

JERZY BOKUN
TADEUSZ CHOJNICKI

526.77 (438)

Zagadnienie cechowania grawimetrów w Polsce

1. Wstęp

W obecnych pracach grawimetrycznych, prowadzonych w poszczególnych krajach oraz w skali międzynarodowej, bardzo duże znaczenie mają zagadnienia dotyczące cechowania grawimetrów. W związku bowiem z wysoką nominalną dokładnością pomiaru precyzyjnymi grawimetrami istotne jest, aby różnice przyspieszenia siły ciężkości wyznaczone były tymi grawimetrami w jednostkach zgodnych z jednostkami układu *cgs*.

Sprawy cechowania grawimetrycznego w skali międzynarodowej są przedmiotem rozważań na konferencjach naukowych. Międzynarodowa Asocjacja Geodezji na przykład utworzyła specjalną grupę studiów do badań nad tymi sprawami. Grupa ta zajmuje się międzynarodowymi bazami grawimetrycznymi, systemami cechowania na poszczególnych kontynentach oraz sprawą porównania jednostek tych baz i ich ujednoliceniem w skali światowej [10].

W skali poszczególnych krajów zagadnienia cechowania grawimetrów są rozwiązywane różnymi sposobami, w zależności od potrzeb i realnych możliwości danego kraju [4].

Zagadnienia związane z cechowaniem grawimetrów w Polsce były w ostatnich latach przedmiotem prac Instytutu Geodezji i Kartografii. Problemy te podjęte zostały przez Instytut już w latach 1955/56. Dowodem rozpoczęcia przez nas w tym okresie prac nad cechowaniem grawimetrów było założenie w roku 1956 bazy grawimetrycznej Gdańsk — Kasprowy Wierch [1].

Coraz szersze zastosowanie grawimetrów precyzyjnych w Polsce oraz rozwój pomiarów grawimetrycznych były przyczyną zajęcia się — od strony naukowej i praktycznej — przez nasz Instytut problemem cechowania grawimetrów w naszym kraju. Do problematyki tej zaliczyć można szereg zagadnień.

Ważnym zagadnieniem jest przede wszystkim opracowanie dla konkretnie stosowanych typów grawimetrów najodpowiedniejszej metodyki cechowania, uwzględniającej także istniejące warunki krajowe. W ostatnich latach dominującym typem grawimetrów precyzyjnych w Polsce był grawimetr Gs-11, produkowany przez firmę Askania. Wobec tego opracowanie dla grawimetru typu Gs-11 metodyki cechowania, tj. wyznaczenia wartości skali grawimetru w jednostkach zgodnych z układem *cgs*, było szczególnie pilnym i ważnym zagadnieniem.

Następną grupę zagadnień stanowią prace nad krajową bazą do cechowania grawimetrów. Prace te związane są:

- a) z przygotowaniem bazy do przeprowadzenia pomiarów cechujących,
- b) z wyznaczeniem wartości różnicy przyspieszenia siły ciężkości (Δg) całej bazy i jej poszczególnych odcinków w jednostkach zgodnych — z możliwie najwyższą realnie dokładnością — z jednostkami układu *cgs*.

Dalszym interesującym zagadnieniem jest porównanie jednostki bazy krajowej („miligala bazy”) z jednostkami innych baz grawimetrycznych, np. w krajach sąsiednich.

Zreferujemy pokrótce prace nad tymi zagadnieniami w Polsce, przeprowadzone przez nas w ostatnich 2—3 latach, oraz aktualny stan tych zagadnień.

Należy równocześnie podkreślić, że prace nad problemami związanymi z cechowaniem grawimetrów w Polsce są, ze względu na swą stałą aktualność oraz obszerny zakres tematyki, kontynuowane przez nasz Instytut.

2. Metodyka cechowania grawimetru typu Askania Gs-11

Ogólna metodyka cechowania grawimetru Askania Gs-11, przy wykorzystaniu baz grawimetrycznych, opracowana w Instytucie Geodezji i Kartografii, opiera się na poniższych rozważaniach.

W układzie mierzącym grawimetru Gs-11 działają następujące momenty sił: na masą podstawową m o ramieniu r działa moment

$$m \cdot g \cdot r,$$

natomiast moment obrotowy układu sprężynowego równy jest

$$\tau \cdot \varphi,$$

gdzie: τ — współczynnik torsyjny,

φ — kąt skrętu.

Działanie sprężyny pomiarowej, kompensującej wychylenia ramienia masy podstawowej z położenia zerowego, można określić przez iloczyn:

$$R \cdot h(M),$$

gdzie R jest ramieniem działania siły $h(M)$, napinającej sprężynę pomia-

rową, którą to siłę przedstawiamy jako funkcję długości tej sprężyny, czyli jako funkcję odczytu na podziałce pomiarowej M grawimetru.

Zatem równowaga układu mierzącego określona jest warunkiem:

$$m \cdot g \cdot r = \tau \cdot \varphi + R \cdot h(M),$$

a stąd:

$$g = \frac{\tau \varphi + R \cdot h(M)}{mr}. \quad (1)$$

Ponieważ pomiar wykonuje się zawsze w położeniu zerowym, w prawej stronie równania (1) wszystkie wielkości prócz $h(M)$ będą stałe. Możemy zatem przyjąć, że:

$$\frac{\tau \varphi + R \cdot h(M)}{mr} = k(M),$$

a wobec tego:

$$g = k(M). \quad (2)$$

Zakładając, że funkcja $k(M)$ jest wielomianem n -tego stopnia, rozwijamy ją w szereg Taylora, aby otrzymać wyrażenie na różnicę przyspieszenia siły ciężkości (Δg), mierzoną między dwoma punktami:

$$\Delta g = \frac{dg}{dM} \Delta M + \frac{1}{2!} \frac{d^2g}{dM^2} \Delta M^2 + \dots + \frac{1}{n!} \frac{d^ng}{dM^n} \Delta M^n.$$

Oznaczając następnie:

$$\frac{dg}{dM} = f(M),$$

otrzymujemy:

$$\Delta g = f(M) \Delta M + \frac{1}{2!} f'(M) \Delta M^2 + \dots + \frac{1}{n!} f^n(M) \Delta M^n. \quad (3)$$

Zagadnienie cechowania grawimetru sprowadza się więc do wyznaczenia funkcji $f(M)$ i jej pochodnych.

Jak widać ze wzoru (3), przy założeniu, że funkcja $f(M)$ jest n -tego stopnia, trzeba by mieć n przesł bazowych o znanej wartości Δg i wykonać na nich pomiary w różnych miejscach skali (M) grawimetru celem wyznaczenia dla całej tej skali liczbowych wartości funkcji i jej pochodnych. Z tak otrzymanych wartości możemy następnie, drogą graficzną lub analityczną, wyznaczyć wykresy samej funkcji i jej pochodnych, których znajomość konieczna jest do wyznaczenia różnic przyspieszeń pomierzonych danym grawimetrem. O ile będziemy dysponowali przy cechowaniu grawimetru liczbą przesł o znanej wartości Δg , większą od n , obliczenie funkcji i jej pochodnych możemy wykonać przez wyrównanie metodą naj-

mniejszych kwadratów, co będzie znacznie lepsze ze względu na wyższą dokładność i możliwość oceny tej dokładności.

Według opisu technicznego grawimetru Gs-11 [12], dołączonego do niego przez firmę Askania, wynika, że funkcję $f(M)$ przyjmuje się jako funkcję drugiego stopnia. Do dalszych praktycznych prac obliczeniowych przyjmijmy więc, że funkcja:

$$f(M) = a + 2bM,$$

a stąd:

$$f'(M) = 2b, \quad (4)$$

gdzie a i b są stałymi grawimetru, wyznaczonymi na drodze cechowania.

Wstawiając zależność (4) do wzoru (3) otrzymamy:

$$\Delta g = (a + 2bM) \Delta M + b \Delta M.$$

Oznaczając następnie:

$$\Delta M = M_2 - M_1$$

$$\Sigma M = M_2 + M_1,$$

otrzymamy:

$$\Delta g = a \Delta M + b \Delta M (2M_1 + M_2 - M_1),$$

czyli:

$$\Delta g = \Delta M (a + b \Sigma M). \quad (5)$$

Z opisu grawimetru Gs-11 wynika, że firma Askania stosuje wzór:

$$\Delta g = \Delta M (a + b_{Ask} \cdot M_{sr}),$$

gdzie:

$$M_{sr} = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{\Sigma M}{2}.$$

Różnica jest tu oczywiście tylko formalna, gdyż jak widać z powyższego: $b_{Ask} = 2b$.

Na podstawie poprzednich rozważań oraz jak wynika z równania (5), zagadnienie cechowania grawimetru Gs-11 polega więc na wyznaczeniu wartości stałych grawimetru, tj. a i b . Wobec tego musimy mieć co najmniej dwa odcinki o znanej różnicy Δg , aby móc wyznaczyć stałe a i b grawimetru, którym przeprowadzamy pomiar na tych odcinkach. O ile takich odcinków będzie więcej, stałe a i b można wyznaczyć przez wyrównanie obserwacji metodą najmniejszych kwadratów.

Równania błędów ułożyć można w tym wypadku stosując metodę spóstrzeń pośrednich [5]. Z równania (5) mamy:

$$\frac{\Delta g}{a + b \Sigma M} = \Delta M. \quad (6)$$

Ze względu na to, że współczynnik b jest bardzo mały i zmiana wartości odczytu M w procesie wyrównania nie ma żadnego praktycznego

wpływu na wartość wyrażenia $(a + b\Sigma M)$, możemy przyjąć w równaniu (6) wielkość ΣM za wielkość stałą, a nie za wartość obserwowaną. Za wartość wyrównaną o błędzie v przyjmujemy tylko ΔM .

Różniczkując następnie ΔM względem a i b otrzymamy:

$$\frac{\partial \Delta M}{\partial a} = - \frac{\Delta g}{(a + b\Sigma M)^2}; \quad \frac{\partial \Delta M}{\partial b} = - \frac{\Delta g \Sigma M}{(a + b\Sigma M)^2}. \quad (7)$$

Przyjmując, że $a = a_o + \Delta a$ i $b = 0 + \Delta b$, tzn. że wartość przybliżona a_o różni się od najprawdopodobniejszej wartości a o wielkość bardzo małą (Δa), natomiast przybliżeniem najprawdopodobniejszej wartości b jest zero, oraz wstawiając wartości pochodnych cząstkowych (7) do równania błędów:

$$v_i = \frac{\partial \Delta M}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial \Delta M}{\partial b} \Delta b + (\Delta M_o - \Delta M_i), \quad (8)$$

otrzymamy:

$$-v_i = \frac{\Delta g}{a_o^2} \Delta a + \frac{\Delta g \Sigma M}{a_o^2} \Delta b + \left(\Delta M_i - \frac{\Delta g}{a_o} \right). \quad (9)$$

Jeśli wykonamy zatem pomiar na bazie grawimetrycznej o więcej niż dwóch przesłach ze znaną wartością Δg , możemy ułożyć równania poprawek według wzoru (9) oraz, po wyrównaniu metodą najmniejszych kwadratów, wyznaczyć najprawdopodobniejsze wartości a i b . Wielkością obserwowaną jest tutaj różnica odczytów skali ΔM i od niej zależy dokładność wyznaczenia stałych a i b . Zatem tę wielkość ΔM należy wyznaczyć bardzo dokładnie, np. przez kilkunastokrotny pomiar trasy bazowej, przy czym w ciągu każdego dnia trasa mierzona powinna być kilkakrotnie.

3. Krajowa baza grawimetryczna Kraków — Zakopane — Kuźnice do cechowania grawimetrów przy użyciu transportu samochodowego

W roku 1956 Instytut Geodezji i Kartografii założył tzw. bazę grawimetryczną Gdańsk — Kasprowy Wierch. W jednym z poprzednich zeszytów „Prac IGiK” przedstawione zostały zagadnienia związane z założeniem tej bazy [1] oraz pomiary wykonane aparaturą wahadłową pomiędzy 6 punktami wahadłowymi tej bazy ([8], [9]).

Podczas pomiaru grawimetrami w warunkach polskich dominującym środkiem transportu jest samochód. Ponieważ prace pomiarowe nad cechowaniem grawimetrów powinny być w zasadzie przeprowadzane przy użyciu analogicznych środków transportu jak podczas pomiarów produkcyjnych, wobec tego w warunkach naszego kraju przede wszystkim potrzebna jest praktycznie taka baza, która umożliwia cechowanie grawimetrów przy zastosowaniu transportu samochodowego.

Część bazy Gdańsk — Kasprowy Wierch, a mianowicie Kraków — Kuźnice, jest szczególnie dogodna do wykonania takiego cechowania grawimetrów. Długość tej bazy (około 108 km) oraz dobra nawierzchnia szosy umożliwia szybki i łatwy przejazd samochodem pomiędzy końcowymi punktami bazy, tj. pomiędzy Krakowem i Kuźnicami. Dość duża wartość różnicy przyspieszenia siły ciężkości, charakteryzująca całą bazę ($\Delta g = 290$ mgal), jest poważną zaletą przy określeniu stałych grawimetru cechowanego na tej bazie.

Baza grawimetryczna Kraków — Zakopane — Kuźnice była w okresie ostatnich paru lat szczegółowo opracowywana przez Instytut Geodezji i Kartografii zarówno od strony naukowo-badawczej jak i praktycznej.

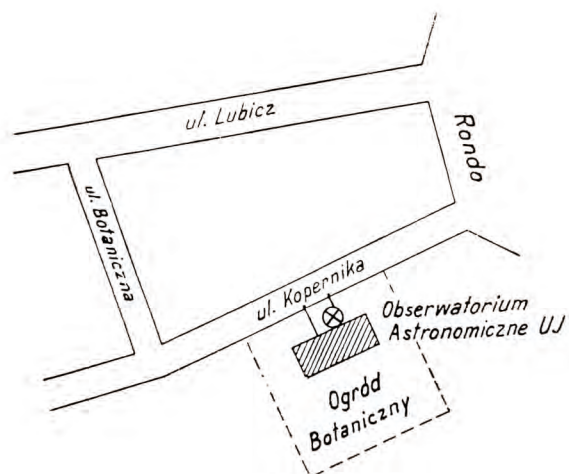
Biorąc pod uwagę omówioną uprzednio w p. 2 metodykę cechowania grawimetrów typu Gs-11 oraz użycie samochodu do transportu grawimetrów, założono odpowiednio punkty główne i punkty pośrednie bazy. Prowadzone były prace nad możliwie najdokładniejszym — w naszych warunkach — określeniem wartości różnicy przyspieszenia siły ciężkości Δg całej bazy oraz jej poszczególnych odcinków w jednostkach zgodnych z układem cgs.

Przy wyborze punktów grawimetrycznych bazy przyjęto zasadę, że muszą być one tak usytuowane, aby umożliwiały przeprowadzenie na tych punktach pomiaru grawimetrem bez jego wynoszenia z samochodu, tj. wjechanie samochodem odpowiednio nad punkt grawimetryczny bazy i opuszczenie statywu przez specjalny otwór w podwoziu samochodu celem wykonania pomiaru.

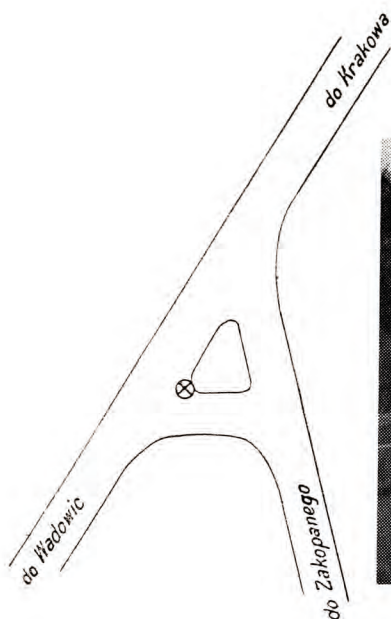
Na omawianej bazie w Krakowie, Zakopanem i Kuźnicach znajdują się grawimetryczne punkty wahadłowe, pomierzone w 1956 roku aparatem czterowahadłowym Askania przez Katedrę Geodezji Wyższej Politechniki Warszawskiej, w ramach współpracy z Instytutem Geodezji i Kartografii [8]. W pobliżu budynków, w których zlokalizowane są punkty wahadłowe, założone zostały przez Instytut Geodezji i Kartografii ekscentryczne punkty grawimetryczne — zastabilizowane odpowiednią płytą betonową.

Oprócz tych trzech ekscentrycznych punktów wahadłowych założono na bazie 4 punkty grawimetryczne, położone na szosie pomiędzy Krakowem i Zakopanem. Przy wyborze lokalizacji tych punktów zwracano uwagę, aby interwał czasu, potrzebny na przejazd samochodem pomiędzy sąsiednimi punktami bazy, był w przybliżeniu jednakowy. Jest to dość istotny warunek dla ustalenia rzeczywistego chodu grawimetru podczas pomiarów cechujących.

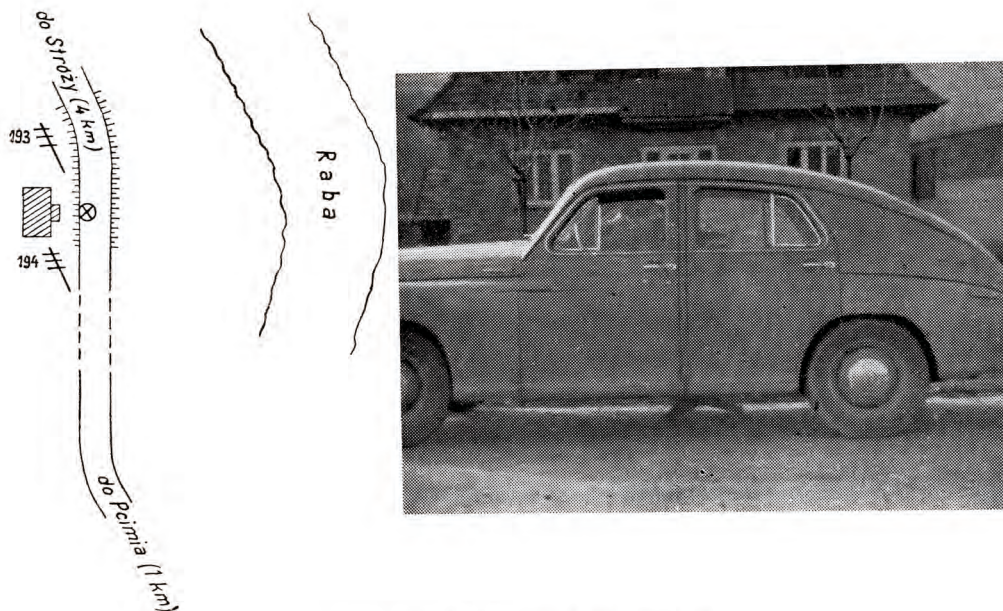
Punkty grawimetryczne bazy wybierane były w miejscach stabilnych, łatwych do zidentyfikowania i dogodnych do wykonywania pomiarów bez wynoszenia grawimetru z samochodu.



Rys. 1. Opis punktu Kraków (KR)



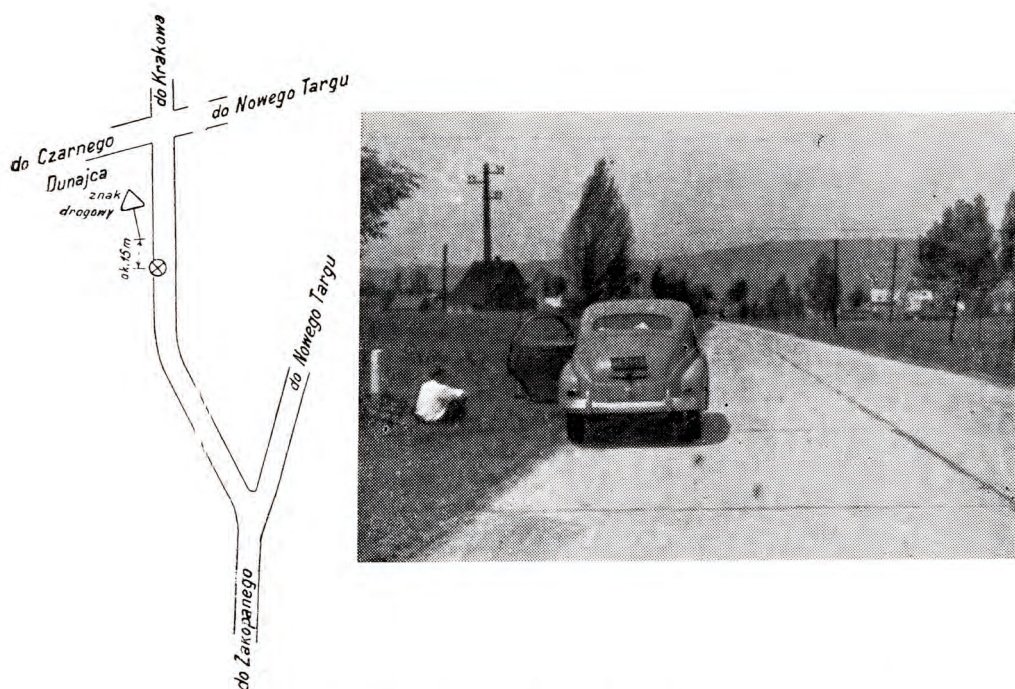
Rys. 2. Opis punktu Głogoczów (GŁ)



Rys. 3. Opis punktu Peim (PM)



Rys. 4. Opis punktu Birlatowa (BR)

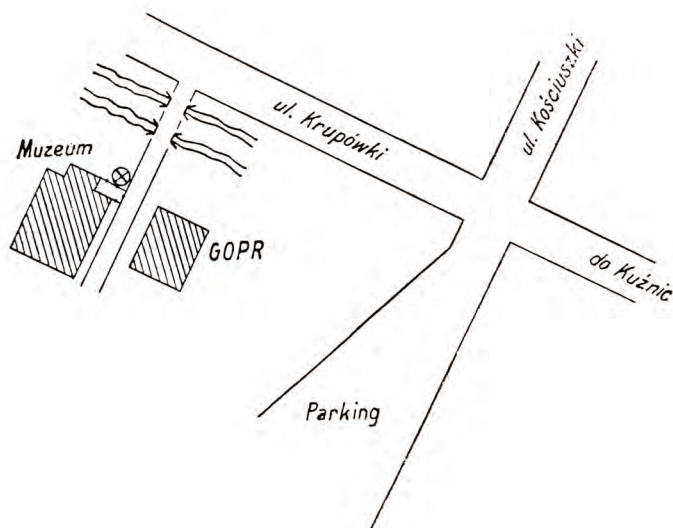


Rys. 5. Opis punktu Nowy Targ (NT)

Łącznie baza grawimetryczna Kraków—Kućnice składa się z 7 punktów.

1. *Kraków (KR)*. Płyta betonowa ze stalowym centrem osadzona przed głównym wejściem do gmachu Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego przy ul. Kopernika 27. W piwnicy tego budynku znajduje się punkt wahadłowy [8] (rys. 1).
2. *Głogoczów (GL)*. Skrzyżowanie szosy Kraków—Zakopane z szosą do Wadowic. Punkt oznaczony farbą na asfalcie (rys. 2).
3. *Pcim (PM)*. Zachodnia strona odcinka szosy pomiędzy Stróżą i Pcimem na kilometrze 333,6, naprzeciw murowanego budynku mieszkalnego. Punkt oznaczony farbą na betonie (rys. 3).
4. *Birlatowa (BR)*. Odcinek szosy pomiędzy Skomielną Białą i Chabówką na skrzyżowaniu z drogą gospodarczą (będącą fragmentem dawnej szosy), na granicy powiatów. Punkt oznaczony farbą na kostce granitowej (rys. 4).
5. *Nowy Targ (NT)*. Zachodnia strona odcinka szosy omijającego środek miasta. Punkt naprzeciw słupa kilometrowego, oznaczony farbą na betonie (rys. 5).

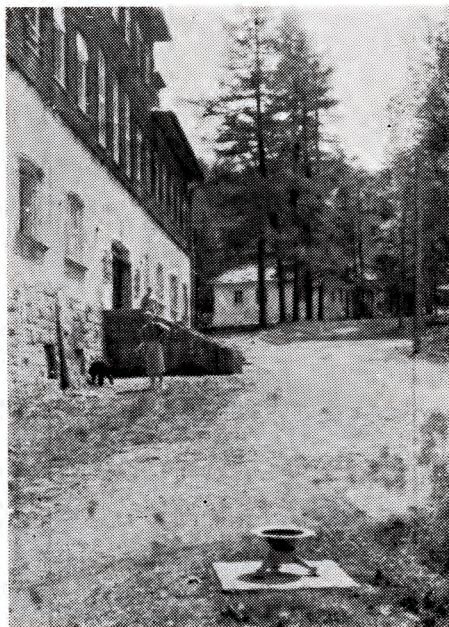
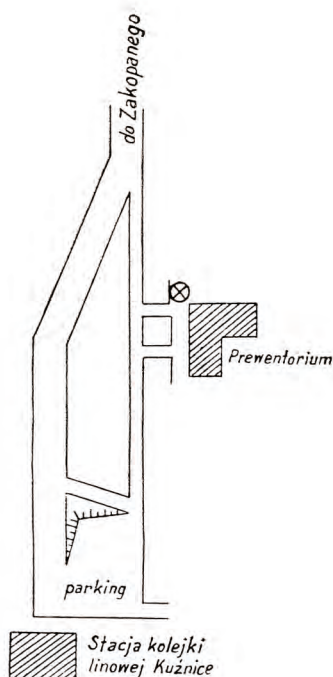
6. *Zakopane (MZ)*. Płyta betonowa ze stalowym centrem osadzona przy rogu ogrodzenia otaczającego budynek Muzeum Tatrzańskiego przy ul. Krupówki. W piwnicy tego budynku znajduje się punkt wahadłowy [8] (rys. 6).



Rys. 6. Opis punktu Zakopane — Muzeum (MZ)

7. *Kuźnice (KZ)*. Płyta betonowa ze stalowym centrem osadzona w pobliżu zachodniego rogu budynku głównego Prewentorium. W piwnicy tego budynku znajduje się punkt wahadłowy [8] (rys. 7).

Szkic wzajemnego usytuowania omówionych 7 punktów bazy przedstawiony jest na rys. 8.



Rys. 7. Opis punktu Zakopane—Kuźnice (KZ)

Jednym z podstawowych zagadnień związanych z bazą Kraków—Kuźnice było wyznaczenie wartości różnicy przyspieszenia siły ciężkości Δg dla całej bazy, a następnie dla jej poszczególnych odcinków. Zagadnienie polegało mianowicie na określeniu wartości jednostki bazy (tzw. „miligala bazy”), która byłaby z wystarczającą praktycznie dokładnością zgodna z jednostkami układu cgs.

Jak już poprzednio nadmieniliśmy, pomiędzy trzema punktami wahadłowymi bazy pomierzono w 1956 roku wartości różnic Δg aparatem czterowahadłowym. Wartości Δg dla odcinków wahadłowych Kraków—Zakopane i Zakopane—Kuźnice określone zostały na podstawie tych wyznaczeń ze średnim błędem $\pm 0,29$ mgal [9].

Nawiązania tych punktów wahadłowych z odpowiadającymi im ekscentrycznymi punktami grawimetrycznymi w Krakowie (KR), Zakopanem (MZ) i Kuźnicach (KZ) przeprowadzono wiosną 1958 roku. Wyznaczenie różnicy przyspieszenia siły ciężkości: punkt wahadłowy — punkt grawimetryczny wykonano posiadanym przez Instytut Geodezji i Kartografii grawimetrem Askania Gs-11. Średni błąd przypadkowy tych wyznaczeń wynosi $\pm 0,01$ — $0,02$ mgal, a ze względu na małe wartości różnic Δg po-

między punktami wahadłowymi i ekscentrem (rzędu kilku dziesiątych części miligala), ewentualny wpływ błędów systematycznych, wynikłych na przykład z błędów jednostki skali grawimetru, może być w pełni zaniedbany.

W rezultacie na podstawie pomiarów wahadłowych i omówionych nawiązań otrzymano pomiędzy trzema grawimetrycznymi punktami bazy: KR, MZ, KZ następujące wartości różnic Δg :

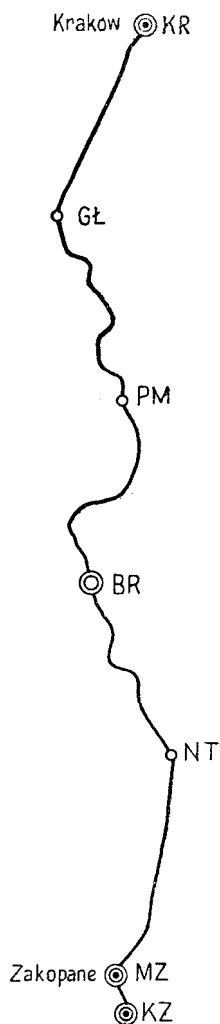
$$\begin{aligned} \text{Kraków (KR)} - \text{Zakopane (MZ)} & 255,17 \pm 0,29 \text{ mgal,} \\ \text{Zakopane (MZ)} - \text{Kuźnice (KZ)} & 34,75 \pm 0,29 \text{ mgal.} \end{aligned}$$

Na podstawie wyznaczeń aparaturą wahadłową, wartość Δg bazy była więc określona ze średnim błędem względnym rzędu 1‰.

Wobec współcześnie wymaganych dokładności cechowania grawimetrów jednostkę naszej bazy postanowiono udokładnić. Dla udokładnienia wyznaczenia Δg całej bazy Kraków—Kuźnice wykorzystano posiadany grawimetr Gs-11 nr 112. Grawimetr ten wycechowano najpierw na trzech przesłach o znanych wartościach Δg , a następnie dokonano nim pomiaru naszej bazy przenosząc tym samym jednostkę miligala (średnią dla tych 3 przesł) na bazę Kraków—Kuźnice.

Mianowicie w lutym 1958 roku przeprowadzono pomiary tym grawimetrem pomiędzy podstawowymi punktami grawimetrycznymi Warszawa, Pragę i Budapesztem. Pomiary wykonane zostały przy użyciu transportu lotniczego na przesłach Warszawa—Praga, Praga—Budapeszt i Budapeszt—Warszawa.

Stosowano metodę łańcuchową pomiaru przy kilku dziennych rejsach. Na podstawie znanych wartości g tych trzech punk-



- ⊙ Punkty podstawowe
- Punkty pośrednie
- Ekscentryczne punkty wahadłowe

Rys. 8. Szkic bazy grawimetrycznej Kraków—Kuźnice

tów podstawowych i przy zastosowaniu omówionej uprzednio w p. 2 niniejszej pracy metodyki cechowania, określono wartości stałych a i b grawimetru Gs-11 nr 112.

Tak wycechowanym grawimetrem, bez przestawiania zakresu pomiarowego jego skali oraz przy tej samej temperaturze termostatów (25°C), przeprowadzone zostały wiosną 1958 roku pomiary na bazie Kraków—Kuźnice.

W wyniku pomiarów, wykonanych metodą punktów pośrednich w ciągu trzech dni, uzyskano wartości ΔM i ΣM dla całej bazy i jej poszczególnych odcinków.

Na podstawie wyników tych pomiarów oraz wyznaczonych na przesłach grawimetrycznych pomiędzy Warszawą, Pragą i Budapesztem wartości stałych a i b grawimetru, otrzymano wartość Δg naszej bazy w jednostkach średniego miligala tych przesł.

Jako wartość Δg bazy przyjęto w roku 1958 wypośrodkowaną wartość z wyników omówionych pomiarów grawimetrem Gs-11 oraz pomiarów aparatem czterowahadłowym i otrzymano dla odcinka Kraków (KR) — Zakopane (MZ):

$$\Delta g = 255,02 \text{ mgal.} \quad (10)$$

Wartość tę traktuje się jako tymczasową dla naszej bazy. Jest to spowodowane zbyt małą ilością danych wyjściowych, które posłużyły do jej wyznaczenia oraz znaczną rozbieżnością pomiędzy nimi (0,3 mgal).

Dla określenia odcinka Zakopane (MZ) — Kuźnice (KZ) przyjęto tymczasową wartość $\Delta g = 34,53 \text{ mgal}$, otrzymaną w wyniku obliczenia, przy uwzględnieniu wag, z pomiaru grawimetrem oraz aparatem wahadłowym.

Ponieważ w latach 1958—60 wykonano sześciokrotnie pomiary na bazie Kraków—Kuźnice grawimetrem Askania Gs-11 Nr 112 (tabl. 2), pozwoliły więc one na dokładniejsze wyznaczenie odcinka bazy KZ—MZ, przez obliczenie stosunku wartości Δg tego odcinka do wartości Δg przesła MZ—KR według wzoru wyprowadzonego poniżej. Ponieważ:

$$\Delta g = a \Delta M + b \Delta M \cdot \Sigma M,$$

więc:

$$\frac{\Delta g_1}{\Delta g_2} = k = \frac{a \Delta M_1 + b \Delta M_1 \Sigma M_1}{a \Delta M_2 + b \Delta M_2 \Sigma M_2},$$

a stąd, opuszczając wyrazy wyższych rzędów, otrzymamy:

$$k = \frac{\Delta M_1}{\Delta M_2} [1 + p (\Sigma M_1 - \Sigma M_2)], \quad (11)$$

gdzie przez p oznaczono stosunek $\frac{b}{a}$.

Ponieważ do cechowania grawimetrów typu Askania Gs-11, z wyrównaniem wartości obserwowanych, trzeba posiadać na bazie co najmniej



trzy odcinki o znanej dokładnej wartości Δg , według wzoru (11) wyznaczono ponadto różnicę przyspieszenia siły ciężkości przeszła MZ—BR.

Do obliczenia pierwszego przybliżenia wartości k przyjęto wartość współczynnika p na podstawie pierwszego pomiaru na bazie, wykonanego w roku 1958. Po obliczeniu pierwszych przybliżeń wartości Δg odcinków KZ—MZ i MZ—BR, wyrównano w oparciu o te wielkości wszystkie sześć pomiarów na bazie. Po uzyskaniu nowych stałych a i b , dla każdego pomiaru obliczono drugie przybliżenie k , a potem Δg przeszła KZ—MZ i MZ—BR w stosunku do wielkości określonej we wzorze (10).

W ten sposób otrzymano:

KZ

$$34,50 \pm 0,010 \text{ mgal}$$

MZ

$$94,47 \pm 0,008 \text{ mgal}$$

BR

Należy tu pamiętać, że podane wyżej wartości i ich dokładności są ważne dla jednostki tymczasowego miligala bazy, którego definicję określa wzór (10).

Średnie wartości Δg między pośrednimi punktami bazy, otrzymane z dotychczasowych pomiarów, zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Punkt	Δg mgal
KZ	34,50
MZ	59,26
NT	35,21
BR	80,75
PM	50,09
GŁ	29,71
KR	

Dokładność podanych różnic przyspieszenia wynosi $0,01 \div 0,02$ jednostek tymczasowego miligala bazy.

4. Porównanie jednostki bazy Kraków—Kuźnice z jednostkami dwóch baz zagranicznych

W celu skontrolowania przyjętej w 1958 roku tymczasowej jednostki bazy (miligala bazy) Kraków—Kuźnice przeprowadzono pomiary porównawcze grawimetrem Gs-11 nr 112 na dwóch bazach zagranicznych. Porównano mianowicie tę jednostkę naszej bazy z jednostką jednej bazy niemieckiej i jednostką jednej z baz czeskosłowackich.

Jesienią 1958 roku wykonane zostały omawianym grawimetrem Gs-11, uprzednio wycechowanym w oparciu o jednostkę bazy Kraków—Kuźnice,

pomiary na bazie w górach Harzu (Wernigerode—Brocken) w Niemieckiej Republice Demokratycznej [11].

Pomiary przeprowadzono przy wykorzystaniu transportu samochodowego w ciągu trzech dni, metodą punktów pośrednich (łącznie dokonując 16 rejsów pomiarowych).

W wyniku naszych pomiarów uzyskano wartość Δg bazy niemieckiej i jej odcinków w jednostkach tymczasowego miligala bazy Kraków—Kuźnice. Należy zaznaczyć, że średni błąd przypadkowy wyznaczonej przez nas wartości Δg bazy Wernigerode—Brocken wynosi $\pm 0,02$ mgal.

Prównując wynik naszych pomiarów z wartością Δg , przyjmowaną dla tej bazy przez stronę niemiecką, otrzymujemy różnicę 0,06 mgal przy wartości całej bazy $\Delta g \cong 166$ mgal. Rezultaty tych porównawczych pomiarów wykazały zgodność przyjętego w 1958 roku tymczasowego miligala bazy Kraków—Kuźnice z miligalem bazy Wernigerode—Brocken w granicach 0,3—0,4‰.

Jesienią 1958 r. został wykonany pomiar porównawczy naszym grawimetrem Gs-11 na bazie Jeřted koło Liberca, w Czechosłowacji [7]. Przy przejeździe pomiędzy końcowymi punktami bazy posługiwano się kolejką linową. Pomiary przeprowadzono w ciągu dwóch dni metodą łańcuchową.

Uzyskana z naszych pomiarów dla bazy Jeřted wartość $\Delta g = 92,98$ mgal $\pm 0,01$ mgal w tymczasowych jednostkach bazy Kraków—Kuźnice jest identyczna z wartością przyjmowaną jako najprawdopodobniejsza dla tej bazy przez geodetów czechosłowackich [3]. Otrzymaliśmy więc w pełni zadowalającą zgodność pomiędzy tymczasowym miligalem naszej bazy i miligalem czechosłowackiej bazy Jeřted.

Przeprowadzone przez nas w 1958 i 1959 roku porównawcze pomiary na omawianych wyżej dwóch bazach zagranicznych wykazały, że jednostka bazy Kraków—Kuźnice z roku 1958 jest w granicach dokładności (0,3—0,4‰) identyczna z jednostkami tych baz.

Należy jednak zaznaczyć, że obie porównane bazy zagraniczne charakteryzują się stosunkowo niewielką wartością różnicy przyspieszenia siły ciężkości. Wobec tego dla bardziej obiektywnej oceny dokładności tymczasowego miligala naszej bazy celowe byłoby dokonanie dalszych porównań jednostki bazy Kraków—Kuźnice z innymi bazami zagranicznymi o większej wartości Δg .

5. Prace nad cechowaniem grawimetru Askania GS-11 Nr 112 na bazie Kraków—Kuźnice

Prace pomiarowe na bazie grawimetrycznej Kraków—Kuźnice prowadzone były grawimetrem Gs-11 celem wyznaczenia jego stałych dla zapewnienia dostatecznej dokładności w prowadzonych pracach pomiaro-

wych oraz celem badania ewentualnej zmienności tych stałych w zależności od czasu i temperatury termostatu.

Instytut Geodezji i Kartografii przeprowadził dotychczas na bazie sześć pomiarów, których wykaz podano w tablicy 2.

Tablica 2

Lp.	Data	Temperatura termostatu
1	maj 1958	25°C
2	maj 1958	40°C
3	czerwiec 1959	40°C
4	lipiec 1960	40°C
5	wrzesień 1960	35°C
6	listopad 1960	25°C

Zestawienie stałych a i b , obliczonych z poszczególnych pomiarów, podano w tablicy 3. Wszystkie te obliczenia przeprowadzono w oparciu o tymczasowe wartości Δg na bazie, omówione uprzednio w punkcie 3 niniejszej pracy. W rubrykach oznaczonych symbolem v podano różnicę poszczególnych wyników od średniej arytmetycznej ze wszystkich sześciu pomiarów, w rubryce zaś oznaczonej przez m — średni błąd wyznaczenia stałej (a lub b), wynikający z wyrównania. Następnie z obu rodzajów błędów obliczono błędy średnich arytmetycznych stałych a i b , posługując się wzorami:

dla różnic od średniej arytmetycznej:

$$m_v = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}, \quad (12)$$

a dla błędów obliczonych z wyrównania:

$$m_m = \pm \sqrt{\frac{[mm]}{n}}. \quad (13)$$

Wartości liczbowe tych błędów podane są u spodu tablicy 3.

Tablica 3

Lp.	a	v_a	m_a	b	v_b	m_b
1	9,1471	+0,0115	$\pm 0,0049$	0,000447	-0,000083	$\pm 0,000097$
2	9,1580	+0,0006	0,0015	0,000410	-0,000046	0,000029
3	9,1664	-0,0078	0,0076	0,000335	+0,000029	0,000151
4	9,1593	-0,0007	0,0020	0,000352	+0,000012	0,000040
5	9,1640	-0,0054	0,0034	0,000272	+0,000092	0,000068
6	9,1565	+0,0021	0,0051	0,000366	-0,000002	0,000101
śr	9,1586			0,000364		
m_v		$\pm 0,0028$			$\pm 0,000025$	
m_m			$\pm 0,0019$			$\pm 0,000037$

Zastanówmy się obecnie nad zagadnieniem ewentualnej zmienności wielkości a i b . O ile dla szeregu wartości, których zmienność badamy, zachodzi nierówność:

$$|m_v| < |m_m|, \quad (14)$$

to możemy powiedzieć, że wartości te nie wykazują zmienności, a przyjęcie ich średniej arytmetycznej do dalszych obliczeń upraszcza zagadnienie nie obniżając dokładności tych obliczeń. Porównując wartości liczbowe błędów m_v i m_m dla stałych a i b , podane w tablicy 3, możemy w świetle powyższych rozważań (14) stałą b przyjąć za niezmienną, wartość zaś a może być traktowana jako zmienna.

Przyjmując stałą b za niezmienną — równą średniej arytmetycznej wartości otrzymanych z wyrównania wszystkich dotychczasowych pomiarów, obliczono poszczególne wartości a . Następnie dla każdego zakresu termostatu obliczono średnie wartości a . Otrzymano następujące wyniki:

$$a_{25} = 9,1545 \quad a_{35} = 9,1595 \quad a_{40} = 9,1612.$$

Widać tutaj wyraźnie, że wielkość stałej a rośnie wraz z temperaturą termostatu. W związku z tym przeliczono posiadany materiał obserwacyjny jeszcze raz w następujący sposób. Założono, że stała b jest niezmienna, a wielkość a jest stała w czasie, w obrębie każdego zakresu termostatu, a zmienna proporcjonalnie do zmian temperatury termostatu. Oznaczając przez δa przyrost a przy wzroście temperatury o Δt , otrzymamy na podstawie wzoru (9) następujące równania błędów:

$$-v_i = \frac{\Delta g}{a_0^2} \Delta a + \frac{\Delta g \Delta t}{a_0^2} \delta a + \frac{\Delta g \Sigma M}{a_0^2} \Delta b + \left(\Delta M_i - \frac{\Delta g}{a_0} \right). \quad (15)$$

Na podstawie wzoru (15) ułożono równania błędów dla wszystkich pomiarów i wyrównano je razem. Otrzymano następujące wyniki:

Tablica 4

Oznaczenie	Wartość	m_v	m_m
a_{25}	9,1563	$\pm 0,0027$	$\pm 0,0036$
$\delta a/10^\circ$	0,0044	$\pm 0,0010$	
b	0,000332	$\pm 0,000046$	
$a_{35} = a_{25} + \delta a$	9,1607	$\pm 0,0029$	$\pm 0,0034$
$a_{40} = a_{25} + 1,5 \delta a$	9,1629	$\pm 0,0031$	$\pm 0,0046$

Jak widać, błąd wyznaczenia współczynnika δa jest mniejszy czterokrotnie od wartości samego współczynnika, co wskazywałoby na słuszność przyjętego założenia. Wobec przyjęcia stałych a za niezmiennie w obrębie poszczególnych zakresów termostatu, ich błędy wyznaczenia w tym ostat-

nim wyrównaniu należy traktować, w myśl nierówności (14), jako m_v . Błędy m_v i m_m (które podano w tabl. 4) są w tym przypadku tego samego rzędu, a więc okoliczność ta w myśl rozważań (14) nie przeczy założeniu niezmienności stałej a w obrębie każdego zakresu temperatury termostatu.

Należy tutaj zaznaczyć, iż z wykresu podanego przez firmę Askania w opisie do grawimetru nr 112 [12] wynika, że: $a_{40} = 9,2474$ i $b = 0,000395$. Jasne jest więc, że w świetle badań Instytutu Geodezji i Kartografii błąd stałej a podany przez firmę Askania sięga 1‰, co zupełnie dyskwalifikuje jego wartość użytkową.

6. Zakończenie

Cechowanie grawimetrów jest stale aktualnym zagadnieniem, obejmującym szeroki zakres tematów, które wymagają systematycznych prac zarówno naukowo-badawczych jak i praktycznych.

Zreferowane ogólnie wyniki wykonanych przez nas w okresie ostatnich trzech lat prac, związanych z cechowaniem grawimetrów, nasuwają kilka wniosków, dotyczących kierunków dalszego rozwoju prac w tym zakresie w warunkach naszego kraju.

Jednym z podstawowych zagadnień, to sprawa kontynuacji prac nad jednostką bazy grawimetrycznej Kraków—Kuźnice. Tymczasowa wartość jednostki z 1958 roku wymaga dalszych udokładnień. W związku z tym konieczne są dalsze porównania jednostki naszej bazy z innymi bazami charakteryzującymi się dużymi różnicami przyspieszenia siły ciężkości oraz odpowiednie wykorzystanie niektórych nawiązań zagranicznych. Dysponując obszerniejszym materiałem można będzie uzyskać bardziej pewne określenie wartości Δg naszej bazy w jednostkach układu cgs.

Baza grawimetryczna Kraków—Kuźnice znajduje się na południu kraju i jej różnica Δg nie obejmuje zarówno całego zakresu wartości g występujących w Polsce, jak i pełnego zakresu podziałki grawimetru. Wobec tego celowe jest założenie odpowiedniej bazy na północy kraju, umożliwiającej przeprowadzenie pomiarów cechujących przy użyciu transportu samochodowego. Taki zespół dwóch baz, na południu i na północy kraju, pozwoli na cechowanie grawimetrów w pełnym zakresie.

Dalszą grupę zagadnień, wymagającą rozważań, stanowią badania nad doskonaleniem metodyki cechowania grawimetrów Gs-11 oraz nad zależnością wartości stałych tego typu grawimetrów od czasu i różnych czynników zewnętrznych.

Z tymi zagadnieniami oraz ze sprawą udokładnienia bazy wiąże się prowadzenie systematycznych pomiarów na bazie w różnych warunkach i różnymi metodami obserwacyjnymi.

W przyszłych pracach badawczych należy także wziąć pod uwagę sprawę metod cechowania grawimetrów innych typów niż Askania Gs-11, które będą mogły być używane w naszym kraju.

Sprawy cechowania grawimetrów ze względu na kompleksowy charakter wymagają dużego zakresu prac badawczych i prac praktycznych, których kontynuowanie w naszych warunkach jest konieczne dla właściwego rozwoju grawimetrii w Polsce.

LITERATURA

- [1] Bokun J.: Baza grawimetryczna Gdańsk — Kasprowy Wierch, Prace IGiK, t. V, nr 2, Warszawa 1957.
- [2] Bokun J.: Probleme de l'étalonnage des gravimètres et du réseau gravimétrique en Pologne, Comm. présentée a XII Assemblée UGGI, Helsinki, Warszawa 1960.
- [3] Chudoba V., Simon Z.: Československé vertikální tíhové základny, měřítka a posun gravimetrické síť I a II řádu, Geof. Sborn., Praha, 1958.
- [4] Coron S.: Rapport general provisoire, sur les mesures relatives de l'intensité de la pesanteur sur Terre. 1957—1960. UGGI, Helsinki, 1960.
- [5] Hausbrandt S.: Rachunki geodezyjne, Warszawa, 1953.
- [6] Schulze R.: Gravimetermessungen über grosse Entfernungen, Reihe B, Nr. 35, München 1957.
- [7] Wittinger M.: Tíhová měření v ČSR, Praha, 1954.
- [8] Ząbek Z., Dobaczewska W.: Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach bazy grawimetrycznej, Prace IGiK, t. V, nr 2, Warszawa 1957.
- [9] Ząbek Z., Dobaczewska W.: Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach zachodniej części sieci wahadłowej w Polsce, Prace IGiK, t. VI, nr 2 (14), Warszawa 1959.
- [10] Comptes — rendus d'Ensemble de la XI^e Assemblée Générale (Toronto, Septembre 1957), Bull. géodésique, Nr. 47, 1958.
- [11] Deutscher Landesbericht (DDR) zur Sitzung der Internationalen Gravimetrischen Kommission, Paris, September 1959. Landesausschuss f. Geod. u. Geoph., 1959.
- [12] Schweremesser Gs-11. Askania-Werke A. G., Berlin, 1956.

Rękopis dostarczono Redakcji w styczniu 1961 r.

ЕЖЫ БОКУН
ТАДЭУШ ХОЙНИЦКИ

ПРОБЛЕМА ЭТАЛОНИРОВАНИЯ ГРАВИМЕТРОВ В ПОЛЬШЕ

Резюме

При имеющем место в настоящее время развитии гравиметрических работ большое значение имеют проблемы, касающиеся эталонирования гравиметров. Проблема состоит в том, чтобы разности ускорения силы тяжести были определены гравиметрами в единицах, согласных с единицами системы *cgs*.

Проблемы, связанные с эталонированием гравиметров в Польше, были в течении последних лет темами работ Института Геодезии и Картографии и отчёт о них дается в этом труде.

Так как доминирующим типом употребляемых в Польше в последнее время гравиметров был гравиметр Аскания Gs-11, в первую очередь разработано соответственную методику эталонирования этого гравиметра.

Опираясь на выведённой, общей формуле (3) на разность ускорения силы тяжести Δg , полученной из наблюдении гравиметром типа Аскания Gs-11 и принимая, что функция $f(M)$, выражающая зависимость между силой, с какой действует измерительная пружина и отсчётом шкалы гравиметра M , есть функцией второй степени, получаем формулу (5):

$$\Delta g = \Delta M(a + b \Sigma M),$$

где:

$$\Delta M = M_2 - M_1; \quad \Sigma M = M_1 + M_2.$$

Эта формула есть исходным пунктом разработанной методики эталонирования гравиметров типа Аскания Gs-11. Метод эталонирования заключается в определении постоянных гравиметра, a и b , основываясь на не менее чем двух базисных пролётах, для которых известна разность ускорения силы тяжести Δg . Если в распоряжении имеется большее число базисных пролётов, то постоянные a и b следует вычислить, уравнивая методом наименьших квадратов. Применяя метод посредственных наблюдений, уравнения поправок состав-

вляем согласно формуле (9):

$$-v_i = \frac{\Delta g}{a_0^2} \cdot \Delta a + \frac{\Delta g \cdot \sum M}{a_0^2} \cdot \Delta b + \left(\Delta M_i - \frac{\Delta g}{a_0^2} \right).$$

В 1956 году был заложен Институтом Геодезии и Картографии гравиметрический базис Гданьск — Каспровы Верх [1]. Часть этого базиса, а именно Краков — Кузьницэ ($\Delta g = 290$ мгл, расстояние 108 км), чрезвычайно удобная для эталонирования гравиметров применяя автотранспорт, была подробно разработана нашим Институтом.

На упомянутом базисе в Кракове, Закопанэм и Кузницах находятся маятниковые пункты, наблюдаемые в 1956 году [8]. Вблизи здания, в которых находятся упомянутые выше 3 маятниковые пункты, были заложены эксцентрические гравиметрические пункты, стабилизированные бетонной плитой.

Кроме этих эксцентрических пунктов на базисе были заложены четыре гравиметрические пункты, расположенные на шоссе между Краковом и Закопанэ.

В общем базис состоит из 7 гравиметрических пунктов (рис. 1-7), а их взаимное расположение представлено на рис. 8.

Упомянутые эксцентрические пункты были привязаны гравиметром Gs-11 № 112 к соответствующим маятниковым пунктам с точностью 0,01 — 0,02 мгл.

Для определения значения Δg целого базиса, следовательно, и для определения так наз. „миллигала базиса” использовано, кроме результатов уже упомянутых маятниковых наблюдениях 1956 года, также результаты измерения соответственно эталонированным гравиметром Аскания Gs-11 № 112. Значения постоянных a и b этого гравиметра были определены на основании измерения, произведенных с целью эталонирования этого гравиметра в 1958 году, при использовании автотранспорта на трех пролётах между основными гравиметрическими пунктами Варшавой, Прагой и Будапештом.

Потом, так эталонированным гравиметром были исполнены весной 1958 года измерения на базисе Краков — Кузьницэ.

Как значение Δg базиса в 1958 году было принято усреднённое значение результатов этих измерениях и ранее упомянутых маятниковых измерениях для отрезка KR-MZ. Это значение (10) принимается как предварительное, по причине слишком малого числа исходных данных, на основании которых его определено и довольно значительного расхождения между ними.

Результаты произведённых до сих пор шести измерениях на базисе (табл. 2) и применение формулы (11) сделали возможным более точное определение значения Δg для отрезка MZ-KZ и вычисление Δg для отрезка MZ-BR.

Значения Δg отдельных отрезков базиса, выраженные в предварительной, временной единице этого базиса (10) даны в таблице 1.

Чтобы проверить предварительную единицу базиса (миллигал базиса) были исполнены сравнительные измерения на двух зарубежных базисах. Осенью 1958 года были произведены сравнительные измерения гравиметром Gs-11 № 112 на базисе в горах Гарца (Вернигероде — Брокэн, $\Delta g \cong 166$ мгл) в Германской Народной Республике [11]. В результате получено согласие временной единицы нашего базиса с единицей, принимаемой для этого германского базиса в границах 0,3 — 0,4‰.

Следующее сравнение было выполнено тем же гравиметром на одном из базисов в Чехословакии, именно на базисе Ештед вблизи Либерца ($\Delta g \cong 93$ мгл). Было получено полное согласие значения Δg по нашим измерениям с значением, принимаемым чехословацкими геодезистами как наиболее вероятное для этого базиса.

Для дальнейших исследований единицы базиса Краков-Закопане было бы целесообразным провести дальнейшие сравнения с другими зарубежными базисами.

Измерения на гравиметрическом базисе Краков — Кузнице (табл. 21) были исполнены с целью определения постоянных гравиметра (a и b) и исследования их возможной изменчивости в зависимости от времени и температуры термостата. Значения постоянных a и b , вычисленные для отдельных измерений даны в таблице 3. На основании анализа средних квадратических ошибок этих значений, определенных по формулам (12) и (13) и данных в таблице 3, сделано вывод, что постоянная b неизменна, в то время как значение a остается неизменным для каждого температурного предела термостата и возрастает пропорционально повышению температуры термостата. Принимая эти выводы как предпосылки, были уравнены совместно все исполненные до сих пор измерения на гравиметрическом базисе. В таблице 4 даны полученные значения постоянной a для разных пределов температур термостата, значение постоянной b и приращение $\delta a/10^\circ$ постоянной a .

Следует заметить, что поданное фирмой Аскания значение постоянной a_{40} для гравиметра Gs-11 № 112 [12] ошибочно в границах 1‰, что совсем дисквалифицирует это значение.

Эталонирование гравиметров это постоянно актуальная проблема, обнимающая широкий диапазон тем, требующих систематических и научно-исследовательских, и практических работ, имеющих целью уточнение гравиметрического базиса, усовершенствование методики эталонирования и исследования зависимости постоянных гравиметров от времени и внешних условий.

JERZY BOKUN
TADEUSZ CHOJNICKI

THE PROBLEM OF GRAVIMETER CALIBRATION IN POLAND

Summary

In recent development of gravimetric work the problem of calibration of gravimeters has been of great importance. The problem of the matter is that differences of gravity acceleration should be determined with gravimeters in units consistent with the units of *cgs* system.

The problems connected with the calibration of gravimeters in Poland were in recent years a subject of work of the Institute of Geodesy and Cartography which has been presented in this article.

As Askania gravimeter Gs-11 has been in recent years a prevailing type of gravimeters used in Poland, so first of all a proper method of their calibration had to be worked out.

Leant on the derived general formula (3) for the difference of acceleration of gravity Δg , measured with a gravimeter of Askania type Gs-11 and assuming that the function $f(M)$, which gives the dependance between the stress of the measuring spring, and the scale reading of gravimeter M , is of second order we get the formula (5):

$$\Delta g = \Delta M (a + b \Sigma M),$$

where:

$$\Delta M = M_2 - M_1; \quad \Sigma M = M_1 + M_2.$$

It is the starting formula for the worked out method of calibration of the gravimeters Gs-11 type. The calibration method lies in determination of gravimeter constants a and b using at least two base sections of known value of the difference Δg of the acceleration of gravity. If there are more base sections available so the constants a and b are determined by aid of least squares method. When using the method of indirect observations,

observation equations are drawn up according to formula (9):

$$-v_i = \frac{\Delta g}{a_0^2} \Delta a + \frac{\Delta g \cdot \sum M}{a_0^2} \Delta b + \left(\Delta M_i - \frac{\Delta g}{a_0} \right).$$

In 1956 a gravity base Gdańsk — Kasprowy Wierch was established by the Institute of Geodesy and Cartography [1]. A part of that base, namely Kraków — Kuźnice ($\Delta g = 290$ mgal, the distance 108 km) was particularly suitable for gravimeter calibration by using car transport. It has been worked out in all details by our Institute.

On the discussed base there are pendulum stations in Kraków, Zakopane and Kuźnice which were observed in 1956 [8]. Nearly the buildings where the 3 pendulum stations had been established, eccentric gravity stations have been founded and marked with concrete plates.

Besides those eccentric stations, four gravity points have been established on the road between Zakopane and Kraków. The base, as a whole consists of 7 gravity points (graph 1—7) and their mutual position is shown on graph 8.

The said eccentric points were tied to corresponding pendulum stations by aid of Askania gravimeter Gs-11 Nr 112. The accuracy of their connection is 0,01 — 0,02 mgal.

To determine the value Δg of the whole base (i. e. so called "milligal of the base") were used the discussed pendulum measurements made during 1956, and besides them the results of measurements made with the properly calibrated Askania gravimeter Gs-11 Nr 112. The values a and b for this gravimeter were determined using the calibration measurements carried out in 1958 between 3 basic gravimeter points Warszawa—Praha and Budapest applying air transport. By aid of the gravimeter thus calibrated the base Kraków — Kuźnice was measured in 1958.

From these measurements and pendulum measurements on the section KR — MZ previously discussed, a mean value has been derived and adopted as Δg value for the base in 1958. This is regarded as rough and redy value only because of too small a number of reference data to determine it and a considerable divergence among them.

Results of the extant six measurements on the base (table 2) and application of formula (11), allowed a more exact determination of Δg value for MZ — KZ and computation of Δg for the section MZ — BR.

The values Δg of individual sections of the base given in provisory unit of this base (10) are shown in table 1.

To check the provisory unit (milligal of the base) comparative measurements were carried out on two foreign bases.

In autumn 1958 the comparative measurements were carried out in Harz-mountains (base Wernigerode — Brocken, $\Delta g \cong 166$ mgal) in German Democratic Republic [11] employing Gs-11 gravimeter Nr 112.

As result it has been found that the provisory unit of our base is consistent with the unit adopted for the mentioned German base within 0,3 — 0,4‰.

Using the same gravimeter, the next comparison was carried out on the base Ještěd ($\Delta g \cong 93$ mgal) near Liberec in Czechoslovakia. The obtained value has been — aedonthee,nsh3admfwypcmfwypmfwypmfwym that base by Czechoslovak geodesists [7].

For further investigations on the unit of the base Kraków—Kuznice, it would be a great advantage to continue the comparison with other foreign bases.

Measurements on gravity base Kraków—Kuznice have been made in order to determine the constants a and b , and to investigate their resp. variation with time and temperature of thermostate. The values of the constants a and b computed for individual measurements are given in table 3.

Analysis of mean errors given in table 3, and of those determined by aid of the formulae (12) and (13) leads to the suggestion that the value b is unchangeable, while the value a is constant within any extent of temperature of the thermostate and rises in proportion to the increase of the thermostate temperature. This assumption made, all extant measurements carried out on the gravity base, have been jointly adjusted.

Constant b , the obtained values for the separate extents of thermostate temperature and increase $\delta a/10^\circ$ of the constant a are given in table 4.

It is necessary to point out that the value a_{40} , announced for the gravimeter Gs-11 Nr 112 [12] by Askania-house, is erroneous within 1‰ which makes it fully disqualified.

Calibration of gravimeters is a permanent problem comprising a wide sphere of subjects which call for systematic and practical investigations in order to make gravity base exact, to improve the mode of calibration and to scrutinize the dependence of gravimeter constants on time and external conditions.