

## Cechowanie laboratoryjne małoszakresowych grawimetrów typu Sharpe metodą nachylania

### Wstęp

Cechowanie grawimetrów kwarcowych (podobnie jak i grawimetrów innego typu) ma na celu wyznaczenie równania skali. W przypadku, gdy uważa się, że równanie to ma postać liniową, zagadnienie cechowania jest równoznaczne z wyznaczeniem współczynnika skali grawimetru tj. ustaleniem związku między zmianą przyspieszenia siły ciężkości a zmianą odczytów na skali grawimetru. Współczynnik ten nazywany jest zwykle stałą przyrządu i oznaczany literą  $k$ .

W literaturze wymienia się następujące metody cechowania grawimetrów:

1) cechowanie na punktach, dla których prowadzi się pomiary wahadłowe dużej zmiany przyspieszenia siły ciężkości,

2) cechowanie przy pomocy statystycznego uśredniania wyników wielokrotnych pomiarów grawimetrem na odcinku o znanej wartości różnicy przyspieszenia siły ciężkości, czyli na tzw. bazie grawimetrycznej,

3) cechowanie na bazach teoretycznego gradientu pionowego z odpowiednim uwzględnieniem lokalnego efektu masy. Cechowanie na bazach pionowych prowadzono np. w wysokich budynkach (Stany Zjednoczone) [1] lub wysokich górach (Czechosłowacja),

4) cechowania niektórych typów grawimetrów metodą obciążania przy użyciu wbudowanego urządzenia do cechowania (grawimetry Askania Gs-11, North American),

5) cechowanie laboratoryjne metodą nachylania, polegające na wytworzeniu pozornych zmian wartości  $\Delta g$  poprzez zmianę kąta pochylenia urządzenia.

Do niedawna w Polsce cechowanie grawimetrów przeprowadzano wyłącznie na tzw. bazie grawimetrycznej. Proces pomiarowy polega na wielokrotnym wyznaczeniu różnicy przyspieszenia siły ciężkości  $\Delta g$  badanym grawimetrem na odpowiednio wybranych punktach o znanej wartości przyspieszenia siły ciężkości. Baza taka przebiega południkowo i w przypadku Polski sięga od Zakopanego do Gdańska. W wyniku przeprowadzenia szeregu obliczeń otrzymuje się wartość działki grawimetru. Cechowanie na bazie grawimetrycznej umożliwia zbadanie skali grawimetru jedynie w przedziale uzależnionym od różnicy przyspieszenia siły ciężkości na poszczegół-

nych stałych punktach bazy. Niejednoczesne wykonywanie pomiarów na tym samym punkcie utrudnia ściśle uchwycenie chodu grawimetru (dryftu). Metoda ta jest kosztowna i uciążliwa ze względu na to, że wymaga wielokrotnych przejazdów samochodem na przesłach pomiarowych w celu kilkakrotnego wyznaczenia wartości różnicy przyspieszenia siły ciężkości  $\Delta g$  na każdym z nich.

Ostatnio w Polsce zaczęto dodatkowo cechować grawimetry sposobem nachylania, stosując urządzenia i metodykę opracowaną w Oddziale Grawimetrii Eksperymentalnej Instytutu Fizyki Ziemi Akademii Nauk ZSRR.

Cechowanie laboratoryjne metodą nachylania ma wiele istotnych zalet w stosunku do cechowania na bazie grawimetrycznej, a mianowicie:

- 1) umożliwia szczegółowe zbadanie całej skali grawimetru,
- 2) pozwala wyznaczyć z dużą dokładnością zależność stałej grawimetru od takich czynników jak temperatura, ciśnienie i czas,
- 3) dokładność cechowania tą metodą nie ustępuje cechowaniu na bazie grawimetrycznej,
- 4) skraca czas całego procesu cechowania,
- 5) wszystkie współczynniki grawimetru otrzymuje się w układzie cgs,
- 6) mała waga i niewielkie rozmiary urządzenia umożliwiają przeprowadzenie cechowania w dowolnym miejscu np. miejscu wykonywania pomiarów polowych.

Pierwotnie do cechowania grawimetrów metodą nachylenia stosowano urządzenie zwane „ramą GAE”. [2].

Ostatnio skonstruowano w ZSRR nowe urządzenie zwane w skrócie UEGP (ustanowka etaloniowania grawimietrow polewaja). Jest to aparatura przenośna o niewielkich rozmiarach, prosta w obsłudze, zasilana bezpośrednio z sieci napięcia zmiennego 220 V [3].

### **Istota cechowania grawimetrów metodą nachylania**

W położeniu poziomym grawimetru i jego osi obrotu (nici kwarcowej) na wahadło działa całkowita siła ciężkości równa  $g$  [4]. W chwili, gdy oś obrotu wahadła jest pochylona pod kątem  $\beta$  w stosunku do położenia poziomego, na wahadło działa składowa siły ciężkości równa  $g \cos \beta$ .

Zależność wskazań grawimetru od kąta nachylenia  $\beta$  wyrazić można równaniem

$$g_r = g (1 - \cos \beta). \quad (1)$$

W przypadku grawimetrów małoskresowych kąt  $\beta$  jest niewielki, a więc można napisać

$$g_r = -g \frac{\beta^2}{2}. \quad (2)$$

Kąt nachylenia  $\beta$  odczytuje się na poziomym kręgu teodolitu umieszczonego pionowo i złączonego z urządzeniem do cechowania.

Całe urządzenie przypomina teodolit, w którym w miejsce lunety umocowano grawimetr wyjęty z obudowy i termosu oraz umieszczony w specjalnym cylindrze w pozycji zbliżonej do pionowej. Grawimetr można pochyłać wokół osi poziomej (analogicznie do osi poziomej teodolitu) o kąt wynoszący maksymalnie  $1^\circ$  oraz obracać wokół osi pionowej.

Właściwe cechowanie należy poprzedzić kilkoma regulacjami urządzenia.

1. Na wstępie kontroluje się położenie libeli równoległej do osi obrotu wahadła.

W tym celu ustawia się grawimetr w takim położeniu, aby oś libeli zajęła położenie prostopadłe do osi obrotu urządzenia. Następnie pochyła się całość wyżej i niżej horyzontu w odstępach 2-minutowych. Przy każdym takim położeniu wykonuje się odczyt na grawimetrze i teodolicie. Wyniki obserwacji nanosi się na wykres, obrazujący zależność odczytu grawimetru od nachylenia urządzenia. Wierzchołek otrzymanej w ten sposób paraboli odpowiada poszukiwanemu położeniu libeli. Odległość osi symetrii paraboli od punktu zerowego osi układu współrzędnych wykresu (początku odczytu nachyleń urządzenia) wskazuje o ile należy poprawić położenie libeli. Po wprowadzeniu takiej poprawki wykonuje się wyznaczenia kontrolne.

2. Przeprowadza się regulację w płaszczyźnie wahadła.

W tym celu obraca się grawimetr o  $90^\circ$  tak, aby wahadło znalazło się w płaszczyźnie prostopadłej do osi poziomej urządzenia UEGP, a następnie postępuje się jak przy poprzedniej regulacji.

3. Reguluje się położenie grawimetru w azymucie.

Regulację tę przeprowadza się dlatego, że tylko wtedy, gdy wahadło jest w pozycji równoległej do osi obrotu urządzenia, przy pochyleniu o dany kąt powyżej i poniżej horyzontu wahadło grawimetru będzie pochylone w stosunku do poziomu o ten sam kąt.

Cechowanie przeprowadza się w oparciu o wzór

$$g_r^i = kn_i + f(n_i) + g_{ro}, \quad (3)$$

gdzie

$g_r^i$  — wartość przyspieszenia siły ciężkości spowodowana nachyleniem,

$k$  — stała grawimetru (liczba miligali odpowiadająca jednej działce grawimetru),

$n_i$  — odczyt na skali grawimetru poprawiony o chód,

$f(n_i)$  — poprawka ze względu na nieliniowość skali,

$g_{ro}$  — wartość stała dla jednego programu cechowania, związana z miejscem obserwacji.

Wyniki obserwacji poprawia się o wpływ chodu grawimetru, przyciągania księżyca i słońca oraz miejsca obserwacji. Program obserwacji ustala się w ten sposób, aby badaniem objąć cały zakres instrumentu.

### Przebieg i wyniki cechowania

W ramach akcji międzynarodowej w lutym i marcu 1970 roku przeprowadzono w Polsce cechowanie metodą nachylania trzech grawimetrów szerokozakresowych typu Sharpe i czterech grawimetrów małowzakresowych tej samej produkcji.

Instytut Geodezji i Kartografii zaproponował kilku instytucjom wycechowanie grawimetrów będących ich własnością. Wycechowane zostały cztery grawimetry prospekcyjne typu Sharpe, a więc grawimetr nr 184 (własność Instytutu Geologicznego) oraz nr nr 135, 182 i 233, będące własnością Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych.

W przypadku omawianych tu grawimetrów program opracowano w ten sposób, że zakres grawimetru, wynoszący około 100 miligali (1000 działek), badany był w odstępach 100 działek.

Wszystkie grawimetry były cechowane w Warszawie w temperaturze pomieszczenia, wynoszącej  $+20^{\circ}\text{C}$ . Ponadto grawimetr nr 135 cechowano w temperaturze  $+35^{\circ}\text{C}$ . Grawimetr nr 184 badano w Warszawie w temperaturze  $+20^{\circ}\text{C}$ , a następnie w temperaturach  $+5^{\circ}\text{C}$  i  $+35^{\circ}\text{C}$  oraz w Zakopanem na wysokości  $h = 860$  m n.p.m. w temperaturze  $+20^{\circ}\text{C}$  i w Obserwatorium PIHM na Kasprowym Wierchu na wysokości  $h = 1989$  m n.p.m. w temperaturze  $+20^{\circ}\text{C}$ , a następnie powtórnie w Warszawie w temperaturze  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Obserwacje wykonywano w każdym przypadku w liczbie od kilku do kilkunastu serii w zależności od potrzeb i możliwości.

W przypadku zmiany warunków obserwacji grawimetr pozostawiano w pomieszczeniu przez okres co najmniej doby, aby system pomiarowy znalazł się całkowicie pod wpływem warunków, w jakich będzie prowadzona następna faza cechowania.

Wyniki obserwacji, wykonanych w poszczególnych seriach pomiarowych, wyrównywane były metodą najmniejszych kwadratów na maszynie cyfrowej typu GEO. W wyniku wyrównania otrzymano dla danej serii pomiarowej wartość stałej grawimetru  $k$  (w miligalach na działkę) oraz poprawkę za nieliniowość skali  $f(n)$  (w miligalach) dla danego odczytu grawimetru i średnie błędy tych wartości  $Mf(n)$ . Na tej podstawie obliczono wartości  $f(n)$  i  $Mf(n)$  odpowiadające poszczególnym odczytom grawimetru w określonych warunkach, a wyniki podano w tablicach i na wykresach.

W przypadku grawimetru Sharpe nr 184 sporządzono oddzielne wykresy

będące wynikiem cechowania laboratoryjnego w Warszawie, w Zakopanem i na Kasprowym Wierchu, aby pokazać zmianę funkcji  $f(n)$  w zależności od zmiany warunków obserwacji (temperatury i wysokości punktu obserwacyjnego nad poziomem morza, a co za tym idzie — ciśnienia). Z wyników przeprowadzonego cechowania grawimetru nr 184 w Warszawie w zróżnicowanych warunkach termicznych widać (tablica 1, wykres 1), że funkcja  $f(n)$  zachowuje się podobnie bez względu na temperaturę pomieszczenia, w którym przeprowadzano cechowanie. Jedynie dwa wyniki uzyskane dla odczytów skali grawimetru 200 i 400 przy  $t = +35^{\circ}\text{C}$  zdecydowanie odbiegają od pozostałych, co może być spowodowane błędami obserwacji. W tym wypadku mała liczba obserwacji uniemożliwia wyeliminowanie wyników, co do których może istnieć podejrzenie o ich błędności. Zarówno wykres średni  $f(n)$  z cechowania w Warszawie (wykres 1), jak również wyniki cechowania tego grawimetru w Zakopanem i na Kasprowym Wierchu (tablica 2, wykres 2) wykazują tę samą tendencję, co potwierdza fakt, że nieliniowość skali grawimetru nie zależy od warunków termicznych i barometrycznych w jakich pracuje grawimetr i tym samym może być uważana za stałą dla danego instrumentu.

Wykres ostateczny  $f(n)$  dla grawimetru nr 184 (wykres 3) wykazuje, że sumaryczna wielkość nieliniowości skali w całym zakresie wynosi około 0,25 mgal.

Ze względu na tak znaczną wartość funkcji  $f(n)$  konieczne jest uwzględnianie jej przy wszelkich pracach wymagających wysokiej dokładności wyznaczenia wartości przyspieszenia siły ciężkości.

Średni błąd wyznaczenia współczynnika  $k$  dla tego grawimetru waha się w granicach od  $\pm 12 \div 26 \times 10^{-5}$ . W przeciwieństwie do zachowania się nieliniowości skali grawimetru w zależności od warunków obserwacji, należy zauważyć zmienność stałej  $k$  wraz ze zmianą temperatury i wysokości miejsca obserwacji n.p.m. Zmienność tego współczynnika na  $1^{\circ}\text{C}$  dla grawimetru nr 184 wynosi  $1 \times 10^{-5}$  mgal/działkę, zaś na 1 metr wynosi ona  $1 \times 10^{-7}$  mgal/działkę.

Grawimetry typu Sharpe o numerach 135, 182 i 233 zostały wycechowane, jak już wspomniano, jedynie w laboratorium warszawskim w temperaturze  $+20^{\circ}\text{C}$ , zaś grawimetr nr 135 wycechowano dodatkowo w temperaturze  $+35^{\circ}\text{C}$ .

Otrzymane w wyniku cechowania grawimetru nr 135 wartości funkcji  $f(n)$  wykazują niewielką zmienność wzdłuż całego badanego zakresu grawimetru dochodząc do 0,05 mgal, natomiast wyznaczona stała grawimetru  $k$  wykazuje zmienność w zależności od temperatury, w której cechowano grawimetr i na  $1^{\circ}\text{C}$  wynosi ona  $1 \times 10^{-5}$  mgal/działkę (tablica 3, wykres 4).

Pozostałe dwa grawimetry wycechowano jednokrotnie. Maksymalna bezwzględna wartość  $f(n)$  dla każdego z tych instrumentów wynosi

0,08 mgal. Z wyników zamieszczonych w tablicy 3 oraz z wykresu 5, sporządzonego dla grawimetru nr 182, widać dużą zmienność funkcji  $f(n)$ , występującą między odczytami 500 i 550, zaś dla grawimetru nr 233 — między 600 i 650 (wykres 6, tablica 3). Wyniki te mogą być spowodowane zarówno błędami obserwacji, jak również faktyczną dużą niedokładnością wykonania podziałki tych grawimetrów.

Ponieważ cechowanie grawimetrów małoszakresowych przeprowadzano przy okazji cechowania innych grawimetrów w ramach ekspedycji międzynarodowej, ograniczenie możliwości wykorzystania aparatury UEGP do ich cechowania nie dało możliwości wykonania większej liczby obserwacji, a więc niemożliwe jest wyciągnięcie dalej idących wniosków co do jakości podziałek odczytowych grawimetrów małoszakresowych. Grawimetry te należałoby cechować bardziej szczegółowo w całym ich zakresie, w wielu seriach pomiarowych i w różnych warunkach obserwacji.

Ostateczne wyniki cechowania grawimetrów prospekcyjnych zestawiono w tablicy 4.

### Wnioski końcowe

Przedstawione w niniejszej pracy rezultaty są wynikiem pierwszego w Polsce cechowania grupy grawimetrów małoszakresowych typu Sharpe metodą nachylania.

Na przykładzie przedstawionych tu wyników cechowania widać, że w przeciwieństwie do  $f(n)$  współczynnik  $k$  zmienia się w zależności od warunków obserwacji. Funkcja  $f(n)$  charakteryzująca jakość podziałki odczytowej grawimetru (śruby pomiarowej) nie może być pominięta przy dokładnych wyznaczeniach wartości przyspieszenia siły ciężkości, gdyż jej wartość może już mieć realny wpływ na wyniki tych wyznaczeń.

Wartość  $g_r$  należy obliczać więc według wzoru

$$g_r = kn + f(n). \quad (4)$$

Z przeprowadzonego cechowania wynika, że funkcje  $f(n)$  wyznaczone dla grawimetrów Sharpe nr 135, 182 i 233 oscylują wokół poziomej osi układu współrzędnych osiągając maksymalne wartości rzędu 0,05 mgal i przekraczając tym samym tylko 2÷3-krotnie wartości błędów ich wyznaczeń.

W przypadku grawimetru nr 184 wykres funkcji  $f(n)$  zbliżony jest kształtem do funkcji drugiego stopnia, a wartości  $f(n)$  dla poszczególnych odczytów skali grawimetru znacznie przekraczają błędy ich wyznaczeń. Otrzymane wyniki pozwalają sugerować konieczność zrezygnowania z wykonywania pomiarów na końcach skali tego grawimetru i ograniczenie praktycz-

nie stosowanego zakresu do działek  $250 \div 700$ , co odpowiada w tym wypadku możliwości pomiaru różnic  $\Delta g$  do 54 miligali. Biorąc pod uwagę charakter pomiarów, do których używa się tego właśnie instrumentu, zakres 54 miligali wystarczy do ich prowadzenia. Przy takim ograniczeniu zakresu pomiarowego i przy zastosowaniu otrzymanej z cechowania stałej  $k$  funkcja  $f(n)$  będzie miała postać zobrazowaną na wykresie 3a.

Dotychczasowe badania prowadzone były w krótkim czasie przez kilku obserwatorów w różnej liczbie serii pomiarowych w danych warunkach obserwacji.

Otrzymane wyniki są interesujące i byłoby dobrze powtórzyć cechowanie tych grawimetrów metodą nachylania, wykonując większą liczbę jednolitych obserwacji według specjalnie opracowanego programu.

Współczynniki  $k$  grawimetrów zmieniają się w czasie. Dotyczyć to może również funkcji  $f(n)$ , bowiem wielokrotne pomiary instrumentem powodują wycieranie się jego śruby pomiarowej.

Stała  $k$  grawimetru, jak wynika z przeprowadzonego cechowania, jest uzależniona od temperatury, w jakiej instrument pracuje. Wartość tego współczynnika rośnie wraz ze wzrostem temperatury (tablica 4) i jest rzędu  $1 \times 10^{-4}$  mgal/działkę na  $10^\circ\text{C}$ .

Prawidłowość zmiany tego współczynnika w zależności od ciśnienia jest w tej chwili jeszcze trudna do uchwycenia.

#### LITERATURA

- [1] Woolard G. P., Harding N. C., Rose J. C.: „The problem of calibrating high-range geodetic-type grawimeters”. (Transactions, American Geophysical Union, Vol. 36, nr 1, 1955).
- [2] Majewska M.: Cechowanie laboratoryjne małego zakresu pomiarowego grawimetru Sharpe nr 228 G metodą nachylenia”. (Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, Tom XVI, Zeszyt 2(38), 1969).
- [3] Kozjakowa K. J.: „Etalonirowanie kwarcowych grawimietrow s gorizontальной kruzilnoj nitju”. (Trudy IFZ, Nr 31(198), Moskwa 1964).
- [4] Romaniuk W. A., Rukawisznikow R. B.: „Etalonirowanie grawimietrow s gorizontальной kruzilnoj nitju metodom naklona”. (MGK AN SSSR, Moskwa 1966).

Recenzował: dr inż. Jerzy Bokun

Rękopis złożono w Redakcji w styczniu 1971 r.

## ЛАБОРАТОРНОЕ ЭТАЛОНИРОВАНИЕ УЗКОДИАПАЗОННЫХ ГРАВИМЕТРОВ ТИПА SHARPE МЕТОДОМ НАКЛОНОВ

### Резюме

Во вступительной части статьи собраны, описываемые в технической литературе, методы эталонирования гравиметров. В Польше, до недавних пор, применялся исключительно один из этих методов, а именно калибровку производилось на контрольном гравиметрическом базисе. В последнее время началось применяться также калибровку гравиметров методом наклонов, применяя оборудование и методику разработанную Отделом Экспериментальной Гравиметрии Института Физики Земли Академии Наук СССР. В работе описываются сущность и преимущества этого метода по сравнению с калибровкой на гравиметрическом базисе. Тщательно обсуждается также регулировки приспособления, какие необходимо выполнить до начала измерений.

В рамках международных начинаний, в месяце феврале и марте 1970 года, выполнено в Польше калибровку, методом наклонов, трех широкодиапазонных и четырех узкодиапазонных проспекционных гравиметров типа Sharpe.

Ускодиапазонные гравиметры с номерами 135, 182, 184 и 233 подвергались калибровке с помощью приспособления UEGP. Калибровку выполнялось используя формулу (3). Программу измерений подготовлено таким образом, что весь диапазон гравиметра, составляющий примерно 100 миллигалов (1000 делений), подвергался исследованию через каждые 100 делений.

Все гравиметры исследовано в Варшаве при температуре помещения составляющей  $+20^{\circ}\text{C}$ . Кроме того гравиметр с номером 135 калибровано в температуре  $+35^{\circ}\text{C}$ . Гравиметр № 184 исследовано в Варшаве при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ , а также при температуре  $+5^{\circ}\text{C}$  и  $+35^{\circ}\text{C}$ . Следовательно тот самый гравиметр исследован был в городе Закопане на высоте  $h = 860$  м над уровнем моря при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$  и в метеообсерватории Каспировый Верх Государственного Гидро-метеорологического Института PИМ на высоте  $h = 1989$  м над уровнем моря при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ , а потом повторно в Варшаве при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Результаты наблюдений, производимые в отдельных сериях измерений, уравнивались методом наименьших квадратов и использованием цифровой вычислительной машины типа GEO. В результате уравнивания для данной серии измерений получалось значение постоянной гравиметра  $k$  (миллигалов на одно деление шкалы гравиметра), а также поправку учитывающую нелинейность шкалы  $f(n)$  (выраженную в миллигалах) для данного отсчета гравиметра и средние ошибки этих величин  $Mf(n)$ . На этом основании были вычислены значения  $f(n)$  и  $Mf(n)$  соответствующие отдельным отсчетам гравиметра в определенных термических и барических условиях измерений. Результаты показаны в виде графиков и таблиц.

Из произведенных исследований следует, что функции  $f(n)$  определенные для гравиметров с номерами 135, 182 и 233, колеблются вблизи горизонтальной оси, при чем амплитуды этих колебаний не превосходят трехкратной величины ошибки определения  $f(n)$ .

В случае гравиметра номер 184, среднее значение  $f(n)$  является функцией вто-

рой степени. Значения же  $f(n)$  превосходят здесь значительно ошибки их определения. Полученный результат позволяет внушать необходимость сокращения диапазона измерений этого гравиметра в пределах делений от 250 до 700, что соответствует в этом случае возможности измерения разности  $\Delta g$  до величины 54 миллигалов.

## LABORATORY CALIBRATION OF NARROW-RANGE SHARPE GRAVIMETERS BY THE TILTING METHOD

### Summary

At the introduction of this paper there have been listed the methods of calibrating gravimeters, described in a bibliography. In Poland, until recently, there was exclusively used the one method, namely the calibrating was carried out on a gravimetric base. Recently has been applied the calibration of gravimeters by the tilting method too, using the devices and methodics worked out in the Department of Experimental Gravimetry of the Institute of Earth Physics of USSR Academy of Science. In the paper, there has been presented the essence and advantages of this method in comparison with the calibrating on a gravimetric base. There have been described in detail the adjustments of the device, which must be done before measuring.

Within an international scheme, on February and March of 1970, in Poland there were carried out the calibrating of three wide-range gravimeters and four narrow-range prospecting Sharpe gravimeters by means of the tilting method.

The narrow-range gravimeters No. 135, 182, 184 and 233 were calibrated by means of a device UEGF. The calibrating was carried out accordingly to the formula (3). The program of measurements was worked out in such a way that the range of a gravimeter of about 100 mgals (1000 divisions) was examined at intervals of 100 divisions.

All these gravimeters were calibrated in Warsaw at the temperature of  $+20^{\circ}\text{C}$ . Moreover, the gravimeter No. 135 was calibrated at the temperature of  $+35^{\circ}\text{C}$ . The gravimeter No. 184 was examined at the temperature of  $+20^{\circ}\text{C}$ , and next at the temperatures of  $+5^{\circ}\text{C}$  and  $+35^{\circ}\text{C}$  in Warsaw, at the temperature of  $+20^{\circ}\text{C}$  in Zakopane (860 m above s. l.) and at the temperature of  $+20^{\circ}\text{C}$  in the meteorological station on the Kasprowy Wierch (1989 m above s. l.), and again in Warsaw at the temperature of  $+20^{\circ}\text{C}$ .

The results of observations carried out in the separate measuring series, were adjusted by the method of the least squares using a computer GEO. As a result of the adjusting there was obtained a value of a gravimeter coefficient  $k$  (in miligals per division) for a considered measuring serie, and a correction due to non-linearity of a scale  $f(n)$  (in miligals) for a considered gravimeter reading, and the mean square error of these values  $Mf(n)$ . On this basis the values of  $f(n)$  and  $Mf(n)$  which correspond to the gravimeters readings in specified thermic and barometric conditions of measurement, have been calculated. The results have been presented on diagrams and tables.

It is evident, from these calibrating, that the functions  $f(n)$ , determined for the gravimeters No. 135, 182 and 233, oscillate around the horizontal axis; at the same time the amplitudes of these oscillations do not exceed the value of determination error of  $f(n)$  multiplied by three.

In the case of the gravimeter No. 184, the mean value of  $f(n)$  is a second order function. The values of the  $f(n)$  considerably exceed the errors of their determination. The obtained result make it possible to suggest the necessity of limitation of measuring range of this gravimeter to the divisions  $250 \div 700$  what correspond, in this case, to the possibility of measuring the differences  $\Delta g$  to 54 mgals.

Tablica 1a

## Wyniki cechowania grawimetru Sharpe nr 184

I Warszawa,  $h = 110$  m,  $t = +20^{\circ}\text{C}$ 

| Series<br>$n$ | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | $f(n)$ | $Mf(n)$     |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|-------------|
| horyzont      | 947,95   | 949,22   | 946,60   | 953,20   | 953,35   | 947,80   | 0,114  | $\pm 0,016$ |
| 900           | 0,08     | 0,16     | 0,09     | 0,13     | 0,08     | 0,10     | 0,114  | $\pm 0,016$ |
| 850           | 0,11     | 0,08     | 0,14     | 0,11     | 0,13     | 0,10     | 0,100  | 0,000       |
| 800           | 0,05     | 0,04     | 0,07     | 0,04     | 0,05     | 0,00     | 0,050  | 0,005       |
| 750           |          |          |          |          |          |          | 0,000  | 0,000       |
| 700           | -0,08    | -0,11    | -0,05    | -0,06    | 0,00     |          | -0,060 | 0,018       |
| 650           |          |          |          |          |          |          | -0,090 | 0,000       |
| 600           | -0,10    | -0,08    | -0,14    | -0,11    | -0,14    | -0,09    | -0,114 | 0,012       |
| 550           |          |          |          |          |          |          | -0,130 | 0,000       |
| 500           | -0,08    | -0,13    | -0,09    | -0,14    | -0,15    | -0,13    | -0,118 | 0,014       |
| 450           |          |          |          |          |          |          | -0,060 | 0,000       |
| 400           | -0,08    | -0,05    | —        | -0,06    | -0,07    | -0,06    | -0,065 | 0,007       |
| 350           |          |          |          |          |          |          | -0,080 | 0,000       |
| 300           | -0,14    | -0,11    | -0,09    | -0,12    | -0,19    | -0,08    | -0,130 | 0,017       |
| 250           |          |          |          |          |          |          | 0,020  | 0,000       |
| 200           | 0,03     | -0,05    | -0,03    | -0,02    | -0,03    | 0,02     | -0,020 | 0,013       |
| 150           |          |          |          |          |          |          | 0,030  | 0,000       |
| 100           | 0,08     | 0,05     | 0,10     | 0,07     | 0,10     | 0,03     | 0,080  | 0,009       |
| 50            | 0,15     | 0,23     | 0,23     | 0,23     | 0,23     | 0,13     | 0,200  | 0,019       |
| $k$           | 0,120132 | 0,120094 | 0,120115 | 0,120189 | 0,120203 | 0,120146 |        |             |

Tablica 1b

## Wyniki cechowania grawimetru Sharpe nr 184

II Warszawa,  $h = 110$  m,  $t = 20^{\circ}\text{C}$ 

| Seria<br>$n$  | 39       |       | 40       |       | 41       |      | 42       |      | 43       |      | $f(n)$ | $Mf(n)$     |
|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|------|----------|------|----------|------|--------|-------------|
| hory-<br>zont | 939,70   | 0,10  | 942,20   | 0,12  | 943,30   | 0,08 | 943,20   | 0,06 | 941,60   | 0,14 |        |             |
| 900           |          |       |          |       |          | 0,08 |          | 0,09 |          |      | 0,085  | $\pm 0,005$ |
| 850           |          | 0,07  |          | 0,06  |          |      |          |      |          | 0,05 | 0,060  | 0,006       |
| 800           |          |       |          |       | -0,02    |      |          | 0,01 |          |      | -0,005 | 0,007       |
| 750           |          | -0,04 |          | -0,06 |          |      |          |      | -0,03    |      | -0,043 | 0,009       |
| 700           |          |       |          |       | -0,01    |      | -0,05    |      |          |      | -0,030 | 0,020       |
| 650           |          | -0,09 |          | -0,09 |          |      |          |      | -0,08    |      | -0,086 | 0,009       |
| 600           |          |       |          |       | -0,07    |      | -0,05    |      |          |      | -0,060 | 0,010       |
| 550           |          | -0,12 |          | -0,11 |          |      |          |      | -0,14    |      | -0,123 | 0,009       |
| 500           |          |       |          |       | -0,04    |      | -0,06    |      |          |      | -0,050 | 0,010       |
| 450           |          | -0,07 |          | -0,03 |          |      |          |      | -0,07    |      | -0,057 | 0,013       |
| 400           |          |       |          |       | -0,09    |      | -0,10    |      |          |      | -0,095 | 0,005       |
| 350           |          | -0,05 |          | 0,00  |          |      |          |      | -0,04    |      | -0,030 | 0,015       |
| 300           |          |       |          |       | -0,13    |      | -0,12    |      |          |      | -0,125 | 0,005       |
| 250           |          | -0,04 |          | -0,05 |          |      |          |      | -0,01    |      | -0,033 | 0,012       |
| 200           |          |       |          |       | -0,01    |      | -0,02    |      |          |      | -0,015 | 0,005       |
| 150           |          | 0,00  |          | 0,01  |          |      |          |      | 0,04     |      | 0,017  | 0,012       |
| 100           |          |       |          |       | 0,08     |      | 0,04     |      |          |      | 0,060  | 0,020       |
| 50            |          | 0,13  |          | 0,11  |          | 0,13 |          | 0,16 |          | 0,11 | 0,128  | 0,009       |
| $k$           | 0,120160 |       | 0,120164 |       | 0,120152 |      | 0,120155 |      | 0,120011 |      |        |             |

Tablica 1c

## Wyniki cechowania grawimetru Sharpe nr 184

Warszawa,  $h = 110$  m,  $t = +35^{\circ}\text{C}$ 

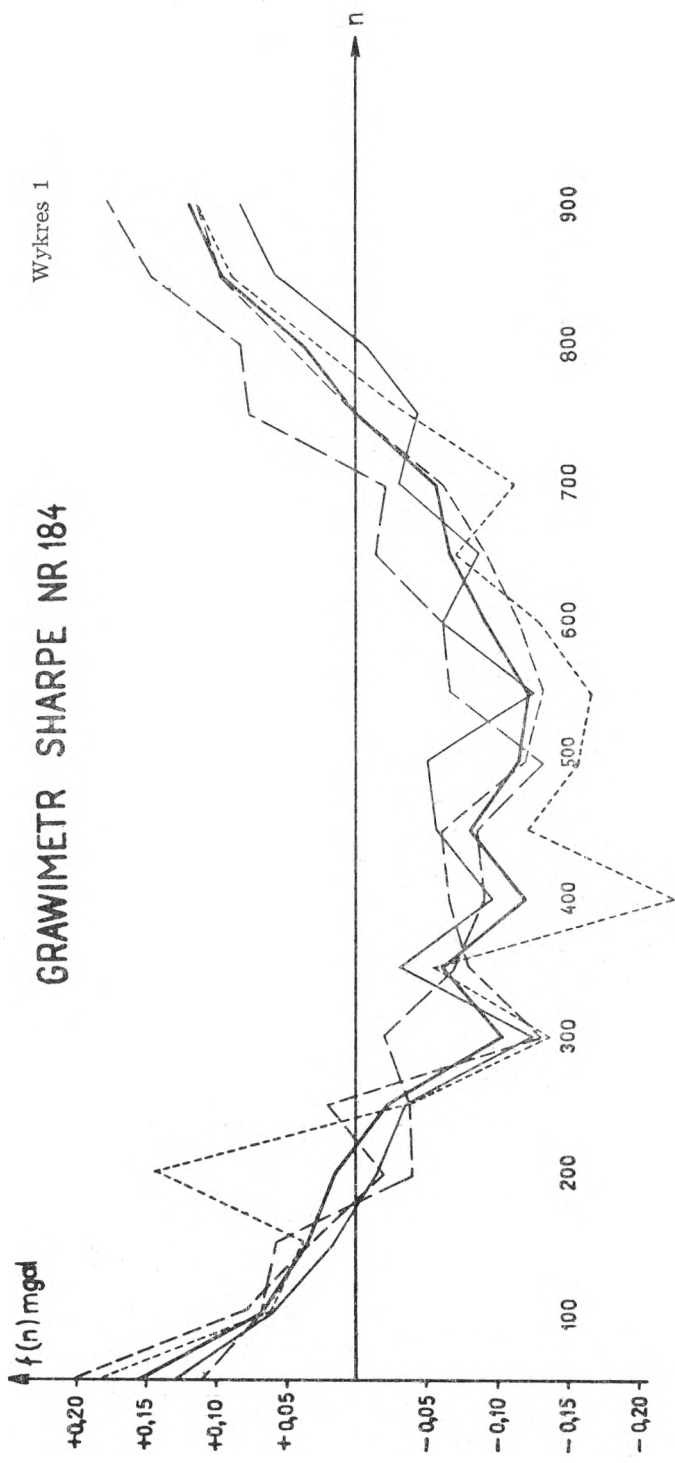
| Seria<br>$n$  | 13       |       | 14       |       | 16       |       | 17       |       | $f(n)$ | $Mf(n)$     |
|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|--------|-------------|
| hory-<br>zont | 940,55   | 0,18  | 944,27   | 0,14  | 949,45   | 0,12  | 945,95   | 0,19  |        |             |
| 900           |          |       |          |       |          | 0,08  |          | 0,15  | 0,115  | $\pm 0,035$ |
| 850           |          | 0,08  |          | 0,10  |          |       |          |       | 0,090  | 0,010       |
| 800           |          |       |          |       |          | 0,04  |          | 0,02  | 0,030  | 0,010       |
| 750           |          | -0,04 |          | -0,03 |          |       |          |       | -0,035 | 0,005       |
| 700           |          |       |          |       |          | -0,12 |          | -0,10 | -0,110 | 0,010       |
| 650           |          | -0,07 |          | -0,07 |          |       |          |       | -0,070 | 0,000       |
| 600           |          |       |          |       |          | -0,08 |          | -0,19 | -0,135 | 0,055       |
| 550           |          | -0,19 |          | -0,14 |          |       |          |       | -0,165 | 0,025       |
| 500           |          |       |          |       |          | -0,07 |          | -0,24 | -0,155 | 0,085       |
| 450           |          | -0,13 |          | -0,11 |          |       |          |       | -0,120 | 0,010       |
| 400           |          |       |          |       |          | -0,22 |          | -0,23 | -0,225 | 0,005       |
| 350           |          | -0,04 |          | -0,07 |          |       |          |       | -0,055 | 0,015       |
| 300           |          |       |          |       |          | -0,16 |          | -0,11 | -0,135 | 0,025       |
| 250           |          | -0,09 |          | 0,02  |          |       |          |       | -0,035 | 0,055       |
| 200           |          |       |          |       |          | 0,12  |          | 0,16  | 0,140  | 0,020       |
| 150           |          | 0,03  |          | 0,04  |          |       |          |       | 0,035  | 0,005       |
| 100           |          |       |          |       |          | 0,06  |          | 0,06  | 0,060  | 0,000       |
| 50            |          | 0,23  |          | 0,15  |          | 0,14  |          | 0,19  | 0,178  | 0,016       |
| $k$           | 0,120305 |       | 0,120273 |       | 0,120245 |       | 0,120159 |       |        |             |

Tablica 1d

## Wyniki cechowania grawimetru Sharpe nr 184

Warszawa,  $h = 110$  m,  $t = +5^{\circ}\text{C}$ 

| Seria $n$ | 7        |       | 8        |       | 9        |       | 10       |       | 11       |       | 12       |       | $f(n)$ | $Mf(n)$     |
|-----------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|--------|-------------|
| horyzont  | 951,27   | 0,00  | 964,03   | -0,03 | 965,50   | -0,09 | 959,33   | -0,07 | 965,77   | -0,04 | 966,23   | -0,07 | 0,176  | $\pm 0,009$ |
| 900       |          |       |          |       |          | 0,16  |          | 0,18  |          | 0,19  |          |       | 0,146  | 0,017       |
| 850       |          | 0,18  |          | 0,13  |          | 0,08  |          |       |          |       |          | 0,13  | 0,083  | 0,015       |
| 800       |          |       |          |       |          |       |          | 0,11  |          | 0,06  |          |       | 0,076  | 0,022       |
| 750       |          | 0,11  |          | 0,03  |          | 0,01  |          | -0,04 |          | -0,03 |          | 0,09  | -0,020 | 0,010       |
| 700       |          |       |          |       |          |       |          |       |          |       |          | 0,00  | -0,013 | 0,012       |
| 650       |          | -0,03 |          | -0,01 |          | -0,04 |          | -0,08 |          | -0,06 |          |       | -0,060 | 0,016       |
| 600       |          |       |          |       |          |       |          |       |          |       |          | -0,02 | -0,067 | 0,023       |
| 550       |          | -0,09 |          | -0,09 |          | -0,16 |          | -0,15 |          | -0,08 |          |       | -0,130 | 0,025       |
| 500       |          |       |          | -0,10 |          |       |          |       |          |       |          | -0,07 | -0,085 | 0,015       |
| 450       |          | —     |          |       |          | -0,04 |          | -0,10 |          | -0,13 |          |       | -0,090 | 0,024       |
| 400       |          |       |          |       |          |       |          |       |          |       |          | -0,09 | -0,070 | 0,020       |
| 350       |          | —     |          | -0,05 |          | -0,01 |          | -0,02 |          | -0,03 |          |       | -0,020 | 0,006       |
| 300       |          |       |          |       |          |       |          |       |          |       |          | -0,08 | -0,037 | 0,022       |
| 250       |          | -0,02 |          | -0,01 |          | 0,00  |          | -0,07 |          | -0,05 |          | 0,08  | -0,040 | 0,021       |
| 200       |          |       |          | 0,03  |          |       |          |       |          |       |          |       | 0,057  | 0,015       |
| 150       |          | 0,06  |          |       |          | 0,04  |          | 0,09  |          | 0,07  |          |       | 0,067  | 0,015       |
| 100       |          |       |          | 0,08  |          | 0,09  |          | 0,12  |          | 0,15  |          | 0,10  | 0,108  | 0,012       |
| 50        |          | —     |          |       |          |       |          |       |          |       |          |       |        |             |
| $k$       | 0,120181 |       | 0,120011 |       | 0,119926 |       | 0,120091 |       | 0,119986 |       | 0,119963 |       |        |             |



Wykres 1

# GRAWIMETR SHARPE NR 184

- I Warszawa,  $h=110\text{m}$ ,  $t=+20^\circ\text{C}$  (I+II)
- · - II Warszawa,  $h=110\text{m}$ ,  $t=+35^\circ\text{C}$
- Warszawa,  $h=110\text{m}$ ,  $t=+5^\circ\text{C}$
- wykres średni

Tablica 2b

## Wyniki cechowania gravimetru Sharpe nr 184

Kasprowy Wierch,  $k = 1989$  m,  $t = +20^{\circ}\text{C}$ 

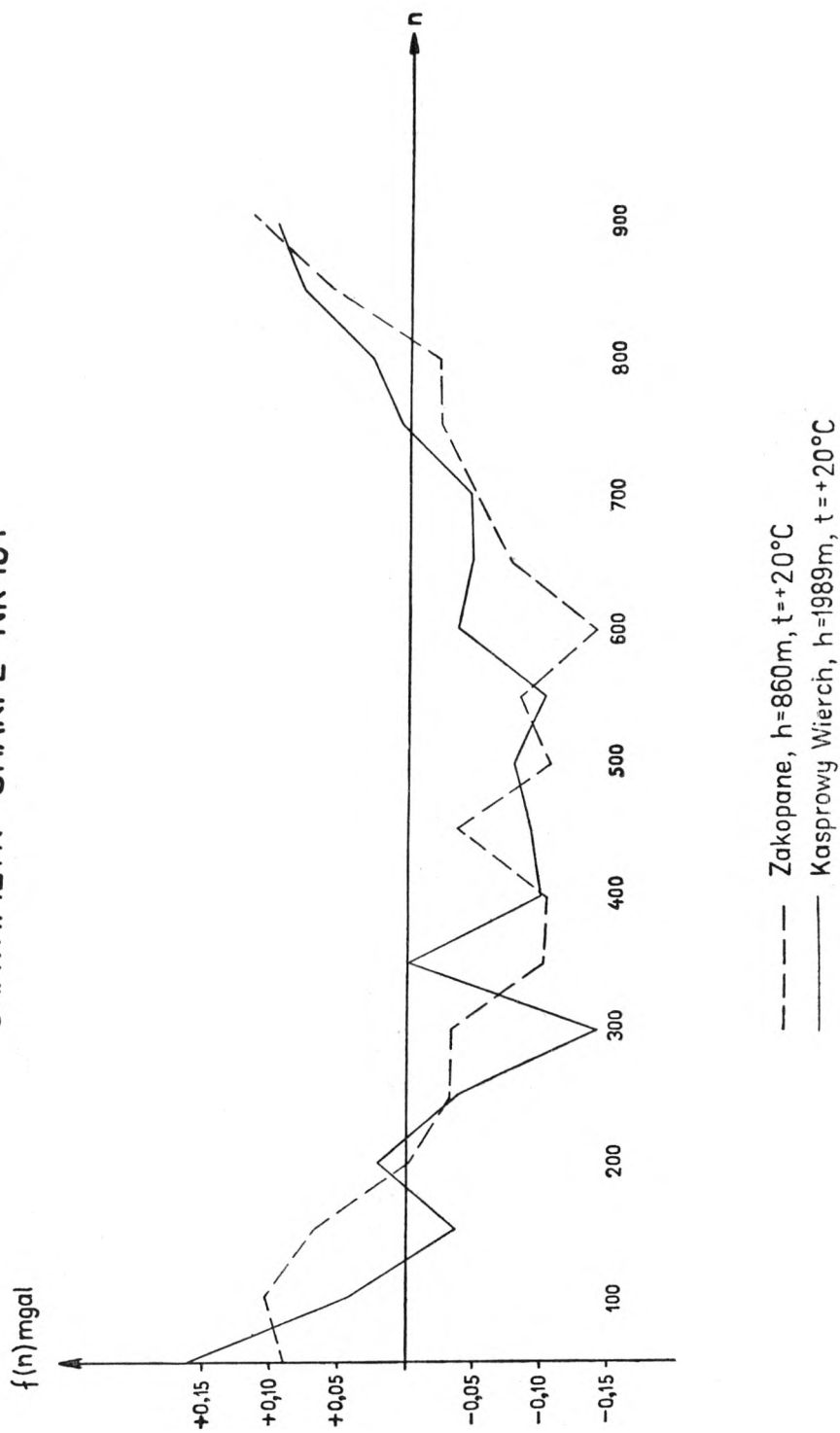
| Seria<br>$n$  | 32       | 33       | 34       | 35       | 36       | 37       | 38       | $f(n)$ | $Mf(n)$     |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|-------------|
| hory-<br>zont | 956,00   | 968,30   | 962,00   | 958,50   | 941,80   | 950,40   | 956,60   | 0,06   | $\pm 0,020$ |
| 900           | 0,02     | -0,02    | -0,01    | 0,02     | 0,17     | 0,16     | 0,10     | 0,100  | 0,078       |
| 850           | 0,10     | 0,10     | 0,14     | 0,07     | 0,06     | 0,05     |          | 0,078  | 0,013       |
| 800           |          |          |          | 0,04     |          |          | 0,04     | 0,027  | 0,013       |
| 750           | 0,03     | 0,04     | 0,00     |          | -0,02    | -0,03    |          | 0,005  | 0,017       |
| 700           |          |          | -0,07    | -0,03    |          |          | -0,04    | -0,047 | 0,012       |
| 650           | -0,04    | 0,01     | -0,01    | -0,04    | -0,08    | -0,08    |          | -0,048 | 0,021       |
| 600           |          |          |          |          |          |          | -0,06    | -0,037 | 0,015       |
| 550           | -0,09    | -0,08    | -0,07    | -0,04    | -0,14    | -0,10    |          | -0,102 | 0,013       |
| 500           |          |          |          |          |          |          | -0,09    | -0,080 | 0,010       |
| 450           | -0,08    | -0,09    | -0,06    | -0,12    | -0,11    | -        |          | -0,093 | 0,009       |
| 400           |          |          |          |          |          |          | -0,12    | -0,100 | 0,020       |
| 350           | -0,02    | 0,02     | -0,13    | -0,14    | -0,03    | 0,02     |          | -0,002 | 0,013       |
| 300           |          |          |          |          |          |          | -0,16    | -0,142 | 0,009       |
| 250           | -0,01    | -0,04    | 0,03     | -0,01    | -0,03    | -0,07    |          | -0,038 | 0,013       |
| 200           |          |          |          |          |          |          | 0,04     | 0,020  | 0,015       |
| 150           | -0,07    | -0,05    | 0,03     | 0,05     | -0,02    | -0,01    |          | -0,038 | 0,014       |
| 100           |          |          | 0,10     | 0,13     | 0,21     | 0,20     | 0,04     | 0,040  | 0,006       |
| 50            | 0,16     | 0,14     |          | 0,13     |          |          | 0,18     | 0,160  | 0,037       |
| $k$           | 0,120133 | 0,119972 | 0,120157 | 0,120158 | 0,120203 | 0,120090 | 0,120104 |        |             |

Zakopane, h = 860 m, t = + 20°C

| seria<br>n | 18       |       | 20       |       | 21       |       | 22       |      | 24       |      | 25       |       | 26       |      | 27       |      | 28       |      | 29       |      | 30       |      | 31       |        | f/n/   | Mf /n/ |
|------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|------|----------|------|----------|-------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|--------|--------|--------|
| horyzont   | 942,73   | 0,36  | 950,82   | 0,12  | 939,65   | 0,40  | 948,00   | 0,12 | 960,60   | 0,00 | 959,43   | -0,03 | 943,60   | 0,15 | 948,08   | 0,10 | 947,10   | 0,08 | 954,70   | 0,05 | 951,00   | 0,11 | 957,00   | 0,10   |        |        |
| 900        |          | 0,08  |          | 0,11  |          | 0,14  |          |      |          |      |          | 0,11  |          |      | 0,09     |      |          |      |          | 0,14 |          |      | 0,11     | 0,111  | ±0,009 |        |
| 850        |          |       |          |       |          |       | 0,08     |      | ---      |      |          |       | 0,00     |      |          |      | 0,04     |      |          |      | 0,10     |      |          | 0,055  | 0,022  |        |
| 800        |          | -0,07 |          | -0,02 |          | -0,08 |          |      |          |      |          | 0,02  |          |      | 0,00     |      |          |      | 0,01     |      |          |      | -0,02    | -0,023 | 0,015  |        |
| 750        |          |       |          |       |          |       | -0,02    |      | 0,00     |      |          |       | -0,07    |      |          |      | -0,01    |      |          |      | -0,02    |      |          | -0,024 | 0,012  |        |
| 700        |          | -0,09 |          | -0,04 |          | ---   |          |      |          |      |          | -0,01 |          |      | -0,05    |      |          |      | -0,05    |      |          |      | -0,06    | -0,050 | 0,011  |        |
| 650        |          |       |          |       |          |       | -0,07    |      | -0,06    |      |          |       | -0,08    |      |          |      | -0,08    |      |          |      | -0,09    |      |          | -0,076 | 0,005  |        |
| 600        |          | -0,17 |          | -0,13 |          | -0,16 |          |      |          |      |          | ---   |          |      | ---      |      |          |      | -0,12    |      |          |      | -0,12    | -0,140 | 0,011  |        |
| 550        |          |       |          |       |          |       | -0,11    |      | -0,07    |      |          |       | -0,06    |      |          |      | -0,06    |      |          |      | -0,12    |      |          | -0,084 | 0,013  |        |
| 500        |          | -0,18 |          | -0,14 |          | -0,14 |          |      |          |      |          | -0,06 |          |      | -0,09    |      |          |      | -0,05    |      |          |      | -0,08    | -0,106 | 0,013  |        |
| 450        |          |       |          |       |          |       | -0,02    |      | -0,07    |      |          |       | -0,04    |      |          |      | -0,03    |      |          |      | -0,03    |      |          | -0,038 | 0,003  |        |
| 400        |          | -0,14 |          | -0,10 |          | ---   |          |      |          |      |          | ---   |          |      | -0,09    |      |          |      | -0,11    |      |          |      | -0,08    | -0,104 | 0,010  |        |
| 350        |          |       |          |       |          |       | ---      |      | -0,06    |      |          |       | -0,10    |      |          |      | -0,12    |      |          |      | -0,13    |      |          | -0,102 | 0,016  |        |
| 300        |          | ---   |          | -0,03 |          | ---   |          |      |          |      |          | -0,01 |          |      | -0,06    |      |          |      | -0,01    |      |          |      | -0,06    | -0,034 | 0,011  |        |
| 250        |          |       |          |       |          |       | ---      |      | -0,02    |      |          |       | -0,02    |      |          |      | -0,05    |      |          |      | -0,05    |      |          | -0,035 | 0,009  |        |
| 200        |          | 0,01  |          | 0,00  |          | ---   |          |      |          |      |          | -0,07 |          |      | -0,01    |      |          |      | 0,02     |      |          |      | 0,04     | -0,002 | 0,015  |        |
| 150        |          |       |          |       |          |       | 0,04     |      | 0,09     |      |          |       | 0,01     |      |          |      | 0,11     |      |          |      | 0,09     |      |          | 0,068  | 0,018  |        |
| 100        |          | 0,15  |          | 0,15  |          | 0,15  |          |      |          |      |          | 0,06  |          |      | 0,06     |      |          |      | 0,08     |      |          |      | 0,07     | 0,103  | 0,017  |        |
| 50         |          | ---   |          | 0,06  |          | ---   |          |      |          | 0,04 |          | 0,07  |          | 0,12 |          | 0,15 |          | 0,06 |          | 0,08 |          | 0,13 | 0,09     | 0,089  | 0,012  |        |
| k          | 0,119933 |       | 0,120125 |       | 0,120007 |       | 0,120186 |      | 0,119907 |      | 0,120105 |       | 0,119935 |      | 0,119950 |      | 0,119966 |      | 0,120074 |      | 0,120091 |      | 0,120042 |        |        |        |

# GRAWIMETR SHARPE NR 184

Wykres 2



Tablica 2c

Wykaz wartości  $f(n)$  dla grawimetru Sharpe nr 184

| $n$ | $f(n)$ | $n$ | $f(n)$ | $n$ | $f(n)$ |
|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
| 900 | 0,117  | 600 | -0,091 | 300 | -0,098 |
| 850 | 0,088  | 550 | -0,112 | 250 | -0,026 |
| 800 | 0,027  | 500 | -0,106 | 200 | 0,014  |
| 750 | -0,003 | 450 | -0,076 | 150 | 0,028  |
| 700 | -0,053 | 400 | -0,113 | 100 | 0,068  |
| 650 | -0,064 | 350 | -0,056 | 50  | 0,144  |

Tablica 3a

Wyniki cechowania grawimetru Sharpe nr 135

Warszawa,  $h = 110$  m,  $t = +20^{\circ}\text{C}$ 

| Seria         | 6        |       | 7        |       | 8        |       | 9        |       | 10       |       | $f(n)$ | $Mf(n)$     |
|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|--------|-------------|
| hory-<br>zont | 961,32   | -0,05 | 968,40   | -0,09 | 972,03   | -0,06 | 971,32   | -0,11 | 974,53   | -0,10 |        |             |
| 900           |          | 0,04  |          |       |          | 0,03  |          | 0,04  |          |       | 0,036  | $\pm 0,011$ |
| 850           |          |       |          | 0,05  |          |       |          |       |          | 0,02  | 0,035  | 0,011       |
| 800           |          | 0,07  |          |       |          | 0,00  |          | 0,03  |          |       | 0,033  | 0,016       |
| 750           |          |       |          | 0,06  |          |       |          |       |          | 0,01  | 0,035  | 0,025       |
| 700           |          | -0,02 |          |       |          | 0,02  |          | 0,01  |          |       | 0,003  | 0,010       |
| 650           |          |       |          | 0,07  |          |       |          |       |          | 0,07  | 0,070  | 0,000       |
| 600           |          | -0,01 |          |       |          | -0,01 |          | -0,02 |          |       | -0,013 | 0,003       |
| 550           |          |       |          | -0,01 |          |       |          |       |          | —     | -0,010 | 0,000       |
| 500           |          | -0,02 |          |       |          | -0,03 |          | 0,03  |          |       | -0,007 | 0,015       |
| 450           |          |       |          | -0,05 |          |       |          |       |          | -0,01 | -0,030 | 0,020       |
| 400           |          | 0,02  |          |       |          | 0,08  |          | 0,01  |          |       | 0,036  | 0,022       |
| 350           |          |       |          | -0,03 |          |       |          |       |          | -0,04 | -0,035 | 0,005       |
| 300           |          | —     |          |       |          | -0,02 |          | 0,02  |          |       | 0,000  | 0,020       |
| 250           |          |       |          | 0,01  |          |       |          |       |          | 0,03  | 0,020  | 0,010       |
| 200           |          | 0,09  |          |       |          | 0,04  |          | 0,01  |          |       | 0,046  | 0,023       |
| 150           |          |       |          | -0,04 |          |       |          |       |          | -0,02 | -0,030 | 0,010       |
| 100           |          | -0,05 |          | 0,05  |          | -0,02 |          | -0,02 |          |       | -0,010 | 0,018       |
| 50            |          | —     |          |       |          | -0,05 |          | -0,06 |          | -0,04 | -0,050 | 0,010       |
| $k$           | 0,109421 |       | 0,109552 |       | 0,109490 |       | 0,109526 |       | 0,109593 |       |        |             |

# GRAWIMETR SHARPE NR184

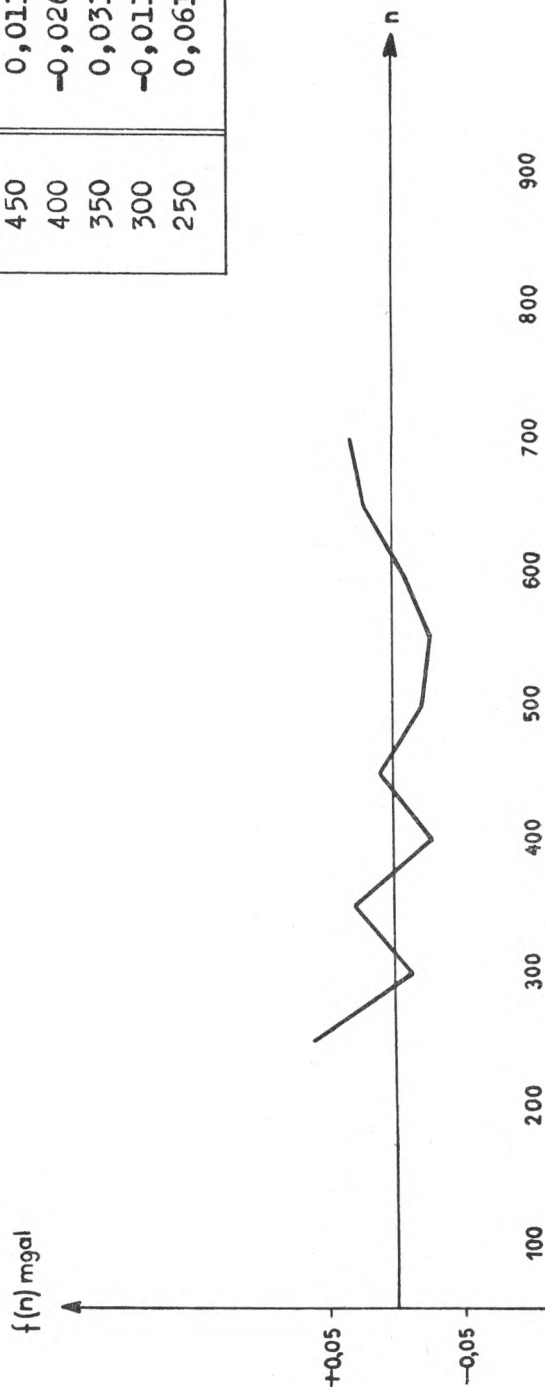
Wykres 3

Wykres ogólny



# GRAWIMETR SHARPE NR 184

Wartość funkcji  $f(n)$  przy ograniczeniu zakresu  
grawimetru



| $n$ | $f(n)$ |
|-----|--------|
| 700 | 0,034  |
| 650 | 0,023  |
| 600 | -0,004 |
| 550 | -0,025 |
| 500 | -0,019 |
| 450 | 0,011  |
| 400 | -0,026 |
| 350 | 0,031  |
| 300 | -0,011 |
| 250 | 0,061  |

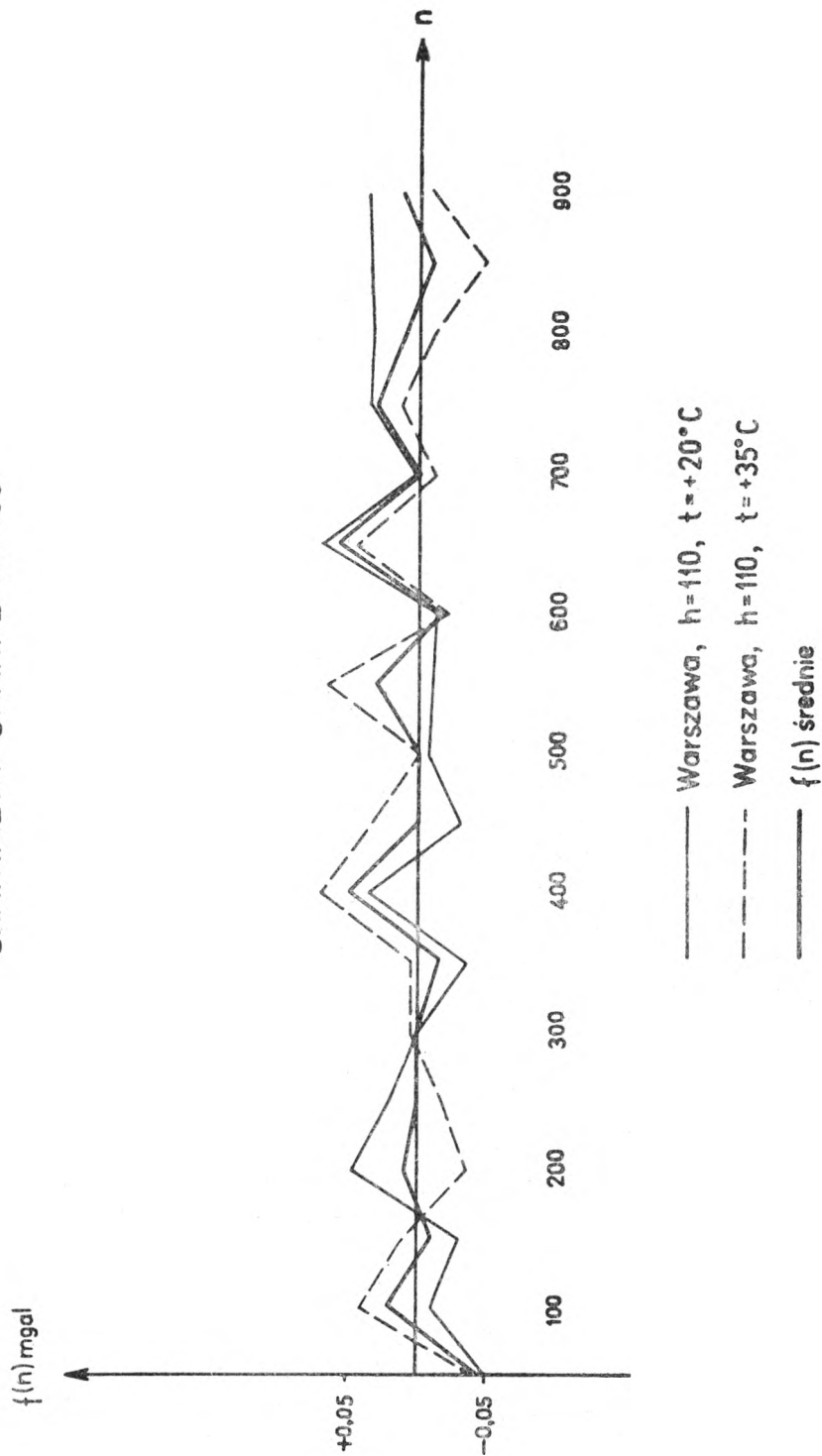
Tablica 3b

## Wyniki cechowania grawimetru Sharpe nr 135

Warszawa,  $h = 110$  m,  $t = +35^{\circ}\text{C}$ 

| Seria<br>$n$  | 1        |       | 2        |       | 3        |       | 4        |       | 5        |       | $f(n)$ | $Mf(n)$     |
|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|--------|-------------|
| hory-<br>zont | 935,40   | 0,00  | 934,60   | 0,04  | 931,73   | 0,02  | 930,10   | -0,10 | 929,23   | -0,05 |        |             |
| 900           |          |       |          | -0,02 |          | 0,00  |          |       |          |       | -0,010 | $\pm 0,007$ |
| 850           |          | -0,01 |          |       |          |       |          | -0,06 |          | -0,07 | -0,047 | 0,018       |
| 800           |          |       |          | 0,02  |          | -0,04 |          |       |          |       | -0,010 | 0,022       |
| 750           |          | 0,02  |          |       |          |       |          | 0,03  |          | 0,02  | 0,023  | 0,003       |
| 700           |          |       |          | -0,02 |          | 0,00  |          |       |          |       | -0,010 | 0,007       |
| 650           |          | 0,01  |          |       |          |       |          | 0,06  |          | 0,07  | 0,046  | 0,018       |
| 600           |          |       |          | —     |          | -0,02 |          |       |          |       | -0,020 | 0,000       |
| 550           |          | 0,09  |          |       |          |       |          | 0,08  |          | 0,03  | 0,066  | 0,015       |
| 500           |          |       |          | 0,05  |          | -0,05 |          |       |          |       | 0,000  | 0,050       |
| 450           |          | 0,02  |          |       |          |       |          | 0,08  |          | 0,00  | 0,033  | 0,020       |
| 400           |          |       |          | 0,07  |          | —     |          |       |          |       | 0,070  | 0,000       |
| 350           |          | —     |          |       |          |       |          | -0,01 |          | 0,02  | 0,005  | 0,011       |
| 300           |          |       |          | -0,01 |          | 0,02  |          |       |          |       | 0,005  | 0,011       |
| 250           |          | -0,04 |          |       |          |       |          | 0,01  |          | -0,02 | -0,017 | 0,010       |
| 200           |          |       |          | -0,03 |          | -0,04 |          |       |          |       | -0,035 | 0,007       |
| 150           |          | —     |          |       |          |       |          | 0,02  |          | 0,00  | 0,010  | 0,007       |
| 100           |          |       |          | —     |          | 0,04  |          |       |          |       | 0,040  | 0,000       |
| 50            |          | 0,01  |          | —     |          | -0,07 |          | —     |          | -0,06 | -0,040 | 0,019       |
| $k$           | 0,109770 |       | 0,109585 |       | 0,109614 |       | 0,109927 |       | 0,109675 |       |        |             |

# GRAWIMETR SHARPE NR 135



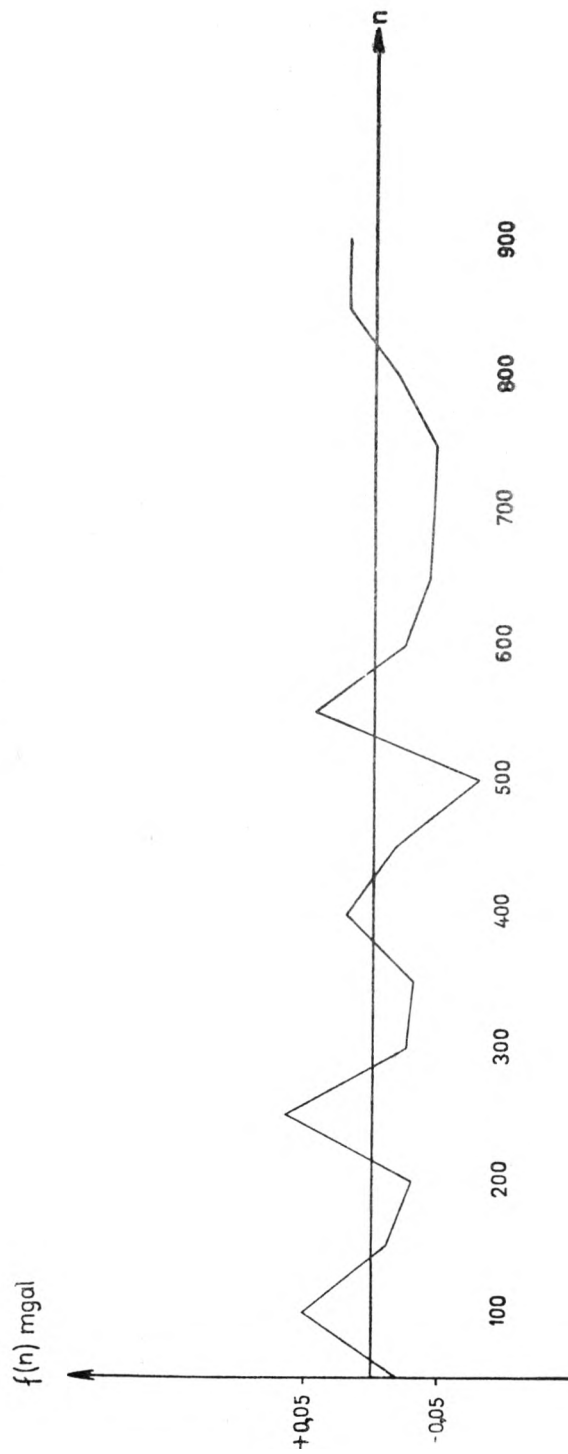
Tablica 3c

## Wyniki cechowania grawimetru Sharpe nr 182

Warszawa,  $h = 110$  m,  $t = +20^{\circ}\text{C}$ 

| Seria<br>$n$  | 1        |       | 2        |       | 3        |       | 4        |       | 5        |       | $f(n)$ | $Mf(n)$     |
|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|--------|-------------|
| hory-<br>zont | 952,60   | -0,03 | 951,40   | 0,03  | 950,90   | 0,01  | 950,30   | 0,04  | 950,60   | —     |        |             |
| 900           |          |       |          |       |          | 0,01  |          | 0,04  |          | 0,01  | 0,020  | $\pm 0,010$ |
| 850           |          | 0,04  |          | 0,00  |          |       |          |       |          |       | 0,020  | 0,020       |
| 800           |          |       |          |       |          | -0,01 |          | -0,02 |          | -0,02 | -0,017 | 0,003       |
| 750           |          | -0,03 |          | -0,06 |          |       |          |       |          |       | -0,045 | 0,015       |
| 700           |          |       |          |       |          | -0,02 |          | -0,03 |          | -0,08 | -0,043 | 0,019       |
| 650           |          | -0,03 |          | -0,05 |          |       |          |       |          |       | -0,040 | 0,010       |
| 600           |          |       |          |       |          | 0,01  |          | -0,04 |          | -0,04 | -0,023 | 0,017       |
| 550           |          | 0,06  |          | 0,03  |          |       |          |       |          |       | 0,045  | 0,015       |
| 500           |          |       |          |       |          | -0,10 |          | -0,08 |          | -0,05 | -0,077 | 0,014       |
| 450           |          | -0,02 |          | -0,01 |          |       |          |       |          |       | -0,015 | 0,005       |
| 400           |          |       |          |       |          | —     |          | 0,01  |          | 0,03  | 0,020  | 0,010       |
| 350           |          | 0,00  |          | -0,06 |          |       |          |       |          |       | -0,030 | 0,030       |
| 300           |          |       |          |       |          | -0,03 |          | -0,02 |          | —     | -0,025 | 0,005       |
| 250           |          | 0,07  |          | 0,06  |          |       |          |       |          |       | 0,065  | 0,005       |
| 200           |          |       |          |       |          | -0,05 |          | -0,01 |          | —     | -0,030 | 0,020       |
| 150           |          | 0,00  |          | -0,02 |          |       |          |       |          |       | -0,010 | 0,010       |
| 100           |          |       |          |       |          | 0,04  |          | 0,06  |          | —     | 0,050  | 0,010       |
| 50            |          | -0,05 |          | -0,01 |          | -0,01 |          | 0,00  |          | —     | -0,018 | 0,008       |
| $k$           | 0,104555 |       | 0,104498 |       | 0,104480 |       | 0,104400 |       | 0,104724 |       |        |             |

## GRAWIMETR SHARPE NR 182



— Warszawa,  $h=110m$ ,  $t=+20^\circ C$

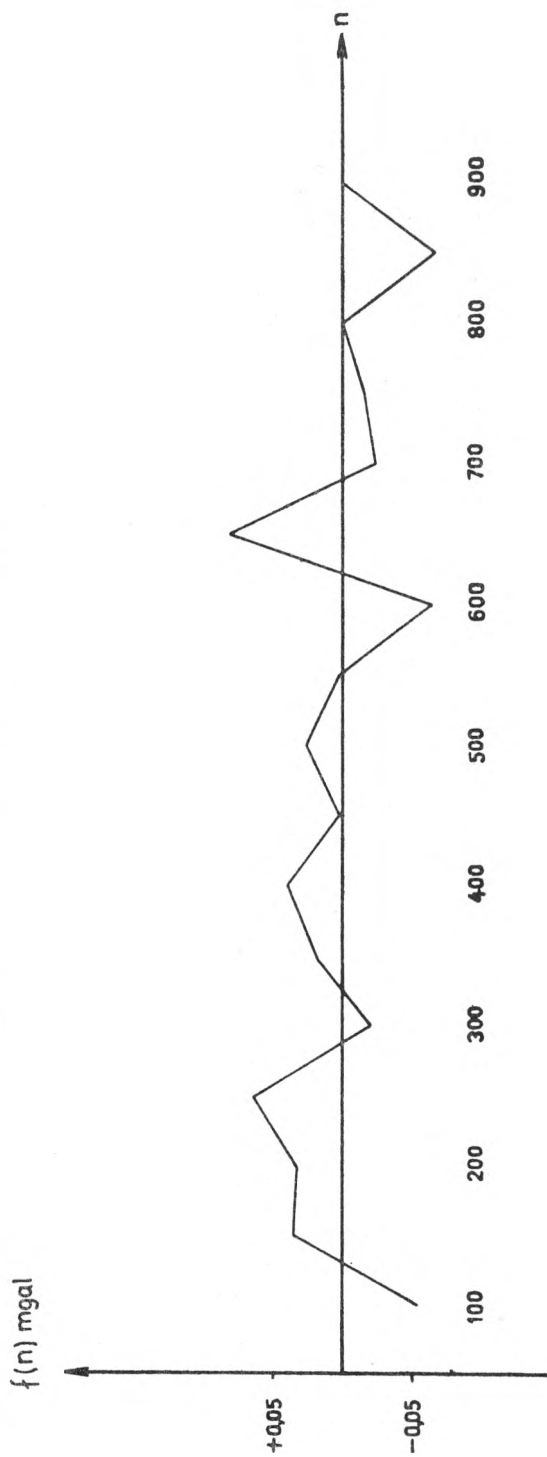
Tablica 3d

## Wyniki cechowania grawimetru Sharpe nr 233

Warszawa,  $h = 110$  m,  $t = +20^{\circ}\text{C}$ 

| Seria<br>$n$  | 1        |       | 2        |       | 3        |       | 4        |       | 5        |       | $f(n)$ | $Mf(n)$     |
|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|--------|-------------|
| hory-<br>zont | 923,63   | 0,02  | 926,66   | 0,01  | 927,13   | 0,02  | 927,00   | -0,01 | 925,63   | -0,01 |        |             |
| 900           |          | 0,03  |          | 0,00  |          | -0,02 |          |       |          |       | 0,003  | $\pm 0,013$ |
| 850           |          |       |          |       |          |       | -0,07    |       | -0,06    |       | -0,065 | 0,005       |
| 800           |          | -0,01 |          | 0,00  |          | 0,01  |          |       |          |       | 0,000  | 0,006       |
| 750           |          |       |          |       |          |       | -0,04    |       | 0,01     |       | -0,015 | 0,018       |
| 700           |          | -0,05 |          | -0,01 |          | -0,01 |          |       |          |       | -0,023 | 0,013       |
| 650           |          |       |          |       |          |       | 0,09     |       | 0,07     |       | 0,080  | 0,007       |
| 600           |          | -0,10 |          | -0,06 |          | -0,03 |          |       |          |       | -0,063 | 0,020       |
| 550           |          |       |          |       |          |       | 0,03     |       | -0,02    |       | 0,003  | 0,023       |
| 500           |          | 0,03  |          | 0,04  |          | 0,01  |          |       |          |       | 0,026  | 0,009       |
| 450           |          |       |          |       |          |       | 0,03     |       | -0,02    |       | 0,003  | 0,023       |
| 400           |          | 0,02  |          | 0,07  |          | 0,03  |          |       |          |       | 0,040  | 0,015       |
| 350           |          |       |          |       |          |       | 0,00     |       | 0,04     |       | 0,020  | 0,020       |
| 300           |          | 0,00  |          | -0,06 |          | 0,00  |          |       |          |       | -0,020 | 0,020       |
| 250           |          |       |          |       |          |       | 0,03     |       | 0,10     |       | 0,065  | 0,035       |
| 200           |          | 0,00  |          | 0,03  |          | 0,07  |          |       |          |       | 0,033  | 0,020       |
| 150           |          |       |          |       |          |       | -0,01    |       | 0,08     |       | 0,035  | 0,036       |
| 100           |          | 0,00  |          | -0,02 |          | -0,06 | -0,08    |       | —        |       | -0,053 | 0,020       |
| $k$           | 0,099140 |       | 0,099019 |       | 0,099016 |       | 0,098959 |       | 0,099055 |       |        |             |

# GRAWIMETR SHARPE NR 233



— Warszawa, h=110 m, t=+20°C

Tablica 4

Zestawienie wyników cechowania grawimetrów prospekcyjnych w 1970 r.

| Warunki obserwacji                              | Oznaczenia          | Jednostki | Numery grawimetrów typu Sharpe |                         |                         |                         |                         |
|-------------------------------------------------|---------------------|-----------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                                 |                     |           | 135                            | 182                     | 184                     |                         | 233                     |
| $h = 110 \text{ m}$<br>$t = +20^\circ\text{C}$  | $k$                 | mgal/dz.  | 0,109516                       | 0,104531                | I<br>0,120146           | II<br>0,120128          | 0,099038                |
|                                                 | $\frac{M_k}{k}$     | mgal/dz.  | $\pm 29 \times 10^{-6}$        | $\pm 54 \times 10^{-6}$ | $\pm 17 \times 10^{-6}$ | $\pm 14 \times 10^{-6}$ | $\pm 30 \times 10^{-6}$ |
|                                                 | $\frac{M_k}{k}$     | —         | $\pm 26 \times 10^{-5}$        | $\pm 52 \times 10^{-5}$ | $\pm 14 \times 10^{-5}$ | $\pm 12 \times 10^{-5}$ | $\pm 30 \times 10^{-5}$ |
|                                                 | $Mf(n)_{\text{sr}}$ | mgal      | $\pm 0,013$                    | $\pm 0,012$             | $\pm 0,007$             | $\pm 0,010$             | $\pm 0,018$             |
| $h = 110 \text{ m}$<br>$t = +35^\circ\text{C}$  | $k$                 | mgal/dz.  | 0,109714                       |                         | 0,120245                |                         |                         |
|                                                 | $\frac{M_k}{k}$     | mgal/dz.  | $\pm 62 \times 10^{-6}$        |                         | $\pm 31 \times 10^{-6}$ |                         |                         |
|                                                 | $\frac{M_k}{k}$     | —         | $\pm 56 \times 10^{-5}$        |                         | $\pm 26 \times 10^{-5}$ |                         |                         |
|                                                 | $Mf(n)_{\text{sr}}$ | mgal      | $\pm 0,012$                    |                         | $\pm 0,021$             |                         |                         |
| $h = 110 \text{ m}$<br>$t = +5^\circ\text{C}$   | $k$                 | mgal/dz.  |                                |                         | 0,120026                |                         |                         |
|                                                 | $\frac{M_k}{k}$     | mgal/dz.  |                                |                         | $\pm 27 \times 10^{-6}$ |                         |                         |
|                                                 | $\frac{M_k}{k}$     | —         |                                |                         | $\pm 22 \times 10^{-5}$ |                         |                         |
|                                                 | $Mf(n)_{\text{sr}}$ | mgal      |                                |                         | $\pm 0,017$             |                         |                         |
| $h = 860 \text{ m}$<br>$t = +20^\circ\text{C}$  | $k$                 | mgal/dz.  |                                |                         | 0,120035                |                         |                         |
|                                                 | $\frac{M_k}{k}$     | mgal/dz.  |                                |                         | $\pm 24 \times 10^{-6}$ |                         |                         |
|                                                 | $\frac{M_k}{k}$     | —         |                                |                         | $\pm 20 \times 10^{-5}$ |                         |                         |
|                                                 | $Mf(n)_{\text{sr}}$ | mgal      |                                |                         | $\pm 0,013$             |                         |                         |
| $h = 1989 \text{ m}$<br>$t = +20^\circ\text{C}$ | $k$                 | mgal/dz.  |                                |                         | 0,120117                |                         |                         |
|                                                 | $\frac{M_k}{k}$     | mgal/dz.  |                                |                         | $\pm 28 \times 10^{-6}$ |                         |                         |
|                                                 | $\frac{M_k}{k}$     | —         |                                |                         | $\pm 23 \times 10^{-5}$ |                         |                         |
|                                                 | $Mf(n)_{\text{sr}}$ | mgal      |                                |                         | $\pm 0,015$             |                         |                         |

