

TADEUSZ CHOJNICKI

526.77 (438)

Cechowanie grawimetru Askania Gs-11 w oparciu o dwie bazy grawimetryczne

1. Wstęp

Zagadnienia związane z cechowaniem grawimetrów w Polsce są jednym z podstawowych problemów, stanowiącym od kilku lat stały temat pracy Instytutu Geodezji i Kartografii.

Ukazały się dotychczas dwie publikacje Instytutu na ten temat [1] [2]. Praca niniejsza podaje opis dalszych badań, związanych z cechowaniem przede wszystkim grawimetru typu Askania Gs-11.

Istniejący dotychczas system baz grawimetrycznych w Polsce składał się z następujących odcinków:

1. Odcinek Gdańsk—Warszawa—Kraków, przewidziany do pomiaru przy użyciu transportu lotniczego.

2. Odcinek Kraków—Kuźnice, przewidziany do pomiaru przy użyciu transportu samochodowego.

3. Odcinek Kuźnice—Kasprowy Wierch, przewidziany do pomiaru przy użyciu, jako transportu, kolejki liniowej.

Ze względu na to, że pomiary grawimetrem Gs-11 najczęściej wykonuje się przy użyciu transportu samochodowego, najwygodniejszym do korzystania był odcinek wymieniony w punkcie 2, tym bardziej, że zasadniczo cechowanie grawimetru powinno być wykonywane w taki sam sposób jak pomiar.

Jednym z warunków jakim powinien odpowiadać system bazowy, jest umożliwienie cechowania całej podziałki grawimetru. Jeśli zakres podziałki grawimetru Gs-11 — równy 80 działkom — dobrany zostanie tak, aby bez jego zmiany można było prowadzić pomiary w całej Polsce, to krańcowe odczyty na bazie Kuźnice—Kraków wyniosą wówczas odpowiednio około 0 i 32. Zatem cechować tam można tylko brzeg skali na odcinku równym 0,4 całości.

Jednoczesny pomiar na odcinkach wymienionych w punktach 1 i 2 spełniało by warunek wycechowania całej skali, gdyż odczyt w Gdańsku rów-

ny jest około 75. Jednak ze względu na to, że pomiar przy użyciu transportu lotniczego jest kosztowny i kłopotliwy pod względem organizacyjnym, trudno go polecać do systematycznego cechowania grawimetrów, którą to czynność należy zasadniczo przeprowadzać dwukrotnie w ciągu roku, przed i po sezonie pomiarowym.

Z tych względów celowym się stało — co zostało już wspomniane w zakończeniu opracowania [2] — założenie odcinka systemu bazowego na północy kraju, pozwalającego na cechowanie drugiego brzegu skali przy użyciu transportu samochodowego.

Ponadto, przy pewnym rozszerzeniu metody cechowania grawimetru Gs-11 podanej w [2], co będzie opisane niżej, pomiar na dwóch bazach pozwala na:

- wyznaczenie stałej grawimetru b inną metodą niż dotychczas,
- podniesienie dokładności wyznaczenia stałej b i oczywiście stałej a dotychczas stosowaną metodą,
- cechowanie podziałki grawimetru w zakresie większym, niż zakres odpowiadający Δg .

Z uwagi na te wszystkie przesłanki, potwierdzające celowość założenia bazy na północy kraju, Instytut Geodezji i Kartografii opracował nowy odcinek systemu bazowego w Polsce, między Dylewską Górą koło Ostródy a Fromborkiem. Uzasadnienie tego wyboru oraz opis bazy podano w p. 2 i 3.

2. Cechowanie grawimetru typu Askania Gs-11 z wykorzystaniem urządzenia kulkowego

Grawimetr typu Askania Gs-11 posiada urządzenie, które przez zmianę ramienia drobnej części masy zasadniczej układu mierzącego pozwala na zmianę momentu obrotowego układu bez zmiany przyspieszenia siły ciężkości. Urządzenie to składa się z małej skrzyneczki z dwoma otworami, usytuowanymi wzdłuż osi belki, stanowiącej ramię masy podstawowej, oraz małej kulki metalowej. Przez przechylenie całego grawimetru o 90° na lewo lub na prawo, możemy przemieszczać kulkę odpowiednio do otworu bliższego lub dalszego od osi obrotu belki, a w związku z tym, możemy uzyskiwać mniejszy lub większy odczyt podziałki grawimetru na tym samym stanowisku.

W celu matematycznego ujęcia zjawiska wyjdziemy z zasadniczych wzorów, dotyczących układu mierzącego grawimetrów typu „Askania”, podanych przez Schulze’go (5) przy omawianiu teorii grawimetru typu Gs-12, lecz zastosujemy je do typu Gs-11, a w związku z tym masa podstawowa przedstawiona zostanie jako suma dwóch mas: masy podstawowej m_p o ramieniu stałym r_p oraz masy kulki m_k o ramieniu zmiennym r .

Zatem w układzie mierzącym grawimetru Gs-11 będą działały następujące momenty sił: moment związany z masą m_p :

$$m_p \cdot g \cdot r_p,$$

oraz z masą m_k :

$$m_k \cdot g \cdot r.$$

Moment obrotowy układu sprężynowego równy jest:

$$\tau \cdot \varphi$$

gdzie: τ — współczynnik torsyjny,

φ — kąt skreću.

Działanie sprężyny pomiarowej, kompensującej wychylenia ramienia mas m_p i m_k z położenia zerowego, można określić przez iloczyn:

$$r_h \cdot h(M)$$

gdzie r_h jest ramieniem działania siły $h(M)$, napinającej sprężynę pomiarową, 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:

$$m_p g r_p + m_k g r = \tau \varphi + r_h h(M),$$

a stąd:

$$g = \frac{\tau \varphi + r_h h(M)}{m_p r_p + m_k r}. \quad (1)$$

Ponieważ pomiar wykonuje się zawsze w położeniu zerowym, w prawej stronie równania (1) wszystkie wartości, prócz $h(M)$ i r , będą stałe. Dla uproszczenia wprowadzimy oznaczenia:

$$r_p = \frac{m_k}{m_p} R \quad \text{oraz} \quad \tau \varphi + r_h h(M) = m_k k(M). \quad (2)$$

Wstawiając (2) do (1), otrzymamy:

$$g = \frac{k(M)}{R + r}. \quad (3)$$

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, z jednoczesną zmianą długości ramienia r , tj. ze zmianą położenia kulki:

$$\Delta g = \frac{\partial g}{\partial M} \Delta M + \frac{\partial g}{\partial r} \Delta r + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 g}{\partial M^2} \Delta M^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 g}{\partial r^2} \Delta r^2 + \frac{\partial^2 g}{\partial M \partial r} \Delta M \Delta r + \dots \quad (4)$$

Wstawiając do równania (4) odpowiednie pochodne cząstkowe i oznaczając:

$$f(M) = \frac{1}{R + r} \frac{\partial k}{\partial M}, \quad \text{a więc i} \quad f'(M) = \frac{1}{R + r} \frac{\partial^2 k}{\partial M^2},$$

i ograniczając się do wyrazów drugiego rzędu, otrzymamy:

$$\Delta g = \left(1 - \frac{\Delta r}{R + r}\right) \left[\{f(M) + \frac{1}{2} f'(M) \Delta M\} \Delta M - \frac{g}{R + r} \Delta r \right]. \quad (5)$$

Ponieważ zmiana długości ramienia (Δr) masy kulki jest wielkością stałą, ze względu na możliwość istnienia tylko dwóch położen tej kulki, możemy wielkość $\frac{\Delta r}{R + r}$ przyjąć za stałą dla grawimetru i oznaczyć:

$$C = \frac{\Delta r}{R + r}. \quad (6)$$

Przyjmując następnie, że funkcja $f(M)$ ma postać:

$$f(M) = A + 2BM, \quad (7)$$

otrzymamy:

$$\Delta g = (1 - C)[(A + B \Sigma M) \Delta M - gC], \quad (8)$$

gdzie: $\Delta M = M_2 - M_1$, a $\Sigma M = M_2 + M_1$.

Jeśli zamiast stałych A , B i C przyjmiemy stałe a , b i c określone wzorami:

$$a = (1 - C)A, \quad b = (1 - C)B, \quad c = (1 - C)C,$$

wzór (8) przyjmie postać:

$$\Delta g = (a + b \Sigma M) \Delta M - gc. \quad (9)$$

Wzór (9) jest podstawowym wzorem dla grawimetru Gs-11, uwzględniającym zmianę odczytu podziałki grawimetru M na skutek zmiany przyspieszenia siły ciężkości Δg oraz zmiany położenia kulki, powodującej pojawienie się wielkości $c \neq 0$.

Jak łatwo zauważyć, w szczególnym przypadku gdy nie zmieniamy położenia kulki, tzn. gdy $c = 0$, ze wzoru (9) otrzymamy:

$$\Delta g = (a + b \Sigma M) \Delta M, \quad (10)$$

tj. zwykły wzór do obliczenia Δg z pomiaru grawimetrem Gs-11 przy jednym położeniu kulki, wyprowadzony w p. 2 pracy [2].

W drugim szczególnym przypadku, gdy robimy odczyty przy różnych położeniach kulki na jednym stanowisku, tj. gdy $\Delta g = 0$, ze wzoru (9) otrzymamy:

$$(a + b \Sigma M)e - gc = 0 \quad (11)$$

gdzie przez e oznaczamy różnicę odczytów podziałki grawimetru (ΔM) przy zmianie położenia kulki bez zmiany stanowiska, a więc dla $\Delta g = 0$. Wzór (11) możemy przedstawić w postaci:

$$c = \frac{a + b \Sigma M}{g} e, \quad (11a)$$

lub

$$e = \frac{cg}{a + b \Sigma M}, \quad (11b)$$

lub

$$b = \frac{cg}{e \Sigma M} - \frac{a}{\Sigma M}. \quad (11c)$$

Zastanówmy się obecnie, czy na podstawie pomiaru e i zastosowania wzoru (11c) można by wyliczyć stałą b . Weźmy na razie pod uwagę tylko błąd $\left(\frac{m_b}{b}\right)_c$, tj. błąd względny wyznaczenia stałej b powstały na skutek istnienia błędu m_c stałej c . Ponieważ:

$$\frac{\partial b}{\partial c} = \frac{g}{e \Sigma M},$$

więc:

$$\left(\frac{m_b}{b}\right)_c = \pm \frac{g}{eb \Sigma M} m_c.$$

Wstawiając orientacyjne wartości liczbowe poszczególnych składników powyższego wzoru (p. tablica 1), otrzymamy:

$$\left(\frac{m_b}{b}\right)_c = \pm \frac{7 \cdot 10^3}{\Sigma M},$$

a więc w najkorzystniejszym przypadku, gdy $\Sigma M \cong 150$, $\left(\frac{m_b}{b}\right)_c = \pm 47$, czyli błąd wyznaczenia stałej b byłby około 50 razy większy od jej wartości.

Zastanówmy się jednak nad możliwością wyznaczenia stałej b ze zmian wartości e na skutek zmiany ΣM i g .

Ponieważ wartości g mamy zawsze dane z dokładnością 5—6 cyfr znaczących, nawet jeśli operujemy wartościami przybliżonymi, a ΣM znamy z pomiaru z dokładnością odczytu, ze zmian wartości e , mierzonych w różnych miejscach skali, możemy znaleźć ich zależność od zmian ΣM , a więc stałą b . Jak się okaże dalej, wartości a i c , do wyznaczenia stałej b ze zmian wartości e , wystarczy znać w przybliżeniu.

Zależność stałej b od zmian wartości e , spowodowanych zmiennością ΣM i g , obliczymy rozwijając funkcję określoną przez wzór (11b) w szereg Taylora, ograniczając się do wyrazów pierwszego rzędu:

$$\Delta e = \frac{\partial e}{\partial (\Sigma M)} \Delta (\Sigma M) + \frac{\partial e}{\partial g} \Delta g,$$

stąd:

$$\Delta e = - \frac{e^2 b}{cg} \Delta (\Sigma M) + \frac{e}{g} \Delta g,$$

a stąd:

$$b = \frac{c g}{e \Delta(\Sigma M)} \left(\frac{\Delta g}{g} - \frac{\Delta e}{e} \right). \quad (12)$$

W celu obliczenia wpływu poszczególnych składników wzoru (12) na dokładność wyznaczenia stałej b , posłużymy się wzorem:

$$\left(\frac{m_b}{b} \right)_x = \pm \frac{\partial b}{b \partial x} m_x. \quad (13)$$

gdzie $\left(\frac{m_b}{b} \right)_x$ jest błędem względnym stałej b spowodowanym przez błąd dowolnego składnika (x) prawej strony równania (12). Różniczkując następnie wzór (12) względem poszczególnych składników, otrzymamy:

$$\begin{aligned} \frac{\partial b}{\partial c} &= \frac{b}{c}, \\ \frac{\partial b}{\partial g} &= - \frac{c \Delta e}{\Delta(\Sigma M) e^2}, \\ \frac{\partial b}{\partial \Delta(\Sigma M)} &= - \frac{b}{\Delta(\Sigma M)}, \\ \frac{\partial b}{\partial e} &= \frac{c g \Delta e - b e^2 \Delta(\Sigma M)}{\Delta(\Sigma M) e^3}, \\ \frac{\partial b}{\partial \Delta g} &= \frac{c}{\Delta(\Sigma M) e}, \\ \frac{\partial b}{\partial (\Delta e)} &= - \frac{c g}{\Delta(\Sigma M) e^2}. \end{aligned} \quad (14)$$

W celu obliczenia przybliżonych wartości liczbowych błędów $\left(\frac{m_b}{b} \right)_x$ musimy przyjąć orientacyjne wartości poszczególnych elementów. Wartości te podano w tabelicy 1, przyjmując, że Δe wyznaczono z pomiarów na krańcach podziałki grawimetru.

Tabela 1

	x	m_x	jednostki
g	$1 \cdot 10^6$	2	mgal
Δg	$7 \cdot 10^2$	2	mgal
e	4,5	$2 \cdot 10^{-3}$	dz*)
Δe	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	dz
$\Delta(\Sigma M)$	$1,5 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^{-2}$	dz
c	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-7}$	—
b	$3,2 \cdot 10^{-4}$		mgal/dz ²

*) dz — działka podziałki grawimetru.

Wartości liczbowe poszczególnych błędów $\left(\frac{m_b}{b}\right)_x$, zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

x	$\left(\frac{m_b}{b}\right)_x$
c	$\pm 0,25 \cdot 10^{-2}$
g	$0,0002 \cdot 10^{-2}$
$\Delta(\Sigma M)$	$0,007 \cdot 10^{-2}$
Δg	$0,04 \cdot 10^{-2}$
e	$0,006 \cdot 10^{-2}$
Δe	$3 \cdot 10^{-2}$

Jak widać z tablicy 2, decydujący wpływ na dokładność obliczenia b ma dokładność pomiaru Δe .

Z pozostałych wartości największy wpływ ma dokładność wartości c , jest on jednak przeszło dziesięciokrotnie mniejszy od wpływu dokładności Δe . Przybliżoną wartość c możemy wyznaczyć ze wzoru (11a), wykonując wielokrotne pomiary e na jednym lub kilku stanowiskach i stosując przybliżone wartości a i b . Ponieważ wartość c — jak to wynika ze wzoru (6) — jest stała i nie ulega żadnej zmianie nawet z upływem czasu, w przeciwieństwie np. do „stałej” a , to coroczne cechowanie grawimetru, jakie stosuje się zazwyczaj przy posługiwaniu się grawimetrem typu Askania Gs-11, pozwala na coraz pewniejsze wyznaczenie wartości c .

Jak wynika ze wzoru (12), wartość stałej a wpływa tylko pośrednio na wyznaczenie stałej b , a mianowicie przez to, że jej przybliżona wartość potrzebna jest do wyznaczenia c . Dokładność pozostałych wielkości, potrzebnych do obliczenia stałej b , nie mają praktycznie wpływu na dokładność tej ostatniej.

Wróćmy obecnie do sprawy możliwie dokładnego wyznaczenia wartości Δe . Wartość tę określimy najdokładniej wtedy, gdy wyznaczymy funkcję $e = f(\Sigma M, g)$, określoną wzorem (11b), dla całej skali grawimetru, przez wypośredkowanie jej jako krzywej z wielu pomiarów w różnych miejscach podziałki, a z niej wyznaczymy pochodną. Ponieważ wykres funkcji $e = f(\Sigma M, g)$ jest prostą, najważniejsze jest wyznaczenie jej na brzegach skali tym bardziej, że błąd wyznaczenia b , jak to wynika ze wzorów (14), jest tym mniejszy im większe jest $\Delta(\Sigma M)$.

Jeśli wykonamy zatem szereg pomiarów wartości e na obu brzegach skali, drogą wyrównania tych wartości będziemy mogli wyznaczyć prostą $e = f(\Sigma M, g)$, a następnie stałą b . Zastosujemy tu następujące postępo-

wanie. Do wyrównania pomierzonych wartości e , określonych wzorem (11b), zastosujemy metodę spostrzeżeń pośrednich. Ze względu na to, że wartości ΣM i g znamy dużo dokładniej niż pozostałe argumenty, traktować je będziemy jako współczynniki nie podlegające wyrównaniu. Natomiast wartości a , b i c będą podlegały procesowi wyrównania. Zatem wartość zaobserwowana e jest funkcją:

$$e = f(a, b, c),$$

a więc błąd zaobserwowania i tej wartości e [3] będzie równy:

$$v_i = \frac{\partial e}{\partial a} da + \frac{\partial e}{\partial b} db + \frac{\partial e}{\partial c} dc + e_0 - e_i.$$

Podstawiając wartości odpowiednich pochodnych cząstkowych, z uproszczeniami wynikającymi z tego, że b jest wartością małą, przez co można przyjąć $b_0 = 0$, otrzymamy:

$$v_i = -\frac{c_0 g}{a_0^2} da - \frac{c_0 g \Sigma M}{a_0^2} b + \frac{g}{a_0} dc + e_0 - e_i.$$

Indeks 0 oznacza tu wartości przybliżone.

Jak wynika z poprzednich rozważań dokładnościowych, wpływ błędów wartości a i c na zmienność wartości e jest mały. Wobec tego wielkości da i dc są słabo wyznaczalne w procesie wyrównania i nie można ich praktycznie wykorzystać do udokładnienia wartości a i c . Służą one tylko do wyeliminowania wpływu niedokładności przyjętych przybliżeń tych wartości na obliczenie stałej b . Zatem dla zmniejszenia liczby niewiadomych, możemy je połączyć i traktować jako jedną poprawkę. A więc będziemy mieli:

$$v_i = \frac{g}{a_0^2} df - \frac{c_0 g \Sigma M}{a_0^2} b + e_0 - e_i, \quad (15)$$

gdzie $df = a_0 dc - c_0 da$ oraz $e_0 = \frac{c_0 g}{a_0}$.

Rozwiązując układ równań błędów (15), otrzymujemy od razu wartość stałej b .

Rozważymy obecnie, jakie korzyści możemy osiągnąć, jeśli będziemy dysponowali dwoma bazami grawimetrycznymi, przystosowanymi do pomiaru przy użyciu transportu samochodowego i rozmieszczone tak, aby początek jednej i koniec drugiej w przybliżeniu pokrywały się odpowiednio z początkiem i końcem skali grawimetru. Jeżeli na takich bazach wykonamy zwykły pomiar, mający na celu wycechowania grawimetru według stosowanej dotychczas metody [2] z tym jednak, że

na każdym punkcie będziemy robili odczyt podziałki grawimetru przy obu położeniach kulki, to dane z takiego pomiaru pozwolą na:

1. Wycechowanie grawimetru przez obliczenie stałych a i b według dotychczas stosowanej metody [2] z pomiarów przy jednym położeniu kulki.

2. Drugie, kontrolne obliczenie stałych a i b , tak samo jak w punkcie 1, z pomiarów przy drugim położeniu kulki.

3. Niezależne obliczenie stałej b z pomiaru e , tj. różnic odczytów skali na tym samym stanowisku przy obu położeniach kulki, według podanej wyżej metody.

4. Badanie podziałki grawimetru na długości większej o e działek, niż na to pozwala różnica przyspieszenia siły ciężkości Δg każdej bazy (tj. np. dla grawimetru nr 112 o 4,5 działki co odpowiada około 42 mgal).

Jak widać, założenie w Polsce drugiej bazy grawimetrycznej dla pomiarów przy użyciu transportu samochodowego pozwalałoby, wraz z modyfikacją metody pomiaru cechującego, na uzyskanie tego wszystkiego, co wymienione zostało w punktach 1—4 w stosunku do stanu dotychczasowego tj. do tego, co zawarte jest w punkcie 1.

Zmienność współczynnika zamiany działek podziałki grawimetru na miligale, w zależności od miejsca odczytu na podziałce, a więc istnienie stałej b , spowodowane jest tym, że wraz z wydłużaniem się sprężyny pomiarowej, zmniejsza się promień zwojów sprężyny, od którego zależna jest siła, potrzebna do zmiany długości tej sprężyny. Ponieważ zmiana tego promienia jest wielkością bardzo małą, więc i stała b jest bardzo mała. Zatem zmiany tych zmian na skutek przestawienia zakresu temperatury termostatu czy starzenia się sprężyny będą praktycznie nie do uchwycenia przez pomiar przez co stałą b można uważać za wartość niezmienną w czasie i niezależną od warunków termicznych, co zostało zresztą potwierdzone w pracy [2]. Toteż niezależne obliczenie stałej b ma bardzo duże znaczenie dla powiązania wzajemnego pomiarów, wykonywanych grawimetrem przy różnych zakresach termostatu i w różnym czasie przez wyznaczenie zmienności stałej a od tych czynników.

Wyznaczenie stałej b można wykonać również metodą podaną przez Dobbersteina [4]. Polega ona na pomiarze różnic między odczytami podziałki grawimetru przy obu położeniach kulki na jednym stanowisku. Odczyty na całej skali uzyskuje się przez wielokrotną zmianę zakresu pomiarowego grawimetru. Metoda ta, którą nazywać by można laboratoryjną w odróżnieniu od podanej wyżej, którą można by nazwać polową, jest chyba mniej dogodna, gdyż wymaga wielokrotnego otwierania wnętrza grawimetru, co w typie Askania Gs-11 jest dość kłopotliwe. Poza tym między kolejnymi przestawieniami zakresu konieczne są przerwy w pracy conajmniej na przeciąg 1 doby, aby zlikwidować zmianę wa-

runków termicznych, wywołaną przez wyjęcie instrumentu z płaszcza ochronnego. Ponadto wyznaczenie stałej b tą metodą laboratoryjną odbywa się w zupełnie innych warunkach niż pomiar, przez co nie jest zachowana zasada mierzenia i cechowania w identycznych warunkach. Oczywiście wszystkie wzory podane tutaj są również ważne i dla metody laboratoryjnej. W tym wypadku mielibyśmy $g = \text{const.}$, a $\Delta g = 0$.

Należy tu jeszcze zaznaczyć, że jeśli po wykonaniu kilku cechowań jakiegoś grawimetru typu Gs-11 będziemy mieli dość dokładnie wyznaczone jego stałe b i c , możemy pomiary wartości e na dowolnym stanowisku wykorzystać do doraźnego badania stałej a w oparciu o przekształcony wzór (11):

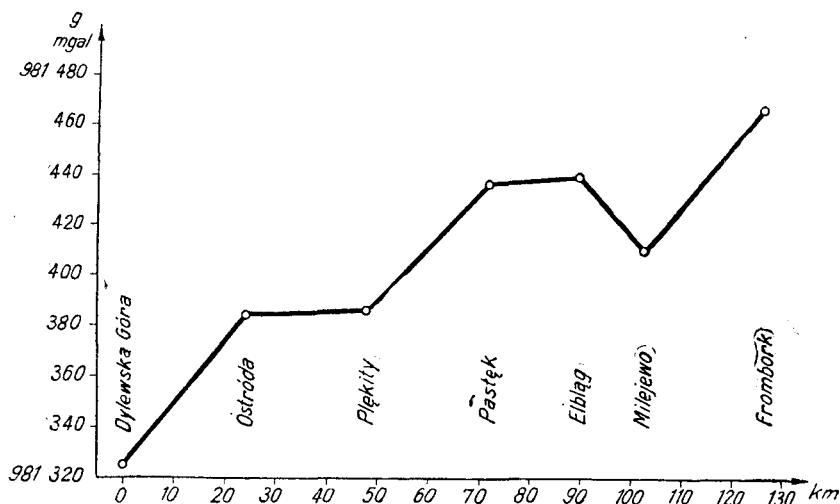
$$a = \frac{c g}{e} - b \approx M. \quad (11d)$$

W wypadku grawimetru Gs-11 nr. 112 będzie to odpowiadało pomiarowi cechującemu na fikcyjnej bazie, której różnica przyspieszenia siły ciężkości między końcowymi punktami wynosi około 42 mgal.

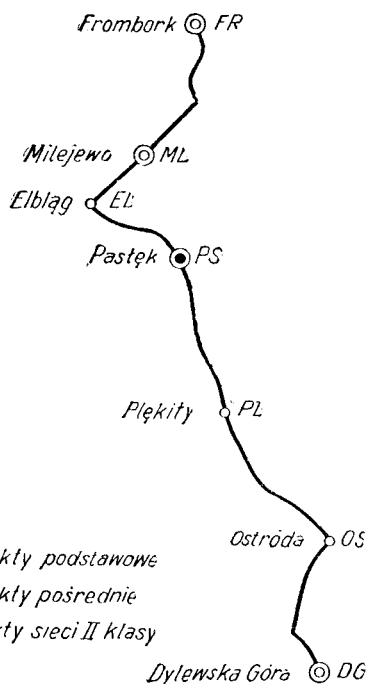
3. Baza grawimetryczna Dylewska Góra-Frombork

Ponieważ wszystkie podane wyżej przesłanki wskazywały na konieczność założenia drugiej bazy grawimetrycznej, Instytut Geodezji i Kartografii przystąpił do realizacji tego zagadnienia. Przy ustawieniu zakresu pomiaru grawimetru Gs-11 w taki sposób, aby bez jego zmiany można było mierzyć na obszarze całego kraju, odczyty na bazie Kraków—Kuźnice obejmują początek grawimetru skali, a więc nową bazę należało umieścić na północy kraju, aby odczyty podziałki wykonane na jej punktach obejmowały koniec podziałki. Po to aby baza między swoimi punktami krańcowymi zawierała możliwie największą różnicę przyspieszenia siły ciężkości Δg , przy długości bazy nie przekraczającej 100—150 km, należało jej południowy punkt początkowy usytuować możliwie najwyżej nad poziomem morza, a północny punkt końcowy w poziomie morza. Prócz tego oczywiście baza powinna mieć kierunek południkowy. W związku z tym jako miejsce na punkt początkowy rozpatrywano dwa najwyższe wzniesienia w Polsce północnej a mianowicie: Wieżycę (329 m) i Dylewską Górę (312 m).

Ze względu na to, że Wieżyca leży bardziej na północ w stosunku do Dylewskiej Góry, stanowiła ona od tej ostatniej gorszy wariant, gdyż odstęp Δg od końcowego punktu bazy południowej w Krakowie byłby większy, a co za tym idzie, większy byłby niecechowany odcinek podziałki grawimetru. Punkt końcowy bazy zaczynającej się na Wieżycy



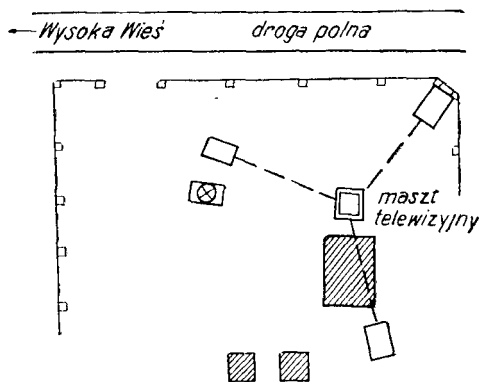
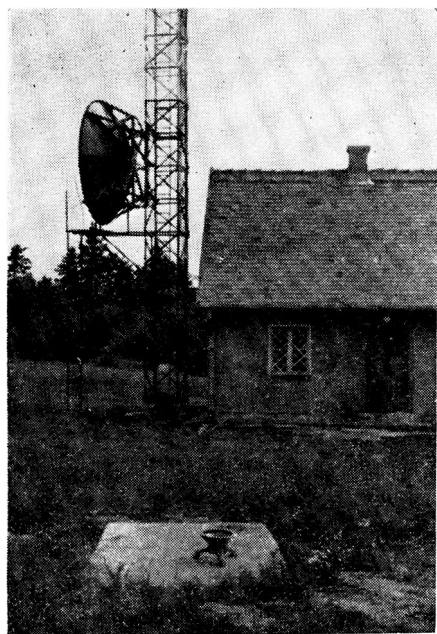
Rys. 14. Profil grawimetryczny bazy Dylewska Góra—Frombork

Rys. 15. Szkic bazy grawimetrycznej
Dylewska Góra—Frombork

musiałby być usytuowany albo w rejonie Gdańska-Gdyni, albo w Łebie. W pierwszym przypadku Δg byłoby dużo mniejsze (ok. 75 mgal) niż to można uzyskać zaczynając bazę od Dylewskiej Góry. W drugim przypadku, ze względu na różnicę Δg między Kuźnicami a Łebą, równą

około 736 mgal, istniałaby obawa niezmięszczenia się odczytu punktu Łeba na podziałce grawimetru, przy nastawieniu jej w Kuźnicach na 0, a napewno nie można byłoby uzyskać rozszerzenia odczytów podziałki jednocześnie na obu bazach o wartość e , tzn. wykonywania odczytów w Kuźnicach i Łebie przy obu położeniach kulki.

Usytuowanie nowej bazy między Dylewską Górą a Fromborkiem nie posiadało żadnej z wyżej wymienionych wad. Różnica Δg między końcami bazy wynosi około 140 mgal. Gdy odczyty podziałki grawimetru nr 112 w Kuźnicach równe są 0 i 4,5, to we Fromborku 76 i 80,5. Ponadto ten wariant ma jeszcze jedną zaletę. Na rys. 14 pokazany jest profil grawimetryczny bazy Dylewska Góra—Frombork. Ponieważ trasa bazy przechodzi przez obszar depresji jeziora Drużno a następnie przez Wzgórza Elbląskie, przy rozbiciu bazy na odcinki do wyznaczenia stałych a i b bez użycia kulki [2], możemy uzyskać trzy odcinki mierzone niezależnie,



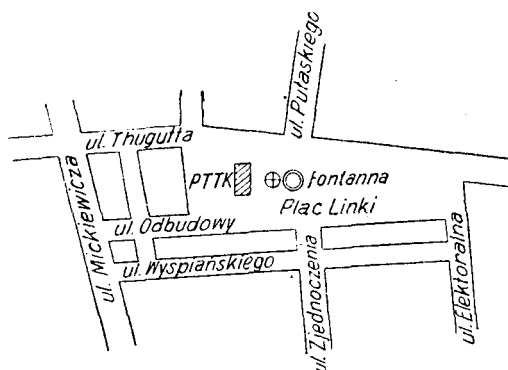
Rys. 16. Opis punktu Dylewska Góra (DG)

których suma wartości bezwzględnych Δg będzie większa niż Δg całej bazy. Będą to odcinki: Dylewska Góra—Elbląg gdzie $\Delta g \cong 115$ mgal, Elbląg—Milejewo o $\Delta g \cong 30$ mgal i Milejewo—Frombork o $\Delta g \cong 55$ mgal.

Ostatecznie ustalony przebieg trasy bazy podano na rys. 15. Długość bazy wynosi około 126 km.

Ostatecznie ustalono następującą lokalizację punktów bazy Dylewska Góra—Frombork:

1. *Dylewska Góra (DG)*. Punkt znajduje się około 100 m od wieży triangulacyjnej na szczycie Dylewskiej Góry. Położony on jest na terenie Radiołacza Telewizyjnego Ośrodka Nadawczego Wysoka Wieś, na płycie

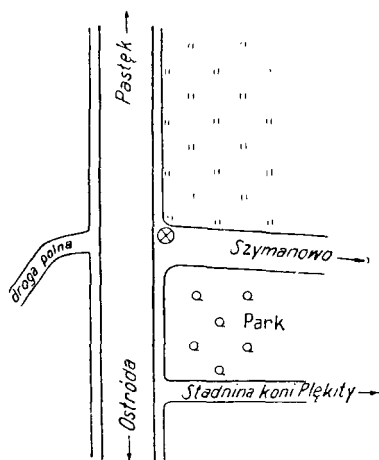


Rys. 17. Opis punktu Ostróda (OS)

betonowej, będącej niewykorzystanym fundamentem zaczepu liny odciągowej masztu telewizyjnego. Punkt oznaczono żółtą farbą na betonie (rys. 16).

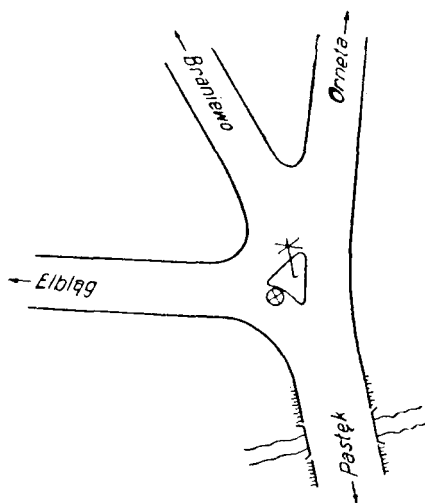
2. *Ostróda (OS)*. Punkt położony jest na placu Linki w Ostródzie, po zachodniej stronie nieczynnej fontanny, w odległości około 2 m od otaczającego ją trawnika. Punkt oznaczono żółtą farbą na bruku (rys. 17).

3. *Płękity (PL)*. Punkt znajduje się na 240,5 km szosy Ostróda—Elbląg, na północno-wschodnim rogu skrzyżowania z lokalną drogą do Szymanowa. Punkt oznaczono żółtą farbą na bruku (rys. 18).



Rys. 18. Opis punktu Płękity (PL)

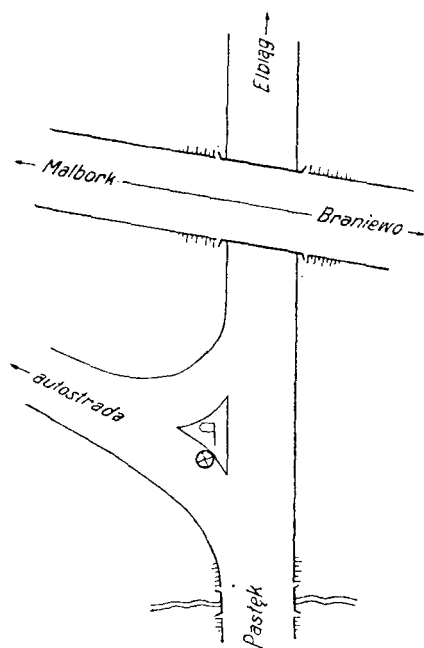
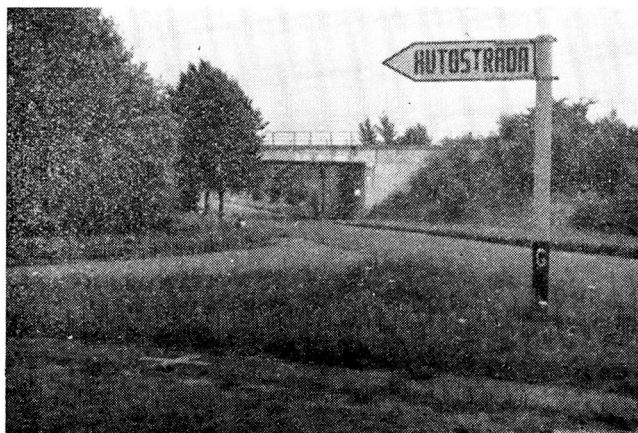
4. *Pastęk* (PS). Punkt znajduje się na 266,2 km szosy Ostróda—Elbląg, przy południowo-zachodnim brzegu trawnika, znajdującego się na środku skrzyżowania tej szosy z szosami do Braniewa i Ornety. Punkt leży przy segmencie krawężnika, oznaczonym żółtą farbą. Punkt ten jest identyczny z punktem podstawowej sieci grawimetrycznej II rzędu (rys. 19).



Rys. 19. Opis punktu Pasłęk (PS)

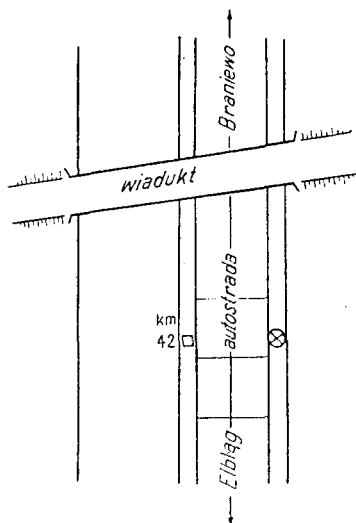
5. *Elbląg* (EL). Punkt znajduje się na pasie betonowym, leżącym przy południowo-zachodnim brzegu trawnika przy wjeździe z szosy Pasłęk—Elbląg na autostradę Elbląg—Braniewo. Punkt oznaczony żółtą farbą na betonie (rys. 20).

6. *Milejewo* (ML). Punkt znajduje się na poboczu betonowym na południowo-wschodnim brzegu autostrady Elbląg—Braniewo na km 42,0, pomiędzy dwoma wiaduktami nad autostradą: stalowym, znajdującym się na km 41,8 i betonowym na km 42,5. Punkt oznaczono żółtą farbą na betonie (rys. 21).



Rys. 20. Opis punktu Elbląg (EL)

7. *Frombork (FR)*. Punkt znajduje się na północno-zachodnim brzegu ulicy Basztowej we Fromborku, na osi prostopadłego do tej ulicy chodnika, prowadzącego do ruin zabytkowego kościoła. Punkt oznaczono żółtą farbą na bruku (rys. 22).

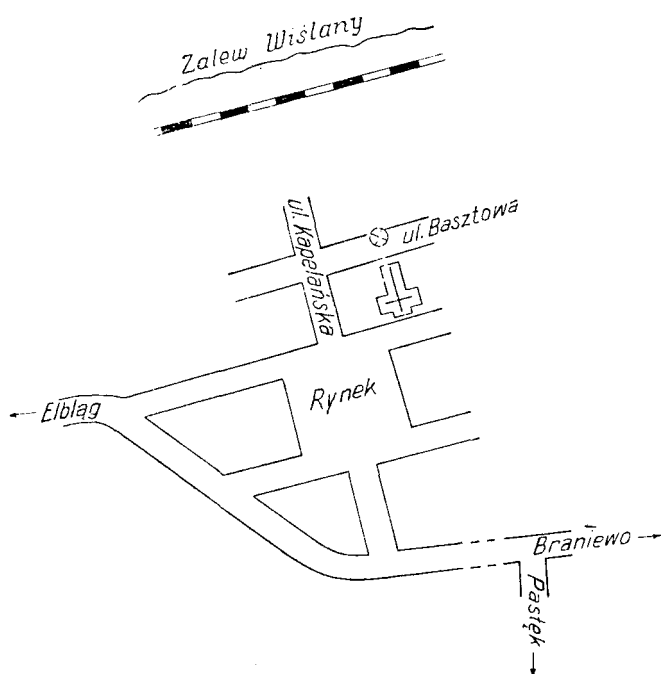
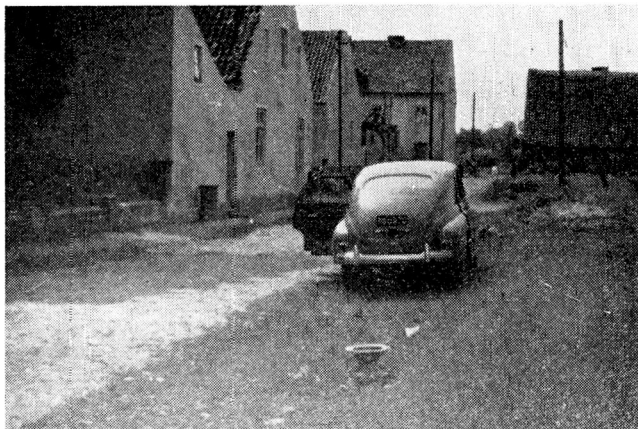


Rys. 21. Opis punktu Milejewo (ML)

Przesłanką lokalizacji punktów DG, El, ML i FR był profil grawimetryczny trasy, wynikający z profilu wysokościowego; punkt PS wybrano dlatego, że jest on leżącym na trasie bazy punktem podstawowej sieci grawimetrycznej II klasy. Natomiast punkty OS i PL zostały wybrane tak, aby czas przejazdu między punktami DG i PS był podzielony na trzy, mniej więcej równe części.

Punkty OS, PL, PS i FR zostaną w najbliższym czasie zastabilizowane płytami betonowymi.

Nawierzchnia dróg łączących poszczególne punkty bazy jest bardzo dobra. Stanowią ją w zasadzie asfaltowe szosy I klasy. Cały odcinek



Rys. 22. Opis punktu Frombork (FR)

EL-ML oraz 11 km odcinka ML-FR stanowi autostrada betonowa. Jedynie dojazd do punktu DG od szosy Ostróda—Lubawa składa się z 9 kilometrowego odcinka szosy tłuczniowej oraz 400 m drogi polnej, przy dojeździe z Wysokiej Wsi na teren Radiołacza.

4. Pomiary na bazie grawimetrycznej Dylewska Góra-Frombork

W lecie 1961 roku przeprowadzony został przez Instytut Geodezji i Kartografii cykl pomiarów, mających na celu sprawdzenie, czy miligal polskiej podstawowej sieci grawimetrycznej I klasy zgodny jest z miligalem sieci krajów sąsiednich. W związku z tymi pomiarami wykonywano m. in. kilkakrotnie cechowanie grawimetru Gs-11 nr 112 na bazie lotniczej Gdańsk—Kraków oraz na bazie samochodowej Kraków—Kuźnice. Korzystając z tego, że stałe grawimetru były w związku z tym bardzo dobrze wyznaczone w jednostkach sieci krajowej, w lipcu i wrześniu 1961 wykonano pomiary na bazie Dylewska Góra—Frombork, celem wyznaczenia wartości Δg pomiędzy jej poszczególnymi punktami.

Pomiary wykonano przy rozbiściu bazy na dwa odcinki pomiarowe, mierzone w ciągu jednego dnia, a mianowicie: Dylewska Góra—Paśłek i Paśłek—Frombork. Pierwszy odcinek można przejechać w ciągu dnia pomiarowego 4 razy a drugi nawet 6 razy. Ogółem wykonano 17 przejazdów pomiarowych każdego odcinka: 9 w lipcu i 8 we wrześniu 1961 r. Zakres temperatury termostatu przy tych pomiarach jak i przy całokształcie prac związanych z cechowaniem sieci nastawiony był na 35°.

Wyniki pomiaru różnicy przyspieszenia siły ciężkości Δg poszczególnych prześel bazy oraz ich dokładność podano w tablicy 3.

Tablica 3

Punkt	Δg mgal	$m_{\Delta g}$ mgal
DG	$\pm 59,16$	$\pm 0,010$
OS	$\pm 2,51$	0,010
PL	$\pm 51,47$	0,010
PS	$\pm 1,86$	0,010
EL	$- 29,81$	0,010
ML	$\pm 54,43$	0,010
FR		
DG—FR	$\pm 139,62$	$\pm 0,020$
$\Sigma \Delta g $	199,24	

Wszystkie pomiary na bazach grawimetrycznych w roku 1961 tj. na bazie Gdańsk—Kraków, Kraków—Kuźnice i Dylewska Góra—Frombork wykonywane były według metody podanej w p. 2, tzn. na każdym punkcie wykonywane były odczyty przy obu położeniach kulki, celem uzyskania danych do wyznaczenia stałej b . Wartości e pomierzono na 14 punktach. Dla każdego punktu obliczono wartość e jako średnią z 15—20 odczytów różnic skali przy obu położeniach kulki. Z wyrównania otrzymanych

w ten sposób wartości przez rozwiązanie układu równań błędów, ułożonych według wzoru (15), otrzymano wartość

$$b = 0,000364 \pm 0,000026. \quad (16)$$

Jak widać, dokładność obliczenia b jest stosunkowo duża. Dla porównania: wartość b obliczona metodą jednoczesnego wyznaczenia stałych a i b z wyrównania obserwacji sześciu pomiarów bazowych [2], była równa:

$$b = 0,000332 \pm 0,000046.$$

5. Kontynuacja prac nad cechowaniem grawimetru Askania Gs-11 nr 112

W zakończeniu pracy [2] stwierdzone zostało, że cechowanie grawimetrów jest stale aktualnym zagadnieniem i prace z tym związane są nadal kontynuowane w ramach planowych prac naszego Instytutu. Wyniki podane poniżej są kontynuacją prac opisanych w p. 5 wyżej wspomnianego opracowania [2].

Do pomiarów na bazie Kraków—Zakopane, wykonanych do końca roku 1960, doszły dwie dalsze pozycje: pomiary w czerwcu (Lp. 7) i we wrześniu 1961 (Lp. 8), oba wykonane przy zakresie termostatu 35°

Do dalszych badań stałej a na podstawie pomiarów cechujących przyjęto, że stała b jest niezmienna i jej wartość liczbowa określona jest przez wzór (16). Obliczone przy tych założeniach wartości stałej a dla poszczególnych pomiarów zestawione są w tablicy 4.

Tablica 4

Nr pomiaru	Zakres termostatu	a	Rok pomiaru
1	25°C	9,1530	1958
2	40°	9,1604	1958
3	40°	9,1649	1959
4	40°	9,1592	1960
5	35°	9,1604	1960
6	25°	9,1566	1960
7	35°	9,1593	1961
8	35°	9,1642	1961

Porównując poszczególne wartości a możemy zauważyć dwie tendencje:

— wzrost wartości stałej a wraz ze wzrostem temperatury termostatu, oraz

— wzrost wartości stałej a wraz z upływem czasu.

W związku z tym podjęte zostały próby ustalenia funkcyjnej zależności tych zmian, co miałoby poważne znaczenie dla porównywania pomiarów wykonanych w różnym czasie przy różnych zakresach termostatu.

Założone zostało, że wpływ zmiany zakresu termostatu na stałą a określony jest wzorem:

$$\Delta a_T = \Delta T \cdot \delta a_T,$$

gdzie: ΔT — różnica pomiędzy temperaturą zakresu podstawowego, za który przyjęto zakres 25° , a temperaturą zakresu, przy którym wykonany został pomiar,

δa_T — współczynnik.

Wpływ czasu uwzględniono w dwojaki sposób. W pierwszym wariancie przyjęto, że przyrost Δa_t wartości a w zależności od czasu określa zależność:

$$\Delta a_t = \Delta t \delta a_t,$$

gdzie: Δt — różnica między czasem pomiaru a momentem początkowym, za który przyjęto początek roku 1958,

δa_t — współczynnik.

Ponieważ pomiędzy pomiarami 1 i 2 oraz 7 i 8 wykonane zostały przedstawienia zakresu pomiaru grawimetru odpowiednio o około 10 i 6 działek, a wartości 1 i 8 odbiegają od wartości $2 \div 7$ o tym samym zakresie termostatu, przyjęto drugi wariant, że stała a nie zmienia się proporcjonalnie do czasu, tylko skokowo przy zmianach zakresu pomiaru.

Celem uwzględnienia powyższych założeń wartości a z tablicy 4 wyrównano według metody najmniejszych kwadratów przez dopasowanie w pierwszym wariancie wartości początkowej a oraz współczynników występujących we wzorze:

$$a_{Tt} = a_{25t_0} + \Delta T \delta a_T + \Delta t \delta a_t, \quad (17)$$

gdzie: a_{Tt} — wartość stałej a dla zakresu termostatu T w czasie t ,

a_{25t_0} — wartość początkowa stałej a dla zakresu termostatu 25° w czasie $t_0 = 1958,0$.

W drugim wariancie za podstawę wyrównania przyjęto wzór:

$$a_{Tn} = a_{25_0} + \Delta T \delta a_T + \delta a_1 + \delta a_2 + \dots + \delta a_n, \quad (18)$$

gdzie: a_{Tn} — wartość stałej a dla zakresu termostatu T w okresie n ,

a_{25_0} — wartość stałej a dla zakresu termostatu 25° w okresie zerowym,

δa_n — różnice stałej a odpowiednio między okresem $n-1$ a n -tym.

Za zerowy przyjęto okres przed przestawianiem zakresu po pierwszym pomiarze cechującym; za pierwszy okres przyjęto czas pomiędzy przestawieniami zakresów po 1 i po 7 pomiarze; za drugi przyjęto okres po przestawieniu zakresu po 7 pomiarze.

Jednym z elementów uzyskanych w procesie wyrównania jest błąd m_0 wyznaczenia wartości stałej a na podstawie jednego pomiaru cechującego. W pierwszym wariancie, opartym o wzór (17) błąd ten równy jest $m_{0(17)} = \pm 0,0027$, zaś w drugim, opartym o wzór (18) $m_{0(18)} = \pm 0,0022$ co wskazuje na to, że hipoteza druga jest bardziej zgodna z wynikami pomiaru. W tablicy 5 podano wyniki drugiego wariantu w zestawieniu z wynikami obliczeń, wykonanych metodą jednoczesnego wyznaczania stałych a i b podanym w [2].

Tablica 5

Oznaczenie	Obliczenia dawne		Obliczenia nowe	
	Wartość	m	Wartość	m
a_{25}	9,1563	$\pm 0,0027$		
a_{25f_1}			9,1530	$\pm 0,0020$
$\delta a_{T/10^\circ}$	0,0044	$\pm 0,0010$	0,0033	$\pm 0,0016$
b	0,000332	$\pm 0,000046$	0,000364	$\pm 0,000026$
δa_1			0,0036	$\pm 0,0028$
δa_2			0,0044	$\pm 0,0028$

Wartości błędów nowych obliczeń są naogół nieco mniejsze od starych, co może być przesłanką, że hipoteza, będąca podstawą nowych obliczeń jest prawdopodobniejsza. Porównywalne wartości obu obliczeń $\delta a_{T/10^\circ}$ i b wykazują zgodność w granicach dokładności wyznaczenia.

Pewnym mankamentem nowych obliczeń jest to, że w zerowym i w drugim okresie wykonano tylko po jednym pomiarze cechującym, w wyniku czego wyznaczenie wartości δa_1 i δa_2 jest mało dokładne. O ile okres zerowy jest już ze zrozumiałych względów zamknięty, o tyle nowe pomiary cechujące w okresie drugim, w wypadku ostatecznego potwierdzenia się hipotezy skoków, pozwolą na podniesienie dokładności wyznaczenia δa_2 . W związku z idealnym dopasowaniem obecnego zakresu pomiaru grawimetru nr 112 do warunków Polski, nie przewiduje się na razie następnych przestawień tego zakresu.

Na prawdopodobieństwo hipotezy skoków wartości stałej a na skutek przestawienia zakresu pomiaru w grawimetrze wskazuje jeszcze jedno obliczenie.

Ze wzoru (10) możemy napisać:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{\Delta g}{\Delta M_1} - b \Delta M_1 \Sigma M_1 \\ a_2 &= \frac{\Delta g}{\Delta M_2} - b \Delta M_2 \Sigma M_2. \end{aligned} \quad (19)$$

Odejmując a_1 od a_2 otrzymamy:

$$\Delta a = a_1 \left(\frac{\Delta M_1}{\Delta M_2} - 1 \right) + b (\Sigma M_1 - \Sigma M_2). \quad (20)$$

Według tego wzoru możemy obliczyć zmianę Δa stałej a przy pomiarach tego samego odcinka Δg , wykonanych w dwóch okresach.

Zmiana zakresu pomiaru pomiędzy 7 a 8 cechowaniem nastąpiło podczas pomiarów na bazie Dylewska Góra—Frombork w lipcu 1961 roku. Odcinek Dylewska Góra—Paśłek pomierzono sześć razy na starym zakresie i cztery razy na nowym, przesuniętym w stosunku do poprzedniego o przeszło 6 działek. Zakres temperatury termostatu zachowano ten sam, tj. 35°. Odstęp czasu pomiędzy pomiarami przy poszczególnych zakresach wynosi kilka dni. Zatem różnica Δa obliczona według wzoru (20) dla tych dwóch grup pomiarów powinna być równa δa_2 . Różnica ta wyniosła: $\Delta a = 0,0107 \pm 0,0063$. Dokładność tego wyznaczenia jest wprawdzie niewielka, ale wykazuje ono tę samą tendencję wzrostu jak wartość δa_2 , podana w tablicy 5.

6. Zakończenie

Wyniki dotychczasowych prac badawczych Instytutu Geodezji i Kartografii nad zagadnieniem cechowania grawimetrów wskazują, że założony system baz grawimetrycznych pozwala na wykonywanie pomiarów grawimetrem Gs-11 w jednostkach tego systemu z błędem rzędu 0,2‰, nie przekraczającym z reguły 0,4‰. Wyniki szeregu pomiarów przeprowadzonych w celu cechowania sieci grawimetrycznych, powiązania sieci państw sąsiednich z siecią krajową itp., potwierdzają tę tezę. Z drugiej strony należy zaznaczyć, że grawimetr typu Askania Gs-11 doskonale spełnia zadania instrumentu do precyzyjnych pomiarów grawimetrycznych do celów geodezyjnych pod warunkiem, że stale jest badana zależność funkcyjna między różnicami przyspieszenia siły ciężkości i odpowiadającymi im odczytami podziałki instrumentu.

Prace nad bazą Dylewska Góra—Frombork rozpoczęto dopiero w lecie 1961 roku i głównym ich zadaniem było przede wszystkim wyznaczenie różnic przyspieszenia siły ciężkości Δg między jej poszczególnymi punk-

tami. Toteż podane wyniki badania stałej a dotyczą nadal pierwszej połowy podziałki grawimetru. Są one jednak już o tyle lepsze, że liczone są dla wartości stałej b , wyznaczonej niezależną metodą w oparciu o pomiary na całej podziałce. Było to możliwe do przeprowadzenia w oparciu o pomiary na obu bazach, gdyż do wyznaczenia stałej b wystarczy przybliżona wartość Δg . Obecnie, na podstawie systematycznie wykonywanych pomiarów na obu bazach, będzie można się ostatecznie przekonać o przyczynach i wielkości zmian stałej a , mierzonych w oparciu o całą podziałkę grawimetru typu Askania Gs-11 i ważnych dla obszaru całej Polski.

LITERATURA

- [1] Bokun J.: Baza grawimetryczna Gdańsk—Kasprowy Wierch, Prace IGiK, t. V, nr 2, Warszawa 1957.
- [2] Bokun J., Chojnicki T.: Zagadnienie cechowania grawimetrów w Polsce, Prace IGiK, t. VIII, nr 2, Warszawa 1961.
- [3] Hausbrandt S.: Rachunki geodezyjne, Warszawa 1953.
- [4] Dobberstein H.: Über die Federkonstante von Gravimetern, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, nr 19, München 1954.
- [5] Schulze R.: Gravimetermessungen über grosse Entfernungen, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, nr 35, München 1957.

Rękopis złożono w Redakcji w grudniu 1961 r.

ТАДЭУШ ХОЙНИЦКИ

ЭТАЛОНИРОВАНИЕ ГРАВИМЕТРА АСКАНИЯ GS-11 ПРИ ПОЛЬЗОВАНИИ ДВУМЯ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМИ БАЗИСАМИ

Р е з ю м е

Существующая до сих пор в Польше система гравиметрических базисов состояла из следующих частей:

1. Отрезок Гданьск-Варшава-Краков, предусмотренный для измерения при использовании автотранспорта.
2. Отрезок Краков-Кузьницэ, предусмотренный для измерения при использовании автотранспорта.
3. Отрезок Кузьницэ-Каспровы Верх, предусмотренный для измерения при использовании, как транспорта, воздушной канатной дороги.

Ввиду того, что измерения гравиметром Аскания GS-11, который является доминирующим типом употребляемого в Польше гравиметра, ведутся обыкновенно автотранспортом, наиболее выгодным для использования был отрезок Краков-Кузьницэ, тем более, что принципиально эталонирование гравиметра следует производить при таких же условиях, как и измерение.

Так как диапазон базиса Краков-Кузьницэ охватывал только часть шкалы гравиметра (около 0,4 шкалы) при такой установке шкалы, чтобы она обнимала всю территорию Польши, стало необходимым заложение другого базиса, на котором отсчёты производились бы на другом конце шкалы, что дало бы возможность эталонирования целой шкалы гравиметра.

Такой базис был основан на севере страны, между Дылевской Гу-рой (22 км от Оструды) а Фромборком (рис. 15). Длина базиса около 126 км, разность ускорения силы тяжести (Δg) между концами базиса около 140 мгл. Измерение на двух базисах делает возможным этало-

нирование шкалы гравиметра на её концевых отрезках и путём некоторого видоизменения метода эталонирования гравиметра GS-11 [2], дает следующие возможности:

- определения другим методом постоянной b гравиметра,
- повышения точности определения применяемым до сих пор методом постоянной b и также постоянной a ,
- получения большего диапазона эталонирования шкалы гравиметра, чем это следовало бы из за увеличения диапазона Δg .

Видоизменение метода эталонирующих измерении состоит в том, что на каждом пункте обоих базисов производятся отсчёты при двух положениях шарика добавочного приспособления для эталонирования, получая разности этих отсчётов, т.е. значения e . Уравнивая значения e , полученные на всех пунктах базисов, путем решения системы уравнений ошибок по формуле (15):

$$V_i = \frac{g}{a_0^2} \cdot df - \frac{c_0 g \sum M}{a_0^2} \cdot b + e_0 - e_i,$$

получаем значения постоянной b .

Значения постоянных a и b можно определить и по методу [2], основываясь на двух группах результатов наблюдении, произведенных при левом и правом положениях шарика. В этом случае эталонируем шкалу гравиметра в диапазоне большим на e , чем это следовало по значению Δg .

В связи с результатами данными в публикации [2], в этом докладе даются дальнейшие результаты вычислений изменения постоянной a .

Результаты произведенных Институтом Геодезии и Картографии исследовательских работ по проблеме эталонирования гравиметра GS-11 указывают, что заложенная система гравиметрических базисов даст возможность производить измерения этим гравиметром, в единицах его системы, с точностью порядка 0,2‰, не превышая, как правило, 0,4‰. Следует также отметить, что гравиметр типа Аскания GS-11 отлично отвечает требованиям, как инструмент для прецизионных гравиметрических измерений для целей геодезии, при условии постоянного исследования функциональной зависимости между разностями ускорения силы тяжести и отвечающими им отсчётами шкалы гравиметра.

TADEUSZ CHOJNICKI

CALIBRATION OF THE ASKANIA GS-11 GRAVIMETER BY THE USE OF TWO GRAVIMETRIC BASES

S u m m a r y

The system of gravimetric bases, existing in Poland till now, consisted of three parts.

1. The base Gdańsk—Warszawa—Kraków, by measurements on which the air transport is applied.

2. The base Kraków—Kuźnice — with car transport.

3. The base Kuźnice—Kasprowy Wierch — with funicular transport.

The measurements by means of the Askania Gs-11 gravimeter, which is the most used type of gravimeter in Poland, are made by using the car transport, as a rule. This is why the base of point 2 mentioned above is the very appropriate one: the calibration of the gravimeter ought to be made in the same conditions as the measurement itself.

Because for the range of the base Kraków—Kuźnice only one part of the gravimeter's scale was used (about 0,4 of the whole scale), it was necessary to establish a second base, corresponding to the other part of the scale. These two bases will enable such a setting of the scale, that its range will cover the whole area of Poland, and thus the whole scale could be calibrated.

Such a base was established in the northern part of Poland, between Dylewska Góra (22 km from Ostróda) and Frombork (fig 15).

The length of the base is about 126 km, the difference of the earth's gravity (Δg) of its ends being about 140 mgal.

The modification of the calibration method of the Gs-11 gravimeter, being in use till now [2], by the measurement on the two bases, enables — in addition of extending of the range of scale to be calibrated — the solution of the following problems:

— determination of the constant b of the gravimeter by the other method,

- increase of accuracy of the determination of the constants a and b , as compared with the present method,
- extension of the range of the calibration of the gravimeter's scale beyond the limits given by the Δg extension.

The modification of the method of calibration consists in this, that on each end of the two bases the readings are made in the both positions of the ball of additional device for calibration, to obtain the difference e of these readings. By the adjustment of e , obtained on all the points, by solving the error equations of the type:

$$V_i = \frac{g}{a_0^2} \cdot d f - \frac{c_0 g \sum M}{a_0^2} \cdot b + e_0 - e_i,$$

the value of the constant b can be obtained.

Besides, the constants a and b can be determined by means of the method used till now [2], using two groups of observations, made by left and right positions of the ball. Thus the gravimeter's scale will be calibrated in a range greater of e , than it results from the values of Δg .

In this paper the other results of the changes of the constant a , with respect to those published in [2], are given.

The results of the present researches of the Institute of Geodesy and Cartography on the problem of calibration of the Gs-11 show, that the established system of the gravimetric bases, enables to make with this gravimeter the measurements in units of this system with the accuracy of 0,2‰, while the error of 0,4‰ is, as a rule, not exceeded.

On the other hand, it ought to be noted here, that the gravimeter of the type Askania Gs-11 is perfectly fit to the precise gravimetric measurements for geodetic purposes, provided, that the correlation between the values of the differences of the earth's gravity acceleration and the corresponding readings of the gravimeter's scale will be permanently controlled.