den Beobachtungen mittels selbstgefertigen Einrichtung kompensiert. Den Haupteil dieser Einrichtung bildete eine Helmholtzsche Spule von 80 cm. Durchmesser, die mit Gleichstrom von 12,5 V Spannung gespeist wurde. Um bei den Beobachtungen auf dem Fussboden die Pendel in die Mitte der Spule einbringen zu können wurde der Pendelapparat auf eine Steinunterlage von 13 cm. Höhe aufgestelt (Fig. 13). Zur Bestimmung des Kompensationsrestwertes war ein Induktor von 0,001 Γ Empfindlichkeit verwendet worden. Die Einrichtung erlaubt das magnetische Erdfeld im Bereiche der Pendel mit einer Genauigkeit bis zu 1% zu kompensieren.

Die Apparatur wurde im Jahre 1955 zu Beobachtungen vorbereitet. Die Schwingungsdauer der Pendel wurde reguliert und dabei eine Gleichheit der Schwingungszeiten aller vier Pendel in den Grenzen von 5 . 10^{-7} sek. erreicht. Eine Reihe der Versuchsbeobachtungen ergab, dass es am vorteilhafsten ist, auf der Station fünf sechsstündigen Beobachtungen auszuführen, die Schwingungszeiten nur aus vier Sekunden dauernden Anfangs und Endregistrierungen berechnen.

Die Reduktionsgleichungen für Pendelschwingungen waren in Winter 1955/56 geprüft und bestimmt worden. Auf dem Beobachtungsmaterial gestützt, hat man die Gleichungen für die Amplitudenreduktionen analysiert, wobei der Übergang bis zu unendlich kleinen Amplituden in Betracht gezogen wurden. Es ergab sich die Formel:

$$\Delta T_{a} = -\frac{T'}{16} \left(\frac{a_{p} + a_{k}}{2}\right)^{2} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{a_{p} - a_{k}}{a_{p} + a_{k}}\right)^{2} - \frac{4}{45} \left(\frac{a_{p} - a_{k}}{a_{p} + a_{k}}\right)^{4}\right]$$

Mit Rücksicht auf die Reduktion wegen Mitschwingen ΔT_s , analysierte man auch die Gleichungen von Schmehl vom Jahre 1927 [5] und 1930 [9]. Es wurde festgestellt, dass die Reduktion ΔT_a , nach der angegebenen Gleichung berechnet, für ein sechstündiges Beobachtungsintervall angewendet werden kann, dagegen die für einen solchen Intervall berechnete Reduktion ΔT_s , wird mit einem Fehler belastet, welcher die Grosse $1 \cdot 10^{-7}$ sek. erreicht. Es wurde also angenommen, die Berechnung ΔT_s unter Berücksichtigung des ersten Gliedes der Schmehl's Gleichung vom Jahre 1927

$$\Delta T_{si} = s \left[-1 + \frac{\left(\frac{a}{a_i}\cos\varphi\right)_p + \left(\frac{a}{a_i}\cos\varphi\right)_k}{2} \right]$$

in zweistündigen Beobachtungsteil intervalen vorzunehmen,

weil in diesem Falle die Änderung der momentaner Reduktion als eine lineare Funktion angesehen werden kann.

Die Koeffizienten der Luftdichtereduktion (auf Luftdruck Null bezogen) wurde empirisch aus drei Beobachtungsreihen der Schwingungszeiten in konstanter Temperatur abgeleitet:

I Reihe bei angenähertem Druck von 5, 11, 20, 50, 120, 120, 50, 20, 11, 5 mm Quecksilbersäule,

II Reihe bei angenähertem Druck von 11, 5, 11 mm Quecksilbersäule,

III Reihe bei angenähertem Druck von 10, 150, 760, 150, 10 mm Quecksilbersäule.

Als Reduktionsgleichung wurde eine Funktion zweiten Grades angenommen und zwar

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

wo die Luftdichted in mm Quecksilbersäule ausgedrückt ist.

Da die Divergenz der Koeffizienten für die einzelnen Pendel und der des mittleren Pendels in den Grenzen der Bestimmungsgenauigkeit lagen, wurden für alle vier Pendel gemeinsame Koeffizienten angenommen und zwar

$$k_1 = (0,775 \pm 0,003) \cdot 10^{-7} \text{ sek}$$

 $k_2 = (-4,99 \pm 0,09) \cdot 10^{-7} \text{ sek}.$

Die für die Temperaturreduktion angenommene Gleichung lautet:

$$\Delta T_{t} = \alpha \left(t - t_{o} \right)_{t} + \alpha_{\Delta t} \Delta t / 1 h$$

Der termische Koeffizient α wurde aus zwei Reihen Schwingungsbeobachtung (bei konstanten Druck) abgeleitet:

I Reihe bei der Temperatur 11, 17, 23, 30, 30, 23, 17, 11, 6°C, II Reihe bei der Temperatur 6, 11, 17, 23, 30, 30, 23, 17, 11, 6°C. Man erhielt für die vier Pendel die Temperaturkonstanten

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= (-2.74 \pm 0.06) \cdot 10^{-7} \text{ sek}/1^{\circ}\text{C} \\ \alpha_2 &= (-1.49 \pm 0.02) \quad 10^{-7} \text{ sek}/1^{\circ}\text{C} \\ \alpha_3 &= (-2.85 \pm 0.10) \quad 10^{-7} \text{ sek}/1^{\circ}\text{C} \\ \alpha_4 &= (-1.67 \pm 0.10) \quad 10^{-7} \text{ sek}/1^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Den Termodynamischen Koeffizienten $\alpha_{\Delta t}$ hat man aus Schwingungsbeobachtungen in stetig zunehmender Temperatur — bei Temperatur anderung 1°C pro Stunde — abgeleitet und erhielt dabei

$$\alpha_{\Delta t} = -2.4 \cdot 10^{-7}$$
 sek.

Ausserdem hat man untersucht, welchen Einflus die Änderung der Intensität des magnetischen Feldes auf die Invarpendel ausübt. Man bestimmte die magnetischen Pendelmomente und auf Grund deren errechnete man, das eine Änderung der Intensität des magnetischen Feldes um $0,01 \ \Gamma$ einen Fehler in der Bestimmung der Schweredifferenz von ungefahr 1,6 mGal verursacht. Dieser Fehler wurde durch Anwendung der magnetischen Kompensation, mit den zweckmässig selbsgebauten Apparatur, ausgeschaltet. Der durch den Kompensationsfehler verursachte zufällige Fehler in der Schweredifferenz bestimmung hat 0,1 mGal nicht überschritten.

Von den sechs Pendelpunkten der angelegten Strecke (Gdańsk, Warszawa, Kraków, Zakopane, Kuźnice, Kasprowy Wierch — Fig. 14-19), sind Gdańsk und Kraków alte Pendelpunkte. Die Pendelräume auf den übrigen Punkten sind unter Berücksichtigung der möglichst vorteilhaften Beobachtungsbedingungen gewählt worden. Auf dem Punkte Warszawa Politechnika (Warszawa, Technische Hochschule) war das Instrument auf einem Betonpfeiler, auf den übrigen Punkten dagegen auf einer, unmittelbar auf den Fussboden liegenden, Steinunterlage aufgestellt.

Zur Bestimmung der Schweredifferenz zwischen den Nachbarpunkten der gravimetrischen Eichstrecke mit einer gleichmessigen Genauigkeit, wurde folgende Beobachtungsfolge angenommen: Warszawa I, Zakopane I, Kasprowy Wierch I, Kuźnice I, Zakopane II, Kuźnice II, Kasprowy Wierch II, Kuźnice III, Kraków I, Warszawa II, Gdańsk I, Warszawa III, Kraków II, Zakopane III, Kraków III, Warszawa IV, Gdańsk II, Warszawa V.

Eine grosse Widerholungszahl der Beobachtungen auf dem Bezugspunkt Warszawa, ergab eine gute Kontrole der Beständigkeit der Pendelschwingungszeit im ganzen Messungsperiode. Die Beobachtungen auf den übrigen Pendelpunkten waren nach obigen Programm möglichst gleichmässig und symmetrisch in der Zeit verteilt.

Was die Beobachtungsprogramme auf den Stationen anbelangt, so wurde die Beibehaltung möglichst gleicher Beobachtungsbedingungen zur Regel gemacht, d. h. das Beibehalten gleicher Beobachtungsdauer, Amplituden, gleichen Luftdrucks und Temperatur, wobei als zulässige Differenz der mittleren Temperatur auf zwei Nachbarstationen 4°C angenommen worden.

Die Arbeit auf einer Station ging folgendermassen vor sich:

1) Aufstellung und Befestigung (mittels Gips) der Steinunterlage auf dem Fussboden,

2) Aufbau der Apparatur für magnetische Kompensation und Kompensieren der vertikalen Komponente des magnetischen Erdfeldes,

3) Aufstellen der Pendelapparatur Reinigung der Schneiden und Einhängen der Pendel, Evakuieren des Pendelapparats (bis auf 9 mm Quecksilbersäule),

4) Ausführung einer sechsstündigen Versuchsbeobachtung, die als Stabilisierungszeit für Temperatur, Druck und "Erholung der Pendel" nach der Durchfahrt angesehen war. Falls eine ansehnliche Änderung der Pendelgänge im Vergleich mit denjenigen auf der vorgehenden Station festgestelt wurde, nahm man eine erneute Reinigung der Schneiden bzw. Korrektion der Justierung vor. Nachher wiederholte man die Versuchsbeobachtungen.

5) Ausführung der eigentlichen Beobachtungen, d.h. der fünf sechsstündigen Bestimmungen der Schwingungszeiten, und der Beobachtung des Mitschwingens.

Alle Beobachtungen wurden unter Verwendung populärer Funkzeitzeichen (Sechspunktzeichen) und besonderer Funkzeitzeichen, die für astronomische Beobachtungen durch den Polnischen Rundfunk gefunkt wurden, ausgefürt. Die Zeitzeichenangabe fand während der ganzen Messungsperiode statt und erfolgte von Quarzuhr Q₁₁ des Zeitdienstes des Haupteichamtes (Główny Urząd Miar). Zwecke Ableitung der Verbesserungen ΔT_u der Beobachteten Pendelschwingungen in Bezug auf den Uhrgang Q₁₁, sind die Angaben dieser Uhr mit der zweiten Quarzuhr Q₁₀, wie auch mit den Zeitangaben des Internationalen Zeitdienstes GBR und MSF verglichen worden. Der abgeleitete Uhrgang Q₁₁ hinsichtlich des Ganges der oben erwähnten drei Uhren ist auf der Figur 20 ersichtlich. Aus den Divergenzen der Reduktionen ΔT_u bezogen auf GBR und MSF (Tafel 3) hat man den mittleren Fehler dieser Reduktion gleich ± 0.07 . $.10^{-7}$ sek. abgeleitet.

In die beobachteten Schwingungszeiten der einzelnen Pendel sind folgende Reduktionen eingeführt worden: Amplitudenreduktion, Reduktion wegen Mitschwingens, Temperaturreduktion (auf 15° C bezogen) und Luftdruckreduktion (auf 0 mm Quecksilbersaule). Die Beobachtungs- und Reduktionsergebnisse sind in der Tafel 1 zusammengestellt.

Aus den reduzierten Schwingungszeiten hat man die Stationsmittel abgeleitet und Genauigkeitsuntersuchung der Beobachtungen durchgeführt (Tafel 2). Aus der inneren Übereinstimmung der Beobachtungen auf den Stationen wurde- aus der ganzen Messungsperiode- der mittlere Fehler der Schwingungszeit der einzelnen Beobachtung für einen Pendel gleich $m_o = \pm 1.9 \cdot 10^{-7}$ sek. und für den Mittelpendel gleich $M_o = \pm 1.3$ $\cdot 10^{-7}$ sek. abgeleitet. Bei fünf Beobachtungen auf der Station, beträgt der mittlere Fehler der Stationsmittels

$$M_s = \pm 0,60 \cdot 10^{-7}$$
 sek.

Für die Station Gdańsk I und II (beide mit einer vegrösserten Beobachtungszahl) beträgt der in der gleichen Weise berechnete mittlere Fehler $M_s = \pm 0.7 \cdot 10^{-7}$ sek. Infolgedessen sind für alle Stationsmittel gleiche Gewichte angenommen worden.

Zwecks Untersuchung der Beständigkeit der Pendelschwingungen berechnete man ihre relative Änderung während der ganzen Messungsperiode, woraus sich der mittlere Fehler des Stationsmittels

$$M_s = \pm 0.4$$
 . 10^{-7} sek. ergab.

Wenn man diesen Fehler mit dem oben erhaltenen Wert $M_s = \pm 0.6 \cdot 10^{-7}$ sek. vergleicht, so kann man feststellen, das die Änderung der Pendelschwingungsdauer während des Transport im Vergleich mit den übrigen Beobachtungsfehler klein ist. Wenn man schliesslich den mittleren Fehler des Stationsmittels $M_s = \pm 0.6 \cdot 10^{-7}$ sek. annimt und die Reduktionsfehler in Bezug auf die Temperatur — m_{t} , den Luftdruck — m_d , Fehler der magnetischen Kompensation — m_k , welche wie man aus der Amplitude — m_a , das Mitschwingen — m_s , den Uhrgang — m_u , und den Fehler der magnetischen Kompensation- m_k , welche wie man aus der durchgeführten Analyse ersehen kann kleiner als $0.1 \cdot 10^{-7}$ sek. sind, berücksichtigt, kann man den Fehler der Bestimmung der Schweredifferenz Δg für einen einzelnen Anschluss nach der Formel

$$(m_{\Delta g})_o = \pm 0.4 \sqrt{2M_s^2 + m_t^2 + m_d^2 + m_a^2 + m_s^2 + m_u^2 + m_k^2}$$
 mGal

berechnen. Es ergibt sich der Wert für

$$(m_{\Delta g})_o = \pm 0.35$$
 mGal.

Nachher folgte die Eerechnung der Scheredifferenz und die Ausgleichung der Beobachtungen der ganzen Messungsperiode. Aus den mittleren Stations Schwingungszeiten der Pendelpaare und des auf der Nachbarstation beobachten Mittelpendels berechnete man die beobachteten Schwereunterschiede $\Delta g'$ (Taiel 4), die nach der Bildung der Fehlergleichungen $\Delta g' + v = \Delta g$, nach der Methode der vermittelnden Beobachtungen ausgeglichen wurden.

Als Unbekannte hat man Schweredifferenzen zwischen den Nachbarpunkten der Eichstrecke angenommen, wobei $\Delta g = \Delta g_o + d\Delta g$ eingesetzt wurde. Als typische Beobachtung (mit Gewicht = 1) hat man eine einzelne Bestimmung der Schweredifferenz $\Delta g_{(B-C)}$ bei der Messungsfolge A - B - C - D angenommen.

Das bei der Messungsfolge A-B-C-B-A beobachtete $\Delta g_{(B-C-B)}$ hat das Gewicht p = 1,33 und $\Delta g_{(B-C)}$ bzw. $\Delta g_{(C-B)}$ das Gewicht p = 0,67 erhalten. Die Fehlergleichungen und die aus der Ausgleichung resultierenden Verbesserungen sind in der Tafel 5 zusammengestellt.

Die aus der Ausgleichung hervorgehenden Schweredifferenzen für die Pendelpaare und dem Mittelpendel und ihre mittleren Fehler, die für die endgültigen Werte der Δg innerhalb \pm 0,21 und \pm 0,25 mGal liegen, hat man in der Tafel 6 angegeben. Der aus der Resultate der Pendelpaare 1-2 und 3-4 berechnete mittlere Fehler der ausgeglichenen Δg (\pm 0,16 mGal) weist auf eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse hin.

Zur Kontrolle hat man eine zweite Ausgleichung der Messungsperiode vorgenommen, wobei die gesuchten Werte der Schweredifferenz der Nachbarpunkte der Eichstrecke als algemeine Mittel aus den Ergebnissen der unmittelbaren Beobachtungen und aus dan Differenzen dieser Beobachtungen abgeleitet. Die Ausgleichung ist für den Mittelpendel durchgefürt (Tafel 7 und 8) worden.

Die Ausgleichungen sind voneinander vollkommen unabhängig. Als endgültige Δg hat man mittlere Werte angenommen, die noch in Bezug auf die Höhe der bei den Beobachtungen benutzten Steinunterlage reduziert waren.

Zur endgültigen Beurteilung der Messungsergebnisse hat man die mittleren Fehler der einzelnen mit Vierpendelapparat ausgefuhrten gravimetrischen Verbindung m_o , die in verschiedener Weise abgeleitet waren, in Betracht gezogen — und nämlich:

1) aus der Untersuchung der einzelnen Beobachtungen auf den Stationen und aus der Untersuchung der Reduktionsfehler wobei man $m_o = \pm 0.35$ mGal erhalten hat,

2) aus der Ausgleichung der ganzen Messungsperiode nach der Methode vermittelnden Beobachtungen, wobei man $m_o = \pm 0.40$ mGal, und nach der Methode des allgemeinen Mittels, wobei man $m_o = \pm 0.47$ mGal erhalten hat. Als endgültige mittlere Fehler des ausgeglichenen Wertes Δg hat man Maximalwerte angenommen, d.h. diese Werte, die aus der Ausgleichung nach der Methode des allgemeinen Mittels hervorgehen. Diese Fehler liegen innerhalb

$$\pm$$
 0,25 — \pm 0,29 mGal.

In der Tafel 10 sind die Werte der Schweredifferenzen zwischen den Pendelpunkten der Gravimeter Eichstrecke zusammengestellt, wobei der Wert des Bezugspunktes Warszawa Politechnika (Warszawa Technische Hochschule) g = 981237,2 mGal betragt. Diesen Wert hat durch unmittelbaren Anschluss an den Pendelpunkt Warszawa Główny Urząd Miar (Warszawa, Haupteichamt) bestimmt.

SPIS TREŚCI

JERZY BOKUN	
Baza grawimeʻryczna Gdańsk — Kasprowy Wierch	11
ZBIGNIEW ZABEK — WENEDA DOBACZEWSKA	
Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach bazy grawimetrycznej	133
СОДЕРЖАНИЕ	
ЕЖЫ БОКУН	
Гравиметрический базис Гданьск - Каспровы Верх	127
ЗБИГНЕВ ЗОМБЭК — ВЭНЭДА ДОБАЧЕВСКА	
Наблюдения четырехмаятниковым прибором на пунктах гравиметричес-	
кого базиса	195
CONTENTS	
JERZY BOKUN	
The Gdańsk — Kasprowy Wierch Gravimetric Base	12 9
ZBIGNIEW ZABEK — WENEDA DOBACZEWSKA	
Making measurements with the help of the four-pendulum apparatus	
at the points of a gravimetric base	201
SACHREGISTER	
JERZY BOKUN	

Die gravimetrische Eichstrecke Gda	nńsk — Kasprowy Wierch	131
ZBIGNIEW ZĄBEK – WENEDA DOBAC	ZEWSKA	
Die messungen mit dem Askania	- Vierpendelapparat auf den Punkten	
der gravimetrischen Eichstrecke		207