

## CECHOWANIE GRAWIMETRÓW ASKANIA GS 11

Zastosowanie w naszym kraju w ostatnich latach do pomiarów sieci grawimetrycznej Polski I rzędu oraz do zdjęć regionalnych i szczegółowych — nowoczesnych grawimetrów Askania Gs 11 stworzyło potrzebę opracowania metody cechowania i kontroli dokładności tej precyzyjnej aparatury. Porównawcze wyniki pomiaru uzyskane kilkoma grawimetrami różnego typu powinny być ze sobą zgodne w granicach swoich dokładności i odpowiadać fizycznym jednostkom przyspieszenia siły ciężkości (tj. w jednostkach  $gal = cm/sek.^2$ ).

Zagadnienie związane z przyponadtkowaniem działkom skali grawimetru, z właściwą dla instrumentu dokładnością, prawidłowych wartości jednostek przyspieszenia siły ciężkości w galach lub miligalach nazywamy cechowaniem grawimetrów. W literaturze zagranicznej przyjęta jest terminologia: „etalonnage de gravimètres — etaloniowanie grawimetrów — Gravimetereichung — calibration”. Nieprawidłowe określenie jednostki skali aparatu powoduje obarczenie mierzonych różnic przyspieszenia siły ciężkości  $\Delta g$  błędem systematycznym. Wpływ tego błędu jest proporcjonalny do wielkości przyrostu  $\Delta g$ . Problem nabiera szczególnego znaczenia przy pomiarach dużych sieci grawimetrycznych krajowych, międzynarodowych i kontynentalnych, gdzie dane konstrukcyjne aparatów mogą być określone błędnie lub z niewystarczającą dokładnością. Wówczas cechowanie grawimetrów wiąże się ściśle z wyznaczeniem różnic  $\Delta g$  innymi instrumentami działającymi na zasadzie dynamicznej (aparaty wahadłowe) i porównaniem z wynikami pomiarów grawimetrycznych.

Ponieważ jednostka przyspieszenia siły ciężkości — gal nie jest zmaterializowana w postaci wzorca (jak np. wzorzec metra), dlatego najbardziej prawdopodobna jej wartość będzie ustalona w wyniku uzgodnienia grawimetrycznych sieci międzynarodowych. Problem ten omawiano na zjeździe Międzynarodowej Komisji Grawimetrycznej w Paryżu we wrześniu 1959 r. Referowano tam wyniki pomiarów i stan

badań na europejskiej głównej linii kalibracyjnej, obejmującej punkty Hammerfest, Bodö, Oslo, Kopenhaga, Bad Harzburg, Monachium, Rzym, Katania, Trypolis. W Ameryce Północnej istnieje analogiczna główna baza kalibracyjna na linii Port Barrow (Alaska) — Mexico City. Połączenie tych sieci w jeden system lub przyjęcie chociażby jednej, np. głównej bazy europejskiej, za obowiązującą uporządkuje ostatecznie system jednostki przyspieszenia siły ciężkości. Wówczas będzie możliwa unifikacja wszystkich obecnie znanych wyników pomiarów siły ciężkości ziemi w celu ich wykorzystania do prac w dziedzinie geofizyki, geodezji i fizyki ziemi.

Cechowanie różnych typów grawimetrów można wykonać według następujących metod:

- 1) za pomocą wbudowanych do aparatu kontrolnych mas komparacyjnych;
- 2) przez porównanie i uzgodnienie wyników na bazach grawimetrycznych o znanej wartości  $\Delta g$ ;
- 3) sposobem laboratoryjnym dla niektórych typów grawimetrów, jak: Nörganid i SN-3.

W Zakładzie Geofizyki Instytutu Geologicznego badania nad cechowaniem grawimetrów Askania Gs 11 przeprowadzono pierwszymi dwiema metodami. Przykładowe dane dotyczą aparatu nr 95 ze względu na stosunkowo dokładny i bogaty materiał pomiarowy.

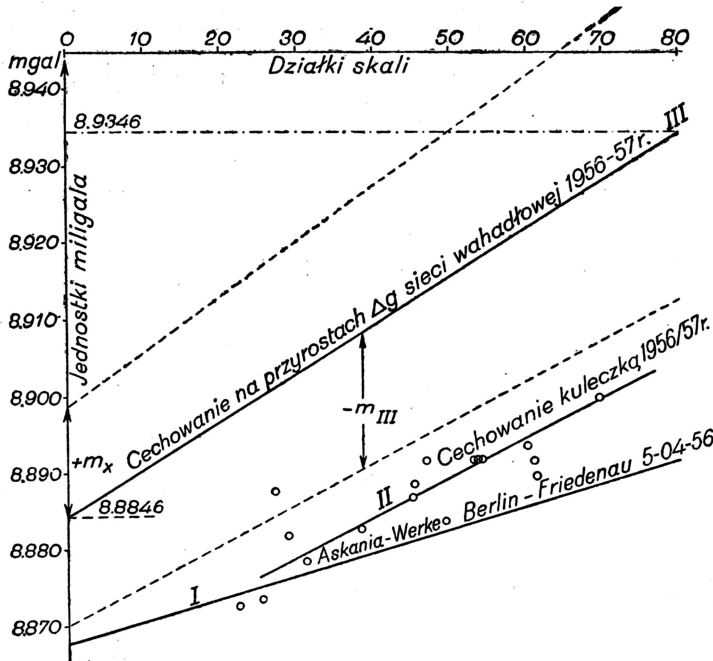
### 1. Cechowanie za pomocą wbudowanych do aparatu kontrolnych mas komparacyjnych

Sposób cechowania grawimetrów Askania Gs 11 za pomocą wbudowanej kontrolnej masy komparacyjnej w postaci kuleczki (w niektórych typach Askania jest kilka kuleczek) podany jest przez firmę w instrukcji aparatu jako jedyny. Polega on na zmianie położenia masy kuleczki na ramieniu wagi sprężynowo-skrętnej. Zmianie położenia masy kuleczki odpowiada zmiana odczytu na skali instrumentu. Różnicy możliwych jej dwu położen odpowiada wartość ba-

zowa  $E$  wyrażona w mgal, która ulega niewielkim zmianom w zależności od zmiany wartości  $g$ . Określamy ją ze wzoru

$$E = E_0 \cdot \frac{g}{g_0}$$

dla dowolnego punktu pomiaru. Każdy aparat zaopatrzone jest w metrykę firmową, w której podane elementy charakterystyki  $E_0$  i  $g_0$  ustalone są dla odpowiedniej temperatury. Grawimetr Askania Gs 11 nr 95 ma następujące dane metryczne  $E_0 = 42,99$  mgal,  $g_0 = 981280$  mgal,  $t = 40^\circ\text{C}$ . Linia prosta I przedstawia wykres sporządzony przez firmę, a odwzorzający zależności między wskazaniami działek skali aparatu (0—80) i odpowiadającymi im wartościami przyspieszenia siły ciężkości w mgal.



Wykres jednostki skali grawimetru Askania Gs 11, Nr 95.

Na obszarze całego kraju w sąsiedztwie lub na punktach sieci I rzędu wykonano szereg pomiarów, zmieniając położenie kuleczki w dwu jej możliwych pozycjach (lewej i prawej). Każda pozycja zawierała co najmniej 4 obserwacje galwanometru i 8 obserwacji mikrometru stanowiąc serię pomiarową. Pomiar na punkcie wykonano w 6—12 seriach. Uzyskaną różnicę  $K$  w działkach skali lewego i prawego położenia kuleczki przyjmowano ostatecznie jako wartość średniej arytmetycznej ze wszystkich obserwacji dla danego miejsca pomiaru. Z podziału obliczonej wartości

bazowej  $E$  przez  $K \left( \frac{E}{K} \right)$  uzyskujemy wartość 1

działki skali wyrażonej w jednostkach przyspieszenia ziemskiego miligalach dla odpowiedniego punktu pomiarowego. Uzależniając otrzymany wynik od wskazania na skali aparatu, jesteśmy w stanie związek ten przedstawić graficznie. Na rysunku w postaci punktów przedstawiono rezultaty badań. Linia prosta II została wkreślona w ten sposób, że suma wszystkich różnic  $v$  między odpowiednimi punktami a prostą spełnia warunek średniej arytmetycznej  $\bar{v} = 0$ . Kierunek prostej określono graficznie w sposób przybliżony. Obserwacje wykonano na 17 punktach w sprzyjających warunkach bezwietrznych, mało zmiennych termicznie (piwnice, hangary).

Jak widzimy z rysunku, uzyskany wynik cechowania za pomocą kuleczki różni się znacznie od metrycznego. Wyraźne różnice występują w kierunku prostych I i II, natomiast niewielkie w ich wzajemnym przesunięciu.

## 2. Cechowanie na bazach grawimetrycznych o znanej wartości $\Delta g$

Cechowanie grawimetrów tą metodą można wykonać na znanych przyrostach  $\Delta g$  z pomiarów wahadłowych lub przy wykorzystaniu wyników pomiarów innego grawimetru, którego wartości działek skali określone są prawidłowo w jednostkach przyspieszenia siły ciężkości. Wówczas taki aparat wykorzystuje się jako wzorcowy.

Ze względu na brak u nas w kraju przyrządu wzorcowego jako bazy do cechowania grawimetru Askania Gs 11 nr 95, wykorzystano przyrosty nowej sieci wahadłowej Polski sporządzonej przez IG i K. W tym celu nawiązano punkty sieci grawimetrycznej Polski I rzędu z siecią wahadłową. W ten sposób utworzono 16 wspólnych porównawczych przyrostów  $\Delta g$  dla obu sieci.

Za wzór wyjściowy stosowany przez IG i K dla określenia przyrostu  $\Delta g$  przyjęto:

$$\Delta M (x + M_s \cdot y) = \Delta g \quad (1)$$

$\Delta M = M_2 - M_1$  — ilość działek skali między dwoma mierzonymi punktami

$M_s = \frac{M_1 + M_2}{2}$  — średnie wskazanie w działkach skali

mierzonych dwu punktów.

$x$  — wartość jednostki skali w punkcie zerowym skali.

$y$  — tg kąta wykresu jednostki skali (prostej).

Niewiadome we wzorze są elementy jednostki skali  $x$  i  $y$ . Wielkości  $\Delta M$  i  $M_s$  znamy z pomiarów wykonanych grawimetrem, zaś  $\Delta g$  wykorzystujemy jako wyniki pomiarów wahadłowych.

Ponieważ przyrosty  $\Delta g$  określone pomiarami wahadłowymi często składają się z kilku odcinków pomierzonych grawimetrem:

$$\Delta g_{1-2} + \Delta g_{2-3} + \dots + \Delta g_{(n-1)-n} + \Delta g_{1-n}$$

wobec czego wzór (1) przyjmie postać ogólną:

$$\Delta M_{1-2} (x + M_{s_{1-2}} y) + M_{2-3} (x + M_{s_{2-3}} y) + \dots + M_{(n-1)-n} (x + M_{s_{(n-1)-n}} y) = \Delta g_{1-n}$$

Sumując wyrazy przy niewiadomych otrzymamy:

$$\sum_1^n \Delta M x + \sum_1^n \Delta M M_s y = \Delta g_{1-n} \quad (2)$$

Ponieważ jednostka skali aparatu jest określona dwiema niewiadomymi, porównanie wyników pomiarów grawimetrycznych na 16 wspólnych przyrostach  $\Delta g$  stwarza 14 równań nadliczbowych (obserwacji nadliczbowych). Wykorzystując jednak wszystkie materiały pomiarów wahadłowych dla określenia niewiadomych  $x$ ,  $y$ , wskutek błędów przypadkowych powstaną pewne różnice, które dla wszystkich obserwacji nie spełnią ściśle warunku równania (2). Należy więc przeprowadzić wyrównanie błędów przypadkowych pomiarów wahadłowych, zniekształcając obserwacje  $\Delta g$  przez dodanie poprawek  $v$  spełniających warunek:

$$(vv) = \text{minimum}$$

W przypadku obserwacji nierównoważnych dokładnościowo

$(pvv) = \text{minimum}$ , gdzie  $p$  określa wagę przyrostu  $\Delta g$ .

Ogólna forma równania błędów, równania obserwacyjnego lub równania poprawek będzie:

$$\Delta g_{1-n}^{prz} + d \Delta g_{1-n} = g_{1-n}^{ob} + v$$

Wartość przybliżoną  $\Delta g_{1-n}^{prz}$  obliczamy ze wzoru (2) wstawiając na miejsce niewiadomych  $x$ ,  $y$  wielkości przybliżone  $x_0$ ,  $y_0$  ustalone z wykresu metrycznego, czyli:

$$\sum_1^n \Delta M x_0 + \sum_1^n \Delta M M_s y_0 = \Delta g_{1-n}^{prz}$$

Niewielki przyrost  $d\Delta g_{1-n}$  wyznaczamy jako różniczkę zupełną równania (2), gdzie niewiadome uzyskują niewielkie poprawki  $dx, dy$ , których wyższe potęgi uważać należy za zaniedbywalne. Różniczkę niewiadomych odpowiednio będą:

$$\frac{\partial \Delta g_{1-n}}{\partial x} = \sum_1^n \Delta M; \quad \frac{\partial \Delta g_{1-n}}{\partial y} = \sum_1^n \Delta M M s;$$

Zatem przyrost  $d\Delta g_{1-n}$  mamy:

$$d\Delta g_{1-n} = \sum_1^n \Delta M dx + \sum_1^n \Delta M M s dy$$

Równanie poprawek po podstawieniu  $d\Delta g_{1-n}$  przyjmie postać:

$$\Delta g_{1-n}^{prz} + \sum_1^n \Delta M dx + \sum_1^n \Delta M M s dy = \Delta g_{1-n}^{ob} + v$$

Wyraz wiadomy  $\Delta g_{1-n}^{prz}$  przenosimy na prawą stronę równania:

$$\sum_1^n \Delta M dx + \sum_1^n \Delta M M s dy = \Delta g_{1-n}^{ob} - \Delta g_{1-n}^{prz} + v \quad (3)$$

Zamiast znanych wartości podstawiamy

$$l \Delta g_{1-n} = \Delta g_{1-n}^{ob} - \Delta g_{1-n}^{prz}$$

wobec czego możemy napisać:

$$\sum_1^n \Delta M dx + \sum_1^n \Delta M M s dy = l \Delta g_{1-n} + v \quad (4)$$

Dla zrównoważenia układu równań obserwacyjnych (4) pod względem ich dokładności mnożymy kolejno współczynniki i wyrazy wolne równań przez pierwiastki z odpowiadających im wag, czyli:

$$\sqrt{p} \sum_1^n \Delta M dx + \sqrt{p} \sum_1^n \Delta M M s dy = \sqrt{p} l \Delta g_{1-n} + \sqrt{p} v \quad (5)$$

W załączonej tabeli podano sposób zestawienia 16 równań obserwacyjnych (5) dla porównywalnych przyrostów  $\Delta g$  sieci wahadłowej i sieci I rzędu.

Wartości przybliżone jednostki skali przyjęto do obliczeń  $x_0 = 8,87$  mgal,  $y_0 = 0$ , ponieważ  $y$  jest bardzo małą wielkością co do bezwzględnej wartości.

Poprawki niewiadomych  $dx, dy$  wyznaczamy z dwu równań normalnych o postaci:

$$\begin{aligned} [p \sum_1^n \Delta M \Delta M] dx + [p \sum_1^n \Delta M \Delta M M s] dy &= \\ &= [p l \Delta g_{1-n} \sum_1^n \Delta M] \\ [p \sum_1^n \Delta M \Delta M M s] dx + [p \sum_1^n \Delta M M s \Delta M M s] dy &= \\ &= [p l \Delta g_{1-n} \sum_1^n \Delta M M s] \end{aligned} \quad (6)$$

Współczynniki przy niewiadomych oraz wyrazy wolne równań normalnych określamy przez sumowanie odpowiednich kolumn zgodnie z wyżej podanymi symbolami (6).

Rozwiązanie układu równań normalnych i wyznaczenia niewiadomych dokonujemy zgodnie z regułami rachunku krakowianowego metody pośredniczącej. Z punktu widzenia rachunku maszynowego najekonomiczniejsze rozwiązanie będzie oparte na pojęciu pierwiastka krakowianowego. W „Rachunkach geodezyjnych” profesora St. Hausbrandta podana jest następująca zależność poszczególnych krakowianów.

$$\underline{A} \cdot \underline{A} = \underline{a}^2; \quad \underline{M} \cdot \underline{A} = \underline{\tau}$$

N. K.	Odcinek pomiaru	$\Delta M$	$\Delta M M s$	$\Sigma \Delta M$	$\Sigma \Delta M M s$	$\Delta g_{1-n}^{prz}$ mgal	$\Delta g_{1-n}^{ob}$ mgal	$\lg$ mgal	P	$\sqrt{p}$	$\sqrt{p} \Sigma \Delta M 10^{-1}$	$\sqrt{p} \Sigma \Delta M M s 10^{-3}$	$\sqrt{p} \Delta g$ mgal	sumy $\Sigma$	$\sqrt{p} V$ mgal	V mgal
1	Szczecin—Słupsk	9,6865	644,83	9,1680	608,0	81,32	82,05	0,73	8	2,83	2,5,9454	1,720,6	2,066	6,38114	-0,22	
	Słupsk—Gdańsk	-0,5185	-36,78													
2	Poznań—Bydgoszcz	4,4328	230,59	20,8237	1264,2	184,71	185,56	0,85	44	6,63	13,8,0611	8,381,6	5,636	27,82371	+0,24	
2	Bydgoszcz—Gdańsk	16,3909	1033,61	11,6556	657,5	103,39	103,63	0,24	15	3,87	4,5,1072	2,544,5	0,929	7,98422	+0,34	
3	Poznań—Szczecin	7,9462	402,71													
4	Warszawa—Bydgoszcz	-4,4328	-230,59	3,5134	172,1	31,16	31,48	0,32	1	1,00	0,3,5134	0,172,1	0,320	0,84344	-0,16	
	Bydgoszcz—Poznań	14,4391	749,53	24,3371	1406,5	216,87	217,39	1,52	26	5,10	12,4,1192	7,173,2	7,752	27,33712	-0,29	
5	Warszawa—Gryźliny	9,8980	656,93													
	Gryźliny—Gdańsk	6,4225	373,53	16,3205	1030,5	144,76	145,76	1,00	30	5,48	8,9,4363	5,647,1	5,480	20,07073	-0,12	
6	Gryźliny—Gdańsk	9,8980	656,93	8,0166	399,4	71,11	71,69	+0,58	10	3,16	2,5,3325	1,262,1	1,833	5,62835	-0,21	
7	Warszawa—Białystok	5,9197	240,70													
	Lublin—B. Podlaska	11,5637	572,63	17,4834	813,3	155,08	155,98	+0,90	41	6,40	11,1,8938	5,205,1	5,760	22,15448	-0,14	
8	B. Podlaska—Białystok	9,4666	389,55	9,4666	389,6	83,97	84,30	0,33	11	3,32	3,1,4291	1,293,5	1,096	5,53241	+0,05	
9	Lublin—Warszawa	6,4740	212,93													
	Kraków—Kielce	14,2707	549,42	20,7447	762,4	184,01	184,67	0,66	19	4,36	9,0,4469	3,324,1	2,878	15,24679	+0,12	
10	Kielce—Warszawa	-0,5369	-21,35													
	Wrocław—Łódź	8,3011	343,67	7,7642	322,3	68,87	68,89	0,02	8	2,83	2,1,9727	0,912,1	0,057	3,16637	+0,29	
11	Łódź—Warszawa	11,2777	487,87	11,2777	487,9	100,03	100,29	0,26	14	3,74	4,2,1786	1,824,7	0,972	7,01456	+0,21	
12	Wrocław—Poznań	0,7993	22,74													
	Kraków—Katowice	12,1811	414,16	12,9804	436,9	115,14	115,51	0,37	15	3,87	5,0,2341	1,690,8	1,432	8,14621	+0,09	
13	Katowice—Wrocław	6,4740	212,93													
	Kraków—Kielce	4,8040	161,99	11,2780	374,9	100,04	100,44	0,40	17	4,12	4,6,4654	1,544,6	1,648	7,83914	0,0	
14	Kielce	3,2540	79,33													
	Rzeszów—Zamość	10,1313	314,88	13,3853	394,2	118,73	119,25	0,52	30	5,48	7,3,3514	2,160,2	2,850	12,34534	-0,08	
15	Zamość—Lublin	2,1075	56,16	2,1075	56,2	18,69	18,87	0,18	2	1,41	0,2,9716	0,079,2	0,254	0,63036	-0,11	
16	Rzeszów—Kraków															

gdzie:  $a$  — krakowian utworzony ze współczynników przy niewiadomych i wyrazów wolnych równań normalnych (6)

$A$  — krakowian trójkątny pierwiastka krakowianowego

$M$  — odwrotność pierwiastka krakowianowego

$\tau$  — krakowian transformujący (tau).

W podanym obok przykładzie stabilizowano obliczone niewiadome elementy krakowianów  $A$  i  $M$  w myśl podanych wyżej równań krakowianowych.

$a^2$		
789,494	408,068	371,329
408,068	218,548	196,013

$A$		
28,2576	14,4410	13,1409
	3,1632	1,9743

Jako kontrolę rachunku utworzono kolumnę sumową  $S$ . W równaniach obserwacyjnych — ze względu na dużą wzajemną różnicę w ilości cyfr współczynników przy niewiadomych oraz wyrazach wolnych — dla ułatwienia obliczeń dla całych kolumn współczynników przy  $dx$  podzielono przez  $10 \cdot 10^{-1}$ , a przy  $dy$  przez  $1000 \cdot 10^{-3}$ . Wobec czego końcowe wyniki odpowiednich niewiadomych zmniejszono o  $10^{-1}$  i  $10^{-3}$ . Wartości niewiadomych obliczamy mając wyznaczone z równań poprawki:

$$x = x_0 + dx = 8,87 \text{ mgal} + 0,0146 \text{ mgal} = 8,8846 \text{ mgal}$$

$$y = y_0 + dy = 0 + 0,000624$$

Dla obliczenia poprawek obserwacyjnych  $v$  realizujemy pierwotne równania błędów. Dodatkową kontrolę obliczenia poza kolumną sumową stanowi zależność:

$$(p l_{\Delta g} l_{\Delta g}) - (pLL) = (pvv)$$

Suma kwadratów elementów obserwacyjnych z wagami minus suma kwadratów środkowej kolumny drugiej tabeli równa się sumie kwadratów poprawek pomnożonych przez wagi. Kontrola rozpatrywanego przykładu następująca:

$$(p l_{\Delta g} \cdot l_{\Delta g}) - (pLL) = 187,045 - 176,581 = 10,464$$

$$(pvv) = 10,463$$

Dokładność wyznaczanych elementów jednostki skali  $x$ ,  $y$  w oparciu o wyniki pomiarów wahadłowych charakteryzuje błąd średniego spostrzeżenia

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{(pvv)}{n_n}} \text{ oraz błędy niewiadomych } m_x \text{ i } m_y.$$

We wzorze na błąd średniego spostrzeżenia  $n_n$  oznacza ilość obserwacji nadliczbowych. Określamy ją jako różnicę z ilości równań obserwacyjnych i z ilości wyznaczanych niewiadomych. W podanym przykładzie  $n_n = 14$ , a błąd  $m_0 = \pm 0,864$ . Błędy niewiadomych obliczone na podstawie błędu spostrzeżenia średniego i wyrazów odwrotności pierwiastka krakowianowego są:  $m_x = \pm 0,0143 \text{ mgal}$ ,  $m_y = \pm 0,000273$ .

Na podstawie obliczonych elementów skali  $x$ ,  $y$  przystępujemy do sporządzenia wykresu w postaci linii prostej. Punkt początkowy zgodnie z założeniami wzoru (1) wyznacza wartość  $x = 8,8846 \text{ mgal}$  w punkcie zerowym skali grawimetru. Punkt końcowy określa osiemdziesiąta działka aparatu, której na skali jednostki miligala odpowiada wartość określona wzorem:  $x_{80} = x + 80y = 8,9345 \text{ mgal}$ . Łącząc punkt początkowy i końcowy otrzymujemy wykres wartości działek skali grawimetru wyrażonych w miligalach, przedstawiony na załączonym rysunku linią III.

Przechodząc do omówienia dokładności otrzymanych wyników obliczeń należy stwierdzić duży wpływ błędów w stosunku do wartości niewiadomych. Szczególnie jaskrawo widać to przy określeniu  $y$ , gdzie już pierwsza cyfra znacząca może być niepewna. Należy wyciągnąć wniosek, że określony kierunek prostej III jest mało dokładny. Pragnąc przedstawić bardziej obrazowo wpływ błędów przy określeniu jednostki skali grawimetru, interpretację ich przedstawiamy graficznie. Linia prosta III określona przez  $x$  i  $y$  może doznawać zmiany położenia w obszarze

$\tau$		$S$
1	0	1 578,891
0	1	823,629

$M$		
0,0354	0	55,8749
-0,1616	0,3161	5,2920

$dx$	$dy$
$0,1461 \cdot 10^{-1}$	$0,6241 \cdot 10^{-3}$

$$dx = 0,01461 \quad dy = 0,0006241$$

$$\begin{aligned} 0,0274 & \quad 0,0999 \\ 0,1655 \cdot 10^{-1} & \quad 0,3161 \cdot 10^{-3} \\ m_0 \cdot 0,0166 & \quad m_0 \cdot 0,000316 \\ m_x = \pm 0,0143 & \quad m_y = \pm 0,000273 \end{aligned}$$

ograniczonym zasięgiem błędów średnich  $\pm m_x$ ,  $\pm m_y$ . Wahania te można określić wartościami graficznych przesunięć punktu początkowego i końcowego prostej. Przedziały, w jakich następują wahania punktów będą:

punktu początkowego od 8,8703 do 8,8989 mgal ( $8,8846 \pm m_x$ )

punktu końcowego od 8,9127 do 8,9563 mgal ( $8,9345 \pm 80 m_y$ ).

Łącząc odpowiednio liniami prostymi wartości przesunięć punktów wzrastające i malejące, otrzymamy obszar wstęgi wahań błędów średnich. Na rysunku zawarty on jest między liniami przerywanymi. Osia wstęgi błędów jest sam wykres cechowania (prosta III).

Dodatkowa kontrola rachunkowa i graficzno-rachunkowa wykazały, że rzeczywista dokładność cechowania rozpatrywanego przykładu wynosi 0,4%. Różnica  $\Delta g = 173,6 \text{ mgal}$  obciążona będzie błędem  $m_{\Delta g} = \pm 0,08 \text{ mgal}$ .

## WNIOSKI

Porównując wykresy I, II i III należy stwierdzić duże wzajemne różnice. Wykres metryczny I został określony niedokładnie i w żadnym wypadku w praktyce nie można posługiwać się nim.

Sposób cechowania kontrolnego przy wykorzystaniu urządzenia komparacyjnego z masą kuleczki jest zawodny. W przypadku określenia błędnego danych  $E_0$

przez firmę Askania, zgodnie ze wzorem  $E = E_0 \frac{g}{g_0}$

wszystkie wyniki cechowania zostaną obarczone błędem. Na podstawie przeprowadzonych badań przez Zakład Geofizyki IG stwierdzono w dwu grawimetrach Askania Gs 11 nr 95 i nr 125 błędną charakterystykę metryczną.

Cechowanie grawimetrów na bazach o znanej wartości  $\Delta g$  jest niezależne i dlatego najbardziej prawidłowe. Wykorzystując do cechowania wyniki pomiarów wahadłowych, gdzie jednostkę przyspieszenia ziemskiego mgal określono na zasadzie dynamicznej, wyznaczona jednostka skali aparatu jest zgodna z układem cgs. Metodę tę i wyniki w postaci wykresu III należy w praktyce przyjąć za obowiązującą. Dokładność określenia  $x, y$  może być zwiększona przez porównanie wyników  $\Delta g$  na dużych przyrostach lub powiększenie ilości równań obserwacyjnych.

Ponieważ dla obliczenia wyników „Sieci grawimetrycznej Polski I rzędu” określono jednostkę skali grawimetru Askania Gs 11 nr 95 na podstawie 16 przyrostów sieci wahadłowej, należy uważać, że jednostka miligala została określona w układzie cgs. Przyrosty  $\Delta g$  sieci I rzędu należy wykorzystywać do cechowania grawimetrów.

W wyniku przeprowadzonych badań jednostki skali grawimetru stwierdzono, że należy przestrzegać:

- a) sprawdzenia lub określenia jednostki skali każdego grawimetru użytego do pomiaru,
- b) ze zmianą zakresu skali należy sprawdzić wykres jednostki skali,
- c) ze zmianą zakresu temperatury należy wyznaczyć nowy wykres jednostki skali.

#### LITERATURA

1. Askania—Werke A. G. — Prüfzeugnis für Grawimeter Nr 95. Berlin 1955.
2. Bokun J., Bujnowski W. — Nouveau réseau gravimétrique fondamental de la Pologne. Varsovie 1959.
3. Bokun J. — Baza grawimetryczna Gdańsk—Kasprowy Wierch. „Prace Instytutu Geodezji i Kartografii” t. V, z. 2. Warszawa 1957.
4. Dąbrowski A. — Sprawozdanie z udziału w zebraniu Międzynarodowej Komisji Grawimetrycznej w Paryżu w dniach od 15 do 19 września 1959. Warszawa 1960 (maszynopis).

5. Hausbrandt S. — Rachunki geodezyjne. Warszawa 1953.
6. Martin J. — Étalonnage des gravimètres sur les bases pendulaires européennes. Paris 1955.
7. Ząbek Z., Dobaczewska W. — Pomiaru aparatem czterowahadłowym na punktach bazy grawimetrycznej.

#### SUMMARY

Real accuracy of measuring of great  $\Delta g$  differences depends particularly on marking of earth gravity acceleration absolute values for divisions of gravimeter scale in gal and mgal units. This problem grew in importance in Poland using modern „Askania Gs 11 No 95” gravimeter in connection with the elaboration of gravimetric network. A need rose of determining of mgal unit of the network on the base of the results of the gravimeter calibration. Proofs of the apparatuses were accomplished in the Laboratory of Geophysics of the Geological Institute.

After marking of unknowns  $x, y$  the results of calibration are computed in the shape of straight line III with belts of mean errors. From the accuracy analysis it is clear that  $\Delta g$  absolute values of the network are determined with the error of 0,4%. This method was accepted as obligatory in practice.

#### РЕЗЮМЕ

Реальная точность измерения больших разностей  $\Delta g$  зависит, в основном, от определения величины ускорения силы тяжести, приходящейся на деления шкалы гравиметра в единицах: гал или миллигал. Вопрос этот приобрел первостепенное значение во время составления гравиметрической сети Польши I порядка, при использовании для измерений современного гравиметра Аскания Гс 11 № 95. Появилась потребность определения единицы миллигал сети на основании результатов градуировки гравиметра. Исследования аппаратуры проводились Отделом Геофизики Геологического Института.

После определения неизвестных  $x, y$  результаты градуировки были представлены в виде прямой III с полосою средних ошибок. Анализ точности показывает, что стоимости  $\Delta g$  сети в системе миллигал определены с ошибкой порядка 0,4%. Этот метод принят в практике как обязательный.