

## PODSTAWOWA SIEĆ GRAWIMETRYCZNA POLSKI I RZĘDU

Ze względu na szybki rozwój w Polsce w latach powojennych badań grawimetrycznych dla potrzeb geologii oraz geodezji powstała potrzeba ujednoczenia poziomu odniesienia sieci pomiarowych dla obszaru całego kraju. Dotychczas pomiary grawimetryczne na obszarze Polski były bowiem wykonywane w różnych okresach z różną dokładnością, w nawiązaniu do różnych punktów wahadłowych jako poziomów odniesienia poszczególnych sieci lokalnych. W celu umożliwienia późniejszego powiązania istniejących sieci i dokonania przeliczenia wyników pomiarów grawimetrycznych do jednego wspólnego poziomu. Zakład Geofizyki IG przystąpił do sporządzenia podstawowej sieci grawimetrycznej Polski I i II rzędu.

Prace związane z opracowaniem sieci rozpoczęto na polecenie Centralnego Urzędu Geologii w 1953 r.,

a jako podstawę ich realizacji w terenie stanowiło opracowanie Z. Kaczkowskiej z 1953 r. „Założenia projektowe do planu technicznego sieci punktów bazowych grawimetrycznych I i II rzędu na obszarze Polski”. W założeniach projektowych uwzględniono również potrzeby geodezji. Stabilizację punktów sieci I rzędu wykonano w latach 1954—55. Zgodnie z uchwałą Komisji Współpracy Naukowo-Technicznej Polski i Węgier z 1954 r. rozpoczęcie pomiarów terenowych przy użyciu grawimetru Heilanda, sprowadzonego z Węgier wraz z załogą, zaplanowano na lato 1955 r. Wskutek powstałych trudności postanowienia te nie zostały zrealizowane. Wobec czego wykorzystano istniejące w tym czasie możliwości sprowadzenia do Polski precyzyjnych grawimetrów Gs 11 z NRF. Pod kierownictwem J. Skorupy przeprowadzono wstępne badania grawimetru

Askania Gs 11 nr 95, którym pomierzono całą sieć. Pomiaru terenowe sieci grawimetrycznej I rzędu w latach 1956–57 wykonali pracownicy Zakładu Geofizyki IG Z. Kaczkowska i W. Bujnowski oraz grupa terenowa PPG pod kierownictwem J. Grzywacza. Przewóz aparatury i personelu pomiarowego odbywał się za pomocą samolotów. Nawiazania punktów pośrednich obranych czasowo na lotniskach z właściwymi zastabilizowanymi w postaci płyt betonowych oraz nawiazania punktów sieci I rzędu (płyt betonowych) i sieci wahadłowej wykonał w 1958 r. W. Bujnowski grawimetrem Askania Gs 11 nr 125. Obliczenia i wyrównanie sieci wykonali w 1959 r. E. Bronowska i autor artykułu.

Stabilizacja punktów grawimetrycznych sieci I rzędu miała na celu w trwały sposób zaznaczyć w terenie stanowiska pomiarowe, na których przez długi okres czasu wykonywane będą obserwacje grawimetryczne. Miejsca na punkty pomiarowe były wybierane w odpowiednim oddaleniu od arterii komunikacyjnych oraz tak, aby w pobliżu punktów nie zachodziły przez kilkadziesiąt lat większe zmiany w rozkładzie mas wskutek wznoszenia wielopiętrowych budynków i dużych robót ziemnych, mogących mieć wpływ na wartość siły ciężkości. Punkty pomiarowe wybudowano w postaci słupów betonowych 1,5 m wysokości o przekroju 0,6 m × 0,6 m wmurowanych w ziemię wraz ze znakiem metalowym. Przykryto je odpowiednio odizolowaną płytą betonową o wymiarach 3 × 3 m. Po raz pierwszy w tak solidny sposób przygotowano 21 trwałych punktów sieci dla przyszłych badań grawimetrycznych, wraz ze szczegółową dokumentacją geodezyjną, która określa dokładną ich lokalizację.



Ryc. 1. Pomiaru grawimetrem Askania GS-11.  
Fig. 1. Measurements by means of gravimeter of Askania GS-11 type

Całą sieć pomierzono jednym grawimetrem Askania Gs 11 nr 95, który przed rozpoczęciem prac w terenie był poddany możliwie dokładnym badaniom mikroskopu, mikrometru, galwanometru, zachowania się aparatu pod wpływem zmiany ciśnienia i innym.

Stwierdzono w aparacie run mikrometru wynoszący maksymalnie + 0,09 mgal.

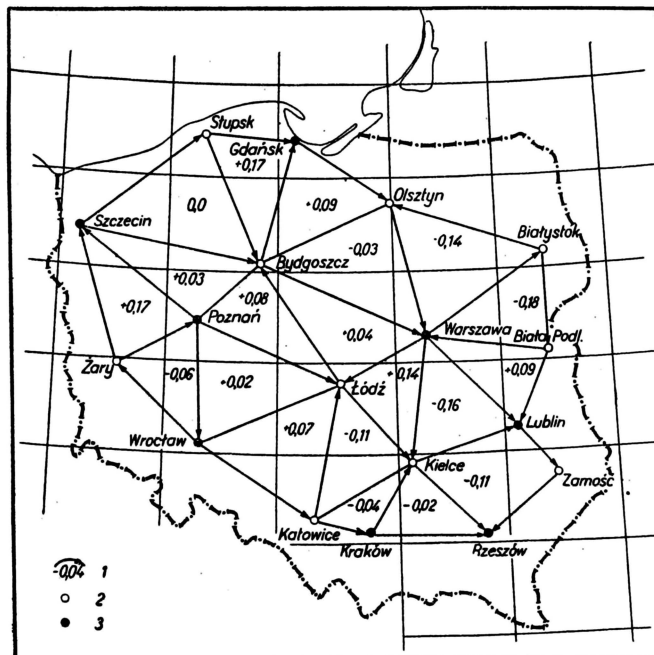
Stosowano stopień termostatyizacji grawimetru 40° dla pomiarów całej sieci.

Szczególnie dokładnym badaniom poddano grawimetr dla sprawdzenia jego szczególności oraz zachowanie się pod wpływem zmiany ciśnienia. Należało mieć pewność, że zmiany ciśnienia występujące przy transporcie lotniczym nie będą miały wpływu na dokładność pomiarów.

Badania takie przeprowadzono w komorze niskich ciśnień w warunkach takich, jakie odpowiadają przelotowi samolotu na wysokości 2000 m. Tylko raz, kiedy grawimetr był otwierany w związku z naprawą systemu aretażu, badania wykazały jego nieuszczelnienie, co następnie zostało usunięte.

Sieć utworzona jest z 18 punktów pomiarowych, rozłożonych możliwie regularnie na obszarze całego kraju, połączonych 37 przesłami, które tworzą 20 zamkniętych figur. Z chwilą rozpoczęcia pomiarów sieci wykonywano na trasie pomiarowej 3 przeloty następujące kolejno po sobie. Praktyka jednak wykazała, że wiele obserwacji obciążone jest grubymi błędami z powodu pojawienia się częstych skoków grawimetru. Wobec tego zwiększono do 5 ilość przelotów między dwoma mierzonymi punktami według schematu: A — B — A — B — A itd. Obserwacje punktu pomiarowego zawierały: 4 odczyty galwanometru, 8 odczytów mikrometru, sprawdzenie wskazania zerowego galwanometru oraz rejestrację czasu początku i końca pomiaru.

Cechowania grawimetru użytego do pomiarów jak i cechowania sieci początkowo zamierzano dokonać przez porównanie wyników pomiarów sieci I rzędu w odniesieniu do wyników pomiarów wahadłowych z okresu przedwojennego jak i wojennego, których duża ilość była wykonana na obszarze kraju. Jednak w okresie pomiarów sieci I rzędu Instytut Geodezji i Kartografii opracował nową stosunkowo dokładną podstawową sieć wahadłową, której punkty pomiarowe leżały bardzo blisko punktów sieci grawimetrycznej I rzędu. Wykonane nawiazanie obu



Ryc. 2. Podstawowa sieć grawimetryczna Polski I rzędu.

1 — zamknięcia figur (mgal), 2 — punkty sieci grawimetrycznej I rzędu, 3 — punkty wspólnych nawizań sieci grawimetrycznej I rzędu i sieci wahadłowej

Fig. 2. First-order base gravimetric network of Poland

1 — closing of figures (mgal), 2 — points of first-order gravimetric network, 3 — points of common closures of first-order gravimetric network with the pendulum network

sieci umożliwiło dokładnie wycechować grawimetr i zapewnić dla podstawowej sieci grawimetrycznej Polski I rzędu bardziej poprawną wartość „mili-gala”.

Badania dotyczące cechowania grawimetru Askania Gs 11 nr 95 wykonał Zakład Geofizyki IG dwiema metodami:

- 1) za pomocą wbudowanej do aparatu kontrolnej masy komparacyjnej w postaci kuleczki,
- 2) przez porównanie wyników na wspólnych 16 przyrostach  $\Delta g$  sieci grawimetrycznej I rzędu i wahadłowej.

W nr 4 „Przeglądu Geologicznego” z 1960 r. omówiono w sposób wyczerpujący obie metody z podaniem wzorów i wyników obserwacji grawimetru Askania Gs 11 nr 95. Uzyskane rezultaty cechowania aparatu na wspólnych przyrostach  $\Delta g$  sieci grawimetrycznej I rzędu i wahadłowej przyjęto ostatecznie za obowiązujące. Wynikowa dokładność wyznaczenia czynnika skalowego w odniesieniu do sieci grawimetrycznej I rzędu wynosi 0,4‰. Rezultat ten mieści się w granicach tolerancji ustalonej przez Specjalną Grupę Badań nr 5 Międzynarodowej Komisji Grawimetrycznej dla „Światowej sieci absolutnej i pierwszego rzędu” — (dokładność nie niższa niż 0,5‰).

Wykonywane w Polsce w ostatnich latach pomiary i obliczenia grawimetryczne oparte były na wartości przyspieszenia siły ciężkości punktu podstawowego w Warszawie: Warszawa, ul. Elekoralna 2 G.U.M. słup nr 1  $\varphi = 52^{\circ}14,6$   $\lambda = 21^{\circ}00,2$   $H = 111,4$  m  $g = 981240,0 \pm 0,2$  mgal.

Wartość tę określił prof. S. Pawłowski w 1952 r. jako najprawdopodobniejszą, wykorzystując wszystkie wyniki nawiązań do systemu poczdamskiego. Poziom ten przyjęto do obliczeń wartości  $g$  podstawowej sieci grawimetrycznej Polski I rzędu. Nowsze nawiązania wykonane po 1956 r. (bezpośrednio Warszawa — Poczdam) wykazały, że przyjęty poziom Warszawy należałoby nieznacznie obniżyć. Ze względu na włączenie tych nawiązań do sieci międzynarodowej zachodzi potrzeba wprowadzenia poprawki do wartości absolutnej siły ciężkości Warszawy.

Graficzne przedstawienie dryftu grawimetru w zależności od czasu, w jakim następowały kolejno po sobie pomiary, niejednokrotnie ułatwiło wyeliminowanie stwierdzonych skoków aparatu.

Ze względu na przyjętą łańcuchową metodę pomiarów oraz na sprowadzenie obliczeń przyrostów  $\Delta g$  do wspólnego czasu dla mierzonych dwu punktów, nie zachodziła potrzeba uwzględnienia poprawki na przyciąganie mas Słońca i Księżycy.

Uzyskane z pomiarów niedomknięcia figur uwidocznione są na załączonym szkicu sieci.

Szczególną trudność przy wyrównaniu sieci jako niezależnej stanowiło prawidłowe określenie rzeczywistych wag  $p$  dla poszczególnych przęseł, gdyż wyniki pomiarów nie są równoważne pod względem dokładności. Po przeanalizowaniu materiału przyjęto dla określenia wag założenie, iż są one proporcjonalne do ilości określonych różnic  $\Delta g$ . Dla przęsia mającego czterokrotnie określony przyrost  $\Delta g$  przyjęto wagę równą 1. Dalsze obliczenia wykonano z zastosowaniem rachunku krakowianowego zgodnie z regułami spostrzeżeń pośrednich. Średni błąd spostrzeżenia  $m_0$  przyrostu  $\Delta g$  o wadze  $p = 1$  obliczonej po wyrównaniu sieci grawimetrycznej I rzędu wynosi  $m_0 = \pm 0,068$  mgal.

Wyznaczona odwrotność pierwiastka krakowianowego pozwoliła określić błędy  $m_g$  poszczególnych punktów pomiarowych w stosunku do poziomu odniesienia Warszawy. Są one zawarte w granicach  $\pm 0,04$  mgal —  $0,07$  mgal, jeśli nie bierze się pod uwagę błędu jednostki skali. Punkty o położeniu centralnym wewnątrz sieci są obciążone błędem od  $\pm 0,04$  mgal do  $\pm 0,05$  mgal, natomiast zewnętrzne od  $\pm 0,05$  mgal do  $\pm 0,07$  mgal.

Zakład Geofizyki IG sporządzając podstawową sieć grawimetryczną Polski I rzędu oraz będącą w trakcie opracowania sieć II rzędu jest pierwszą instytucją ujmującą na obszarze całego kraju w jednolitą całość pomiary grawimetryczne zarówno istniejące, jak i wykonywane na bieżąco. Ze względu na zastosowanie nowoczesnych dokładnych grawimetrów Askania Gs 11 oraz szybkich środków transportu w postaci samolotów uzyskano stosunkowo wysoką dokładność określenia wartości siły ciężkości w punktach pomiarowych. Czynniki skalowy grawimetru wyznaczano na podstawie najnowszych pomiarów wahadłowych i przy zastosowaniu oryginalnej ścisłej metody obliczeń. Ze względu na stosunkowo dokładne wyniki pomiaru oraz użycie

nowoczesnych środków technicznych dla wykonania zadań terenowych wydaje się, że podstawowa sieć grawimetryczna Polski I rzędu odpowiada aktualnym wymaganiom, jakie są stawiane przed nowoczesnymi pomiarami sieci grawimetrycznych.

## LITERATURA

1. Bokun J. — Baza grawimetryczna Gdańsk — Kasprowy Wierch. „Prace IG i Kartografii” 1957 nr 2.
2. Bokun J., Bujnowski W. — Nouveau réseau gravimétrique fondamental de la Pologne. (Comm. présenté à la Commission Gravimétrique Internationale — Paris 1959).
3. Bujnowski W. — Réseau fondamental gravimétrique de 1-er ordre de la Pologne — Varsovie 1960. (Comm. présenté à la Douzième Assemblée Générale de l'Association de Géodésie de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale Helsinki, 26 juillet — 6 août 1960).
4. Hausbrandt St. — Rachunki geodezyjne. Warszawa 1953.
5. Martin J. — Étalonnage de gravimètres sur les bases pendulaires européennes. Paris 1955.
6. Pawłowski S. — Kilka zagadnień geofizycznych w Polsce. Biul. PIG. Warszawa 1952.
7. Ząbek Z., Dobaczewska W. — Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach bazy grawimetrycznej. „Prace IG i K”. 1957, nr 2.
8. Ząbek Z., Dobaczewska W. — Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach zachodniej części sieci wahadłowej w Polsce. „Prace IG i K”. 1959, nr 2.
9. Ząbek Z., Dobaczewska W. — Pomiary aparatem czterowahadłowym na punktach wschodniej części sieci wahadłowej w Polsce. „Prace IG i K”. 1960, nr 1.

## SUMMARY

In connection with tasks of gravimetry for the geological as well as geodetical purposes, the Geophysical Department of the Geological Institute has elaborated a first-order base gravimetric network of Poland. The equalization of network was performed according to the rules of indirect observation methods, using the Cracowian calculation. The errors of particular points determined after equalization are between 0,04 mgal and 0,07 mgal, naturally, if an error of scale unit of the apparatus is not taken into consideration here.

Moreover, the paper deals also with complexity of problems related to the performance and elaboration of the gravimetric network, as for instance: stabilization of points, preliminary examinations of the apparatuses, problem of the scale factor of network, its reference level in Warsaw, as well as equalization method and exactness obtained during measurements.

## РЕЗЮМЕ

В связи с задачами гравиметрии в области геологии и геодезии, Отделом геофизики ГИ составлена основная гравиметрическая сетка Польши I порядка.

Выравнивание сетки проведено согласно правилам метода посредственных наблюдений с применением краковянского исчисления. Определенные после выравнивания погрешности отдельных точек, располагаются в пределах от 0,4 мгл до 0,07 мгл, не учитывая погрешности единицы деления шкалы аппарата. В статье описан весь перечень вопросов, связанных с оставлением и обработкой гравиметрической сетки: стабилизация точек, предварительные испытания аппаратуры, вопрос масштаба сетки, уровня ее увязки в Варшаве, метод выравнивания, полученные данные и др.