

Przygotowanie i opracowanie materiałów grawimetrycznych dla potrzeb polskiej sieci astronomiczno-geodezyjnej i sieci niwelacji precyzyjnej I klasy

1. Wstęp

Zadania geodezji, w związku z rozwojem gospodarczym kraju, stworzyły pilną potrzebę założenia nowoczesnych dokładnych sieci triangulacyjnych i niwelacyjnych w Polsce, spełniających wszelkie wymagania praktyczne i naukowe.

Rozważania naukowe z zakresu geodezji wyższej i geodezji dynamicznej doprowadzają do wniosku, że dokładne opracowanie pomiarów podstawowych wymaga odpowiednich materiałów grawimetrycznych, które umożliwiają: wprowadzenie w niwelacji precyzyjnej rzeczywistych poprawek ze względu na nierównoległość powierzchni poziomowych, obliczenie grawimetrycznych odchyłeń pionu oraz zastosowanie metody niwelacji astronomiczno-grawimetrycznej do obliczania odstępów geoidy od elipsoidy odniesienia.

Przy obliczeniach dawnych sieci niwelacyjnych i triangulacyjnych, zakładanych na terenie Polski, nie były w ogóle wykorzystywane wyniki pomiarów grawimetrycznych. Uwarunkowane to było mniejszymi niż obecnie wymaganiami dokładnościowymi oraz stosunkowo małym zaawansowaniem praktycznych prac grawimetrycznych.

Aby nowozałożone w Polsce sieci triangulacji i niwelacji spełniały pod względem dokładności wymagania nowoczesnych podstawowych sieci geodezyjnych, należało dla ich dokładnego opracowania oprzeć się nie tylko na wynikach pomiarów geodezyjnych i astronomicznych, ale także na danych grawimetrycznych. W tym celu przeprowadzono specjalnie dla potrzeb założonych sieci geodezyjnych odpowiednie opracowanie grawimetryczne dla całego obszaru kraju.

Prace nad tym zagadnieniem zostały praktycznie rozpoczęte w grudniu 1952 roku, gdyż dopiero wtedy zdecydowano się ostatecznie na uwzględnienie danych grawimetrycznych dla założonych sieci geodezyj-

nych. Przygotowanie materiałów i opracowanie grawimetryczne musiało być zakończone przed przystąpieniem do ostatecznych obliczeń i wyrównania sieci niwelacji I klasy i sieci triangulacji głównej. W związku z tym, termin ukończenia całkowitego opracowania grawimetrycznego ustalony został na początek 1955 roku. Należy zwrócić uwagę, iż był to krótki termin, jak na pierwsze tego rodzaju w Polsce opracowanie grawimetryczne dla praktycznych potrzeb geodezyjnych.

Przygotowanie materiałów grawimetrycznych i opracowanie całości zadania zostało przeprowadzone przez Instytut Geodezji i Kartografii. Ze względu na nieliczny zespół pracowników Instytutu, masowe prace obliczeniowe i kreślarskie były wykonane przez specjalnie w tym celu wydzieloną grupę Państwowego Przedsiębiorstwa Geodezyjnego pod nadzorem naukowo-technicznym IGiK. Analogicznie, większość nowych pomiarów grawimetrycznych dla potrzeb geodezyjnych została przeprowadzona przez odpowiednie grupy Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych na podstawie przygotowanych przez Instytut Geodezji i Kartografii szczegółowych projektów wykonawczych oraz pod jego naukowo-technicznym nadzorem.

Dzięki udostępnieniu posiadanych przez Centralny Urząd Geologii i Instytut Geologiczny materiałów grawimetrycznych, mieliśmy możliwość przeanalizować te materiały i w dużym zakresie je wykorzystać, przy opracowaniu grawimetrycznym.

W niniejszej pracy przedstawiamy kolejne etapy realizacji postawionego zadania, tj. przygotowania i opracowania materiałów grawimetrycznych dla praktycznych potrzeb założonej w Polsce sieci niwelacji precyzyjnej I klasy i sieci astronomiczno-geodezyjnej.

2. Materiały grawimetryczne potrzebne do opracowania polskiej sieci astronomiczno-geodezyjnej i sieci niwelacji precyzyjnej I klasy

Dla ustalenia programu prac grawimetrycznych przeprowadzona została przede wszystkim szczegółowa analiza potrzeb nowej sieci triangulacji podstawowej i sieci niwelacji precyzyjnej pod względem danych grawimetrycznych, a w szczególności usytuowania i ilości niezbędnych punktów grawimetrycznych, dokładności pomiarów i ostatecznej formy opracowania grawimetrycznego.

Przy tych rozważaniach wzięto oczywiście pod uwagę realne polskie warunki dotyczące rzeźby terenu, anomalności pola grawitacyjnego oraz rozłożenia i lokalizacji punktów triangulacyjnych i ciągów niwelacji I klasy. Uwzględniono również krótki, bo tylko dwuletni, termin opracowania całości zadania, posiadane wyposażenie instrumentalne i względy ekonomiczne.

2. 1. Materiały grawimetryczne potrzebne do opracowania sieci niwelacji precyzyjnej I klasy w Polsce

Sieci niwelacji precyzyjnej opracowywane są w odpowiednio przyjętym systemie wysokości. W różnych krajach przyjmowane są rozmaite systemy wysokości, np. system wysokości ortometrycznych, geopotencjalnych, dynamicznych, normalnych.

Dla uzyskania wysokości punktów w odpowiednim systemie wysokości, oprócz wyników pomiarów niwelacyjnych, niezbędne są również dane dotyczące przyspieszenia siły ciężkości.

Czy weźmiemy bowiem przewyższenie pomiędzy punktami A i B w systemie wysokości ortometrycznych. $\Delta h_{AB} = \int_A^B \frac{g dh}{g_c}$, czy w systemie wysokości dynamicznych $\Delta h_{AB} = \int_A^B \frac{g dh}{\gamma_0^{45^\circ}}$, czy też w systemie wysokości normalnych $\Delta h_{AB} = \int_A^B \frac{g dh}{\gamma_{sr}}$ we wszystkich wzorach występuje $\int_A^B g dh$. * Wartość tej całki (tzw. wartość geopotencjalna) zależy od wartości uzyskiwanych w wyniku niwelacji (dh) oraz od wartości przyspieszenia siły ciężkości (g) wzdłuż niwelowanego odcinka AB.

Aby uzyskać w odpowiednim systemie wysokości przewyższenie Δh_{AB} pomiędzy punktami A i B, należy do pomierzonego w wyniku niwelacji przewyższenia $\Delta h_{ABpom.}$ dodać poprawkę niwelacyjną PN_{AB} ze względu na nierównoległość powierzchni poziomowych (tj. powierzchni ekwipotencjalnych siły ciężkości) pomiędzy A i B:

$$\Delta h_{AB} = \Delta h_{ABpom.} + PN_{AB}$$

Poprawka niwelacyjna PN_{AB} jest funkcją wartości przyspieszenia siły ciężkości, gdyż nierównoległość powierzchni poziomowych spowodowana jest własnościami ziemskiego pola grawitacyjnego.

Dla obliczenia poprawek PN potrzebne są odpowiednio dokładne dane grawimetryczne. Uzyskanie rzeczywistych danych przyspieszenia siły ciężkości dla potrzeb obliczania poprawek w niwelacji było przed kilkudziesięciu, a nawet jeszcze przed kilkunastu laty, bardzo utrudnione ze względu na stosunkowo niewielki rozwój pomiarów grawimetrycznych.

* Przyjęto następujące oznaczenia:

dh — różniczkowy element niwelowanego przewyższenia AB,

g — przyspieszenie siły ciężkości na niwelowanym odcinku,

g_c — średnia wartość przyspieszenia siły ciężkości między fizyczną powierzchnią Ziemi i geoidą,

$\gamma_0^{45^\circ}$ — wartość normalna siły ciężkości dla szerokości geograficznej 45° ,

γ_{sr} — wartość normalna siły ciężkości w połowie wysokości między fizyczną powierzchnią Ziemi i powierzchnią odniesienia.

W dawnych sieciach niwelacyjnych, przy obliczeniach poprawek PN ze względu na nierównoległość powierzchni poziomowych, zamiast rzeczywistego pola grawitacyjnego uwzględniane było wobec tego jedynie teoretyczne, normalne pole grawitacyjne, tj. identyfikowano wartość g z wartością normalną siły ciężkości γ_n . Nie uwzględniano tym samym rzeczywistych warunków fizycznych na powierzchni Ziemi.

Dawna sieć niwelacji precyzyjnej w Polsce, tj. założona przed 1939 rokiem [48], była również opracowana bez uwzględnienia rzeczywistych danych grawimetrycznych. Dla obliczenia w tej sieci przewyższeń w systemie wysokości ortometrycznych uwzględniano, ze względu na nierównoległość powierzchni poziomowych, jedynie tzw. normalne poprawki ortometryczne. Te poprawki obliczane były na podstawie wartości normalnych siły ciężkości γ_n jako funkcji szerokości geograficznej. W ten sposób dawna polska sieć niwelacji precyzyjnej opracowana była przy uwzględnieniu tylko teoretycznego pola grawitacyjnego (jako funkcji γ_n), które znacznie różni się od rzeczywistego pola grawitacyjnego. Na terenie naszego kraju anomalie siły ciężkości osiągają dość znaczne wartości i ich zaniedbanie przy obliczeniach poprawek niwelacyjnych powoduje powstanie błędów, których wielkość przekracza dokładności pomiarowe wymagane obecnie w niwelacji precyzyjnej.

Wzięto to pod uwagę przy nowej sieci niwelacji precyzyjnej w Polsce. W celu dokładnego i zgodnego z założeniami naukowymi obliczenia poprawek PN ze względu na nierównoległość powierzchni poziomowych, postanowiono uwzględniać rzeczywiste dane grawimetryczne. Zrealizowanie tego zadania było obecnie znacznie łatwiejsze niż w okresie przedwojennym, ponieważ nastąpił duży rozwój prac grawimetrycznych i istniała możliwość przeprowadzenia specjalnych pomiarów grawimetrycznych dla tych celów.

Przeanalizujmy, jakim wymaganiom muszą odpowiadać dane grawimetryczne, aby na ich podstawie można było obliczyć z wystarczającą dokładnością dla polskiej sieci niwelacji I klasy poprawki niwelacyjne PN .

Zgodnie z instrukcją techniczną [51] pomiar niwelacji I klasy powinien być wykonany ze średnim błędem przypadkowym nie większym niż $\pm 0,75$ mm/km oraz błędem systematycznym nie większym niż 0,20 mm/km. Dane wysokościowe w katalogu niwelacji I klasy będą podawane do 0,1 mm.

Wobec powyższego, poprawka niwelacyjna $P\dot{N}$ ze względu na nierównoległość powierzchni poziomowych powinna być obliczana dla przewyższenia między sąsiednimi reperami ciągu niwelacji I klasy na podstawie takich danych, które zapewnią jej obliczenie ze średnim błędem nie większym niż $\pm 0,05 - 0,10$ mm.

Dla systemu wysokości normalnych, który zastosowany jest przy opracowaniu polskiej sieci niwelacji precyzyjnej, poprawka niwelacyjna

PN dla niwelowanego przewyższenia Δh_{AB} wyraża się, jak wiadomo [8], wzorem:*

$$PN_{AB} = - \frac{(\gamma_0^B - \gamma_0^A)}{\gamma_{sr}} H_{sr} + \frac{(g_0 - \gamma_0)_{sr}}{\gamma_{sr}} \Delta h_{AB},$$

gdzie $(g_0 - \gamma_0)_{sr}$ oznacza średnią wartość anomalii siły ciężkości Faye'a („wolnopowietrznej”) między punktami A i B, w odniesieniu do wartości normalnej siły ciężkości γ_0 obliczonej w/g wzoru Helmerta z lat 1901 — 1908,

$\gamma_{sr} = \gamma_0 - 0,154 H_{sr}$, przy czym iloczyn $0,154 H_{sr}$ uzyskuje się w miligalach dla H_{sr} wyrażonego w metrach,

$H_{sr} = \frac{1}{2} (H_A + H_B)$, przy czym H_A i H_B oznaczają wysokości punktów A i B nad poziomem morza (uzyskane z przybliżonych obliczeń).

Pierwszy człon powyższego wzoru na poprawkę PN jest funkcją normalnego pola grawitacyjnego, czyli zależy od szerokości geograficznej punktu A i B. Wartość tego członu jest praktycznie identyczna z wartością tzw. normalnej poprawki ortometrycznej, wprowadzanej przy obliczaniu dawnych sieci niwelacyjnych.

Drugi człon poprawki $\left(\frac{1}{\gamma_{sr}} (g_0 - \gamma_0)_{sr} \cdot \Delta h \right)$ jest funkcją anomalii siły ciężkości Faye'a, czyli zależy od anomalności pola grawitacyjnego wzdłuż niwelowanego odcinka.

Jeżeli nie uwzględnimy przy opracowaniu niwelacji w systemie wysokości normalnych rzeczywistych danych grawimetrycznych, wtedy obliczenie poprawki PN ograniczyłoby się do obliczenia tylko pierwszego członu poprawki i odrzucenia oczywiście drugiego członu poprawki. Popełnimy wtedy błąd równy wartości drugiego członu poprawki PN. Należy zaznaczyć, iż wartość drugiego członu poprawki, przy realnych dla warunków Polski założeniach, np.: przewyższenia $\Delta h_{AB} = 40$ m i średniej anomalii siły ciężkości Faye'a $(g_0 - \gamma_0)_{sr} = 50$ mgal, wyniesie 2 mm dla przewyższenia między sąsiednimi punktami. Jest to wielkość znacznie większa, niż dopuszczalny średni błąd pomiaru niwelacji I klasy.

Rozpatrzmy obecnie, z jaką dokładnością należy wyznaczyć wartości anomalii Faye'a, aby zapewnić wyżej założoną dokładność 0,05 — 0,10 mm obliczenia poprawki niwelacyjnej PN.

Średni błąd obliczenia poprawki $m_{PN} = \pm \sqrt{m_I^2 + m_{II}^2}$, gdzie m_I jest średnim błędem I członu poprawki, a m_{II} — średnim błędem II członu.

Średni błąd I członu poprawki, przy realnych dla warunków Polski

* Wzór jest słuszny dla różniczkowych odległości między punktami A i B, tj. praktycznie można go stosować do obliczenia poprawki PN dla przewyższenia pomiędzy sąsiednimi reperami niwelacji precyzyjnej.

założeniach, że średni błąd wyznaczenia z mapy różnicy szerokości geograficznej między punktami A i B $m_{\Delta\varphi} = \pm 3''$ oraz średnia wysokość nad poziomem morza $H_{sr} = 400$ m, wyniesie $m_I = \pm 0,03$ mm.

Wobec powyższego, aby uzyskać:

$|m_{PN}| \leq 0,05$ mm — średni błąd II członu poprawki powinien wynosić $|m_{II}| \leq 0,04$ mm, a dla $|m_{PN}| \leq 0,10$ mm — odpowiednio: $|m_{II}| \leq 0,09$ mm.

Średni błąd drugiego członu poprawki zależy od średniego błędu wyznaczenia anomalii Faye'a $m_{(g_0 - \gamma_0)sr}$

$$m_{II} = \frac{\partial P_N}{\partial (g_0 - \gamma_0)} m_{(g_0 - \gamma_0)sr} = \frac{\Delta h}{\gamma_{sr}} m_{(g_0 - \gamma_0)sr}.$$

$$\text{Wobec tego} \quad m_{(g_0 - \gamma_0)sr} = \frac{m_{II}}{\Delta h} \gamma_{sr}$$

Na podstawie powyższego wzoru obliczono dopuszczalny średni błąd wyznaczenia anomalii Faye'a $m_{(g_0 - \gamma_0)sr}$ i przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Dopuszczalny średni błąd wyznaczenia anomalii Faye'a $m_{(g_0 - \gamma_0)sr}$ nie powinien przekraczać (w mgal):							
Przy założeniu	Dla Δh (w metrach)						
	5	10	20	30	40	50	100
1) $m_{PN} = \pm 0,05$ mm (tj. $m_{II} = \pm 0,04$ mm)	± 8	± 4	$\pm 2,0$	$\pm 1,3$	$\pm 1,0$	$\pm 0,8$	$\pm 0,4$
2) $m_{PN} = \pm 0,10$ mm (tj. $m_{II} = \pm 0,09$ mm)	± 18	± 9	$\pm 4,4$	$\pm 2,9$	$\pm 2,2$	$\pm 1,7$	$\pm 0,9$

Biorąc pod uwagę nizinny charakter naszego kraju, przewyższenia między sąsiednimi punktami niwelacji I klasy Δh_{AB} przeciętnie nie będą większe niż 30 — 40 metrów.

Wobec tego, aby uzyskać średni błąd obliczenia poprawki ze względu na nierówność powierzchni poziomowych m_{PN} w systemie wysokości normalnych rzędu $\pm 0,05$ — 0,10 mm, należy mieć określoną wartość anomalii siły ciężkości Faye'a $(g_0 - \gamma_0)_{sr}$ ze średnim błędem nie większym niż odpowiednio ± 1 — 2,2 mgal.

W terenie górskim przy założeniu, że $\Delta h_{max} = 80$ m i $m_{PN_{max}} = \pm 0,10$ mm, średni błąd anomalii Faye'a nie powinien przekraczać $\pm 1,1$ mgal.

Przez wyżej podane średnie błędy anomalii rozumiemy oczywiście średni błąd wartości $(g_0 - \gamma_0)_{sr}$ obliczony przy założeniu, że średni błąd wartości g określony został w stosunku do jednolitego poziomu odniesienia pomiarów grawimetrycznych (tj. do tzw. systemu poczdamskiego, przyjmującego wyznaczoną z pomiarów absolutnych wartość przyspie-

szenia siły ciężkości w sali wahadłowej Goedezyjnego Instytutu w Poczdamie, jako wyjściową wartość dla wszystkich pomiarów względnych).

Weźmy jeszcze pod uwagę, dla dalszych rozważań odnośnie wymaganych dokładności danych grawimetrycznych, system wysokości ortometrycznych.

Rozpatrzmy więc poprawkę niwelacyjną ze względu na nierównoległość powierzchni poziomowych PN w systemie wysokości ortometrycznych.

Jest cały szereg wzorów np. Helmerta, Niethammera, Ramsayera, Baranowa. Przyjmijmy do rozważań wzór Helmerta, który można stosować dla terenów nizinnych i podgórskich.

$$PN_{ort,AB} = \frac{x_0}{R} (H_A^2 - H_B^2) - \frac{x_0}{g_{sr}} H_{sr} \Delta g,$$

gdzie x_0 — jest funkcją średniej gęstości podłoża, R — promień ziemski, $H_{sr} = \frac{1}{2}(H_A + H_B)$, g_{sr} — średnia wartość dla całego obszaru, Δg — przyrost wartości przyspieszenia siły ciężkości między punktami A i B.

Drugi człon poprawki Helmertowskiej zależy od wartości g .

Obliczmy z jakim średnim błędem $m_{\Delta g}$ należy wyznaczyć Δg , aby otrzymać średni błąd poprawki $|m_{PN_{ort}}| \leq 0.1$ mm lub $|m_{PN_{ort}}| \leq 0.05$ mm. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Dopuszczalny średni błąd $m_{\Delta g}$ nie powinien przekroczyć (w mgal):					
Przy założeniu	Dla H_{sr} (w metrach)				
	100	200	300	400	1000
1) $m_{PN} = \pm 0,05$ mm	$\pm 0,5$	$\pm 0,25$	$\pm 0,17$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$
2) $m_{PN} = \pm 0,10$ mm	$\pm 1,0$	$\pm 0,50$	$\pm 0,33$	$\pm 0,20$	$\pm 0,10$

Jak widać z tablicy 2, dla przeciętnych wysokości nad poziomem morza wzdłuż linii niwelacji I klasy w Polsce (200 — 300 m), różnice Δg między sąsiednimi reperami A i B powinny być mierzone ze średnim błędem nie większym niż $\pm 0,2$ — $0,5$ mgal, aby zabezpieczyć dokładność 0,05 — 0,10 mm obliczenia poprawki PN w systemie wysokości ortometrycznych wg wzoru Helmerta.

Zreasumujmy przeprowadzone rozważania. Dla potrzeb opracowania w systemie wysokości normalnych sieci niwelacji precyzyjnej I klasy w Polsce potrzebne są dane grawimetryczne (wartość anomalii siły ciężkości Faye'a ($g_0 - \gamma_0$)) wzdłuż ciągów niwelacji I klasy. Dane te powinny odnosić się do punktów usytuowanych wzdłuż ciągu niwelacyjnego w ten sposób, aby było można przyjąć z wystarczającą dokładnością liniowość zmian anomalii grawimetrycznej Faye'a między sąsiednimi punktami grawimetrycznymi.

Jest to niezbędne dla wyznaczenia z wystarczającą dokładnością wartości anomalii grawimetrycznej dla poszczególnych punktów niwelacji I klasy i dla określenia następnie wartości średniej $(g_0 - \gamma_0)_{sr}$. Punkty grawimetryczne powinny więc być położone w niedużych odległościach od siebie oraz w charakterystycznych punktach profilu wysokościowego. Z uwagi na charakter rzeźby terenu, anomalność pola grawitacyjnego oraz na wymagania dokładnościowe, wynikające z wyżej przeprowadzonej analizy — odległości między punktami grawimetrycznymi wzdłuż ciągu niwelacji I klasy mogą być większe w terenie nizinym, niż w terenie podgórskim czy też górskim. Pożądane jest, aby punkty grawimetryczne lokalizowane były przy reperach wysokościowych. Odległości pomiędzy reperami I klasy są przeciętnie 1,5 — 2,5 km, a maksymalnie dochodzą do 3 km.

Biorąc powyższe pod uwagę, dla polskiej sieci I klasy w terenie górskim odległości między punktami grawimetrycznymi powinny być, naszym zdaniem, nie większe niż 1,5—2 km, w terenie podgórskim 2—3 km, a w terenie nizinym 4—6 km. Wartości przyspieszenia siły ciężkości g wszystkich punktów grawimetrycznych wzdłuż ciągów niwelacji I klasy musimy mieć w jednolitym poziomie odniesienia (w systemie poczdamskim). Średni błąd anomalii punktów grawimetrycznych, w stosunku do jednolitego poczdamskiego poziomu odniesienia, nie powinien być w warunkach Polski przeciętnie większy niż $\pm 1,0$ — 1,5 mgal.

Ponieważ anomalia Faye'a wyraża się wzorem

$$(g_0 - \gamma_0) = (g + 0,3086 \cdot H - \gamma_0),$$

więc średni błąd anomalii Faye'a wynosi:

$$m_{(g_0 - \gamma_0)} = \pm \sqrt{m_g^2 + (0,3086)^2 \cdot m_H^2 + m_{\gamma_0}^2}.$$

Jest on funkcją średniego błędu m_g pomiaru przyspieszenia siły ciężkości, oraz średniego błędu m_H określenia wysokości npm., jak również średniego błędu m_{γ_0} określenia wartości normalnej siły ciężkości.

Dla każdego punktu grawimetrycznego, oprócz odpowiednio dokładnego wyznaczenia przyspieszenia siły ciężkości, należy również określić z taką dokładnością wysokość npm. i wartość γ_0 , aby łączny wpływ wszystkich błędów na wartość anomalii Faye'a nie przekroczył przyjętej powyżej dopuszczalnej wartości.

Szerokość geograficzną punktu grawimetrycznego z mapy topograficznej w skali 1 : 100 000 możemy określić ze średnim błędem $\pm 3''$, co powoduje obliczenie wartości normalnej siły ciężkości ze średnim błędem $m_{\gamma_0} = \pm 0,08$ mgal.

Aby średni błąd anomalii Faye'a nie przekraczał wartości $\pm 1,0$ — 1,5 mgal, należy więc praktycznie mieć wyznaczoną wartość przyspieszenia siły ciężkości w systemie poczdamskim z błędem nieprzekraczającym odpowiednio $\pm 0,8$ — 1,2 mgal, przy dopuszczalnym średnim błędzie wyznaczenia wysokości punktu nad poziomem morza ± 2 — 3 m,

Jednocześnie średnie błędy określenia różnic Δg pomiędzy sąsiednimi punktami grawimetrycznymi ciągu niwelacyjnego nie powinny być większe niż $\pm 0,2 - 0,5$ mgal.

2. 2. Materiały grawimetryczne potrzebne do obliczenia i wyrównania sieci triangulacji głównej w Polsce

Pomiary triangulacyjne przeprowadzane są na fizycznej powierzchni Ziemi, a obliczenia na odpowiednio przyjętej i zorientowanej elipsoidzie odniesienia. W związku z tym wszystkie pomierzone wielkości, tj. kąty i długości baz triangulacyjnych, należy zredukować na powierzchnię elipsoidy odniesienia.

W celu zredukowania pomierzonych kątów poziomych na elipsoidę odniesienia, oprócz redukcji ze względu na wysokość ponad elipsoidę oraz redukcji z uwagi na kąt pomiędzy przekrojem normalnym i linią geodezyjną, należy wprowadzić również redukcję uwzględniającą wpływ odchylenia pionu. Dla przeprowadzenia tej redukcji niezbędna jest znajomość wartości liczbowych tych odchylen w poszczególnych punktach triangulacyjnych.

Wielkość tej redukcji, np. w terenach górskich w Polsce, ma już realne znaczenie, gdyż poprawka do kątów poziomych może wynosić kilka dziesiątych części sekundy łuku. Trzeba również podkreślić, iż znajomość wartości odchylenia pionu jest potrzebna dla wprowadzenia odpowiedniej redukcji do obserwowanych odległości zenitalnych przy przeprowadzaniu niwelacji trygonometrycznej w terenie górskim.

Pomierzone długości baz triangulacyjnych należy zredukować z fizycznej powierzchni Ziemi na przyjętą do opracowania sieci triangulacyjnej powierzchnię elipsoidy odniesienia.

Dla przeprowadzenia tej redukcji powinniśmy znać średnią wysokość mierzonej bazy nad geoidą (lub quasigeoidą) i odstepu geoidy (lub quasigeoidy) od elipsy odniesienia. Wysokość mierzonej bazy nad geoidą (ewentualnie quasigeoidą) — zidentyfikowaną jako wysokość średnia mierzonego odcinka nad poziomem morza — uzyskamy z niwelacji. Odstep geoidy (ewentualnie quasigeoidy) od elipsoidy odniesienia otrzymuje się z odpowiednio sporządzonej mapy odstępów geoidy (lub quasigeoidy) od przyjętej elipsoidy odniesienia.

Biorąc pod uwagę aspekt naukowy triangulacji, z punktu widzenia badania figury Ziemi, istotne jest wykorzystanie uzyskanych praktycznie wyników dla przedstawienia geoidy na obszarze naszego kraju. Konkretnie chodzi o szczegółowe mapy odstępów geoidy od elipsoidy odniesienia, przyjętej do opracowania triangulacji w Polsce, tj. od elipsoidy Krasowskiego.

Dla przeprowadzenia tych opracowań, tj. sporządzania mapy odstępów geoidy od elipsoidy oraz obliczenia redukcji pomierzonych długości baz

na elipsoide, redukcji kątów poziomych i ewentualnie pionowych, należy znać dla możliwie największej ilości punktów wartości liczbowe względnych odchylen pionu (tj. w odniesieniu do przyjętej elipsoidy obrotowej).

Nie wystarczą w tym przypadku odchylenia pionu obliczone na punktach Laplace'a na podstawie wyznaczeń współrzędnych astronomicznych i przybliżonych współrzędnych geodezyjnych. Należy bowiem dla celów praktycznych mieć znacznie gęstszą sieć punktów o znanych wartościach odchylen pionu.

Wobec tego, można albo: a) przeprowadzić na wszystkich punktach triangulacji głównej oraz na innych odpowiednio wybranych punktach geodezyjnych obserwacje astronomiczne, czyli zastosować tzw. niwelację astronomiczną, albo b) przeprowadzić odpowiednie pomiary przyspieszeń siły ciężkości i wykorzystać znane metody wyznaczenia względnych odchylen pionu z danych grawimetrycznych, w oparciu o sieć rzadziej rozłożonych punktów astronomiczno-geodezyjnych, czyli w konsekwencji zastosować tzw. niwelację astronomiczno-grawimetryczną.

Realizacja pierwszej koncepcji jest zbyt pracochłonna. Druga koncepcja — dla celów praktycznych — jest z ekonomicznego punktu widzenia lepszym rozwiązaniem oraz właściwszym ze względów naukowo-technicznych, gdyż uwzględnia łącznie dane astronomiczne, geodezyjne i grawimetryczne, co jest konieczne przy naukowym badaniu figury Ziemi.

Opierając się na rozważaniach Stokesa [34] i stosując wzory podane przez Vening-Meinesza [44], czy też przez de Graff Huntera [5], można obliczyć dla dowolnych punktów składowe odchylenia pionu na podstawie danych grawimetrycznych. W tym celu musimy znać wartości anomalii siły ciężkości Faye'a (lub też anomalii izostatycznej) dla całej powierzchni bryły ziemskiej. W rezultacie obliczeń uzyskamy bezwzględne odchylenie pionu (tj. w odniesieniu do elipsoidy ziemskiej).

Dla praktycznych potrzeb triangulacji potrzebne są względne odchylenia pionu, tj. względem przyjętej do obliczeń triangulacyjnych elipsoidy odniesienia. Należy więc uwzględnić i wzajemnie wykorzystać astronomiczno-geodezyjne odchylenia pionu z grawimetrycznymi odchyleniami pionu.

Zastosowanie na przykład znanej metody Mołodeńskiego [23] pozwala ograniczyć potrzebne materiały grawimetryczne do danych z obszaru o promieniu kilkuset kilometrów od punktu, dla którego wyznacza się odchylenia pionu na drodze grawimetrycznej. Wpływ pola grawitacyjnego dalszych stref traktuje się wtedy jako poprawkę, łącznie z poprawką z uwagi na przejście z bezwzględnego do względnego odchylenia pionu. Wartość tej łącznej poprawki ($\Delta\xi$ — dla składowej południkowej i $\Delta\eta$ — dla składowej w I wertykale) uzyskuje się przez porównanie składo-

wych astronomiczno-geodezyjnego odchylenia pionu ze składowymi ξ_{gr} i η_{gr} , obliczonymi na podstawie materiałów grawimetrycznych z obszaru o promieniu kilkuset kilometrów od obliczanego punktu. Określenie dokładne tych łącznych poprawek $\Delta\xi$ i $\Delta\eta$ jest więc w zasadzie możliwe dla punktów astronomiczno-geodezyjnych triangulacji głównej. Można jednak przyjąć liniowość zmiany poprawek $\Delta\xi$ i $\Delta\eta$ pomiędzy niezbyt odległymi od siebie sąsiednimi punktami astronomiczno-geodezyjnymi. Na tej podstawie mamy możliwość obliczenia dla dowolnego punktu triangulacyjnego (lub też innego punktu) składowych względnego odchylenia pionu.

W nowozałożonej sieci triangulacji głównej w Polsce obserwacje astronomiczne przeprowadzane są na odpowiednio wybranych punktach triangulacyjnych, przy czym przeciętne odległości między punktami astronomiczno-geodezyjnymi wzdłuż łańcuchów triangulacji głównej wynoszą 60 km. Przy takich odległościach między punktami astronomiczno-geodezyjnymi, wg rozważań Mołodeńskiego [23], średni błąd spowodowany przyjęciem liniowości zmian poprawek $\Delta\xi$ i $\Delta\eta$ wyniesie dla poszczególnych składowych obliczonych odchylen pionu $\pm 0,2'' - 0,3''$.

Biorąc powyższe rozważania pod uwagę, należy mieć dla praktycznych potrzeb triangulacji polskiej takie dane grawimetryczne, które umożliwią obliczenie z odpowiednio wysoką dokładnością wartości składowych ξ_{gr} i η_{gr} .

W tym celu, jak mówiliśmy wyżej, powinniśmy dysponować materiałem grawimetrycznym dla obszaru w promieniu kilkuset kilometrów od każdego punktu astronomiczno-geodezyjnego. Ze znanych rozważań i wzorów Mołodeńskiego [23], czy też Vening Meinesza [44] lub de Graff Huntera [5] wynika, że najdokładniej i najbardziej szczegółowo pod względem grawimetrycznym należy opracować najbliższe otoczenie punktu, dla którego będziemy obliczali ξ_{gr} i η_{gr} , oraz że dla obszarów dalej położonych od obliczanego punktu można posiadać materiał grawimetryczny opracowany mniej szczegółowo i z mniejszą dokładnością. Wobec tego punkty grawimetryczne należy mieć koncentrycznie usytuowane względem obliczanego punktu astronomiczno-geodezyjnego; największa gęstość zdjęć grawimetrycznych powinna być w najbliższym otoczeniu obliczanego punktu oraz odpowiednio zmniejszać się w miarę oddalania się od tego punktu astronomiczno-geodezyjnego. Dla wszystkich punktów grawimetrycznych trzeba obliczyć wartości anomalii siły ciężkości Faye'a.

Reasumując dla naszych potrzeb należy:

- a) posiadać dane grawimetryczne dla całego obszaru Polski oraz uzyskać również odpowiednie dane z przygranicznych obszarów państw sąsiednich; dane te powinny przedstawiać i reprezentować ogólny charakter pola grawitacyjnego na obszarze całego kraju, czyli spełniać rolę tzw. ogólnego zdjęcia grawimetrycznego,

- b) posiadać dane grawimetryczne szczegółowego zdjęcia grawimetrycznego dla obszaru najbliższego otoczenia każdego punktu astronomiczno-geodezyjnego polskiej sieci triangulacji głównej,
- c) wszystkie dane grawimetryczne opracować w jednolitym systemie odniesienia grawimetrycznego, zgodnym z systemem poczdamskim, oraz przedstawić ostatecznie w anomaliiach siły ciężkości Faye'a.

Trzeba podkreślić, że dane grawimetryczne, zarówno tzw. zdjęcia ogólnego, jak też najbliższego otoczenia punktów astronomiczno-geodezyjnych, muszą rzeczywiście charakteryzować obraz grawimetryczny. Mianowicie, dla potrzeb triangulacji należy wybrać takie punkty grawimetryczne, których wartość anomalii Faye'a jest przeciętną średnią wartością anomalii całego obszaru, który ten punkt reprezentuje.

Praktycznie ważnym dla nas zagadnieniem było ustalenie, jaka minimalna ilość punktów grawimetrycznych potrzebna jest w konkretnych warunkach polskich do przedstawienia ogólnego charakteru pola grawitacyjnego (tzw. zdjęcia ogólnego) oraz dla szczegółowego opracowania grawimetrycznego najbliższego otoczenia punktów astronomiczno-geodezyjnych.

Różne są koncepcje podejścia do tego zagadnienia. Na przykład Wolf [43] proponuje dla obszaru w promieniu około 90 km od projektowanych punktów Laplace'a w zachodnich Niemczech założenie około 200 punktów grawimetrycznych.

Rozważmy jak przedstawia się problem minimalnych danych grawimetrycznych dla praktycznych potrzeb triangulacji głównej w Polsce.

Aby obliczyć na podstawie materiałów grawimetrycznych składowe odchylenia pionu ξ_{gr} i η_{gr} , dzielimy zazwyczaj cały obszar wokół obliczanego punktu na odpowiednie sektory i strefy koncentryczne. Obliczenia przeprowadza się sumując wpływ średniej wartości anomalii Faye'a poszczególnych wycinków sektorów na składowe odchylenia pionu w obliczanym punkcie.

Możemy więc napisać:

$$\xi_{gr} = \xi_{0-5} + \xi_{5-100} + \xi_{100-300} + \xi_{300-1000},$$

$$\eta_{gr} = \eta_{0-5} + \eta_{5-100} + \eta_{100-300} + \eta_{300-1000},$$

gdzie przez $\xi_{r_1-r_2}$ i $\eta_{r_1-r_2}$ oznaczyliśmy wartości obliczone na podstawie danych grawimetrycznych obszaru, zawartego w strefie o wewnętrznym promieniu r_1 km i o zewnętrznym promieniu r_2 km od obliczanego punktu astronomiczno-geodezyjnego.

Średnie błędy obliczanych wartości wyniosą odpowiednio:

$$m_{\xi_{gr}} = \pm \sqrt{m_{\xi_{0-5}}^2 + m_{\xi_{5-100}}^2 + m_{\xi_{100-300}}^2 + m_{\xi_{300-1000}}^2}$$

$$m_{\eta_{gr}} = \pm \sqrt{m_{\eta_{0-5}}^2 + m_{\eta_{5-100}}^2 + m_{\eta_{100-300}}^2 + m_{\eta_{300-1000}}^2}.$$

Dla przeprowadzenia rozważań dokładnościowych weźmy założenia i wzory obliczenia składowych ξ_{gr} i η_{gr} podane w książce P.S. Zakatowa [45].

$$\xi_{5-100} = \frac{P_1}{16R} \sum_{i=1}^{16} \sum_{k=1}^8 (g_0 - \gamma_0)_i^k \cdot \cos \alpha_i ;$$

$$\eta_{5-100} = \frac{P_1}{16R} \sum_{i=1}^{16} \sum_{k=1}^8 (g_0 - \gamma_0)_i^k \cdot \sin \alpha_i ;$$

$$\xi_{100-300} = \frac{P_2}{24R} \sum_{i=1}^{24} \sum_{k=9}^{13} (g_0 - \gamma_0)_i^k \cdot \cos \alpha_i ;$$

$$\eta_{100-300} = \frac{P_2}{24R} \sum_{i=1}^{24} \sum_{k=9}^{13} (g_0 - \gamma_0)_i^k \cdot \sin \alpha_i ;$$

$$\xi_{300-1000} = \frac{P_3}{24R} \sum_{i=1}^{24} \sum_{k=14}^{21} (g_0 - \gamma_0)_i^k \cdot \cos \alpha_i ;$$

$$\eta_{300-1000} = \frac{P_3}{24R} \sum_{i=1}^{24} \sum_{k=14}^{21} (g_0 - \gamma_0)_i^k \cdot \sin \alpha_i .$$

Przez indeks i oznaczono ilość sektorów, a przez indeks k — numer kolejny strefy.

Obszar zawarty pomiędzy 5 i 100 km od obliczanego punktu podzieleny został na 16 sektorów (o kącie $22^{\circ}5'$) i 8 stref, obszar od 100 do 300 km na 24 sektory (o kącie środkowym 15°) i 5 stref oraz obszar od 300 do 1000 km na 24 sektory i 8 stref. Przez $(g_0 - \gamma_0)_i^k$ oznaczono średnią anomalie Faye'a w obszarze wycinka sektora leżącego w strefie k i mającego w tej strefie numer i ; α_i jest azymutem dwusiecznej kąta środkowego odpowiedniego sektora i . Współczynniki przed znakami sum we wzorach według założeń podanych w książce Zakatowa [45] wynoszą odpowiednio:

$$\frac{P_1}{16R} = 0'',005; \quad \frac{P_2}{16R} = 0'',002; \quad \frac{P_3}{16R} = 0'',0015;$$

Wpływ strefy centralnej (tj. w naszym przypadku obszaru w promieniu 5 km od punktu) wynosi:

$$\xi_{0-5} = \frac{1}{2g} \cdot r_0 \cdot g_x; \quad \eta_{0-5} = \frac{1}{2g} r_0 \cdot g_y,$$

przy czym r_0 jest promieniem centralnej strefy w km, licząc od obliczanego punktu, g_x — składowa w południku gradienta horyzontalnego anomalii Faye'a, g_y — składowa w pierwszym wertykale gradienta horyzontalnego anomalii Faye'a.

Jak widać z przytoczonych wzorów, średni błąd obliczenia poszczególnych wartości $\xi_{r_1-r_2}$ i $\eta_{r_1-r_2}$ jest funkcją średniego błędu określenia wartości anomalii Faye'a, a dla strefy centralnej — funkcją średniego błędu wyznaczenia gradienta horyzontalnego.

Zastanówmy się obecnie jaki może być, dla poszczególnych stref wokół punktów astronomiczno-geodezyjnych, dopuszczalny średni błąd wartości anomalii Faye'a (reprezentującej cały wycinek sektora), aby obliczyć z wystarczającą dokładnością dla geodezyjnych potrzeb wartości ξ_{gr} i η_{gr} .

Można założyć, że średni błąd wyznaczenia, na podstawie danych grawimetrycznych, wartości całkowitych składowych odchylen pionu $\xi_{gr, cal.}$ i $\eta_{gr, cal.}$ powinien być tego samego rzędu, co średni błąd wyznaczenia współrzędnych z obserwacji astronomicznych na punktach astronomiczno-geodezyjnych sieci triangulacji głównej (praktycznie identyfikując ten średni błąd wyznaczeń astronomicznych ze średnim błędem składowych astronomiczno-geodezyjnego odchylenia pionu).

Maksymalna wartość średniego błędu wyznaczenia szerokości i długości geograficznej z obserwacji astronomicznych na obszarze Polski wynosi:

$$|m_{\eta}| \leq 0'',4 \quad \text{oraz} \quad |m_{\Delta\lambda}| \leq 0'',45.$$

Wobec tego, przyjmijmy dla naszych rozważań dokładnościowych wartości średniego błędu:

$$m_{\xi_{gr, cal.}} = |m_{\eta_{gr, cal.}}| \leq 0'',45$$

Przez ten średni błąd $m_{\xi_{gr, cal.}}$ (czy też $m_{\eta_{gr, cal.}}$) rozumiemy w tym przypadku całkowity średni błąd określenia, na podstawie materiałów grawimetrycznych, składowych odchylenia pionu. Uwzględnić więc należy zarówno średni błąd $m_{\xi_{gr}}$ i $m_{\eta_{gr}}$ obliczenia ξ_{gr} i η_{gr} z obszaru do około tysiąca kilometrów od punktu obliczanego, jak również należy też wziąć pod uwagę średni błąd $m_{\Delta\xi}$ i $m_{\Delta\eta}$, spowodowany nieuwzględnianiem materiałów grawimetrycznych z pozostałych obszarów, tj. położonych dalej niż 1000 km od obliczanego punktu, a zastąpieniem przez odpowiednią poprawkę uzyskaną na podstawie porównania ze składowymi astronomiczno-geodezyjnych odchylen pionu.

Wobec powyższego możemy napisać:

$$m_{\xi_{cal. gr.}} = \pm \sqrt{m_{\xi_{gr}}^2 + m_{\Delta\xi}^2} ; \quad m_{\eta_{cal. gr.}} = \pm \sqrt{m_{\eta_{gr}}^2 + m_{\Delta\eta}^2}.$$

Średni błąd $m_{\Delta \xi}$ i $m_{\Delta \gamma}$ nie będzie, naszym zdaniem, przekraczać wielkości $\pm 0,33$. Jest to zgodne z przytoczonymi ogólnymi rozważaniami Mołodeńskiego [23].

Zakładając $|m_{\xi_{cal. gr.}}| = |m_{\gamma_{cal. gr.}}| \leq 0,45$ — otrzymamy $|m_{\xi_{gr.}}| = |m_{\gamma_{gr.}}| \leq 0,33$

Doszliśmy więc do wniosku, iż średni błąd obliczenia składowych odchyleń pionu z danych grawimetrycznych obszaru w promieniu kilkuset kilometrów od punktu astronomiczno-geodezyjnego nie powinien być większy niż $\pm 0,33$.

Jak powiedzieliśmy wyżej:

$$m_{\xi_{gr.}} = \pm \sqrt{m_{\xi_{0-5}}^2 + m_{\xi_{5-100}}^2 + m_{\xi_{100-300}}^2 + m_{\xi_{300-1000}}^2}$$

$$m_{\gamma_{gr.}} = \pm \sqrt{m_{\gamma_{0-5}}^2 + m_{\gamma_{5-100}}^2 + m_{\gamma_{100-300}}^2 + m_{\gamma_{300-1000}}^2}$$

Całe otoczenie punktu podzielono na cztery obszary (tj. strefa 0 — 5 km, 5 — 100 km, 100 — 300 km i 300 — 1000 km od obliczanego punktu) zakładając, aby wpływ materiałów grawimetrycznych każdego z tych czterech obszarów był jednakowy. Wobec tego najwłaściwszym będzie założenie:

$$m_{\xi_{0-5}} = m_{\xi_{5-100}} = m_{\xi_{100-300}} = m_{\xi_{300-1000}} =$$

$$= m_{\gamma_{0-5}} = m_{\gamma_{5-100}} = m_{\gamma_{100-300}} = m_{\gamma_{300-1000}} = \mu$$

W związku z tym:

$$m_{\xi_{gr.}} = m_{\gamma_{gr.}} = \pm \sqrt{4\mu^2} = \pm 2\mu$$

Biorąc pod uwagę poprzednie założenia: $|m_{\xi_{gr.}}| = |m_{\gamma_{gr.}}| \leq 0,33$, otrzymujemy:

$$|\mu| \leq 0,16.$$

Rozpatrzmy obecnie kolejno średnie błędy dla każdego z poszczególnych w/w czterech obszarów wokół punktu astronomiczno-geodezyjnego; przy założeniu $|\mu| \leq 0,16$ ustalmy, ile mogą maksymalnie wynosić średnie błędy danych grawimetrycznych.

a) Strefa centralna (0 — 5 km).

Na podstawie poprzednio podanych wzorów:

$$m_{\xi_{0-r_0}} = \pm \frac{1}{2g} r_0 m_{g_x} ; \quad m_{\gamma_{0-r_0}} = \pm \frac{1}{2g} r_0 m_{g_y} ;$$

dla naszych założeń ($r_0 = 5$ km) uzyskujemy:

$$0,16 \geq 0,105 \cdot 5 \cdot m_{g_x} ; \quad 0,16 \geq 0,105 \cdot 5 \cdot m_{g_y},$$

czyli $|m_{g_x}| = |m_{g_y}| \leq 0,3$ mgal/km.

średni błąd wyznaczenia składowych gradienta horyzontalnego anomalii siły ciężkości Faye'a nie powinien wynosić więcej niż 0,3 mgal/km

(czyli 3 E). Przy założeniu, że gradient horyzontalny g_h w strefie centralnej wyznaczony byłby tylko w oparciu o punkty na krańcach strefy, wtedy obliczalibyśmy go ze wzoru $g_h = \frac{\Delta_{anom.}}{10 \text{ km}}$. W związku z tym, różnicę anomalii $\Delta_{anom.}$ musielibyśmy znać z dokładnością 3 mgal. Średni błąd anomalii Faye'a punktów powinien wobec tego spełniać warunek:

$$|m_{(g_0 - \gamma_0)}| \leq \frac{3 \text{ mgal}}{\sqrt{2}} \cong 2 \text{ mgal.}$$

Obliczenie wpływu strefy 0 — 5 km można by przeprowadzić w inny sposób, który naszym zdaniem powinniśmy zastosować dla polskich warunków. Podzielimy mianowicie strefę 0 — 5 km na dwie części: strefę centralną od 0 — 1,5 km i strefę zawartą między promieniami 1,5 i 5 kilometrów od obliczanego punktu. Wtedy $\xi_{0-5} = \xi_{0-1,5} + \xi_{1,5-5}$; $\eta_{0-5} = \eta_{0-1,5} + \eta_{1,5-5}$, a opowieszenie średnie błędy wyniosą:

$$m_{\xi_{0-5}} = \pm \sqrt{m_{\xi_{0-1,5}}^2 + m_{\xi_{1,5-5}}^2}; \quad m_{\eta_{0-5}} = \pm \sqrt{m_{\eta_{0-1,5}}^2 + m_{\eta_{1,5-5}}^2}.$$

Przyjmując zgodnie z poprzednimi założeniami:

$$m_{\xi_{0-1,5}} = m_{\xi_{1,5-5}} = m_{\eta_{0-1,5}} = m_{\eta_{1,5-5}} = \mu_1 \text{ oraz } |m_{\xi_{0-5}}| = |m_{\eta_{0-5}}| \leq 0,16, \\ \text{otrzymujemy: } |\mu_1| \leq \frac{0,16}{\sqrt{2}} = 0,11.$$

Dla strefy centralnej 0 — 1,5 km uzyskamy wskutek tego odpowiednio $0,11 \geq 0,105 \cdot 1,5 m_{g_x}$; $0,11 \geq 0,105 \cdot 1,5 m_{g_y}$.

$$|m_{g_x}| = |m_{g_y}| \leq 0,7 \text{ mgal/km.}$$

Wobec tego, różnica anomalii $\Delta_{(g_0 - \gamma_0)}$ pomiędzy punktami na krańcach strefy, w oparciu o które wyznaczony byłby gradient horyzontalny, nie powinna być obciążona większym błędem niż:

$$|m_{\Delta(g_0 - \gamma_0)}| \leq 3 \text{ km} \times 0,7 \text{ mgal/km} = 2,1 \text{ mgal.}$$

Średni błąd anomalii Faye'a tych punktów musi być więc mniejszy niż 1,5 mgal, ponieważ:

$$|m_{(g_0 - \gamma_0)}| \leq \frac{2,1 \text{ mgal}}{\sqrt{2}} = 1,5 \text{ mgal.}$$

Jeżeli zastosujemy uprzednie rozważania i postępowania rachunkowe, to dla strefy 1,5 — 5 km uzyskamy wzory następujące:

$$\xi_{1,5-5} = 0,015 \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^2 (g_0 - \gamma_0)_i^k \cdot \cos \alpha_i; \\ \eta_{1,5-5} = 0,015 \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^2 (g_0 - \gamma_0)_i^k \cdot \sin \alpha_i.$$

W ten sposób obszar od 1,5 do 5 km od punktu podzieliliśmy na 8 sektorów (o kątach środkowych 45°) i 2 strefy (tj. wg obliczeń 1,5 — 3 km i 3 — 5 km).

Średnie błędy obliczania składowych z danych grawimetrycznych strefy 1,5 — 5 km możemy przedstawić następująco:

$$m_{\xi_{1,5-5}} = \pm 0'',015 \sqrt{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^2 \cos \alpha_i} \cdot m_{(g_0 - \gamma_0)_{1,5-5}};$$

$$m_{\gamma_{1,5-5}} = \pm 0'',015 \sqrt{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^2 \sin \alpha_i} \cdot m_{(g_0 - \gamma_0)_{1,5-5}}.$$

Dla wszystkich wycinków sektorów strefy 1,5 — 5 km założyliśmy jednakową dokładność wyznaczenia średniej wartości anomalii Faye'a ($m_{(g_0 - \gamma_0)_{1,5-5}}$).

Do dalszych rozważań dokładnościowych możemy przyjąć, że przy naszych obliczeniach przeciętna średnia bezwzględna wartość $\sin \alpha$ i $\cos \alpha$ wynosi 0,7.

Wprowadzając tę przeciętną wartość do naszych wzorów uzyskujemy:

$$m_{\xi_{1,5-5}} = m_{\gamma_{1,5-5}} = \pm 0'',015 \cdot \sqrt{0,7} \cdot \sqrt{16} \cdot m_{(g_0 - \gamma_0)_{1,5-5}} = \pm 0'',050 m_{(g_0 - \gamma_0)_{1,5-5}},$$

$$\text{Ponieważ wg naszych założeń } |m_{\xi_{1,5-5}}| = |m_{\gamma_{1,5-5}}| \leq 0'',11,$$

wobec tego: $|m_{(g_0 - \gamma_0)_{1,5-5}}| \leq 2,2 \text{ mgal.}$

b) Strefa 5 — 100 km.

Dla naszych rozważań dokładnościowych podzielimy ten obszar na dwie części: pierwszą od 5 do około 30 km i drugą od 30 do 100 km.

Wobec tego: $\xi_5 - 100 = \xi_5 - 30 + \xi_{30} - 100$ oraz $\gamma_5 - 100 = \gamma_5 - 30 + \gamma_{30} - 100$;

$$m_{\xi_5 - 100} = \sqrt{m_{\xi_5 - 30}^2 + m_{\xi_{30} - 100}^2} \quad \text{i} \quad m_{\gamma_5 - 100} = \sqrt{m_{\gamma_5 - 30}^2 + m_{\gamma_{30} - 100}^2}.$$

Zgodnie z poprzednimi założeniami przyjmujemy:

$$m_{\xi_5 - 30} = m_{\xi_{30} - 100} = m_{\gamma_5 - 30} = m_{\gamma_{30} - 100} = \mu_2 \quad \text{oraz}$$

$$|m_{\xi_5 - 100}| = |m_{\gamma_5 - 100}| \leq 0'',16$$

Wobec tego: $|\mu_2| \leq 0'',11.$

Przy uwzględnieniu poprzednich rozważań oraz współczynników liczbowych, zgodnie z podanymi w podręczniku Zakatowa [45], obszar 5 — 30 km będzie podzielony na 5 stref, a od 30 — 100 km na 3 strefy.

Otrzymamy więc następujące wzory dla średnich błędów:

$$m_{\xi_5 - 30} = \pm 0'',005 \sqrt{\sum_1^{16} \sum_1^5 \cos \alpha_i \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) 5 - 30}}$$

$$m_{\xi_{30} - 100} = \pm 0'',005 \sqrt{\sum_1^{16} \sum_1^3 \cos \alpha_i \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) 30 - 100}}$$

$$m_{\gamma_5 - 30} = \pm 0'',005 \sqrt{\sum_1^{16} \sum_1^5 \sin \alpha_i \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) 5 - 30}}$$

$$m_{\gamma_{30} - 100} = \pm 0'',005 \sqrt{\sum_1^{16} \sum_1^3 \sin \alpha_i \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) 30 - 100}}$$

Jeżeli, zgodnie z poprzednimi założeniami, przyjmiemy przeciętną wartość 0,7 dla funkcji $\sin \alpha$ i $\cos \alpha$, to uzyskamy:

$$m_{\xi_5 - 30} = m_{\gamma_5 - 30} = \pm 0'',005 \sqrt{0,7} \cdot \sqrt{80} m_{(g_0 - \gamma_0) 5 - 30} = \pm 0'',038 \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) 5 - 30}$$

$$m_{\xi_{30} - 100} = m_{\gamma_{30} - 100} = \pm 0'',005 \sqrt{0,7} \cdot \sqrt{48} m_{(g_0 - \gamma_0) 30 - 100} = \pm 0'',029 \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) 30 - 100}$$

Wobec tego:

$$0'',11 \leq 0'',038 \cdot |m_{(g_0 - \gamma_0) 5 - 30}|,$$

$$0'',11 \leq 0'',029 \cdot |m_{(g_0 - \gamma_0) 30 - 100}|$$

Na podstawie tych wzorów dopuszczalne średnie błędy określenia anomalii Faye'a dla poszczególnych wycinków sektorów w strefie 5 — 30 km i 30 — 100 km powinny wynosić:

$$|m_{(g_0 - \gamma_0) 5 - 30}| \leq 2,9 \text{ mgal},$$

$$|m_{(g_0 - \gamma_0) 30 - 100}| \leq 3,8 \text{ mgal}.$$

c) Strefa 100 — 300 km.

W oparciu o wzory podane uprzednio, średnie błędy określenia składowych odchyleń pionu z danych grawimetrycznych tej strefy przedstawiają się następująco:

$$m_{\xi_{100} - 300} = \pm 0'',002 \sqrt{\sum_1^{24} \sum_1^5 \cos \alpha_i \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) 100 - 300}},$$

$$m_{\gamma_{100} - 300} = \pm 0'',002 \sqrt{\sum_1^{24} \sum_1^5 \sin \alpha_i \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) 100 - 300}}.$$

Uwzględniając poprzednie założenia otrzymamy:

$$\begin{aligned} m_{\xi_{100} - 300} = m_{\gamma_{100} - 300} &= \pm 0'',002 \sqrt{0,7} \cdot \sqrt{120} m_{(g_0 - \gamma_0) 100 - 300} = \\ &= \pm 0'',018 m_{(g_0 - \gamma_0) 100 - 300}. \end{aligned}$$

Dla przyjętego przez nas warunku: $|m_{\xi_{100} - 300}| = |m_{\gamma_{100} - 300}| \leq 0'',16$ obliczymy, że: $|m_{(g_0 - \gamma_0) 100 - 300}| \leq 9 \text{ mgal}.$

d) Strefa 300 — 1000 km.

Na podstawie poprzednich rozważań i wzorów możemy napisać:

$$m_{\xi_{\text{E00}} - 1000} = \pm 0''0015 \cdot \sqrt{\sum_1^{24} \sum_1^8 \cos \alpha_i \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) \text{E00} - 1000}},$$

$$m_{\eta_{\text{E00}} - 1000} = \pm 0''0015 \cdot \sqrt{\sum_1^{24} \sum_1^8 \sin \alpha_i \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) \text{E00} - 1000}}.$$

Wobec tego:

$$\begin{aligned} m_{\xi_{\text{E00}} - 1000} = m_{\eta_{\text{E00}} - 1000} &= \pm 0'',0015 \sqrt{0,7} \cdot \sqrt{192} \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) \text{E00} - 1000} = \\ &= \pm 0'',018 \cdot m_{(g_0 - \gamma_0) \text{E00} - 1000}. \end{aligned}$$

Zakładając $|m_{\xi_{\text{E00}} - 1000}| = |m_{\eta_{\text{E00}} - 1000}| \leq 0'',16$ otrzymujemy, że dopuszczalny średni błąd określenia anomalii Faye'a wynosi:

$$|m_{(g_0 - \gamma_0) \text{E00} - 1000}| \leq 9 \text{ mgal}.$$

Podsumujmy obecnie przeprowadzoną analizę dokładnościową. Przyjęliśmy, że średni błąd obliczenia składowych grawimetrycznego odchylenia pionu ξ_{gr} i η_{gr} , na podstawie danych grawimetrycznych z obszaru w promieniu kilkuset kilometrów od punktu astronomiczno-geodezyjnego, nie powinien być większy niż $\pm 0'',33$. Przy tym założeniu, rozłożenie punktów grawimetrycznych koncentrycznie wokół punktów astronomiczno-geodezyjnych sieci triangulacji głównej oraz dokładności określenia dla nich wartości anomalii siły ciężkości Faye'a powinny być takie, aby:

- 1) dla strefy centralnej w promieniu do 1,5 km można było wyznaczyć gradient horyzontalny anomalii Faye'a z błędem nie większym niż 0,7 mgal/km (czyli 7 E); należy więc mieć w tej strefie punkty grawimetryczne (na podstawie których obliczamy gradient horyzontalny) o wartości anomalii Faye'a określonej ze średnim błędem nie większym niż $\pm 1,5$ mgal;
- 2) dla każdego wycinka sektora (które powstały w wyniku podzielenia otoczenia punktu astronomiczno-geodezyjnego na odpowiednią ilość stref i sektorów) można było określić średnią wartość anomalii siły ciężkości Faye'a ze średnim błędem nie większym niż odpowiednio:

dla strefy	1,5 — 5 km		$ m_{(g_0 - \gamma_0) 1,5 - 5} $	$\leq 2,2$ mgal
„	5 — 30 km		$ m_{(g_0 - \gamma_0) 5 - 30} $	≤ 3 mgal
„	30 — 100 km		$ m_{(g_0 - \gamma_0) 30 - 100} $	≤ 4 mgal
„	100 — 300 km		$ m_{(g_0 - \gamma_0) 100 - 300} $	≤ 9 mgal
„	300 — 1000 km		$ m_{(g_0 - \gamma_0) 300 - 1000} $	≤ 9 mgal

Należy pamiętać, że średnie błędy określenia wartości anomalii Faye'a reprezentującej cały wycinek sektora (jako przeciętna wartość w tym

obszarze) zależą od: a) średniego błędu wyznaczenia w systemie poczdamskim wartości g punktów grawimetrycznych, b) średniego błędu wyznaczenia wysokości npm. tych punktów grawimetrycznych, c) średniego błędu, z jakim określić możemy średnią wartość anomalii Faye'a dla całego obszaru wycinka sektora, w oparciu o znane wartości anomalii Faye'a na odpowiednich punktach grawimetrycznych, położonych w tym wycinku sektorowym.

Z przeprowadzonej analizy wynika potrzeba posiadania bardziej dokładnych danych grawimetrycznych dla obszaru w promieniu do około 30 km od punktu astronomiczno-geodezyjnego (szczegółowe zdjęcie grawimetryczne) oraz danych o mniejszej dokładności dla obszarów położonych dalej od punktu astronomiczno-geodezyjnego (wystarczająco rzadziej rozłożone punkty, tworzące tzw. ogólne zdjęcie grawimetryczne).

Ilość punktów grawimetrycznych, na podstawie których można przedstawić z wystarczającą dokładnością ogólny przebieg anomalii Faye'a zależy od rzeźby terenu, gradientu horyzontalnego anomalii oraz charakteru pola grawitacyjnego.

Analizując pod tym względem polskie warunki dochodzimy do wniosku, że dla przedstawienia tzw. ogólnego zdjęcia na obszarze Polski należy mieć na terenach nizinnych i równinnych przeciętnie 8 — 10 punktów grawimetrycznych na obszarze 1000 km², a w terenach podgórskich — odpowiednio 12 — 15 punktów na 1000 km².

Gęstość zdjęcia ogólnego jest także zależna od przebiegu i charakteru anomalii, wobec czego w niektórych rejonach trzeba jednak przewidzieć zwiększenie podanej minimalnej ilości punktów.

Średni błąd wyznaczenia wartości anomalii Faye'a dla tych punktów nie powinien być zasadniczo większy niż $\pm 1,5$ mgal. Przy takiej gęstości punktów grawimetrycznych oraz dokładności pomiaru, możemy być pewni, że dla konkretnych polskich warunków spełnione będą podane powyżej założenia dokładnościowe, tj.

$$|m_{(g_0 - \gamma_0) 30 - 100}| \leq 4 \text{ mgal} \quad \text{oraz} \quad |m_{(g_0 - \gamma_0) 100 - 1000}| \leq 9 \text{ mgal}.$$

Należy na marginesie zaznaczyć, iż dla ogólnego zdjęcia grawimetrycznego w ZSRR, opartego na punktach grawimetrycznych odległych co 30 km, Mołodeński [23] i Izotow [6] oceniają średni błąd pełnej reprezentacji i interpolacji na ± 7 mgal.

Dla szczegółowego opracowania grawimetrycznego w najbliższym otoczeniu (tj. w promieniu do 30 km) wszystkich punktów astronomiczno-geodezyjnych triangulacji głównej, należy mieć koncentrycznie usytuowane i o odpowiednim zagęszczeniu punkty grawimetryczne. Ilość tych punktów i gęstość zdjęcia zależy przede wszystkim od rzeźby terenu, w jakim znajduje się punkt astronomiczno-geodezyjny, oraz od charakteru i przebiegu anomalii.

W związku z tym podzieliliśmy obszar Polski na cztery kategorie terenu: 1) równinny, 2) pagórkowaty, 3) podgórski i 4) górski.

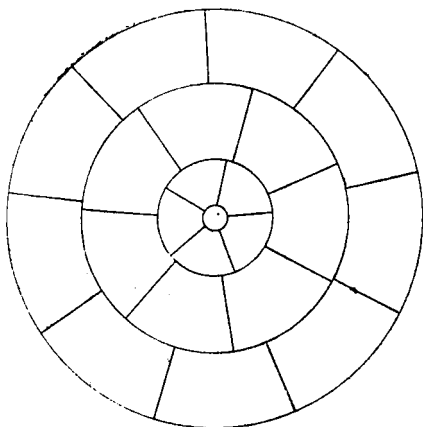
Biorąc pod uwagę wymagane kryteria dokładnościowe oraz realne warunki polskie, ustalone zostały minimalne ilości punktów grawimetrycznych oraz ich usytuowanie względem punktu astronomiczno-geodezyjnego dla czterech ustalonych kategorii terenu (patrz tabl. 3).

Tablica 3

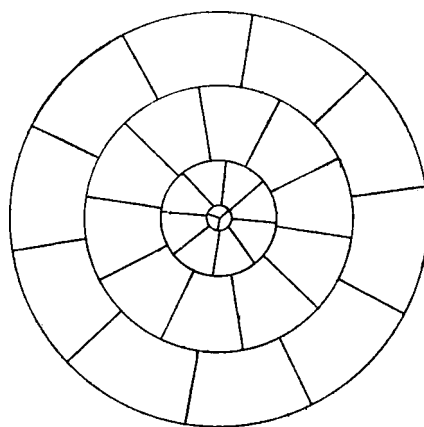
Strefa	Promień wewnętrzny i zewnętrzny strefy koncentrycznej wokół p-ktu astronomiczno-geodezyjnego (w km)	Minimalna ilość punktów grawimetrycznych w strefie, w zależności od rzeźby terenu			
		Kategoria terenu			
		1	2	3	4
A	0 — 1,5	1	3	4	5
B	1,5 — 7,5	5	8	12	20
C	7,5 — 17,5	7	10	15	24
D	17,5 — 27,5	9	10	12	15
Razem		22	31	43	64

W każdej strefie (A, B, C, D) usytuowanie punktów powinno być koncentryczne, przy uwzględnieniu rozłożenia punktów w sąsiednich strefach.

Dla ilustracji przedstawiono poglądowo na rys. 1, 2 i 3 minimalne rozłożenie punktów grawimetrycznych wokół punktu astronomiczno-geo-



Rys. 1. Teren równinny.



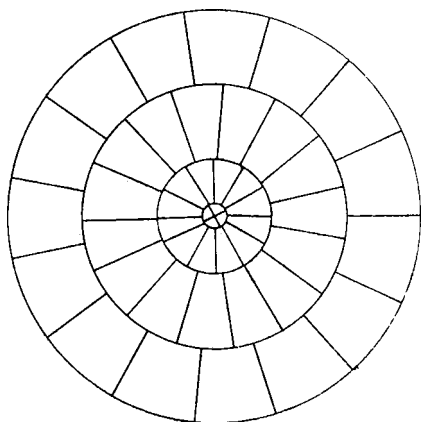
Rys. 2. Teren pagórkowaty

dezyjnego, dla dominujących na obszarze Polski kategorii terenu: równinnego (rys. 1), pagórkowatego (rys. 2) i podgórskiego (rys. 3). W każdym wycinku sektora, jakie przedstawiono na rysunkach, powinien być minimalnie jeden punkt grawimetryczny.

Podane założenia rozumiemy jako minimalne. W miarę możliwości trzeba dążyć do zwiększenia ilości punktów grawimetrycznych, aby możliwie najdokładniej przedstawić przebieg anomalii Faye'a w najbliższym otoczeniu punktów astronomiczno-geodezyjnych.

Średni błąd wyznaczenia wartości anomalii Faye'a dla poszczególnych punktów grawimetrycznych nie powinien być większy niż $\pm 1-1,5$ mgal, aby zapewnić uzyskanie dokładności wynikających z przeprowadzonej analizy: $|m_{(g_0 - \gamma_0) 0-1,5}| \leq 1,5$ mgal,

$$|m_{(g_0 - \gamma_0) 1,5-5}| \leq 2,2 \text{ mgal} \quad \text{oraz} \quad |m_{(g_0 - \gamma_0) 5-30}| \leq 3 \text{ mgal}.$$



Rys. 3. Teren podgórski

Wobec powyższego, opierając się na rozważaniach p. 2. 1. niniejszej pracy, średni błąd wyznaczenia wartości g w systemie poczdamskim powinien być nie większy niż $\pm 0,8-1,2$ mgal, przy średnim błędzie wyznaczenia wysokości npm. punktów grawimetrycznych nie większym niż $\pm 2-3$ m.

Wszystkie punkty grawimetryczne przyjęte dla potrzeb triangulacji muszą mieć wyznaczone wartości przyspieszeń siły ciężkości w jednolitym systemie dla obszaru całego kraju, zgodnym z systemem poczdamskim.

2. 3. Podsumowanie wymagań, jakim powinny odpowiadać materiały grawimetryczne dla potrzeb sieci niwelacji I klasy i sieci astronomiczno-geodezyjnej w Polsce

Dla opracowania nowozałożonej polskiej sieci niwelacji I klasy i sieci triangulacji głównej potrzebne są dane grawimetryczne:

- punktów charakteryzujących ogólne pole grawitacyjne na obszarze całego kraju; gęstość punktów nie mniejsza niż 8 — 10 na 1000 km² w terenie równinnym oraz 12 — 15 na 1000 km² w terenie podgórskim i górskim; punkty powinny być tak dobrane, aby wartość anomalii siły ciężkości Faye'a poszczególnego punktu była przeciętną dla całego obszaru, który ten punkt reprezentuje;
- punktów usytuowanych koncentrycznie w otoczeniu wszystkich punktów astronomiczno-geodezyjnych sieci triangulacji głównej; na obszarze w promieniu około 30 km od punktu astronomiczno-geodezyjnego powinno być odpowiednie zagęszczenie punktów grawimetrycznych, ilość których w zależności od rzeźby terenu nie powinna być

mniejsza niż 22 — w terenie nizinnym i 65 — w terenie górskim tabl. 3 i rys. 1, 2, 3);

- punktów usytuowanych wzdłuż wszystkich ciągów niwelacji precyzyjnej I klasy; odległości pomiędzy punktami grawimetrycznymi wzdłuż ciągu, zależnie od rzeźby terenu i charakteru pola grawitacyjnego, powinny być nie większe niż 1 — 2 km — w terenie górskim i podgórskim oraz 4 — 6 km — w terenie równinnym.

Wartości przyspieszeń siły ciężkości wszystkich punktów grawimetrycznych muszą być opracowane w jednolitym poziomie grawimetrycznym, zgodnym z systemem poczdamskim.

Średnie błędy wartości przyspieszeń siły ciężkości, w odniesieniu do grawimetrycznego punktu wyjściowego w Poczdamie, oraz średnie błędy wyznaczenia wysokości nad poziomem morza punktów grawimetrycznych, powinny być tego rzędu, aby umożliwić obliczenia wartości anomalii siły ciężkości Faye'a ze średnim błędem nie większym niż $\pm 1,5$ mgal. Wobec tego, praktycznie średni błąd wartości g w systemie poczdamskim $|m_g| \leq 0,8 - 1,2$ mgal, a średni błąd wysokości npm. $|m_H| \leq 2 - 3$ m. Możliwie najdokładniej należy wyznaczyć punkty grawimetryczne wzdłuż ciągów niwelacji I klasy oraz w najbliższym otoczeniu punktów astronomiczno-geodezyjnych sieci triangulacji głównej.

Wszystkie materiały grawimetryczne, zarówno dla potrzeb niwelacji, jak i triangulacji, powinny być opracowane w anomaliiach siły ciężkości Faye'a. Przy wyznaczeniach anomalii trzeba obliczać wartość normalną siły ciężkości wg wzoru Helmerta z lat 1901 — 1908.

Należy podkreślić, że do opracowania polskich sieci geodezyjnych powinniśmy — oprócz danych grawimetrycznych z obszaru naszego kraju — posiadać również odpowiednie ogólne dane grawimetryczne z państw sąsiednich, przynajmniej w zakresie kilkuset km od naszej granicy (np. w postaci ogólnych map anomalii siły ciężkości Faye'a w skali 1 : 2 000 000).

3. Analiza posiadanych materiałów grawimetrycznych

Celem ustalenia właściwego programu prac, związanych z opracowaniem grawimetrycznym dla potrzeb geodezji, konieczne było przeanalizowanie posiadanych dla obszaru Polski materiałów grawimetrycznych pod względem możliwości ich wykorzystania dla polskiej sieci niwelacji I klasy i sieci astronomiczno-geodezyjnej.

Materiały grawimetryczne dla obszaru Polski, posiadane w 1953 roku, pochodziły z rozmaitych pomiarów, wykonywanych w rozmaitych okresach czasu, dla różnych potrzeb, o rozmaitej gęstości zdjęcia grawimetrycznego, dokładności pomiarów i różnej ostatecznej formie opracowania. Wartości przyspieszenia siły ciężkości podawane były w ogólnie stosowanym w grawimetrii — systemie poczdamskim (tj. przyjmującym,

jako wartość wyjściową do obliczeń g , wartość przyspieszenia siły ciężkości w sali wahadłowej Instytutu Geodezyjnego w Poczdamie, wyznaczoną w wyniku pomiarów bezwzględnych Kühnena i Furtwänglera [14]). Istniejące dawne materiały grawimetryczne nie były jednak ujednolicone pod względem poziomu odniesienia grawimetrycznego. Na obszarze Polski nie mieliśmy jednolitej podstawowej sieci grawimetrycznej, jak to na przykład miała Czechosłowacja ([3], [4]), Węgry [4] lub inne państwa. Tylko dla części obszaru kraju założone były regionalne sieci podstawowe, nie tworzące jednolitej całości. Brak było zupełnie danych grawimetrycznych dla Bałtyku.

Należy podkreślić, iż przeważająca większość materiałów grawimetrycznych znajdowała się w posiadaniu Instytutu Geologicznego. Dzięki udzielonemu przez Centralny Urząd Geologii zezwoleniu oraz zawdzięczając uprzejmemu stanowisku pracowników Instytutu Geologicznego, mieliśmy możliwość szczegółowo przeanalizować zebrane w archiwum Instytutu Geologicznego materiały grawimetryczne, odnoszące się do pomiarów dla celów geologiczno-poszukiwawczych, jak i uzyskane z rewindykacji dawne grawimetryczne materiały niemieckie.

Analizą objęliśmy wszystkie posiadane dla obszaru Polski w 1953 roku materiały grawimetryczne. Przede wszystkim wzięte zostały pod rozwagę materiały z ostatnich dwudziestu kilku lat, gdyż starsze materiały, ze względu na zbyt małą dokładność dla potrzeb geodezji, nie mogły być praktycznie brane pod uwagę.

3. 1. *Krótką charakterystyką przeanalizowanych materiałów grawimetrycznych*

Dla omówienia przeanalizowanych materiałów grawimetrycznych podzielimy je na kilka grup zależnie od instrumentów, jakimi były przeprowadzane pomiary, jakości oraz ostatecznej formy opracowania.

Przedstawiamy obecnie kolejno krótką charakterystykę poszczególnych przeanalizowanych materiałów grawimetrycznych.

3. 1. 1. *Pomiary przeprowadzane aparaturą wahadłową*

3. 1. 1. 1. *Pomiary przeprowadzane przed pierwszą wojną światową.*

Na terenie Polski przeprowadzane były już przed pierwszą wojną światową pomiary względne przyspieszenia siły ciężkości aparaturą wahadłową. Dane dotyczące tych dawnych pomiarów podane zostały w raporcie Borrassa na zjazd międzynarodowej Asocjacji Geodezji w 1909 roku [47]. Należy zaznaczyć, że nie znane są nam inne dane dotyczące dawnych pomiarów na obszarach polskich (następne raporty Borrassa za lata 1909 — 12 oraz Solera z okresu 1912 — 24 r. nie zawierają danych dla obszaru Polski).

Pomiary aparaturą wahadłową były przeprowadzane przez Sternecka, Birkenmajera, Rudzkiego i Reiterdanka (w latach 1892 — 1903) na terenie Małopolski oraz przez Sawicza, Sokołowa, Krasnowa i Illaszewicza (w latach 1866 — 1900) na terenie ówczesnego zaboru rosyjskiego. Omawiane względne pomiary przyspieszenia siły ciężkości były odniesione do podstawowych punktów grawimetrycznych w Wiedniu, Krakowie, Kazaniu i Puławach. Wyniki tych pomiarów zostały następnie odpowiednio przeliczone przez Borrassa i wyrównane w systemie poczdamskim.

Dokładność poszczególnych wyznaczeń wartości g była mała. Średni błąd wartości przyspieszenia siły ciężkości, oszacowany na podstawie analizy tych kilku punktów wahadłowych, wynosi wg Helmera, jak również Kwiatkowskiego [16] od kilkunastu do kilkudziesięciu miligali.

Ze względu na bardzo małą dokładność, wyniki dawnych pomiarów wahadłowych z przed pierwszej wojny światowej nie były w ogóle brane pod uwagę przy praktycznych opracowaniach dla celów geodezyjnych.

3. 1. 1. 2. Pomiary przeprowadzane aparaturą wahadłową, posiadaną przez Obserwatorium Astronomiczne w Krakowie.

W ramach prac zorganizowanych przez T. Banachewicza, przeprowadzane były na terenie Polski pomiary aparaturą wahadłową posiadaną przez Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie.

Tą aparaturą wykonał T. Olczak w latach 1926 — 1934 szereg względnych wyznaczeń przyspieszenia siły ciężkości. Prace te związane były przede wszystkim z programem Bałtyckiej Komisji Geodezyjnej. Pomiary aparaturą wahadłową przeprowadzono na Pomorzu i częściowo w poznańskim [25] oraz w kieleckim i na Podkarpaciu [26]. Punktem wyjściowym tych względnych pomiarów był podstawowy punkt grawimetryczny w Krakowie (Obserwatorium Astronomiczne).

Dokonana przez T. Olczaka analiza dokładnościowa wykazała, że wyznaczenia wartości przyspieszenia siły ciężkości poszczególnych punktów pomiarowych, w stosunku do punktu w Krakowie, obciążone są średnim błędem ± 3 mgal.

W roku 1937 T. Słószarz przeprowadził na terenie byłego województwa śląskiego [35] pomiary aparaturą wahadłową Obserwatorium Astronomicznego. Prace te, zorganizowane przez T. Banachewicza i subsydiowane przez Polską Akademię Umiejętności, objęły wyznaczenia wartości g dla 15 punktów w nawiązaniu do wyjściowego punktu w Krakowie. Średni błąd pomiaru różnicy przyspieszenia siły ciężkości, między poszczególnym punktem pomiarowym i punktem wyjściowym w Krakowie, wynosi wg analizy T. Słószarza ± 3 mgal.

Jak widać, pomiary aparaturą wahadłową posiadaną przez Obserwatorium Astronomiczne w Krakowie, charakteryzowały się — z uwagi

na przestarzałą aparaturę — dość dużym średnim błędem wyznaczenia wartości g w porównaniu do obecnych wymagań dokładnościowych.

Biorąc pod uwagę założone w poprzednim punkcie niniejszej pracy kryteria dokładnościowe, dla potrzeb geodezyjnego opracowania nie były praktycznie wykorzystane wyniki omawianych pomiarów wahadłowych.

3. 1. 1. 3. *Pomiary przeprowadzane przez Główny Urząd Miar.*

Na terenie Polski liczne pomiary grawimetryczne aparaturą wahadłową przeprowadzał Główny Urząd Miar. Pomiary te wykonywane były w okresie od 1926 do 1938 roku.

Pierwsze prace Głównego Urzędu Miar aparatem wahadłowym przeprowadzał M. Kował — Miedźwiecki na Pomorzu i w Warszawie [22], a następnie — łącznie z T. Olczakiem i A. Kwiatkowskim — na Pomorzu [15]. Te pierwsze pomiary obejmują okres lat 1926-28. Dokładność wyznaczeń Δg była rzędu 1,5 — 3,5 mgal.

Od roku 1930 do 1938 pomiary aparaturą wahadłową przeprowadzał A. Kwiatkowski przy współudziale J. Niewiarowskiego i J. Dejmicza ([16], [17], [18], [19], [20], [50]).

Wyjściowym punktem dla tych względnych pomiarów był podstawowy grawimetryczny punkt wahadłowy Warszawa, Główny Urząd Miar, dla którego przyjmowana była w systemie poczdamskim wartość $g = 981,2412$ gal.

Przeprowadzane na bardzo szeroką skalę przez A. Kwiatkowskiego wyznaczenia względne przyspieszenia siły ciężkości aparatem wahadłowym obejmowały w przeważającej większości punkty położone na obszarach na wschód od Bugu oraz częściowo punkty w środkowej Polsce.

Średni błąd pomiaru różnicy przyspieszenia siły ciężkości (Δg) pomiędzy punktem podstawowym Warszawa GUM i poszczególnymi punktami pomiarowymi kształtował się dla pomiarów z lat 1930-1938, według analizy A. Kwiatkowskiego, w granicach $\pm 0,5$ — 1,8 mgal. Jedynie dla kilku punktów średni błąd przekraczał wielkość 2 mgal. Przeciętnie dla większości punktów średni błąd wartości g , wyznaczonej w nawiązaniu do punktu podstawowego Warszawa GUM, wynosi około ± 1 mgal.

Należy podkreślić, iż przeprowadzone przez A. Kwiatkowskiego w 1934 i w 1937 r. [19] bezpośrednie nawiązania punktu podstawowego Warszawa GUM do grawimetrycznego punktu wyjściowego w Poczdamie stanowią cenny wkład do zagadnienia ustalenia grawimetrycznego poziomu odniesienia (zajmiemy się tym zagadnieniem w dalszej części niniejszej pracy).

Opierając się na podanych w publikacjach GUM dokładnościach pomiarów, można byłoby mieć na uwadze — przy ewentualnym ich wykorzystaniu dla celów geodezyjnych — tylko część punktów wahadłowych

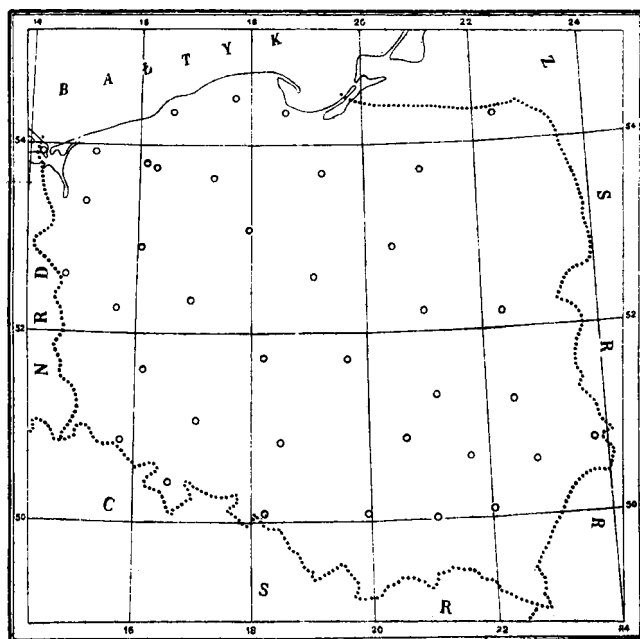
z wyznaczeń przeprowadzonych przez A. Kwiatkowskiego w latach 1930-38; starsze pomiary były bowiem zbyt mało dokładne.

Wykorzystanie punktów pomiarów wahadłowych Kwiatkowskiego, jako osnowy zapewniającej jednolity grawimetryczny poziom odniesienia, było praktycznie dla naszych potrzeb niemożliwe, ze względu na to, że nie obejmowały one całego obszaru kraju, a jedynie część środkowej i wschodniej Polski oraz z uwagi na zbyt małą dokładność wyznaczenia wartości g (przeciętnie około 1 mgal), jak na nasze obecne potrzeby. Należy również zaznaczyć o zaginięciu części punktów w wyniku działań wojennych.

Wobec powyższego punkty pomiarów wahadłowych A. Kwiatkowskiego mogły być — w miarę potrzeb — wykorzystane przy opracowaniu geodezyjnym dla przedstawienia ogólnego pola grawimetrycznego (dla tzw. zdjęcia ogólnego) w rejonach gdzie brak było nowszych materiałów, oraz mogły stanowić cenną kontrolę przed popełnieniem grubszych błędów przy nowych pomiarach grawimetrami.

3. 1. 1. 4. Pomiary przeprowadzane przez Geodezyjny Instytut Poczdamski.

Geodezyjny Instytut Poczdamski (Geodätisches Institut in Potsdam) przeprowadził w latach 1936 — 1943 szereg pomiarów aparatami wahadłowymi na punktach położonych na obszarze Polski. Dane dotyczące wyników tych pomiarów podane zostały w publikacji Weikena [38].



Rys. 4. Punkty wahadłowe Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego

Na obszarze Polski znajduje się 38 punktów założonych i pomierzonych przez Geodezyjny Instytut Poczdamski. Punkty te są na ogół regularnie rozłożone na obszarze całego kraju, tworząc dość jednolitą powierzchnię sieć punktów wahadłowych (patrz rys. 4).

Wyznaczenia względne przyspieszenia siły ciężkości dokonywane były w nawiązaniu do podstawowego wyjściowego punktu grawimetrycznego w Poczdamie.

Na poszczególnych punktach pomiary aparaturą wahadłową przeprowadzane były kilkakrotnie przez różnych obserwatorów, innymi instrumentami oraz przeważnie w różnych okresach czasu. Stosowano także częste nawiązania do Poczdamu, jako zamknięcie cyklu pomiarowego.

Średnie błędy wyznaczenia wartości g poszczególnych punktów, w stosunku do wartości wyjściowej przyspieszenia siły ciężkości w Poczdamie, oszacowane zostały przez Weikena w granicach od $\pm 0,2$ do $\pm 0,8$ mgal.

W tabl. 4 podano ilość punktów wahadłowych scharakteryzowanych odpowiednimi średnimi błędami. Przeciętny średni błąd wyznaczenia wartości przyspieszenia siły ciężkości wynosi $\pm 0,39$ mgal.

Tablica 4

Średni błąd wyznaczenia wartości g (w mgal)	Ilość punktów wahadłowych
poniżej $\pm 0,3$	15
$\pm 0,3 - 0,4$	8
$\pm 0,4 - 0,5$	5
$\pm 0,5 - 0,6$	4
$\pm 0,6 - 0,8$	6
	38

Należy podkreślić, iż punkty pomiarów wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego, ze względu na swoją wysoką dokładność, regularne usytuowanie (jak widać z rys. 4) oraz staranne nawiązanie do wyjściowego punktu grawimetrycznego w Poczdamie, mogą stanowić cenną podstawę grawimetryczną dla zapewnienia jednolitego poziomu odniesienia grawimetrycznego całemu naszemu opracowaniu dla potrzeb geodezyjnych.

3. 1. 2. Pomiary wykonane grawimetrami

3. 1. 2. 1. Pomiary przeprowadzane dla potrzeb geologicznych.

Bardzo cennymi materiałami grawimetrycznymi dla naszego opracowania były materiały pomiarów wykonanych grawimetrami dla potrzeb geologicznych.

Materiały z pomiarów wykonanych grawimetrami przed 1939 rokiem w dużym stopniu zaginęły. Z istniejących materiałów mogły być w pewnym stopniu wykorzystane dla naszych potrzeb zdjęcia grawimetryczne E. Janczewskiego (na Kujawach) i St. Pawłowskiego (przede wszystkim w Kielecczyźnie).

Po wojnie rozpoczęte zostały na bardzo szeroką skalę prace grawimetryczne dla potrzeb geologicznych. Pomiary przeprowadzano grawimetrami kwarcowymi typu Nörgaarda. Poczynając od 1947 roku rozwój tych prac stale wzrastał.

Pomiary dla potrzeb geologicznych wykonywane były przede wszystkim przez Państwowy Instytut Geologiczny (obecny Instytut Geologiczny) oraz przez Państwowe Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych.

Miały one charakter zdjęć regionalnych i szczegółowych. Osnowę tych zdjęć stanowiły odpowiednio zakładane lokalne sieci podstawowe.

Pomiary przeprowadzane były w ramach prac Instytutu Geologicznego przede wszystkim przez St. Pawłowskiego w rejonie Łodzi, Gór Świętokrzyskich i w innych regionach środkowej Polski ([27], [28], [29], [30]) oraz przez R. Wielądka w północno-wschodniej Polsce ([39], [40]), a w ramach prac Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych przez K. Maryniaka, Z. Kaczkowską, E. Czernikowską, W. Dudę i innych autorów zdjęć na obszarach wschodniej i południowej, a częściowo i środkowej Polski.

Należy zaznaczyć, iż naszą analizą objeliśmy nie tylko materiały opublikowane, ale także bardzo obszerne nie opublikowane materiały zdjęć grawimetrycznych wykonanych w ostatnich latach dla potrzeb geologicznych.

Omawiane pomiary grawimetrami Nörgaarda charakteryzowały się przeciętnie średnim błędem $\pm 0,10 - 0,25$ mgal wyznaczenia różnicy Δg dla przęsła lokalnej sieci podstawowej. Dokładność wyznaczenia przyspieszenia siły ciężkości punktów szczegółowych, w stosunku do wartości g punktu lokalnej sieci podstawowej, kształtowała się przeciętnie w granicach $0,2 - 0,4$ mgal.

Regionalne sieci podstawowe, stanowiące osnowę zdjęć szczegółowych dla potrzeb geologii, nie miały jednolitego charakteru. Niektóre z nich założone były na stosunkowo małych obszarach, przy czym odległości pomiędzy punktami podstawowymi wynosiły około $5 - 10$ km. Natomiast sieć podstawowa założona przez R. Wielądka w północno-wschodniej Polsce [39] obejmowała dużą część kraju, a odległości pomiędzy punktami wynosiły około $30 - 40$ km. Sieć ta, oparta na wartości g punktu wyjściowego Warszawa GUM, nawiązana została do kilku punktów wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego. Stanowiła ona cenną osnowę grawimetryczną w tej części naszego kraju.

Poszczególne lokalne sieci podstawowe, w wielu przypadkach nie powiązane ze sobą, o różnym poziomie odniesienia grawimetrycznego, nie tworzyły łącznie jednolitej sieci.

Gęstość zdjęcia szczegółowego była rozmaita, a dla niektórych rejonów dochodziła do 1 punktu na 2 km².

Wysokości punktów grawimetrycznych nad poziomem morza uzyskane były dla pomiarów na Podkarpaciu i w Karpatach na podstawie specjalnie w tym celu przeprowadzanej niwelacji geometrycznej. Dla pomiarów w innych obszarach wysokości n.p.m. punktów grawimetrycznych określone były z odpowiednich topograficznych map warstwicowych.

Pomiary przeprowadzone grawimetrami Nörngaarda dla potrzeb geologicznych objęły do 1953 roku większą część środkowej i wschodniej Polski.

Analiza tych materiałów doprowadziła do wniosku, że mogą być one w bardzo dużym zakresie wykorzystane dla naszych potrzeb. Niezbędne było w tym celu odpowiednie ujednolicenie grawimetrycznego poziomu odniesienia i uzgodnienie z systemem poczdamskim oraz adaptacja tych materiałów z uwagi na potrzeby sieci niwelacyjnej i sieci astronomiczno-geodezyjnej.

3. 1. 2. 2. *Pomiary Geodezyjnego Instytutu Naukowo-Badawczego.*

W latach 1950-52 Geodezyjny Instytut Naukowo-Badawczy (obecny Instytut Geodezji i Kartografii) wykonał pomiary grawimetryczne w okolicach Warszawy (sieć regionalna i częściowo zdjęcie szczegółowe), mające na celu opracowanie grawimetryczne doświadczalnego pola geodezyjnego na południe od Warszawy oraz jego powiązanie z okolicami Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjnego na Borowej Górze. Pomiary przeprowadzone zostały przez J. Niewiarowskiego i J. Bokuna grawimetrem Nörngaarda w nawiązaniu do punktu Warszawa GUM. Dokładność pomiaru $\Delta\gamma$ przeszła sieci wynosi 0,15 mgal, a punktu szczegółowego 0,2 — 0,3 mgal.

Materiały tych pomiarów wymagały odpowiedniej adaptacji, analogicznie jak pomiary wyżej omówione (p. 3. 1. 2. 1.), z punktu widzenia konkretnych potrzeb nowozałożonych podstawowych sieci geodezyjnych.

3. 1. 3. *Graficzne materiały niemieckich pomiarów grawimetrycznych*

Na obszarze Polski przeprowadzane były pomiary grawimetryczne przez niemieckie firmy poszukiwawcze „Seismos” i „Praklag”. Pomiarami tymi objęto w okresie kilku lat przed drugą wojną światową (tj. według posiadanych przez nas wiadomości w 1936-39 roku) większą część Ziemi Odzyskanych w zachodnich terenach Polski oraz podczas wojny (w latach 1940-44) część północnej, środkowej i południowej Polski.

Z pomiarów tych dysponowaliśmy jedynie graficznym przedstawieniem wyników pomiarowych, w przeważającej ilości bez żadnych danych katalogowych.

Posiadaną przez nas dokumentację tych pomiarów grawimetrycznych stanowiły przede wszystkim mapy anomalii siły ciężkości Bouguera w ska-

li 1 : 200 000. Na mapach tych był przedstawiony przebieg izolinii anomalii Bouguera w odcinkach 2 mgal oraz zaznaczone były położenia punktów pomiarowych. Zdjęcie grawimetryczne, stanowiące podstawę do opracowania tej mapy przez firmę Seismos, miało charakter regularny i powierzchniowy. Gęstość zdjęcia przeciętnie 5 — 6 punktów grawimetrycznych na 100 km².

Dla niektórych rejonów środkowej Polski (pomiarów w okresie wojny) gęstość zdjęcia była większa, a dokumentację stanowiły szkiecowe mapy anomalii Bouguera w skali 1 : 100 000 oraz częściowo-tymczasowe sprawozdania techniczne.

Należy zaznaczyć, że dla całego obszaru Ziemi Zachodnich mapy anomalii Bouguera w skali 1 : 200 000 stanowiły jedyny materiał grawimetryczny jakim dysponowaliśmy w 1953 roku.

Istotnym zagadnieniem było gruntowne zanalizowanie tych materiałów i sprawdzenie ich wartości, mając na względzie potrzeby naszego opracowania.

3. 2. Sprawdzenie graficznych materiałów dawnych niemieckich pomiarów grawimetrycznych

Dla ustalenia programu prac grawimetrycznych bardzo ważnym zagadnieniem było stwierdzenie czy, i w jakim zakresie, mogą być dla celów geodezyjnych wykorzystane posiadane przez nas graficzne materiały dawnych pomiarów niemieckich. Konkretnie, trzeba było sprawdzić opracowane przez firmę Seismos mapy anomalii siły ciężkości Bouguera w skali 1 : 200 000.

Mianowicie, w wyniku sprawdzenia należało wyjaśnić, jaki poziom odniesienia był przyjmowany przy zdjęciach i opracowaniu Seismosu, zarówno przy obliczeniach wartości g , jak i wysokości oraz jaką średnią gęstość podłoża przyjmowano przy obliczaniu redukcji.

Mapy anomalii Bouguera skontrolowane zostały i przeanalizowane pod względem dokładności w oparciu o przeprowadzone porównania z wynikami: a) specjalnie wykonanych w celach kontrolnych nowych pomiarów grawimetrycznych, b) pomiarów wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego.

Nowe pomiary kontrolne wykonane zostały grawimetrem kwarcowym Nörngaarda jesienią 1953 roku na obszarze Pomorza Zachodniego.

Pomierzono specjalnie zaprojektowaną sieć składającą się z trzech zamkniętych poligonów oraz pewną ilość punktów pośrednich szczegółowych, położonych pomiędzy punktami sieci kontrolnej. Lokalizacja punktów tych nowych pomiarów grawimetrycznych była w miarę możliwości identyczna z lokalizacją dawnych punktów pomiarowych Seismosu.

Do założonej sieci kontrolnej weszło 8 punktów wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego z 9 punktów znajdujących się w tym obszarze (jednego punktu — Gryfice — nie udało się odtworzyć wskutek

zniszczeń wojennych) oraz 3 punkty podstawowej sieci grawimetrycznej, założonej przez R. Wielądka w północno-wschodniej Polsce [39].

Należy zaznaczyć, iż pomiary w terenie wykonane zostały, w oparciu o szczegółowy projekt Instytutu Geodezji i Kartografii, przez grupę grawimetryczną Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych (W. Duda).

Dokładność określenia wartości Δg przeszła nowopomierzonej sieci wynosiła około 0,15 mgal.

Po wyrównaniu sieci obliczono dla porównania wartości g wszystkich nowych punktów, opierając się na wyjściowych wartościach przyspieszeń siły ciężkości w/w trzech punktów sieci R. Wielądka. Wysokość n.p.m. nowych punktów grawimetrycznych wyznaczono z map topograficznych w skali 1 : 25 000. Następnie obliczono anomalie Bouguera przyjmując, zgodnie z notatkami Seismosu, średnią gęstość podłoża $\sigma = 1,9 \text{ gcm}^{-3}$ oraz wartość normalną siły ciężkości według wzoru podanego przez Helmera w latach 1901-1908.

Przeprowadzono szczegółowe porównanie posiadanych map Seismosu z wynikami pomiarów kontrolnych. W wyniku przeprowadzonego sprawdzenia i analizy stwierdzono:

- a) dobrą zgodność wartości różnicy Δg między poszczególnymi punktami wahadłowymi Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego, wyznaczonych z pomiarów kontrolnych grawimetrem Nörgaarda i pomiarów wahadłowych [38];
- b) że mapa anomalii Bouguera w skali 1 : 200 000 opracowana została przez firmę Seismos w oparciu o wyjściowe wartości g punktów wahadłowych oraz przy przyjęciu do redukcji wysokości H nad poziomem morza i gęstości średniej podłoża $\sigma = 1,9 \text{ gcm}^{-3}$;
- c) różnicę grawimetrycznego poziomu odniesienia przyjętego przez Instytut Geologiczny w północno-wschodniej Polsce (opartego na punkcie Warszawa GUM $g=981241,2$ mgal) w stosunku do poziomu punktów wahadłowych (nawiązanych do Poczdamu), który jest identyczny z poziomem przyjmowanym przez Seismos do opracowania omawianej mapy anomalii Bouguera; przeciętnie poziom grawimetryczny stosowany przez Instytut Geologiczny dla obliczenia wartości g sieci północno-wschodniej Polski jest o około 1 mgal wyższy (tj. wartości g są większe) niż poziom przyjmowany przy obliczaniu pomiarów wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego i przy sporządzaniu mapy Seismosu;
- d) zadawalającą zgodność (w granicach przeciętnie 0,6 — 0,8 mgal) wartości anomalii Bouguera dla poszczególnych punktów, uzyskanych z wyników nowych pomiarów kontrolnych, z wartościami anomalii uzyskanymi z mapy Seismosu, (po uwzględnieniu oczywiście różnicy poziomów wartości g wynoszącej około 1 mgal).

Porównanie danych, dotyczących punktów wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego w innych rejonach Ziemi Zachodnich z mapą

Seismosu potwierdza w/w wnioski, uzyskane z analizy kontrolnych pomiarów grawimetrem na Pomorzu Zachodnim.

Mając na uwadze potrzeby niwelacji i triangulacji w zakresie danych grawimetrycznych, dochodzimy do następujących wniosków, co do możliwości wykorzystania dawnych map anomalii Bouguera:

- 1) opracowane przez Seismos mapy anomalii siły ciężkości Bouguera w skali 1 : 200 000, ze względu na gęstość zdjęcia oraz dokładność, nie mogą być wykorzystane dla opracowania grawimetrycznego wzdłuż ciągów niwelacji I klasy, jak również dla najbliższego otoczenia punktów astronomiczno-geodezyjnych,
- 2) mapy te dla naszych celów mogą być wykorzystane natomiast w szerokim zakresie dla przedstawienia ogólnego pola grawitacyjnego na terenie Ziemi Zachodnich, dla których nie mieliśmy innych materiałów grawimetrycznych,
- 3) aby wykorzystać materiały Seismosu dla przedstawienia tzw. zdjęcia ogólnego, należało mieć możliwość z wystarczającą praktycznie dokładnością przejść z wartości anomalii Bouguera do wartości anomalii Faye'a (w których będziemy opracowywali materiały dla potrzeb geodezji);
- 4) przeprowadzić odpowiednią adaptację tych materiałów dla potrzeb geodezyjnych.

Podsumowując nasze rozważania dochodzimy do wniosku, że dla całego obszaru Ziemi Zachodnich należało wykonać nowe pomiary grawimetryczne w najbliższym otoczeniu wszystkich punktów astronomiczno-geodezyjnych oraz wzdłuż wszystkich linii niwelacji I klasy, natomiast dla przedstawienia tzw. ogólnego zdjęcia — wykorzystać dawne mapy anomalii Bouguera w skali 1 : 200 000, po uprzednio wykonanej odpowiedniej ich adaptacji.

4. Ustalenie wytycznych i programu prac grawimetrycznych dla potrzeb polskich geodezyjnych pomiarów podstawowych

Wytyczne i program prac związanych z przygotowaniem materiałów grawimetrycznych ustalony został biorąc pod uwagę:

- a) potrzeby sieci niwelacji I klasy i sieci astronomiczno-geodezyjnej pod względem: założenia punktów grawimetrycznych, ich dokładności, poziomu odniesienia i ostatecznej formy opracowania (patrz. p. 2).
- b) wnioski wynikające z przeprowadzonej analizy (p. 3) materiałów grawimetrycznych istniejących dla obszaru Polski,
- c) krótki, bo dwuletni termin przygotowania i opracowania całości materiałów grawimetrycznych,
- d) brak wysokoprecyzyjnych grawimetrów w kraju, które by mogły umożliwić ewentualne założenie i pomiar bardzo dokładnej, jednolitej

podstawowej sieci grawimetrycznej w Polsce (uzyskanie precyzyjnych grawimetrów z importu w tak krótkim czasie było praktycznie niemożliwe),

e) stronę ekonomiczną całego zagadnienia.

Jedynym właściwym rozwiązaniem w istniejących warunkach było oparcie opracowania grawimetrycznego zarówno na nowych, specjalnie w tym celu przeprowadzonych pomiarach grawimetrami Nörngaarda, jak i na adaptowanych istniejących materiałach grawimetrycznych.

Słuszną tezę było możliwie maksymalne wykorzystanie posiadanych materiałów grawimetrycznych, oczywiście tylko tych, które gwarantują zadawalającą dokładność dla celów geodezyjnych

Pierwszym zagadnieniem wymagającym rozstrzygnięcia było ustalenie grawimetrycznego poziomu odniesienia dla naszego opracowania (tj. zastosowanego przy przeprowadzaniu nowych pomiarów oraz przy adaptacji dawnych pomiarów grawimetrycznych).

4. 1. Ustalenie grawimetrycznego poziomu odniesienia

Zastanówmy się na czym zagadnienie to polega.

Grawimetrycznym poziomem odniesienia dla danego rejonu możemy nazwać system, w jakim obliczane są wartości g dla pomiarów grawimetrycznych w tym rejonie.

Obliczenie wartości przyspieszenia siły ciężkości, dla pomierzonych punktów sieci grawimetrycznej w danym rejonie, odbywa się w oparciu o wartości przyspieszenia siły ciężkości odpowiednio przyjętego punktu wyjściowego lub kilku punktów wyjściowych oraz na podstawie wyrównanych wartości Δg pomierzonych przęseł sieci.

Należy podkreślić, że pomierzone grawimetrami wartości różnic przyspieszenia siły ciężkości powinny być obliczone dla całej sieci z odpowiednią dokładnością, w jednolitych jednostkach, zgodnych z fizycznymi jednostkami przyspieszenia siły ciężkości (tj. w jednostkach $\text{gal} = 1 \text{ cm sek}^{-2}$).

W efekcie uzyskujemy dla punktów pomierzonych w danym rejonie wartości g w lokalnym grawimetrycznym poziomie odniesienia.

Dla pomiarów całego kraju (lub kilku krajów) istotnym jest ujednolicenie wszystkich lokalnych poziomów odniesienia i stworzenie jednego grawimetrycznego poziomu odniesienia dla całego obszaru państwa (czy też całego kontynentu).

- Ważnym zagadnieniem jest zapewnienie, aby jednostki, w jakich podane są wyniki pomiarów i przeprowadzane obliczenia, były z wystarczającą dokładnością zgodne z rzeczywistymi fizycznymi jednostkami przyspieszenia siły ciężkości.

Dla zapewnienia jednego poziomu odniesienia na obszarze całego kraju, powinna być zakładana podstawowa sieć pomierzona precyzyjnymi gra-

wimetrami oraz odpowiednia sieć kilku lub kilkunastu punktów wahadłowych wyznaczonych nowoczesną aparaturą czterowahadłową. Wzajemne odpowiednie uzgodnienie wyników pomiaru sieci grawimetrycznej z wynikami dokładnej sieci wahadłowej (tzw. metoda powierzchniowa cechowania grawimetrów [12]) pozwala stworzyć jednolity poziom odniesienia na obszarze całego kraju. Punkty sieci, o wartościach g obliczonych już w tym jednolitym poziomie odniesienia, stanowią ośnowę dla wszelkich regionalnych i szczegółowych pomiarów grawimetrycznych.

Zagadnienie jednolitego poziomu odniesienia, ustalonego możliwie z wysoką dokładnością dla obszaru kilku krajów czy też całych kontynentów, jest niezmiernie ważnym i aktualnym dla grawimetrii geodezyjnej problemem, będącym tematem rozważań na wielu konferencjach międzynarodowych.

Warunkiem dobrego opracowania grawimetrycznego dla celów niwelacji i triangulacji jest podanie wartości przyspieszenia siły ciężkości wszystkich punktów w jednolitym poziomie odniesienia dla obszaru całej Polski. Ten jednolity system wartości g musi być zgodny z poziomem odniesienia grawimetrycznego stosowanym w państwach sąsiednich. (Jest to istotne przy obliczaniu grawimetrycznych odchyłeń pionu punktów, dla których należy uwzględniać dla dalszych stref również materiały grawimetryczne z terenu państw sąsiednich). Ogólnie przyjętym i stosowanym systemem odniesienia pomiarów grawimetrycznych jest, jak wiadomo tzw. system poczdamski, to jest system obliczania wartości g w oparciu o wyznaczoną w sposób bezwzględny wartość przyspieszenia siły ciężkości punktu w Poczdamie (Geodezyjny Instytut, sala wahadłowa).

Na marginesie należy przypomnieć, iż — jak wiadomo — przyjmowana jest dotychczas wartość g w Poczdamie na podstawie wyniku absolutnych pomiarów przeprowadzonych przez Kühnena i Furtwänglera w latach 1898 - 1904 [14]. Wartość ta — wg nowszych badań — jest za duża o około 10 — 12 mgal ([32], [46]). W dalszym jednak ciągu dawna wartość g punktu w Poczdamie przyjmowana jest jako wyjściowa dla całego systemu poczdamskiego.

Dla naszego opracowania należy zabezpieczyć nie tylko jednolity poziom odniesienia grawimetrycznego dla wszystkich punktów grawimetrycznych w Polsce, ale także to, aby był on zgodny z systemem poczdamskim.

Do obliczeń polskich pomiarów grawimetrycznych (wykonanych przed 1939 r. i po 1945 roku) stosowany był poziom odniesienia oparty na wartości przyspieszenia siły ciężkości punktu wahadłowego Warszawa, Główny Urząd Miar ($\varphi = 52^{\circ}14',6$; $\lambda = 21^{\circ}00',2$; $H = 111,4$ m), oraz dla niektórych pomiarów — na wartości przyspieszenia siły ciężkości punktu wahadłowego w Krakowie, Obserwatorium Astronomiczne ($\varphi = 50^{\circ}03',9$; $\lambda = 19^{\circ}57',6$; $H = 205$ m).

Wartość g punktu w Krakowie przyjmowana była na podstawie raportu Borrassa [47] — $g = 981\,054,0$ mgal

Wartość tę uzyskał Borrás uwzględniając wynik wykonanych przez Rudzkiego i Birkenmajera (1895 — 1903 r.) pomiarów nawiązujących punkt w Krakowie do Wiednia, po odpowiednim wyrównaniu i przejściu do systemu poczdamskiego. Dokładność określenia g dla punktu wahadłowego w Krakowie oceniano na 1 mgal.

Wartość przyspieszenia siły ciężkości podstawowego punktu grawimetrycznego w Polsce — Warszawa, Główny Urząd Miar — przyjmowano na podstawie wyniku przeprowadzonego przez T. Olczaka [25] wyrównania nawiązania punktu Warszawa GUM z punktem wahadłowym w Krakowie (zasadniczo wykonane zostało wyrównanie w trójkącie Kraków — Warszawa — Poznań).

Opierając się na podanej powyżej wartości g Krakowa, T. Olczak otrzymał dla punktu Warszawa GUM wartość przyspieszenia siły ciężkości $g = 981\,241,2$ mgal. Dokładność w ten sposób wyznaczonej wartości g oceniono na około 0,9 mgal w stosunku do punktu w Krakowie.

Ta wartość przyspieszenia siły ciężkości punktu grawimetrycznego Warszawa GUM przyjmowana była jako wyjściowa dla pomiarów wahadłowych GUM oraz dla dawnych i nowych pomiarów przeprowadzonych grawimetrami. Oparty o tę wartość poziom odniesienia miał charakter tymczasowy. Należy podkreślić, iż dla regionalnych i szczegółowych pomiarów grawimetrycznych dla potrzeb geologii nie jest tak bardzo istotne, aby przyjmowany poziom odniesienia był z dużą dokładnością zgodny z systemem poczdamskim. Natomiast dla naszego geodezyjnego opracowania jednolitość poziomu odniesienia oraz zgodność, z odpowiednio wysoką dokładnością, z systemem poczdamskim była bardzo ważnym zagadnieniem.

Punkt podstawowy GUM, który miał jedynie pośrednie nawiązanie (poprzez Kraków i Wiedeń) do wyjściowego punktu grawimetrycznego w Poczdamie, został następnie przez A. Kwiatkowskiego dwukrotnie bezpośrednio nawiązany do Poczdamu. W wyniku przeprowadzonych nawiązań, otrzymano dla punktu Warszawa GUM [19]:

$$\begin{array}{l} \text{z pomiaru w roku 1934} \quad g = 981\,238,2 \text{ mgal} \\ \text{z pomiarów w roku 1937} \left\{ \begin{array}{l} g = 981\,239,6 \quad ,, \\ g = 981\,240,4 \quad ,, \end{array} \right. \end{array}$$

Jak widać, A. Kwiatkowski uzyskał podczas każdego z tych nawiązań wartość przyspieszenia siły ciężkości mniejszą niż wartość ogólnie przyjmowana dla podstawowego punktu Warszawa GUM.

Wykonane w 1935 roku przez Lejay'a wyznaczenie aparaturą wahadłową dało również wartość mniejszą ($g = 981\,240,9$ mgal) od ustalonej poprzednio tymczasowej wartości.

Przeprowadzane przez Weikena i Reichenедера w roku 1941 w ramach pomiarów Geodezyjnego Instytutu Poczdzamskiego obserwacje aparaturą wahadłową w Warszawie (4 obserwacje niezależne przez 2 obserwatorów)

dały rezultat $g=981\,240,3$ mgal, ze średnim błędem $\pm 0,35$ mgal. (Nawiązanie do punktu w Poczdamie pośrednie, poprzez punkt w Radomiu).

Jak widać z wyników przytoczonych pomiarów aparaturami wahadłowymi, ze wszystkich nawiązań do Poczdamu uzyskano wartości przyspieszenia siły ciężkości dla punktu Warszawa GUM mniejsze od dotychczas stosowanej (przeciętnie o rząd 1 mgal).

St. Pawłowski w swoich rozważaniach na temat najprawdopodobniejszej wartości przyspieszenia siły ciężkości dla punktu Warszawa GUM [28] uwzględnia, oprócz wyżej wymienionych nawiązań wahadłowych do Poczdamu, również nawiązania przeprowadzone grawimetrami Nörngaarda pomiędzy kilkoma punktami wahadłowymi Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego i punktem Warszawa GUM. W rezultacie dochodzi do wniosku, że za najprawdopodobniejszą wartość przyspieszenia siły ciężkości dla Warszawy w systemie poczdamskim można przyjąć $g = 981\,240,0$ mgal.

Jak wynika z wyżej przytoczonych wyników nowszych nawiązań do Poczdamu oraz przeprowadzonych rozważań, dotychczas stosowany poziom odniesienia dla pomiarów grawimetrycznych w Polsce był niewątpliwie za wysoki i dla celów opracowania grawimetrycznego musiał ulec odpowiedniej korekcji. Ten nowy skorygowany poziom powinien być jednolity dla opracowania grawimetrycznego całej Polski.

Dla ustalenia rozwiązania tego zagadnienia rozpatrzono gruntownie wszystkie możliwe koncepcje.

Pierwszą narzucającą się sugestią jest klasyczne, z punktu widzenia teoretycznego, rozwiązanie tego zagadnienia. Mianowicie należałoby założyć i pomierzyć precyzyjnymi grawimetrami (o dokładności nominalnej 0,02 mgal) nową sieć grawimetryczną na obszarze całego kraju, nawiązaną również do sieci państw sąsiednich. Kilka punktów tej sieci trzeba by nawiązać bezpośrednio do wyjściowego punktu grawimetrycznego w Poczdamie. Dla zapewnienia właściwej jednostki przyspieszenia siły ciężkości na całym obszarze założonej sieci, przeprowadzić dokładne (rzędu 0,3 mgal) pomiary nowoczesną aparaturą wahadłową na odpowiednio wybranych punktach (np. na kilkunastu możliwie równomiernie rozłożonych powierzchniowo oraz na kilku tworzących południkowo przebiegającą bazę grawimetryczną). Utworzona przez te punkty sieć wahadłowa powinna być również dobrze nawiązana do Poczdamu. Wzajemne dowiązanie i uwzględnienie pomiarów grawimetrami i wahadłami, po odpowiednim wyrównaniu dałoby ostateczny nowy jednolity poziom odniesienia.

Niestety koncepcja ta praktycznie była niemożliwa do zrealizowania w krótkim terminie, a mianowicie z powodu braku wysokoprecyzyjnych grawimetrów (o czym mówiliśmy w punkcie 4), trudności organizacyjnych, z ekonomicznego punktu widzenia oraz z powodu innych obiektywnie istniejących wówczas trudności.

Drugą sugestią rozwiązania zagadnienia było oparcie całego grawimetrycznego poziomu odniesienia w kraju na wartości przyspieszenia siły

ciężkości w jednym punkcie. Tym punktem byłby punkt grawimetryczny Warszawa GUM, dla którego nową wartość g można było wyznaczyć, przyjmując wszystkie dotychczas przeprowadzone wyniki bezpośrednich oraz pośrednich nawiązań grawimetrycznych do punktu podstawowego w Poczdamie (dokładność tego określenia byłaby w przybliżeniu rzędu $0,3 - 0,4$ mgal). Opierając się na tak określonej nowej wartości g punktu Warszawa trzeba by przeliczyć wartości przyspieszeń siły ciężkości dla punktów dawnych sieci oraz dla nowozałożonych sieci grawimetrycznych dla celów geodezyjnych.

Przyjęcie tej koncepcji gwarantowałoby poziom poczdamski dla punktu Warszawa (oczywiście z określoną dokładnością), natomiast w dalszych rejonach kraju, a szczególnie na jego krańcach przy granicach z sąsiednimi państwami, poziom ten różniłby się dość znacznie od poziomu poczdamskiego, tj. można powiedzieć, iż byłby to poziom „pochylony”. W tym też przypadku jednostki, w jakich obliczanoby całą sieć grawimetryczną, mogły by się różnić od rzeczywistych jednostek przyspieszenia siły ciężkości.

Ogólnie biorąc koncepcja ta, z punktu widzenia naukowego i technicznego, nie byłaby słusznym rozwiązaniem dla celów geodezyjnych.

Trzecią sugestią było oparcie poziomu odniesienia grawimetrycznego na odpowiednio wybranych punktach pomiarów wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego. Te punkty stanowiłyby ośnowę zapewniającą jednolity poziom grawimetryczny dla wszystkich odpowiednio nawiązanych sieci grawimetrycznych zarówno nowych, jak i dawnych pomiarów. Ta sugestia jest więc częściowym zrealizowaniem klasycznej metody postępowania.

Pomiary Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego na terenie Polski omówiliśmy wyżej (w punkcie 3. 1. 1. 4.), przy czym należy jeszcze raz podkreślić ich wysoką jakość, na ogół regularne założenie sieci tych punktów na obszarze naszego kraju oraz ich dobre — zapewniające przeciętnie dokładność rzędu $0,4$ mgal — wartości g poszczególnych punktów wyznaczone w stosunku do Poczdamu.

Analizując przedstawione wyżej sugestie rozwiązania zagadnienia poziomu odniesienia grawimetrycznego, na tle naszych możliwości w 1953 roku, dochodzi się do wniosku, że najwłaściwszym rozwiązaniem będzie zrealizowanie trzeciej koncepcji.

Punkty pomiarów wahadłowych Poczdamskiego Instytutu Geodezyjnego, po wyeliminowaniu takich punktów, które wskutek działań wojennych uległy zniszczeniu lub nie dadzą się zidentyfikować, można przyjąć jako podstawę do ustalenia jednolitego poziomu grawimetrycznego w Polsce. zgodnego z poczdamskim. Mianowicie, wartość przyspieszenia siły ciężkości punktów wahadłowych, wybranych odpowiednio z 38 punktów Instytutu Poczdamskiego na terenie Polski, mogą stanowić dane wyjściowe dla obliczenia nowych pomiarów grawimetrami oraz dla przeliczeń istniejących pomiarów do nowego jednolitego poziomu odniesienia.

Zastanówmy się jednak czy pod względem dokładności wyznaczonych wartości g punkty Instytutu Poczdamskiego spełnią swoje zadanie przy naszym opracowaniu dla potrzeb triangulacji i niwelacji.

Średnie błędy wyznaczenia wartości g punktów wahadłowych oszacowane są przez Geodezyjny Instytut Poczdamski na $\pm 0,2 - 0,8$ mgal (patrz tabl. 4), przy czym przeciętna wartość wynosi $\pm 0,4$ mgal.

Dla skontrolowania dokładności, podanej przez Instytut Poczdamski, przeprowadzone zostało dla szeregu sąsiednich punktów wahadłowych porównanie różnic przyspieszenia siły ciężkości Δg , wyznaczonych z wyników pomiarów wahadłowych (podanych przez Weikena [38]), oraz wyznaczonych z pomiarów grawimetrami Nörngaarda.

Porównania dokonano oczywiście tylko między takimi punktami wahadłowymi, które nawiązane zostały również grawimetrami. W ten sposób sprawdziliśmy przede wszystkim punkty w rejonie północno-wschodniej Polski, na podstawie przeprowadzonych przez R. Wielądka pomiarów grawimetrem Nörngaarda, oraz na Pomorzu — wykorzystując wyniki wykonanych dla geodezji w 1953 roku pomiarów kontrolnych.

Przeprowadzając pomiary podstawowej sieci grawimetrycznej w północno-wschodniej Polsce, R. Wielądek nawiązał ją w celach kontrolnych do istniejących w tym rejonie punktów wahadłowych Instytutu Poczdamskiego (Susz, Ciechanów, Szczytno i Gołdap).

Porównaliśmy różnice Δg_{wah} pomiędzy poszczególnymi punktami i punktem wahadłowym Warszawa GUM, obliczone z danych katalogowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego [38] z różnicami Δg_{gr} , obliczonymi pomiędzy tymi punktami na podstawie wyników pomiarów przeprowadzonych grawimetrem Nörngaarda. Wzięto przy tym porównaniu wyniki uzyskane przez R. Wielądka [39] z niezależnego wyrównania sieci grawimetrycznej. Wyniki dokonanego porównania podano w tablicy 5.

Tablica 5

L. p.	Nazwa punktów wahadłowych	Δg w mgal.			Różnica $\Delta g_{wah} - \Delta g_{gr}$ mgal
		Δg_{wah} wg pomiarów Inst. Poczdam.	Średni błąd	Δg_{gr} z pomiarów R. Wielądka	
1	Warszawa — Ciechanów	+ 70,3	$\pm 0,5$	+ 70,26	+ 0,04
2	Warszawa — Susz	+ 128,6	$\pm 0,4$	+ 128,55	+ 0,05
3	Warszawa — Szczytno	+ 135,3	$\pm 0,7$	+ 135,90	- 0,60
4	Warszawa — Gołdap	+ 180,9	$\pm 0,6$	+ 181,03	- 0,13

Należy zaznaczyć, że punkty wahadłowe Warszawa i Ciechanów należały do jednego obszaru pomiarowego wyznaczeń wahadłowych Instytutu Poczdamskiego, a Susz, Szczytno i Gołdap — do drugiego.

Średnie błędy wyznaczenia $\Delta g_{wah.}$ podano w tabeli opierając się na średnich błędach wartości g poszczególnych punktów wahadłowych, zgodnie z katalogiem Weikena. Średni błąd wartości g punktów z pomiarów R. Wielądka oszacować można na około $\pm 0,3$ mgal.

Jak widać z przeprowadzonego porównania, wyniki pomiarów wahadłowych Instytutu Poczdamskiego w tym rejonie wykazują zadawalającą zgodność z wynikami pomiarów grawimetrem.

Następne porównanie przeprowadzono dla punktów wahadłowych na Pomorzu Zachodnim opierając się na wynikach kontrolnych pomiarów, wykonanych dla geodezji grawimetrami typu Nörngaarda w tym rejonie jesienią 1953 roku (omówione w p. 3. 2.)

W tablicy 6 przedstawiono wyniki tego porównania, przy czym dane dotyczące pomiarów grawimetrami wzięto z bezpośrednich wyników pomiaru, bez uwzględnienia wyrównania.

T a b l i c a 6

L. p.	Nazwa punktów wahadłowych	Pomiary wahadłowe Instytutu Poczdam.		Pomiary grawimetrem w 1953 r.		Różnica $\Delta g_{wah.} - \Delta g_{graw.}$ mgal
		$\Delta g_{wah.}$ mgal.	Średni błąd $m_{\Delta g}$ mgal	$\Delta g_{graw.}$ mgal	Średni błąd $m_{\Delta g}$ mgal	
1	Bydgoszcz — Gdańsk	+ 141,0	$\pm 0,6$	+ 141,05	$\pm 0,4$	- 0,05
2	Gdańsk — Łębork	+ 12,8	$\pm 0,8$	+ 12,78	$\pm 0,3$	- 0,02
3	Łębork — Sławno	- 9,9	$\pm 0,7$	- 9,39	$\pm 0,3$	- 0,51
4	Łębork — Człopa	- 156,20	$\pm 0,5$	- 156,04	$\pm 0,4$	- 0,16
5	Sławno — Stargard	- 100,60	$\pm 0,5$	- 101,16	$\pm 0,4$	+ 0,56
6	Stargard — Człopa	- 45,70	$\pm 0,3$	- 46,40	$\pm 0,4$	+ 0,70
7	Stargard — Połczyn	+ 34,60	$\pm 0,3$	+ 34,87	$\pm 0,4$	- 0,27
8	Połczyn — Człopa	- 80,30	$\pm 0,3$	- 81,35	$\pm 0,4$	+ 1,05
9	Połczyn — Sławno	+ 66,0	$\pm 0,5$	+ 66,45	$\pm 0,3$	- 0,45
10	Człopa — Bydgoszcz	- 2,4	$\pm 0,2$	- 1,79	$\pm 0,3$	- 0,61

Dla punktu w Człuchowie nie udało się dokładnie zidentyfikować lokalizacji i dlatego nie został on uwzględniony przy tych rozważaniach.

Średnie błędy oszacowano dla danych wahadłowych w oparciu o opublikowany katalog Weikena, a dla pomiarów grawimetrem — w oparciu o analizę dokładności przeprowadzonych pomiarów i wyznaczony średni błąd ($\pm 0,15$ mgal) pomiaru Δg jednego przęsła kontrolnej sieci grawimetrycznej.

Jak widać z tablicy 6, zgodności danych wahadłowych i pomiarów grawimetrami są zupełnie zadawalające. Różnice mieszczą się w granicach dokładności (jedynym wyjątkiem jest przęsło Połczyn — Człopa).

W dalszym ciągu naszych rozważań porównajmy różnicę Δg pomiędzy punktami Warszawa GUM i punktem w Radomiu. Pomiar pomiędzy ty-

mi punktami wahadłowymi wykonany został w 1951 roku przez Geodezyjny Instytut Naukowo-Badawczy grawimetrem Nörngaarda.

Wyniki przedstawiają się następująco:

z pomiarów wahadłowych $\Delta g_{W-R} = -66,4 \pm 0,4$ mgal

z pomiarów grawimetrem $\Delta g_{W-R} = -66,55 \pm 0,25$ mgal

Uzyskana zgodność wyników w granicach 0,15 mgal potwierdza poprzednio osiągnięte zadawalające rezultaty przeprowadzonych porównań.

Dla dalszego porównania rozpatrzmy nawiązanie przeprowadzone w 1947 roku przez St. Pawłowskiego i J. Skorpę grawimetrem Nörngaarda pomiędzy punktami wahadłowymi Racibórz i Warszawa [27].

Różnica przyspieszenia siły ciężkości Δg Racibórz — Warszawa wynosi wg pomiarów:

St. Pawłowskiego $\Delta g = +195,93$ mgal,

Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego $\Delta g = +195,5$ mgal.

Zgodność wyników w granicach 0,4 mgal jest bardzo dobra, biorąc pod uwagę dokładność pomiarów wahadłowych oraz długość ciągu grawimetrycznego Racibórz — Warszawa.

Porównajmy jeszcze, dla wartości różnicy przyspieszenia siły ciężkości Δg Warszawa GUM — Kraków, wynik pomiaru A. Kwiatkowskiego (pomiar wahadłowe GUM [50]) z wynikiem Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego:

Δg Warszawa — Kraków: wg Kwiatkowskiego — 188,2 mgal;

wg Instytutu Poczdamskiego — 188,0 mgal.

Wyniki te różnią się tylko o 0,2 mgal, co jest potwierdzeniem dobrej jakości pomiarów Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego.

Przeprowadzone porównania między punktami wahadłowymi stwierdziły dobrą zgodność wartości Δg , uzyskanych z danych zawartych w katalogu Weikena [38], z wartościami Δg między tymi punktami wyznaczonymi z innych pomiarów. Chociaż sprawdzenia objęły kilkanaście punktów Instytutu Poczdamskiego, można jednak przyjąć, że pozostała część punktów sieci wahadłowej jest tego samego rzędu dokładności.

Wartości przyspieszeń siły ciężkości omawianych punktów wahadłowych są podane w systemie poczdamskim. Kilka punktów wahadłowych położonych na obszarze Polski było dokładnie nawiązanych do Poczdamu. Należy przecież na marginesie wziąć pod uwagę, że Geodezyjny Instytut Poczdamski podczas przeprowadzenia pomiarów (czy to przed 1939 rokiem — na Ziemiach Zachodnich, czy też podczas wojny — na pozostałym obszarze Polski) nie miał żadnych trudności formalnych w przeprowadzaniu nawiązań do podstawowego punktu grawimetrycznego w swoim Instytucie w Poczdamie.

Według posiadanych przez nas informacji, dobrze nawiązanymi do punktu wyjściowego w Poczdamie były punkty wahadłowe: Poznań, Radom,

Jelenia Góra, Człopa i Susz. Punkty te służyły następnie jako wyjściowe dla odpowiednio ustalonego cyklu pomiarowego.

Dochodzimy do wniosku, że w granicach dokładności pomiarów punkty wahadłowe, założone na terenie Polski przez Geodezyjny Instytut Poczdamski i tworzące sieć powierzchniową, zabezpieczają system poczdamski na obszarze całego naszego kraju.

Ewentualne przeprowadzenie nowych bezpośrednich nawiązań do Poczdamu, biorąc pod uwagę posiadane przez nas w 1953 r. wyposażenie instrumentalne, nie dałoby na pewno lepszych rezultatów pod względem dokładności, niż nawiązania wielokrotne i dla różnych punktów przeprowadzone przez Geodezyjny Instytut Poczdamski.

Wartość Δg pomiędzy dwoma punktami wahadłowymi Instytutu Poczdamskiego, przyjmując przeciętnie średni błąd wartości przyspieszenia siły ciężkości punktu wahadłowego $m_{g_{wah.}} = \pm 0,4$ mgal, określona będzie z danych wahadłowych ze średnim błędem $m_{\Delta g_{wah.}} = \pm 0,4 \cdot 1/2 = \pm 0,56$ mgal. Jeżeli pomiędzy tymi punktami założy się ciąg grawimetryczny lub sieć grawimetryczna pomierzona grawimetrami, to średni błąd wyznaczenia różnicy przyspieszenia siły ciężkości $m_{\Delta g_{gravim.}} = \pm \mu \cdot 1/n$, gdzie μ jest średnim błędem pomiaru jednego przesła grawimetrycznego, a n — ilością przesła grawimetrycznych, łączących rozważane dwa punkty wahadłowe. Przyjmując dla pomiarów grawimetrami Nörgaarda $\mu = \pm 0,15 - 0,20$ mgal oraz praktycznie ilość przesła $n = 9-16$, uzyskamy $m_{\Delta g_{gravim.}} = \pm 0,45 - 0,8$ mgal. Jak widać, jest to ten sam rząd dokładności, co przy omówionej wyżej dokładności wyznaczeń wahadłowych.

Można więc uważać za słuszne, aby nowe pomiary grawimetrami dla potrzeb geodezji, a szczególnie na Zachodzie kraju — gdzie dysponowaliśmy tylko dawnymi materiałami firmy Seismos — były oparte na wartościach g odpowiednio wybranych punktów wahadłowych. Średni błąd wartości g będzie wtedy wynosił dla najgorzej wyznaczonych nowych punktów

ciągu grawimetrycznego $m_g = \pm \sqrt{m_{g_{wah.}}^2 + \mu^2 \left(\frac{1}{n} \right)}$. Przy przyjęciu poprzednich założeń otrzymamy $m_g = \pm 0,5 - 0,7$ mgal; oczywiście będzie to średni błąd wyznaczonego przyspieszenia siły ciężkości punktu sieci grawimetrycznej w nawiązaniu do punktu wyjściowego w Poczdamie.

Średni błąd określenia wartości g punktów szczegółowych (położonych wzdłuż ciągów niwelacji precyzyjnej, czy też w otoczeniu punktów astrofizyczno-geodezyjnych) wyznaczonej w nawiązaniu do punktu sieci grawimetrycznej wyrazić można wzorem: $m_{g_{szcz.}} = \pm \sqrt{m_{g_{pod.}}^2 + m_{\Delta g}^2}$,

gdzie: $m_{g_{pod.}}$ — średni błąd wartości g punktu sieci grawimetrycznej,

$m_{\Delta g}$ — średni błąd pomiaru różnicy przyspieszenia siły ciężkości pomiędzy punktem szczegółowym i punktem sieci grawimetrycznej.

Dla pomiarów grawimetrem Nörngaarda średni błąd wynosi maksymalnie $m_{\Delta g} = \pm 0,4$ mgal. Przyjmując, zgodnie z poprzednimi rozważaniami, maksymalną wartość średniego błędu wartości g punktu sieci — $m_{g_{pod.}} = \pm 0,7$ mgal, uzyskujemy maksymalną wartość średniego błędu wyznaczenia g dla punktu szczegółowego w odniesieniu do Poczdamu $m_{g_{szcz.}} = \pm 0,8$ mgal.

Dokładność ta jest zgodna z dopuszczalnymi kryteriami dokładnościowymi, ustalonymi (p. 2) dla potrzeb niwelacji i triangulacji ($\pm 0,8$ — $1,2$ mgal).

Reasumując przeprowadzone rozważania, dochodzimy do wniosku, że praktycznie przyjąć należy poziom odniesienia grawimetrycznego naszego konkretnego opracowania dla potrzeb niwelacji i triangulacji w oparciu o odpowiednie punkty wahadłowe Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego.

W ten sposób będziemy mieli powierzchniowe zabezpieczenie poziomu odniesienia, tj. opartego nie na jednym punkcie, a na około 30 punktach odpowiednio regularnie rozłożonych na obszarze naszego kraju.

Nowe pomiary przeprowadzane grawimetrami Nörngaarda, powiążą wszystkie nowe i dawne pomiary grawimetryczne w jedną całość i pozwolą obliczyć wartości g w jednolitym nowoprzyjętym poziomie odniesienia. Wobec tego, wszystkie dawne pomiary będą musiały ulec odpowiedniej transformacji ze względu na przejście do nowego jednolitego poziomu odniesienia grawimetrycznego.

Przy tym przyjęciu, także punkt podstawowy Warszawa GUM otrzyma nową wartość $g = 981\,240,3 \pm 0,35$ mgal. Należy zaznaczyć, że wartość ta jest zgodna w granicach dokładności z sugerowaną przez St. Pawłowskiego [28] najprawdopodobniejszą wartością dla punktu Warszawa GUM.

4. 2. Wytyczne opracowania grawimetrycznego dla potrzeb triangulacji głównej i niwelacji precyzyjnej I klasy

W wyniku dokonanych rozważań i analizy, mając na uwadze zagadnienia naukowo-techniczne, ekonomiczne oraz termin wykonania całości zadania, opracowanie grawimetryczne dla potrzeb triangulacji głównej i niwelacji I klasy postanowiono przeprowadzić w oparciu o następujące założenia.

1. W celu zapewnienia jednolitego poziomu odniesienia, zgodnego z systemem poczdamskim, opracowanie grawimetryczne dla praktycznych potrzeb geodezji należy oprzeć na odpowiednio wybranych punktach wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego. Wszystkie dotychczasowe pomiary oraz nowe pomiary, wykonywane specjalnie dla potrzeb geodezyjnych, nawiązać do tych punktów wahadłowych.

2. W możliwie maksymalnym stopniu wykorzystać istniejące materiały z pomiarów przeprowadzanych w ostatnich latach grawimetrami Nörngaarda (tj. od 1947 aż do 1954 r.). Dotyczy to pomiarów wykonanych

dla potrzeb geologicznych (przede wszystkim przez Instytut Geologiczny i Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych — omówionych wyżej w p. 3. 1. 2. 1.) oraz pomiarów Geodezyjnego Instytutu Naukowo-Badawczego (p. 3. 1. 2. 2).

Wszystkie materiały i wyniki pomiarów wymagały jednak odpowiedniej adaptacji.

W ramach adaptacji należało przeprowadzić odpowiednie prace związane z ujednoliceniem poziomu odniesienia grawimetrycznego oraz wytypować punkty grawimetryczne wzdłuż linii niwelacji I klasy, dla najbliższego otoczenia punktów astronomiczno-geodezyjnych, jak również punkty reprezentujące ogólne pole grawitacyjne (czyli dla tzw. ogólnego zdjęcia grawimetrycznego).

3. Adaptować graficzne materiały dawnych pomiarów grawimetrycznych, przeprowadzonych na terenie Zachodniej Polski przez firmę Seismos i Praklag, ale wyłącznie tylko dla potrzeb przedstawienia ogólnego pola grawitacyjnego w tych rejonach, gdzie brak jest nowszych pomiarów grawimetrycznych.

4. Pozostałe dawne materiały grawimetryczne (tj. pomiary wahadłowe GUM oraz częściowo przedwojenne pomiary grawimetrami dla potrzeb geologicznych) można adaptować, ale tylko dla przedstawienia ogólnego pola grawitacyjnego. Materiały te, a szczególnie wyniki pomiarów wahadłowych Głównego Urzędu Miar, mogą służyć też jako cenna kontrola innych pomiarów.

5. Dla potrzeb naszego opracowania należało przeprowadzić nowe pomiary grawimetrami Nörgaarda, (wówczas dysponowaliśmy w całym kraju grawimetrami tylko tego typu). Zakres nowych pomiarów miał być następujący:

- a) powiązanie sieci lokalnych ze sobą, założenie nowych sieci podstawowych, przeprowadzenie odpowiednich dowiązań do punktów wahadłowych — dla ujednolicenia poziomu odniesienia grawimetrycznego,
- b) przeprowadzenie całkowicie nowych pomiarów w obszarach, dla których zupełnie nie mieliśmy materiałów grawimetrycznych,
- c) przeprowadzenie pomiarów w najbliższym otoczeniu wszystkich punktów astronomiczno-geodezyjnych oraz wzdłuż wszystkich ciągów niwelacji I klasy w rejonach zachodniej Polski (tj. dla tych obszarów gdzie dla przedstawienia ogólnego pola grawimetrycznego przyjęto dawne materiały Seismosu),
- d) przeprowadzenie pomiarów wzdłuż takich ciągów niwelacji I klasy i w otoczeniu takich punktów astronomiczno-geodezyjnych, dla których nie wystarczają posiadane materiały nowych pomiarów (po 1947 roku) wykonanych dla celów geologicznych,
- e) przeprowadzenie grawimetrycznych nawiązań granicznych z państwami sąsiednimi w celu sprawdzenia i porównania naszego poziomu odniesienia z poziomami grawimetrycznymi państw sąsiednich.

6. Ponieważ nie dysponowaliśmy aparaturą pomiarową potrzebną do wykonywania pomiarów grawimetrycznych na morzu, musiano zrezygnować z przeprowadzenia tych pomiarów w pobliżu brzegów polskich na Bałtyku. Należy jednak podkreślić, iż jest to spory mankament naszego opracowania co wpłynie na pewne obniżenie dokładności wyznaczenia grawimetrycznych odchyłeń pionu i sporządzenia mapy geoidy w północnych rejonach naszego kraju.

7. Nie przewidziano wykorzystania dla potrzeb naszego opracowania pomiarów lokalnych przeprowadzanych wagą skręceń Eötvösa. Nie było bowiem projektowane wyznaczenie odchyłeń pionu metodą Eötvösa.

8. Przygotowane materiały grawimetryczne, po ich ujednoliceniu, trzeba było zestawzić w ogólnym katalogu punktów grawimetrycznych oraz opracować odpowiednie mapy anomalii siły ciężkości Faye'a

5. Nowe pomiary grawimetryczne wykonane specjalnie dla potrzeb sieci niwelacji precyzyjnej I klasy i sieci astronomiczno-geodezyjnej

Zgodnie z ustalonym programem przeprowadzone zostały w szerokim zakresie pomiary grawimetryczne specjalnie dla potrzeb naszego opracowania. Pomiary wykonano grawimetrami kwarcowymi typu Nörngaarda (bez termostatu) jesienią 1953 roku, podczas całego sezonu polowego w 1954 roku oraz częściowo wczesną wiosną 1955 roku. Ogółem nowe pomiary wykonano na około 1800 punktach.

W Instytucie Geodezji i Kartografii opracowane były bardzo szczegółowe projekty wykonawcze nowych pomiarów. Projekty te zawierały: dokładną lokalizację na mapach projektowanych punktów pomiarowych, a w przypadku projektu wzdłuż linii niwelacji I klasy — również dokładny opis reperu wysokościowego, projekty sieci podstawowych, ich wzajemnych nawiązań, uwzględnienie nawiązań do odpowiednich punktów wahadłowych, ustalenie sposobu określania wysokości n.p.m. punktów grawimetrycznych oraz ustalenie metodyki pomiarów i szczegółowe warunki techniczne.

Prace wykonawcze w terenie były przeprowadzane przede wszystkim przez dwie grupy grawimetryczne Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych (J. Grzywacz, J. Stolarek i M. Kantor) pod nadzorem naukowo-technicznym Instytutu Geodezji i Kartografii. Część pomiarów grawimetrycznych w terenie (szczególnie wiosną 1955 r.) przeprowadzona została przez Pracownię Grawimetryczną Instytutu Geodezji i Kartografii (J. Bokun i R. Sieradzan).

Osnowę dla nowych szczegółowych pomiarów stanowiły grawimetryczne punkty podstawowe, tworzące ciągi podstawowe lub sieci powierzchniowe. Wyznaczenie grawimetrem Nörngaarda różnicy przyspieszenia siły ciężkości pomiędzy dwoma sąsiednimi punktami podstawowymi przeprowadzano systemem łańcuchowym, to jest dla sąsiednich pun-

któw A, B, C kolejność pomiarów była następująca: ABABCBC.... W ten sposób otrzymano dwukrotne wyznaczenie każdego przęsła. Dla wyeliminowania wpływu chodu (drytu) grawimetru — przy metodzie łańcuchowej pomiaru — ostatek czasu między dwoma kolejnymi pomiarami na tym samym punkcie nie przekraczał $2 - 2\frac{1}{2}$ godzin.

Punkty szczegółowe wyznaczone zostały w oparciu o punkty podstawowe. Kryterium $2\frac{1}{2}$ godzinowego interwału czasu między dwoma kolejnymi pomiarami zamykającymi na punktach wyjściowych było przestrzegane (wyjątkowo w niesprzyjających warunkach wysokogorskich ostatek czasu musiał być większy). Dla skontrolowania i oceny dokładności, około 15 — 20% punktów szczegółowych było wyznaczanych dwukrotnie niezależnie, jako punkty kontrolne.

Grawimetr pomiędzy punktami pomiarowymi przewożony był samochodem osobowym („Warszawa”) lub terenowym („Gaz” lub „Willys”), zależnie od lokalnych warunków drogowych i terenowych. Podczas pomiarów w niektórych rejonach Karpat grawimetr przenoszony był przez tragarzy.

Punkty grawimetryczne nowych pomiarów, podobnie jak punkty pomiarów dla potrzeb geologii, nie były stabilizowane; dla każdego punktu grawimetrycznego sporządzany był opis topograficzny.

Dla bliższego scharakteryzowania wykonanych pomiarów, omówimy je kolejno, w zależności od obszarów, w jakich były przeprowadzane.

5. 1. *Pomiary w zachodniej Polsce*

Pomiary wykonano w 1954 roku grawimetrem Nörngaarda. Były one przeprowadzane: wzdłuż wszystkich ciągów niwelacji I klasy (w odstępach od 1,5 do 6 km, zależnie od rzeźby terenu), w najbliższym otoczeniu wszystkich punktów astronomiczno-geodezyjnych (gęstość punktu przeciętnie była większa od minimum wymaganego w p. 2. 2), dla przedstawienia ogólnego zdjęcia grawimetrycznego (w tych obszarach, dla których nie mieliśmy żadnych danych grawimetrycznych) oraz częściowo dla skontrolowania niektórych dawnych punktów pomiarowych firmy Seismos. Całość pomiarów objęta była jednolitą siecią podstawowych ciągów grawimetrycznych i częściowo siecią powierzchniową w nawiązaniu do punktów wahadłowych Poczdamskiego Instytutu Geodezyjnego. Należy tu podkreślić, iż jako osnowa wykorzystana była również sieć na Pomorzu Zachodnim, założona w roku 1953 dla celów kontroli dawnych materiałów Seismosu (patrz p. 3. 2).

Dla orientacji podajemy w tablicy 7 szereg różnic wartości $\Delta g_{wah.}$ pomiędzy punktami wahadłowymi — wg danych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego i wartości $\Delta g_{graw.}$ pomiędzy tymi punktami — uzyskane z pomiarów grawimetrami Nörngaarda.

Tablica 7

L. p.	Nazwy punktów wahadłowych	Różnica $\Delta g_{wah.} - \Delta g_{grav.}$ (w mgal)
1	Jelenia Góra — Kłodzko	— 0,17
2	Jelenia Góra — Wrocław	— 0,04
3	Jelenia Góra — Świebodzin	— 1,34
4	Kłodzko — Racibórz	+ 0,06
5	Racibórz — Kraków	+ 0,33
6	Kraków — Oleśno	+ 0,13
7	Oleśno — Kalisz	— 0,17
8	Kalisz — Poznań	— 1,01
9	Poznań — Świebodzin	+ 0,36
10	Poznań — Stargard	+ 0,11
11	Poznań — Bydgoszcz	— 0,29
12	Poznań — Człopa	+ 0,23
13	Bydgoszcz — Włocławek	— 0,92
14	Włocławek — Gdańsk	+ 0,44
15	Włocławek — Kalisz	+ 0,43

Dokładność pomiarów wykonanych grawimetrami Nörgaarda w zachodniej Polsce charakteryzują obliczone średnie błędy. Mianowicie, średni błąd pomiaru wartości Δg przeszła sieci podstawowej wynosi: $m_{\Delta g} = \pm 0,13 - 0,20$ mgal.

Wartość g punktów węzłowych sieci podstawowej, powstałych przez przecięcie się odpowiednich grawimetrycznych ciągów podstawowych, wyznaczone zostały w oparciu o znane wartości przyspieszeń siły ciężkości punktów wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego. Określony z wyrównania średni błąd wyznaczenia wartości g (w systemie poczdamskim) tych punktów węzłowych kształtuje się dla pomiarów w południowo-zachodniej Polsce od $\pm 0,19$ do $\pm 0,35$ mgal, a dla pomiarów w północno-zachodniej Polsce od $\pm 0,22$ do $\pm 0,32$ mgal.

Wyznaczenie wartości g punktów szczegółowych, w nawiązaniu do punktów sieci podstawowej, obarczone jest przeciętnie średnim błędem rzędu $\pm 0,3 - 0,4$ mgal. Wielkość tego średniego błędu określona została na podstawie porównania wartości g wyznaczonych dwukrotnie niezależnie (tj. na podstawie innych wyjściowych punktów podstawowych) dla 46 kontrolnych punktów szczegółowych w południowo-zachodniej i 37 punktów w północno-zachodniej Polsce.

Wysokości punktów grawimetrycznych nad poziomem morza określone zostały następująco. Dla punktów grawimetrycznych, usytuowanych przy reperach wysokościowych wzdłuż ciągów niwelacji I klasy, wyznaczono wysokości n.p.m. przez bezpośrednie przybliżone (z dokładnością 0,2 m) oszacowanie różnicy wysokości Δh pomiędzy bezpośrednim stanowiskiem grawimetru i znakiem wysokościowym (którego wysokość jest znana z danych niwelacji precyzyjnej).

Wysokość n.p.m. wszystkich pozostałych punktów wyznaczono na podstawie map topograficznych w skali 1 : 25 000, bądź też w bardzo wyjątkowych wypadkach z map w skali 1 : 100 000. Przewidujemy, że średni błąd wyznaczenia wysokości z mapy powinien być rzędu ± 2 m.

Współrzędne geograficzne punktów grawimetrycznych określono z map topograficznych w skali 1 : 100 000 z dokładnością do 0',05.

5. 2. *Pomiary w północno-wschodniej Polsce*

Pomiary przeprowadzane były w roku 1953 i 1954 grawimetrami Nörngaarda wzdłuż linii niwelacji I klasy, w otoczeniu punktów astronomiczno-geodezyjnych oraz częściowo dla tzw. zdjęcia ogólnego. Osnową tych pomiarów była — wyżej cytowana — podstawowa sieć grawimetryczna, założona w 1950 r. przez Państwowy Instytut Geologiczny [39] oraz częściowo regionalna sieć grawimetryczna okolic Warszawy, założona w 1950-51 r. przez Geodezyjny Instytut Naukowo-Badawczy.

Średni błąd pomierzonej różnicy Δg przeszła, wyznaczonego metodą łańcuchową, wynosi $\pm 0,2$ mgal. Na podstawie porównania wyników dwukrotnego wyznaczenia wartości g dla 23 punktów kontrolnych, określono średni błąd punktu szczegółowego, w stosunku do punktu sieci na $\pm 0,3$ mgal.

Wysokość n.p.m. punktów grawimetrycznych wzdłuż ciągów niwelacji precyzyjnej wyznaczono w oparciu o podane wysokości reperów, przy których lokalizowano punkty pomiarowe; dla pozostałych punktów wysokości n.p.m. otrzymano na podstawie map topograficznych w skali 1 : 25 000.

5. 3. *Pomiary w Karpatach*

Osobnym zagadnieniem było przeprowadzenie dla naszych potrzeb pomiarów grawimetrem Nörngaarda na obszarze Karpat i Podkarpacia. Wykonano je w 1954 roku.

Pomiarami grawimetrycznymi objęto otoczenia punktów astronomiczno-geodezyjnych. Pomiary nawiązano do istniejącej sieci, założonej dla potrzeb geologicznych przez K. Maryniaka, uzupełniając ją i odpowiednio zagęszczając. Punkty astronomiczno-geodezyjne położone są w rejonie Karpat na szczytach gór, które nie objęte były pomiarami dla potrzeb geologii. Pomiary nasze, przeprowadzone w terenie górzystym i częściowo wysokogórskim, były bardzo uciążliwe i w wielu wypadkach transport grawimetru odbywał się pieszo. Średni błąd pomiaru Δg sieci uzupełniającej wynosi $\pm 0,17$ mgal. W tych trudnych warunkach pomiarowych średni błąd wyznaczenia wartości g punktów szczegółowych (usytuowanych zgodnie z planem — koncentrycznie w otoczeniu punktów astronomiczno-geodezyjnych) jest większy niż w innych rejonach. W warunkach górskich ten średni błąd wyznaczenia wartości g , w odniesieniu do punktu wyjściowego, osiąga $\pm 0,6$ mgal, natomiast w dolinach wynosi

$\pm 0,48$ mgal (opierając się na wynikach uzyskanych na 23 punktach kontrolnych).

Wysokości n.p.m. punktów grawimetrycznych wyznaczone zostały na podstawie wyników pomiarów niwelacji trygonometrycznej, specjalnie w tym celu przeprowadzonej. Pomiary niwelacyjne metodą trygonometryczną przeprowadzało Krakowskie Okręgowe Przedsiębiorstwo Miernicze, uzyskując zadawalające rezultaty określenia wysokości. Średni błąd wyznaczonych wysokości nie przekracza $\pm 0,5 - 1,0$ metra w stosunku do punktów wyjściowych.

5. 4. Pomiary uzupełniające w środkowej i wschodniej Polsce

Pomiary uzupełniające przeprowadzone zostały w 1953-55 roku grawimetrami Nörngaarda w tych rejonach środkowej i wschodniej Polski, gdzie istniejące zdjęcia grawimetryczne nie wystarczały do całkowitego opracowania grawimetrycznego otoczenia punktów astronomiczno-geodezyjnych i do odpowiedniego zagęszczenia wzdłuż ciągów niwelacji precyzyjnej I klasy. W niektórych rejonach wykonane zostały również pomiary dla uzupełnienia ogólnego zdjęcia grawimetrycznego.

Poszczególne pomiary nawiązane były oczywiście do regionalnych sieci podstawowych, istniejących na tym obszarze.

Dokładności pomiarów wartości g punktów szczegółowych są w granicach $0,3 - 0,4$ mgal w stosunku do punktów wyjściowych.

5. 5. Pomiary nawiązujące pomiędzy poszczególnymi sieciami regionalnymi i lokalnymi

W celu ujednolicenia poziomu odniesienia grawimetrycznego, przeprowadzone zostały odpowiednie pomiary nawiązujące w środkowej i częściowo wschodniej Polsce. Pomiary te objęły nawiązania ze sobą poszczególnych podstawowych sieci regionalnych (wykonanych dla potrzeb geologii), nawiązania do punktów wahadłowych oraz kontrolne pomiary. Pomiary wykonano metodą łańcuchową.

Przeprowadzone pomiary umożliwiły ustalenie jednolitego poziomu odniesienia grawimetrycznego, zgodnego z systemem poczdamskim oraz wyprowadzenia dla poszczególnych sieci i zdjęć regionalnych odpowiednich redukcji transformacyjnych ze względu na przejście do tego jednolitego poziomu odniesienia.

5. 6. Pomiary nawiązujące na granicy z sąsiednimi państwami

Dla skontrolowania przyjętych poziomów odniesienia przeprowadzono w 1954 r. pomiary na szeregu punktach granicznych z państwami sąsiednimi. Wartość g tych punktów granicznych wyznaczono grawimetrami Nörngaarda przez odpowiednie dowiązanie metodą łańcuchową do punktów podstawowych sieci grawimetrycznych.

Ponieważ te punkty grawimetryczne na granicy państwowej zostały pomierzone również przez instytucje geodezyjne państw sąsiednich, wobec tego mieliśmy możliwość porównania naszego poziomu odniesienia pomiarów grawimetrycznych z poziomami państw sąsiednich.

6. Adaptacja posiadanych materiałów grawimetrycznych

Zgodnie z ustalonym programem prac, do opracowania grawimetrycznego dla potrzeb sieci triangulacji i niwelacji przyjęta była duża część posiadanych materiałów grawimetrycznych.

Materiały te, pochodzące przede wszystkim z pomiarów dla potrzeb geologiczno-poszukiwawczych, zostały odpowiednio adaptowane, celem wykorzystania ich przy naszym opracowaniu grawimetrycznym.

Przedstawimy w jaki sposób przeprowadzono adaptację poszczególnych materiałów.

6. 1. Adaptacja materiałów wykonanych grawimetrami Nörngaarda

Do materiałów tych zaliczamy przede wszystkim nowe pomiary grawimetryczne z lat 1947-54 przeprowadzone w środkowej i wschodniej Polsce dla potrzeb geologicznych, jak również pomiary Geodezyjnego Instytutu Naukowo-Badawczego. Pomiary wykonane grawimetrami kwarcowymi Nörngaarda, zgodnie z wynikami przeprowadzonej analizy i ustalonym programem prac, zostały w szerokim zakresie wykorzystane dla potrzeb geodezyjnego opracowania.

Zdjęcia grawimetryczne, wykonane dla potrzeb geologicznych, charakteryzowały się dość dużą gęstością punktów pomiarowych, dochodzącą w niektórych rejonach do kilkuset punktów (400-500) na obszarze 1000 km². Dla potrzeb naszego opracowania wytypowano z tych materiałów tylko część punktów. Typowanie przeprowadzono na podstawie posiadanej dokumentacji tych pomiarów, tj. na podstawie map anomalii siły ciężkości Bouguera w skali 1 : 100 000 oraz map topograficznych w skali 1 : 100 000 z podaną lokalizacją punktów pomiarowych i na podstawie katalogów liczbowych.

Korzystając z tych map wybrano dla potrzeb geodezyjnych następujące punkty grawimetryczne.

- 1) Punkty położone wzdłuż ciągów niwelacji I klasy, przy czym wybierano możliwie maksymalną ilość punktów. Odległości między wybranymi punktami wynosiły 1,5 — 4 km, w zależności od posiadanych materiałów, rzeźby terenu oraz przebiegu anomalii.
- 2) Punkty położone w otoczeniu punktów astronomiczno-geodezyjnych. Przy typowaniu posługiwano się wykresami na kalce, przedstawiającymi — w zależności od rzeźby terenu — minimalne wymagania pod względem koncentrycznego rozłożenia punktów grawimetrycznych wokół punktów astronomiczno-geodezyjnych (rys. 1, 2, 3). W wypad-

ku posiadania wystarczająco szczegółowych materiałów grawimetrycznych, wybierano znacznie większą ilość punktów grawimetrycznych niż wymagane minimum (podane w p. 2. 2), aby w maksymalnym stopniu wykorzystać istniejące materiały dla szczegółowego przedstawienia przebiegu anomalii Faye'a w otoczeniu punktów astronomiczno-geodezyjnych.

- 3) Dla przedstawienia ogólnego pola grawitacyjnego (tzw. ogólnego zdjęcia grawimetrycznego) wybierano takie punkty, których wartość anomalii jest przeciętną dla tego obszaru, który dany punkt reprezentuje. W miarę możliwości przyjmowano punkty regionalnych sieci podstawowych. W obszarach równinnych o regularnym polu grawitacyjnym wybierano mniejszą ilość punktów; w obszarach górzystych i o bardziej zróżnicowanym obrazie grawimetrycznym wybierano z dawnych materiałów większą ilość punktów dla przedstawienia ogólnego zdjęcia grawimetrycznego. Oczywiście, przy tym typowaniu eliminowano punkty grawimetryczne obrazujące jedynie lokalne anomalie grawimetryczne. Gęstość punktów wytypowanych w celu przedstawienia ogólnego zdjęcia grawimetrycznego wynosi przeciętnie 10 — 16 punktów na 1000 km².

Należy zwrócić uwagę, że w otoczeniu niektórych punktów astronomiczno-geodezyjnych, w rejonie zdjęć dla potrzeb geologicznych, przeprowadzone były nowe pomiary uzupełniające (patrz p. 5. 4.), gdyż istniejące materiały nie wystarczały dla naszego opracowania.

Dla wszystkich wytypowanych punktów grawimetrycznych przyjmowano z danych katalogowych współrzędne geograficzne do 0',1 oraz wysokości n.p.m. do 0,1 m.

Podawane w katalogach wartości przyspieszeń siły ciężkości dla poszczególnych punktów musiały ulec redukcji ze względu na przejście do ustalonego jednolitego poziomu odniesienia grawimetrycznego (omówionego poprzednio w p. 4. 1).

Zagadnienie ujednolicenia poziomów odniesienia, dla poszczególnych sieci regionalnych w środkowej i wschodniej Polsce, rozwiązano w oparciu o wyniki przeprowadzonych pomiarów powiązujących te sieci, które dotychczas nie były ze sobą związane, oraz nawiązań do punktów wahadłowych (patrz p. 5. 5). Przyjmując wartości odpowiednio przyjętych punktów wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego, zostały przeliczone punkty łączne poszczególnych sieci oraz węzłowe punkty podstawowych sieci regionalnych, na podstawie odpowiedniej transformacji. W ten sposób wyznaczono wartości poprawek, jako różnice pomiędzy nowym poziomem odniesienia i dawnym poziomem odniesienia grawimetrycznego dla tych punktów podstawowych sieci regionalnych.

Na drodze transformacji ustalone zostały omawiane poprawki redukcyjne dla poszczególnych sieci regionalnych lub części tych sieci.

Do redukcji szczegółowych punktów grawimetrycznych przyjmowano wartości poprawki redukcyjnej, analogiczne do wartości tych poprawek dla punktów podstawowych sieci regionalnych, w nawiązaniu do których zostały pomierzone te punkty szczegółowe.

W ten sposób, dla wszystkich adaptowanych punktów grawimetrycznych omawianych pomiarów, ustalone zostały poprawki redukcyjne δ_r do wartości przyspieszeń siły ciężkości ze względu na przejście do jednolitego poziomu odniesienia grawimetrycznego. Wartości g w nowym poziomie odniesienia obliczono na podstawie wzoru:

$$g = g_d + \delta_r,$$

gdzie przez g_d oznaczyliśmy wartości przyspieszenia siły ciężkości w dawnym lokalnym poziomie odniesienia grawimetrycznego.

Należy zaznaczyć, że w związku z tym wszystkie pomiary oparte bezpośrednio na wartości g Warszawa GUM, np. większość sieci R. Wielądka w północno-wschodniej Polsce, sieć okolic Warszawy i inne uzyskały poprawkę redukcyjną $\delta_r = -0,9$ mgal (poprawkę tę obliczono przez odjęcie od wartości g w nowym jednolitym poziomie odniesienia, wartości do-tychczas przyjmowanej g_d dla punktu Warszawa GUM, tj.

$$\delta_r = 981\,240,3 - 981\,241,2 = -0,9 \text{ mgal}.$$

Dla wszystkich punktów adaptowanych dla geodezyjnych potrzeb obliczone zostały nowe wartości przyspieszeń siły ciężkości, które stanowiły następnie podstawę do dalszych opracowań.

W analogiczny sposób uzyskano wartości g w nowym poziomie odniesienia dla nowych uzupełniających pomiarów grawimetrycznych (omówionych w p. 5. 4).

Z katalogów zdjęć regionalnych przyjęto dla poszczególnych punktów wartości normalne siły ciężkości γ_0 , które obliczono wg wzoru Helmerta z lat 1901 — 1908.

Przed przyjęciem ostatecznych wartości γ_0 , dla wszystkich adaptowanych punktów, skontrolowano wyznaczenie szerokości geograficznej, korzystając z map topograficznych w skali 1 : 100 000 oraz obliczono wartości normalne siły ciężkości posługując się odpowiednimi tablicami ([2], [42]).

W ten sposób — po adaptacji — dysponowaliśmy dla punktów przyjętych z materiałów pomiarów grawimetrami Nörngaarda, wystarczającymi danymi dla celów geodezyjnego opracowania (φ , λ , H , γ_0 oraz g w jednolitym poziomie odniesienia).

6. 2. Adaptacja graficznych materiałów grawimetrycznych

Zgodnie z poprzednimi rozważaniami (p. 3. 2. i p. 4. 2.) adaptowano dla naszych potrzeb graficzne materiały grawimetryczne dawnych pomiarów niemieckich. Mianowicie, dla przedstawienia ogólnego pola grawitacyjnego dla większej części obszarów zachodniej Polski wykorzysta-

ne zostały, po odpowiedniej adaptacji, mapy anomalii siły ciężkości Bouguera w skali 1 : 200 000, sporządzone przez firmę „Seismos”.

Adaptacja tych map polegała na obliczeniu — dla punktów pomiarowych Seismosu — wartości anomalii Faye'e oraz przyjęciu do opracowania geodezyjnego takich punktów, które charakteryzują ogólny przebieg anomalii Faye'a.

Zagadnienie adaptacji materiałów Seismosu, dla których oprócz map nie mieliśmy żadnych danych katalogowych, polegało więc przede wszystkim na obliczeniu dla zaznaczonych na mapach Seismosu punktów pomiarowych — wartości anomalii Faye'a, na podstawie znanych wartości anomalii Bouguera. Aby obliczyć anomalię Faye'a ($g''_0 - \gamma_0$), należy od wartości anomalii Bouguera ($g'_0 - \gamma_0$) odjąć wartość poprawki Bouguera (popr. Boug.) i poprawki topograficznej (popr. top.):

$$(g_0 - \gamma_0) = (g''_0 - \gamma_0) - \text{popr. Boug.} - \text{popr. top.}$$

Według sprawozdań Seismosu i na podstawie przeprowadzonej analizy wiemy, że przy opracowaniu tych map grawimetrycznych Seismos nie uwzględniał redukcji topograficznej (było to zrozumiałe, gdyż pomiary Seismosu przeprowadzane były przede wszystkim w terenach nizinnych i równinnych) oraz przyjmował przy obliczaniu poprawki Bouguera średnią gęstość podłoża $\sigma = 1,9 \text{ gm}^{-3}$.

Wobec powyższego możemy napisać

$$(g_0 - \gamma_0) = (g''_0 - \gamma_0) - \text{popr. Boug.}$$

Poprawka Bouguera wyraża się wzorem:

$\text{popr. Boug.} = - \frac{3}{2} \frac{\gamma_0}{R} \frac{\sigma}{\sigma_{sr}} \cdot H$, gdzie R jest promieniem Ziemi, σ_{sr} jest średnią gęstością Ziemi ($\sigma_{sr} = 5,52 \text{ g cm}^{-3}$), a pozostałe oznaczenia są zgodne z poprzednio stosowanymi.

Anomalię Faye'a ($g_0 - \gamma_0$) dla punktów dawnego zdjęcia Seismosu, przy przyjęciu średniej gęstości podłoża $\sigma = 1,9 \text{ cm}^{-3}$ oraz dla innych danych wziętych dla przeciętnych warunków Polski, obliczono na podstawie wzoru:

$$(g_0 - \gamma_0) = (g''_0 - \gamma_0) + 0,0796 \cdot H.$$

Iloczyn $0,0796 \cdot H$ wyrażony jest w miligalach dla wysokości n.p.m. (H) podanej w metrach.

Należy zaznaczyć, iż biorąc przy obliczeniach wszystkich punktów Seismosu jednakową wartość współczynnika (0,0796), nie popełnimy większego błędu niż $5 \cdot 10^{-5} \cdot H$, co przy maksymalnej wysokości dla obszaru zdjęcia Seismosu $H = 500 \text{ m}$ spowoduje maksymalnie błąd rzędu $\pm 0,02 \text{ mgal}$. Dokładność ta jest w tym wypadku zupełnie wystarczająca.

Zwróćmy uwagę, że materiały Seismosu były opracowane w systemie poczdamskim (przez nawiązanie do punktów wahadłowych Geodezyjnego

Instytutu Poczdamskiego). Wobec tego, do przeliczonych punktów Seismosu nie wprowadzono żadnych redukcji ze względu na przejście do jednolitego poziomu grawimetrycznego.

Wartość anomalii Bouguera ($g_0'' - \gamma_0$) poszczególnych dawnych punktów pomiarowych (zaznaczonych na mapie Seismosu) wyznaczyć można bez trudności z mapy grawimetrycznej Seismosu.

Całe zagadnienie przeliczenia sprowadza się więc do wyznaczenia z możliwie najwyższą dokładnością wysokości n.p.m. (H) dla wszystkich punktów Seismosu zaznaczonych na mapie. Czynności związane z określeniem wysokości H były następujące.

- 1) W sposób graficzny oraz ze współrzędnych przenoszono punkty Seismosu z mapy anomalii Bouguera w skali 1 : 200 000 na topograficzne mapy w skali 1 : 100 000. Każdorazowo była przeprowadzona kontrola graficzna wzajemnych odległości pomiędzy przenoszonymi punktami. Zwracano uwagę na lokalizację punktów Seismosu, które powinny znajdować się przy drogach i to w charakterystycznych punktach pod względem topograficznym; w ten sposób mieliśmy dodatkową kontrolę (topograficzną) właściwego przeniesienia punktów.

W wątpliwych przypadkach, gdy zidentyfikowanie punktu było niepewne, a tym samym mogła zaistnieć obawa popełnienia dużego błędu w określeniu wysokości — rezygnowano z takiego punktu i nie brano go do dalszych przeliczeń.

Ilość odrzuconych w ten sposób punktów była na ogół bardzo znikomą.

- 2) Zlokalizowane na mapach topograficznych w skali 1 : 100 000 punkty grawimetryczne zdjęcia Seismosu przenoszono na topograficzne mapy warstwiczne w skali 1 : 25 000. Przenoszenie to odbywało się na drodze identyfikacji topograficznego położenia punktów.
- 3) Wysokości punktów Seismosu nad poziomem morza wyznaczono z mapy w skali 1 : 25 000, przeprowadzając interpolację liniową pomiędzy warstwicami. Dość duży procent punktów grawimetrycznych Seismosu znajdował się w miejscach o określonych na mapie cechach wysokości (kotach). Przypuszczalnie zdjęcie firmy Seismos przeprowadzone było na podstawie odpowiedniego projektu lokalizującego dużą część punktów w miejscach mających cechy wysokościowe podane na mapach topograficznych.

Mapy anomalii Bouguera opracowane przez Seismos odnosiły się do terenów nizinnych i równinnych (Pomorze Zachodnie, Ziemia Lubuska, część województwa poznańskiego, wrocławskiego i Śląska); w rejonach podgórskich Dolnego Śląska firma Seismos pomiarów nie przeprowadzała. Wobec tego wyznaczenie wysokości punktów grawimetrycznych zdjęcia Seismosu z map topograficznych warstwicznych w skali 1:25 000 nie nastęczało zbytnich trudności. W przypadku, gdy wysokości punktów nie można

było określić z wystarczającą dokładnością, ale tylko w sposób przybliżony, nie przyjmowano takich punktów do dalszego opracowania.

Biorąc pod uwagę cięcie warstwic na mapach topograficznych w skali 1 : 25 000 oraz równinny charakter terenu zdjęcia Seismosu, możemy ocenić ogólnie średni błąd wyznaczenia wysokości n.p.m. (H) dawnych punktów Seismosu, w wyżej omówiony sposób, na $\pm 2 - 3$ m.

W przypadku identycznego położenia punktu grawimetrycznego z topograficzną cechą wysokości, błąd określenia wysokości jest oczywiście znacznie mniejszy.

Dla wszystkich dawnych punktów grawimetrycznych (zaznaczonych na mapach Seismosu) wyznaczono wartości anomalii Bouguera ($g''_0 - \gamma_0$) z map grawimetrycznych Seismosu w skali 1 : 200 000. Opierając się na cięciu izolinii co 2 mgal interpolowano liniowo, wyznaczając wartość anomalii punktów do 0,1 mgal. Dokładność w ten sposób wyznaczonej z mapy wartości anomalii ($g''_0 - \gamma_0$) można oszacować na 0,3 — 0,4 mgal. Należy pamiętać, że na podstawie tych właśnie punktów (tj. cech wartości anomalii Bouguera) opracowany został przecież przez firmę Seismos przebieg izolinii anomalii Bouguera na adaptowanych mapach Seismosu.

Przeliczenie z anomalii Bouguera do wartości anomalii Faye'a przeprowadzono na podstawie poniżej podanego wzoru:

$$(g_0 - \gamma_0) = (g''_0 - \gamma_0) + 0,0796 H.$$

Wszystkie czynności związane z zagadnieniem przeliczenia materiałów Seismosu, a mianowicie przeniesienie punktów z mapy grawimetrycznej Seismosu na mapy topograficzne, wyznaczenie z map topograficznych wysokości n.p.m., określenie wartości anomalii Bouguera z mapy Seismosu oraz dokonanie obliczeń wg podanego wyżej wzoru — przeprowadzono niezależnie przez 2 osoby.

Rozbieżności między wyznaczeniami obu wykonawców nie przekraczały maksymalnie dla określenia H wielkości 1 m, a określenia anomalii ($g''_0 - \gamma_0$) z map Seismosu — wielkości 0,4 mgal. Do ostatecznych obliczeń brane były wartości średnie z obu wyznaczeń. W przypadku większych rozbieżności kontrolowano przeprowadzone wyznaczenia.

Rozpatrzmy obecnie dokładność przeprowadzonych przeliczeń. Średni błąd, z jakim dokonane zostało przeliczenie z anomalii Bouguera na anomalie Faye'a (pomijając w tym przypadku błąd samych pomiarów Seismosu), wynosi:

$$m_{obl.(g_0 - \gamma_0)} = \pm \sqrt{m^2_{(g''_0 - \gamma_0)} + 0,0796^2 m^2_H}.$$

Przyjmując średni błąd określenia z mapy wartości anomalii Bouguera $m_{(g''_0 - \gamma_0)} = \pm 0,4$ mgal oraz średni błąd wyznaczenia wysokości n.p.m. $m_H = \pm 2$ m, otrzymamy:

$$m_{obl.(g_0 - \gamma_0)} = \pm 0,43 \text{ mgal.}$$

Jeżeli w wyjątkowych przypadkach błąd wyznaczenia wysokości wynosi $m_H = \pm 5$ m, to wtedy błąd przeliczenia $m_{obl.(g_0-\gamma_0)} = \pm 0,56$ mgal. Wielkość tę można przyjąć za maksymalny błąd samego przeliczenia z wartości anomalii Bouguera do wartości anomalii Faye'a dla punktów grawimetrycznych dawnego zdjęcia Seismosu.

W opisany powyżej sposób przeliczono wszystkie zidentyfikowane dawne punkty map grawimetrycznych Seismosu dla zachodnich obszarów Polski. Tymi przeliczeniami objęto około 7500 dawnych punktów Seismosu.

Dla naszych potrzeb geodezyjnych trzeba było wybrać tylko część przeliczonych punktów Seismosu, mianowicie punkty dla przedstawienia ogólnego pola grawitacyjnego, czyli dla tzw. ogólnego zdjęcia grawimetrycznego.

Na podstawie przeliczonych materiałów należało wytypować i przyjąć do naszego opracowania takie punkty, które charakteryzowały ogólny przebieg anomalii Faye'a.

Istotnym zagadnieniem było również skontrolowanie wzajemnych zgodności wartości anomalii Faye'a pomiędzy przeliczonymi punktami Seismosu i nowymi pomiarami grawimetrycznymi, przeprowadzonymi na zachodzie Polski dla celów geodezyjnych (omówione w p. 5.1).

Celem umożliwienia skontrolowania przeliczonych materiałów oraz wytypowania punktów dla geodezyjnych potrzeb, opracowano w sposób szkicowy przebieg izolinii anomalii Faye'a na podstawie przeliczonych punktów Seismosu. To szkicowe opracowanie wykonano na kalkach technicznych w skali 1 : 100 000. Przekalkowano lokalizację punktów Seismosu z map topograficznych w skali 1 : 100 000 oraz naniesiono położenie punktów grawimetrycznych nowych pomiarów przeprowadzonych w 1954 roku specjalnie dla celów geodezyjnych.

Dla wszystkich punktów (dawnych Seismosu i nowych pomiarów) wpisano wartości anomalii siły ciężkości Faye'a. Przeprowadzono porównanie wartości anomalii Faye'a dla wszystkich identycznie lub prawie identycznie zlokalizowanych punktów nowych pomiarów i punktów Seismosu. Stwierdzono zadawalającą zgodność wartości anomalii Faye'a. Różnice tych wartości anomalii kształtują się przeciętnie w granicach 0,1—0,8 mgal, przy czym mają charakter przypadkowy. Przeprowadzone sprawdzenia potwierdziły słuszność przyjętego toku postępowania oraz możliwość adaptacji materiałów Seismosu dla przedstawienia ogólnego pola grawitacyjnego w zachodnich obszarach naszego kraju.

Na podstawie wartości anomalii Faye'a przeliczonych punktów Seismosu i nowych pomiarów, jeśli w danym rejonie były one wykonane, przeprowadzono odpowiednią interpolację na kalkach w skali 1 : 100 000 i wykreślono w sposób szkicowy przybliżony przebieg izolinii anomalii Faye'a o cięciu co 2 mgal. W ten sposób sporządzono na kalkach szkicowe mapy anomalii Faye'a dla całego obszaru dawnego zdjęcia Seismosu.

Na podstawie tak opracowanego szkicowego przebiegu anomalii Faye'a dokonano wytypowania przeliczonych punktów Seismosu dla przedstawienia ogólnego pola grawitacyjnego. Wytypowano punkty, najlepiej obrazujące ogólny charakter przebiegu anomalii, to znaczy wartości anomalii tych punktów były przeciętnymi wartościami dla obszaru reprezentowanego przez te punkty. Brano również pod uwagę, aby adaptowane punkty były możliwie regularnie rozłożone. Typowano tylko takie punkty Seismosu, dla których identyfikacja oraz wyznaczenie wysokości n.p.m. nie budziły żadnych wątpliwości. Pomijane były również punkty przedstawiające jedynie lokalne anomalie, nie mające wpływu na obraz ogólnego przebiegu anomalii Faye'a. Przy tak przeprowadzonej adaptacji map Seismosu możemy być pewni, iż dla przedstawienia ogólnego zdjęcia grawimetrycznego uniknęliśmy ewentualnego przyjęcia punktów obarczonych grubymi błędami.

Przeciętnie dla przedstawienia ogólnego pola grawitacyjnego adaptowaliśmy 12 — 14 punktów Seismosu z obszaru 1000 km². W ten sposób ogólnie przyjęto około 1300 punktów Seismosu.

Dla wszystkich tych punktów Seismosu wybranych do opracowania grawimetrycznego dla potrzeb geodezyjnych pomiarów podstawowych wyznaczono współrzędne geograficzne z dokładnością do 0,1 na podstawie map topograficznych w skali 1 : 100 000.

6. 3. Adaptacja pomiarów wahadłowych Głównego Urzędu Miar

Oprócz wykorzystania dla celów kontrolnych, również i dla bezpośrednich potrzeb naszego opracowania geodezyjnego przyjęto kilkanaście punktów pomierzonych przez A. Kwiatkowskiego aparaturą wahadłową w latach 1930-38. Punkty te przyjęto dla przedstawienia ogólnego pola grawitacyjnego. Adaptowane punkty przeliczono w ten sposób, że wartości g podane przez Kwiatkowskiego pomniejszono o wielkość 0,9 mgal, ze względu na przejście do jednolitego poziomu odniesienia, zgodnego z systemem pozdamskim.

6. 4. Adaptacja innych pomiarów grawimetrycznych

Adaptowano również pewną ilość punktów z przedwojennych pomiarów grawimetrem Thyssena przeprowadzonych przez St. Pawłowskiego w Kielecczyźnie oraz przez E. Janczewskiego na Kujawach. Adaptację przeprowadzono analogicznie jak w odniesieniu do pomiarów wykonanych grawimetrem Nörgaarda dla potrzeb geologicznych (patrz p. 6. 1). Punkty pomiarów przedwojennych wykorzystane były dla przedstawienia ogólnego zdjęcia grawimetrycznego.

Adaptacja wszystkich posiadanych materiałów grawimetrycznych była bardzo pracochłonnym zadaniem. Masowe prace obliczeniowe i kreślarskie, związane z tą adaptacją, przeprowadzone zostały przez specjalnie

wydzieloną grupę Państwowego Przedsiębiorstwa Geodezyjnego pod nadzorem naukowo-technicznym Instytutu Geodezji i Kartografii.

7. Ocena dokładności przygotowanych materiałów grawimetrycznych

Dla poszczególnych materiałów grawimetrycznych, przygotowanych i adaptowanych do opracowania grawimetrycznego dla praktycznych potrzeb geodezyjnych pomiarów podstawowych, przeprowadziliśmy analizę dokładności.

W wyniku dokonanej analizy oceniono — dla poszczególnych punktów grawimetrycznych — dokładność wartości przyspieszeń siły ciężkości, w stosunku do systemu poczdamskiego, oraz dokładności wyznaczonych anomalii siły ciężkości Faye'a.

7. 1. Ocena dokładności wartości g punktów grawimetrycznych

Dla poszczególnych punktów przyjętych do naszego opracowania, w wyniku obliczeń lub adaptacji uzyskano wartości g w jednolitym poziomie odniesienia, zgodnym z systemem poczdamskim. Zastanówmy się z jakim średnim błędem zostały wyznaczone te wartości g w odniesieniu do wyjściowego podstawowego punktu grawimetrycznego w Poczdamie. W tym celu rozpatrzmy punkty poszczególnych rodzajów pomiarów.

7. 1. 1. Punkty pomiarów wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego

Średnie błędy wyznaczenia wartości g w odniesieniu do punktu w Poczdamie podane zostały przez Weikena [38]. Wynoszą one od $\pm 0,2$ do $\pm 0,8$ mgal, a przeciętnie $\pm 0,4$ mgal.

7. 1. 2. Punkty pomiarów wahadłowych Głównego Urzędu Miar

Średnie błędy, podane przez Kwiatkowskiego, odnoszą się do pomiarów względnych przeprowadzonych w oparciu o wartość g punktu wyjściowego Warszawa GUM.

Wobec tego, średni błąd wartości g punktu wahadłowego, przyjętego do naszego opracowania, w odniesieniu do Poczdamu wynosi:

$$m = \pm \sqrt{m_{1\Delta g}^2 + m_{2\Delta g}^2},$$

$m_{1\Delta g}$ — oznacza średni błąd wyznaczenia różnicy przyspieszenia siły ciężkości Poczdam — Warszawa GUM (można przyjąć zgodnie z danymi Weikena $m_{1\Delta g} = \pm 0,35$ mgal),

$m_{2\Delta g}$ — oznacza średni błąd wyznaczenia przez Główny Urząd Miar wartości Δg pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi i punktem Warszawa GUM (wartości tych średnich błędów przyjęto zgodnie z danymi opublikowanymi przez Kwiatkowskiego).

Na tej podstawie oszacowane średnie błędy w odniesieniu do Podczdamu wynoszą dla adaptowanych do naszych potrzeb kilkunastu omawianych punktów wahadłowych $\pm 0,7$ — $1,1$ mgal.

7. 1. 3. Punkty podstawowych sieci grawimetrycznych

Do tej grupy zaliczamy punkty sieci podstawowych zakładanych specjalnie dla celów geodezyjnych, sieci podstawowych w północno-wschodniej Polsce oraz sieci regionalnych wykonanych dla potrzeb geologicznych. Średni błąd wartości g w odniesieniu do Poczdamu, oszacowano dla tych punktów podstawowych na podstawie wzoru:

$$M = \pm \sqrt{m_w^2 + n \mu^2},$$

gdzie m_w — średni błąd wartości g (w odniesieniu do Poczdamu) punktu wyjściowego tej regionalnej sieci podstawowej; punktami wyjściowymi były punkty wahadłowych pomiarów Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego lub punkty podstawowe innych sieci (o dokładności uprzednio wyznaczonej w wyniku wyrównania i nawiązania do punktów wahadłowych),

μ — średni błąd określenia Δg przęsła rozważanej regionalnej sieci podstawowej,

n — ilość przęseł grawimetrycznych, łączących rozpatrywany punkt sieci z punktem wyjściowym (wahadłowym lub nawiązawczym z innej sieci).

W ten sposób obliczone średnie błędy punktów podstawowych poszczególnych sieci regionalnych i lokalnych wynoszą przeciętnie $\pm 0,4$ — $0,7$ mgal. Dla nielicznej ilości tych punktów średnie błędy wynoszą maksymalnie $\pm 0,7$ — $1,0$ mgal.

7. 1. 4. Grawimetryczne punkty szczegółowe

Analizę dokładności szczegółowych punktów grawimetrycznych oparto na następującym wzorze średniego błędu wyznaczenia wartości g w stosunku do Poczdamu:

$$m = \pm \sqrt{M^2 + m_1^2}$$

Oznaczenia w tym wzorze są następujące:

M — średni błąd wartości g (w odniesieniu do Poczdamu) punktu podstawowego sieci (omówiony w p. 7. 1. 3), w nawiązaniu do którego wyznaczono wartość g punktu szczegółowego,

m_1 — średni błąd pomiaru różnicy przyspieszenia siły ciężkości pomiędzy punktem podstawowym i punktem szczegółowym (tj. średni błąd nawiązania grawimetrycznego do punktu podstawowego).

Wielkość średniego błędu m_1 kształtuje się zależnie od rodzaju i dokładności zdjęcia w granicach od $\pm 0,2$ do $\pm 0,5$ mgal (ta ostatnia wartość dla terenów górskich).

W związku z tym, obliczone na podstawie powyższego wzoru średnie błędy wyznaczenia wartości g (w stosunku do Poczdamu) dla punktów szczegółowych nowych pomiarów i dawnych adaptowanych wynoszą $\pm 0,4$ — $\pm 1,2$ mgal, z tym, że dominująca większość punktów szczegółowych charakteryzuje się średnim błędem $\pm 0,6$ — $\pm 0,8$ mgal.

7. 1. 5. Adaptowane punkty dawnych pomiarów „Seismosu”

Do dalszego opracowania i obliczeń geodezyjnych wykorzystuje się wartości anomalii Faye’a adaptowanych punktów dawnych zdjęć grawimetrycznych „Seismosu”. Wartości samych przyspieszeń siły ciężkości zasadniczo nie interesują nas w tym przypadku.

Dla ogólnej orientacji zastanówmy się jednak z jakim średnim błędem, w stosunku do Poczdamu otrzymamy — w wyniku dokonanych przeliczeń — wartość g dawnych punktów Seismosu.

Przeliczenia z anomalii Bouguera do anomalii Faye’a przeprowadziliśmy, jak wiadomo, na podstawie wzoru:

$$(g_0 - \gamma_0) = (g'' - \gamma_0) + 0,0796 \cdot H.$$

Ponieważ $g_0 = g + 0,3086 H$, wobec tego otrzymujemy:

$$g = (g'' - \gamma_0) + \gamma_0 - 0,2290 \cdot H$$

(Dla H wyrażonego w metrach iloczyn $0,2290 \cdot H$ wyrażony jest w jednostkach miligala).

Wobec tego średni błąd wartości g przeliczonego punktu Seismosu w odniesieniu do Poczdamu można oszacować na podstawie wzoru:

$$m_g = \pm \sqrt{m_w^2 + m_0^2 + m_{(g'' - \gamma_0)}^2 + m_{\gamma_0}^2 + (0,2290)^2 \cdot m_H^2}$$

Oznaczenia przyjęliśmy następujące:

m_w — przeciętny średni błąd wartości g (w odniesieniu do Poczdamu) punktu wahadłowego w danym rejonie (wielkości tych błędów przyjęto zgodnie z p. 7. 1. 1, tj. przeciętnie $\pm 0,4$ mgal),

m_0 — średni błąd pomierzonego przez Seimos szczegółowego punktu grawimetrycznego, w nawiązaniu do punktu wahadłowego; można przyjąć, że wielkość tego błędu wynosi $\pm 0,5$ mgal (należy zanaczyć, iż wg danych niemieckich z 1941 r. [9] ten średni błąd szacowano na $\pm 0,45$ mgal);

$m_{(g_0 - \gamma_0)}$ — średni błąd określenia dla adaptowanych punktów wartości anomalii Bouguera z mapy Seismosu; wielkość tego błędu wg rozważań podanych w p. 6. 2 wynosi $\pm 0,3$ — $0,4$ mgal;

m_{γ_0} — średni błąd obliczenia wartości normalnej siły ciężkości (wg wzoru Helmerta), na podstawie znanej szerokości geograficznej analizowanego punktu Seismosu; przyjmując maksymalny błąd wyznaczenia różnicy szerokości geograficznej $m_{\Delta\varphi} = \pm 0,1$ uzyskujemy $m_{\gamma_0} = \pm 0,15$ mgal;

m_H — średni błąd określenia wysokości n.p.m.; zgodnie z rozważaniami p. 6. 2, przeciętnie $m_H = \pm 2$ m, a maksymalnie nie będzie większy niż ± 5 m.

Po wstawieniu wartości tych średnich błędów do wzoru otrzymujemy:

$$m_g = \pm \sqrt{(0,4)^2 + (0,5)^2 + (0,4)^2 + (0,15)^2 + (0,2290)^2 \cdot 2^2} = \pm 0,9 \text{ mgal.}$$

Obliczmy ile wyniesie maksymalna wartość tego średniego błędu. W tym celu przyjmijmy $m_w = \pm 0,8$ mgal, $m_H = \pm 5$ m, a wartość pozostałych błędów bez zmiany. Uzyskujemy wówczas maksymalną wartość

$$m_{g_{maks}} = \pm 1,5 \text{ mgal.}$$

7. 2. Ocena dokładności anomalii Faye'a punktów grawimetrycznych

Średni błąd anomalii Faye'a $m_{(g_0 - \gamma_0)}$ zależy od średniego błędu wartości g i średniego błędu określenia wysokości n.p.m.:

$$m_{(g_0 - \gamma_0)} = \pm \sqrt{m_g^2 + (0,3086)^2 \cdot m_H^2}.$$

Na podstawie tego wzoru przeprowadzono ocenę dokładności dla wszystkich punktów grawimetrycznych, oprócz adaptowanych punktów dawnego zdjęcia firmy Seismos. Wartość anomalii Faye'a ($g_0 - \gamma_0$) uzyskano dla punktów Seismosu na drodze przeliczenia z wartości anomalii Bouguera; dla tych punktów należy zastosować odrębne rozważania.

Omówiliśmy już poprzednio (w p. 7. 1) wyznaczenie i wielkość średniego błędu m_g w odniesieniu do Poczdamu dla poszczególnych rodzajów punktów grawimetrycznych.

Dla oceny dokładności podzielimy punkty grawimetryczne na grupy, w zależności od dokładności określenia ich wysokości n.p.m. oraz oddzielnie rozpatrzmy adaptowane punkty Seismosu.

7. 2. 1. Ocena dokładności punktów grawimetrycznych o wysokościach wyznaczonych na podstawie niwelacji

Punkty grawimetryczne usytuowane przy niwelacyjnych reperach wysokościowych mają wyznaczone wysokości n.p.m. (w oparciu o znane wysokości reperów i przybliżone określenie różnicy wysokości tego znaku

i punktu grawimetrycznego) ze średnim błędem m_H rzędu $\pm 0,1 - 0,2$ m.

Taką dokładnością określenia wysokości charakteryzuje się duża ilość punktów grawimetrycznych wzdłuż ciągów niwelacyjnych I klasy.

Podczas pomiarów grawimetrycznych wykonanych dla potrzeb geologicznych na Podkarpaciu i w Karpatach, wysokości punktów określane były na podstawie specjalnie w tym celu przeprowadzonej niwelacji geometrycznej. Dokładność rzędu $0,1 - 0,2$ m wyznaczenia wysokości n.p.m. jest w tym przypadku w pełni zapewniona. Wysokości punktów wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego były też uzyskane na drodze niwelacji geometrycznej, a więc otrzymane z tą samą dokładnością.

Wpływ tego średniego błędu wyznaczenia wysokości n.p.m. rzędu $\pm 0,1 - 0,2$ m na obliczenie anomalii Faye'a wynosi $\pm 0,03 - 0,06$ mgal. Wpływ ten można przy naszych rozważaniach praktycznie pominąć.

Wobec tego dla punktów grawimetrycznych, o wysokościach n.p.m. wyznaczonych na podstawie pomiarów niwelacji geometrycznej, można przyjąć, że średni błąd obliczonej anomalii Faye'a jest praktycznie równy średniemu błędowi wyznaczenia wartości g , w odniesieniu do Poczdamu, (tj. $m_{(g_0 - \gamma_0)} = m_g$).

Dla wyznaczenia wysokości punktów grawimetrycznych w Karpatach, przy przeprowadzeniu pomiarów dla potrzeb geodezji (omówionych w p. 5. 3), wykonana została niwelacja trygonometryczna. Średni błąd określonej w ten sposób wysokości wynosi $0,5 - 1,0$ m.

Wobec tego, przyjmując $m_H = \pm 1$ m, otrzymujemy:

$$m_{(g_0 - \gamma_0)} = \sqrt{m_g^2 + (0,3086)^2}$$

Dla punktów podstawowych w Karpatach, charakteryzujących się średnim błędem $m_g = \pm 0,7 - 0,8$ mgal, średni błąd wartości anomalii Faye'a wyniesie $m_{(g_0 - \gamma_0)} = \pm 0,8 - 0,85$ mgal.

Dla punktów szczegółowych w tym rejonie, o wartości g wyznaczonej z dokładnością $0,9 - 1,0$ mgal, średni błąd wartości anomalii Faye'a wyniesie $m_{(g_0 - \gamma_0)} = \pm 0,95 - 1,05$ mgal.

7. 2. 2. Ocena dokładności punktów grawimetrycznych o wysokościach wyznaczonych z map topograficznych warstwicznych w skali 1:25 000

Przyjmując średni błąd wyznaczenia wysokości $m_H = \pm 2$ m, otrzymujemy, że średni błąd wartości anomalii Faye'a obliczyć można na podstawie wzoru:

$$m_{(g_0 - \gamma_0)} = \pm \sqrt{m_g^2 + (0,62)^2}$$

Wobec tego, dla punktów podstawowych sieci regionalnych (patrz p. 7. 1. 3) średni błąd anomalii Faye'a wyniesie przeciętnie $m_{(g_0 - \gamma_0)} = \pm 0,7 - 0,9$ mgal.

Dla punktów szczegółowych (patrz p. 7. 1. 4) średni błąd anomalii Faye'a przeciętnie równy będzie: $m_{(g_0 - \gamma_0)} = \pm 0,8 - 1,0$ mgal.

Przy założeniu $m_H = \pm 3$ m oraz maksymalnych wartości średnich błędów m_g (omówionych w p. 7. 1) otrzymujemy odpowiednio: maksymalną wartość średniego błędu anomalii Faye'a dla punktów podstawowych $m_{(g_0 - \gamma_0)} = \pm 1,3$ mgal, a dla punktów szczegółowych $\pm 1,5$ mgal.

7. 2. 3. Ocena dokładności adaptowanych punktów dawnego zdjęcia Seismosu

Przyjmując oznaczenia poprzednio użyte (p. 7. 1. 4) możemy oszacować średni błąd wartości anomalii Faye'a, (w odniesieniu do systemu poczdamskiego) na podstawie wzoru:

$$m_{(g_0 - \gamma_0)} = \pm \sqrt{m_w^2 + m_0^2 + m_{przel.}^2}$$

Przyjmując, zgodnie z poprzednimi założeniami: średni błąd wartości g punktu wahadłowego $m_w = \pm 0,4$ mgal, średni błąd pomiaru Seismosu $m_0 = \pm 0,5$ mgal oraz średni błąd samego obliczenia wartości anomalii Faye'a na podstawie przeliczenia z map anomalii Bouguera, wynoszący (zgodnie z rozważaniami p. 6. 2) $m_{przel.} = \pm 0,43$ mgal, otrzymamy:

$$m_{(g_0 - \gamma_0)} = \pm \sqrt{(0,4)^2 + (0,5)^2 + (0,43)^2} = \pm 0,8 \text{ mgal.}$$

Tablica 8

Lp.	Rodzaje punktów grawimetrycznych		Średni błąd wartości g w systemie poczdamskim m_g (w mgal)	Średni błąd wartości anomalii Faye'a $m_{(g_0 - \gamma_0)}$ (w mgal)
1	Punkty na ciągach niwelacji precyzyjnej I klasy	punkty sieci podstawowych	$\pm 0,3-0,9$ przeciętnie $\pm 0,4-0,7$	$\pm 0,3-1,0$ przeciętnie $\pm 0,5-0,8$
		punkty szczegółowe	$\pm 0,4-1,1$ przeciętnie $\pm 0,6-0,8$	$\pm 0,4-1,2$ przeciętnie $\pm 0,6-0,9$
2	Punkty w najbliższym otoczeniu punktów astronomiczno-geodezyjnych	punkty sieci podstawowych	$\pm 0,3-1,0$ przeciętnie $\pm 0,5-0,8$	$\pm 0,3-1,1$ przeciętnie $\pm 0,7-0,9$
		punkty szczegółowe	$\pm 0,4-1,2$ przeciętnie $\pm 0,6-0,8$	$\pm 0,4-1,3$ przeciętnie $\pm 0,8-1,0$
3	Punkty ogólnego zdjęcia grawimetrycznego	punkty sieci podstawowych	$\pm 0,3-1,0$ przeciętnie $\pm 0,6-0,8$	$\pm 0,4-1,2$ przeciętnie $\pm 0,7-0,9$
		punkty szczegółowe	$\pm 0,4-1,2$ przeciętnie $\pm 0,6-0,9$	$\pm 0,4-1,5$ przeciętnie $\pm 0,8-1,1$
		punkty adaptowane z dawnego zdjęcia Seismosu	$\pm 0,9-1,5$ przeciętnie $\pm 1,2$	$\pm 0,8-1,1$ przeciętnie $\pm 0,9$

Aby obliczyć maksymalną wartość średniego błędu, przyjmijmy $m_w = \pm 0,8$ mgal, oraz $m_{przel.} = \pm 0,56$ mgal (przy średnim błędzie określenia wysokości $m_H = \pm 5$ m), uzyskamy wtedy $m_{(g_0 - \gamma)_0} = \pm 1,1$ mgal.

Na podstawie powyższych rozważań możemy przyjąć, że przeciętnie średni błąd wartości anomalii Faye'a adaptowanych punktów Seismosu wynosi $\pm 0,9$ mgal.

7. 3. Zestawienie wyników przeprowadzonej analizy dokładnościowej

Przeprowadzona analiza dokładności doprowadza do danych, które zestawione zostały w tabl. 8.

Jak widać z tablicy 8, uzyskane średnie błędy anomalii Faye'a poszczególnych punktów grawimetrycznych, zarówno dla opracowania niwelacji precyzyjnej, jak też sieci astronomiczno-geodezyjnej, odpowiadają kryteriom dokładnościowym ustalonym w p. 2 niniejszej pracy.

8. Opracowanie katalogu punktów grawimetrycznych dla potrzeb geodezji

Przygotowanie materiałów grawimetrycznych dla potrzeb triangulacji głównej i niwelacji I klasy objęło ogółem około 6000 punktów grawimetrycznych. Punkty te, jak wyżej omówiliśmy, uzyskano przede wszystkim na podstawie nowych pomiarów przeprowadzonych grawimetrami Nörngaarda specjalnie dla potrzeb geodezji oraz dla potrzeb geologiczno-poszukiwawczych, jak również na podstawie adaptowanych materiałów grawimetrycznych dawnych pomiarów Seismosu. Po adaptacji tych pomiarów uzyskaliśmy wartości g wszystkich punktów w jednolitym poziomie odniesienia, zgodnym z systemem poczdamskim. Procentową ilość punktów wziętych z poszczególnych rodzajów pomiarów do naszego opracowania przedstawiono w tablicy 9.

Tablica 9

Materiały grawimetryczne	Procentowa ilość punktów
Nowe pomiary grawimetrami Nörngaarda wykonane dla potrzeb geodezyjnych	34%
Nowe pomiary grawimetrami Nörngaarda wykonane dla potrzeb geologicznych	40%
Adaptowane materiały dawnych pomiarów firmy Seismos	24%
Pomiary wahadłowe i inne	2%
	100%

Jak widać (z tablicy 9), 74% wszystkich punktów grawimetrycznych przyjętych do opracowania geodezyjnego pochodzi z nowych pomiarów (z lat 1947 - 55) wykonanych grawimetrami typu Nörgaarda.

Odpowiednie dane, dotyczące wszystkich punktów grawimetrycznych przygotowanych dla potrzeb geodezyjnych, zestawiono tworząc specjalny katalog. W celu usystematyzowania i ujednolicenia, katalog punktów grawimetrycznych został opracowany odrębnie dla obszaru każdego arkusza mapy w skali 1 : 500 000. Przyjęto przy tym podział na arkusze zgodnie z międzynarodowym cięciem, tj. arkusz mapy 1 : 500 000 ma wymiary $2^{\circ} \times 3^{\circ}$.

Wobec tego, cały katalog składał się z 15 części, przy czym każdą z nich oznaczono i nazwano, zgodnie z oznaczeniem i nazwą odpowiedniego arkusza mapy w skali 1 : 500 000, mianowicie:

N-33-A — Kopenhaga,	N-33-B — Słupsk,	N-33-3 — Berlin,
N-33-D — Poznań,	N-34-A — Gdańsk,	N-34-B — Kowno,
N-34-C — Toruń,	N-34-D — Warszawa,	M-33-A — Praga,
M-33-B — Wrocław,	M-34-A — Kraków,	M-34-B — Lublin,
M-34-C — Ostrawa,	M-34-D — Przemyśl,	M-35-A — Kowel.

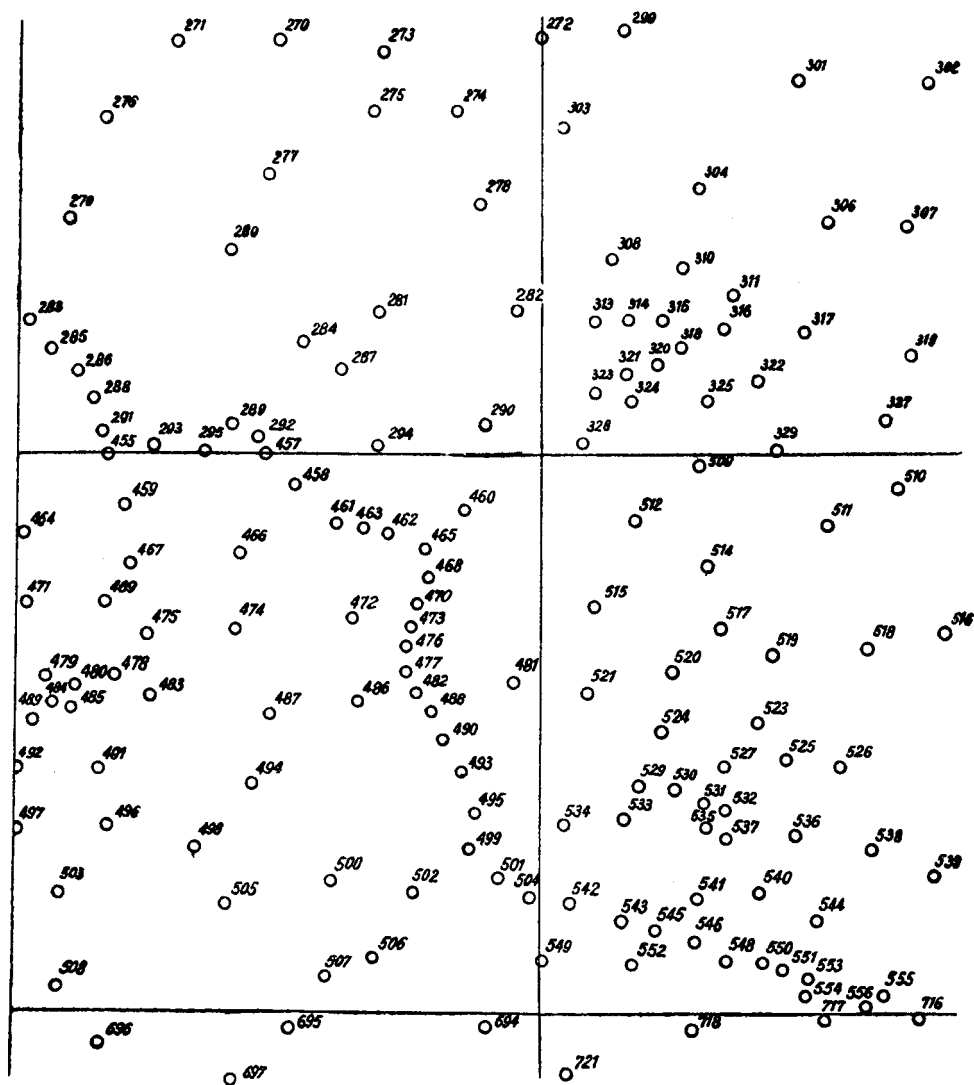
Na obszarze każdego arkusza w/w mapy w skali 1 : 500 000, tj. w każdej części katalogu, przeprowadzono niezależną numeracją punktów grawimetrycznych. Stosowano przy tym zasadę numerowania kolejnego zgodnie z zasadą numeracji arkuszy map 1 : 100 000 (międzynarodowego cięcia) na obszarze arkusza mapy 1 : 500 000, a w ramach arkusza mapy 1 : 100 000 punkty grawimetryczne numerowano kolejno wg malejących wartości szerokości geograficznych tych punktów.

W ten sposób mieliśmy w każdej części katalogu ponumerowane punkty grawimetryczne, a numery były nie większe niż trzycyfrowe. W razie przeprowadzania w przyszłości dodatkowych pomiarów lub uzupełnień dla potrzeb geodezji, postanowiono numerować wtedy punkty grawimetryczne dla odróżnienia numerami czterocyfrowymi. W katalogu zestawione zostały dla każdego punktu grawimetrycznego następujące dane: numer punktu, współrzędne geograficzne (szerokość i długość), wysokość n.p.m., wartość przyspieszenia siły ciężkości w odniesieniu do systemu poczdamskiego, średni błąd określenia wartości g (w odniesieniu do punktu w Poczdamie), rok przeprowadzenia pomiaru, wartość normalna siły ciężkości (wg wzoru Helmerta z 1901-08 r.), obliczona redukcja Faye'a, obliczona anomalia Faye'a, gęstość średnia podłoża (zgodnie z danymi przyjmowanymi przez Instytut Geologiczny przy pomiarach grawimetrycznych dla potrzeb geologicznych), redukcja topograficzna (o ile była ona wyznaczona), obliczona redukcja Bouguera, obliczona anomalia Bouguera oraz informacja z jakich materiałów pochodzi dany punkt grawimetryczny.

Dla każdej z 15 części katalogu sporządzono załącznik mapowy do katalogu punktów grawimetrycznych, w skali 1 : 500 000. Na tym załącz-

niku mapowym zaznaczono lokalizację punktów grawimetrycznych i ich numer zgodnie z katalogiem. Dla ilustracji przedstawiono na rys. 5 wy-cinek jednego z załączników mapowych do katalogu.

Katalog punktów i załącznik mapowy stanowią podstawową dokumen-tację punktów grawimetrycznych przygotowanych dla praktycznych po-trzeb geodezyjnych pomiarów podstawowych.



Rys. 5

Rozpatrując zestawione w katalogu punkty grawimetryczne, widzimy, że a) odległości wzajemne punktów grawimetrycznych wzdłuż ciągów niwelacji I klasy wynoszą 1,5 — 2,0 km na Podkarpaciu i w Karpatach,

2 — 3 km na Dolnym Śląsku, w kieleckim i na lubelszczyźnie oraz 3 — 6 km na pozostałych obszarach kraju, b) gęstość punktów grawimetrycznych na obszarze w promieniu 30 km od punktów astronomiczno-geodezyjnych jest na ogół znacznie większa niż wymagane minimum (p. 2. 2), c) gęstość punktów grawimetrycznych, przyjętych dla przedstawienia ogólnego pola grawitacyjnego (tzw. ogólnego zdjęcia), wynosi przeciętnie 12 punktów na 1000 km², a w terenach podgórskich i górskich do 17 pkt. na 1000 km².

Ilość punktów grawimetrycznych przyjętych do katalogu i ich rozłożenie odpowiada w pełni wymaganiom stawianym przez nas (punkt 2 niniejszej pracy), dla potrzeb założonej sieci astronomiczno-geodezyjnej i sieci niwelacji precyzyjnej I klasy w Polsce.

Należy zaznaczyć, iż obliczenia anomalii i zestawienia katalogu wykonane zostały niezależnie przez dwie osoby; prace te, jak również sporządzenie załącznika mapowego do katalogu, wykonała pod nadzorem naukowo-technicznym Instytutu Geodezji i Kartografii — specjalnie wydzielona grupa Państwowego Przedsiębiorstwa Geodezyjnego.

9. Opracowanie map anomalii siły ciężkości Faye'a

Na podstawie danych zestawionych w katalogu punktów grawimetrycznych, opracowano odpowiednie mapy anomalii siły ciężkości Faye'a. Przede wszystkim sporządzona została w skali 1 : 500 000 ogólna mapa anomalii Faye'a w Polsce, oraz dla obszaru Podkarpacia i Karpat — mapa anomalii Faye'a w skali 1 : 200 000. Mapę w skali 1 : 500 000 zgeneralizowano opracowując mapę anomalii Faye'a w skali 1 : 2 000 000. Dla części obszaru Górnego i Dolnego Śląska przygotowano mapę anomalii Faye'a w skali 1 : 200 000.

9. 1. Mapa w skali 1 : 500 000 anomalii siły ciężkości Faye'a w Polsce

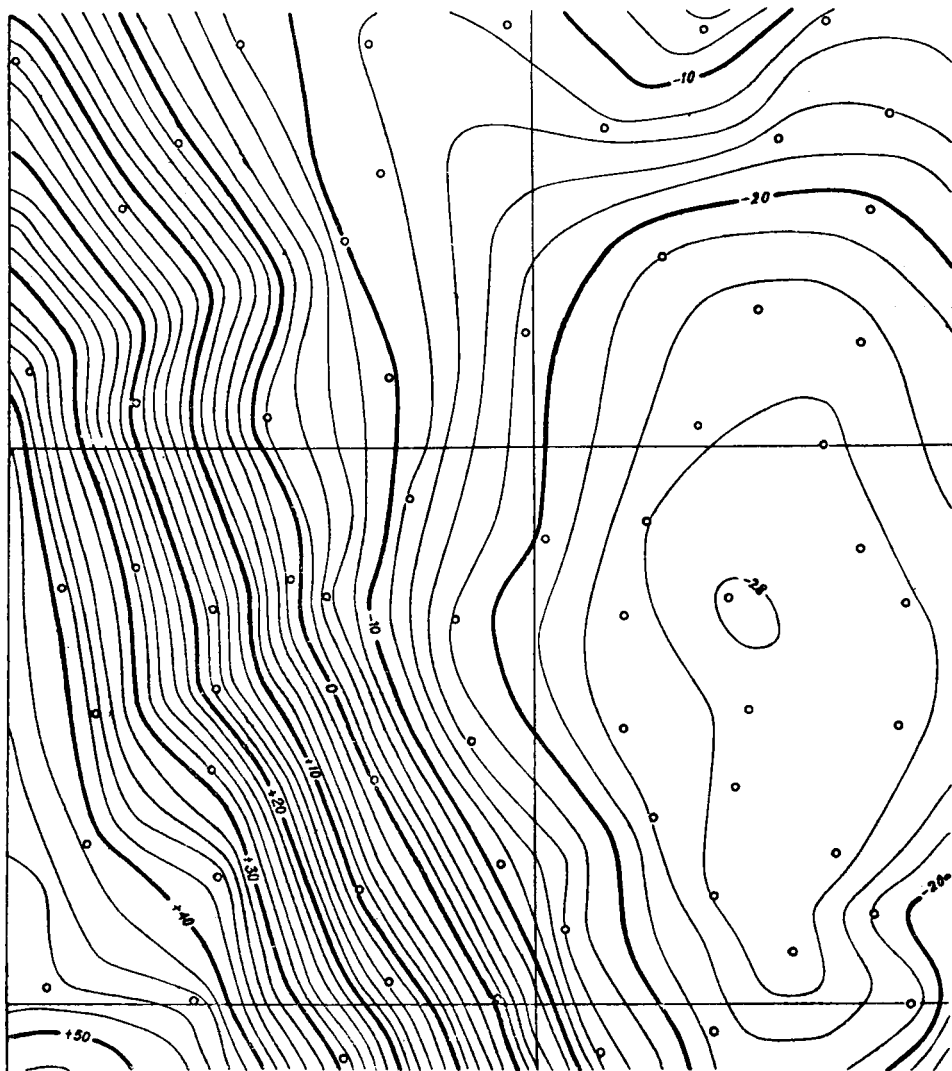
Celem przedstawienia ogólnego obrazu pola grawitacyjnego opracowana została dla obszaru Polski mapa anomalii siły ciężkości Faye'a w skali 1 : 500 000.

Biorąc pod uwagę skalę mapy, nie uwzględniano przy jej opracowaniu punktów grawimetrycznych, przedstawiających zupełnie lokalne anomalie grawimetryczne. Wobec tego, dla sporządzenia tej mapy wykorzystano nie wszystkie punkty grawimetryczne zestawione w katalogu dla potrzeb geodezji; wyeliminowano bowiem część z gęsto usytuowanych punktów grawimetrycznych, położonych na ciągach niwelacji I klasy i w otoczeniu punktów astronomiczno-geodezyjnych. Opracowanie mapy 1 : 500 000 przeprowadzono na podstawie około 90% wszystkich punktów zestawionych w katalogu.

Mapę anomalii Faye'a w skali 1 : 500 000 opracowano w arkuszach, zgodnie z podziałem międzynarodowym. Małe skrawki obszaru Polski,

jakie leżą na arkuszach N-33-A — Kopenhaga i N-35-A — Kowel, dołączono do sąsiednich arkuszy 1 : 500 000.

W ten sposób ogólną mapę anomalii Faye'a w Polsce opracowano w 13 arkuszach w skali 1 : 500 000.



Rys. 6

Dla każdego arkusza mapy opracowano czystorys, na którym po naniesieniu punktów grawimetrycznych i opisanii dla nich wartości anomalii (zgodnie z wartościami podanymi w katalogu), przeprowadzona została interpolacja i wykreślony przebieg izolinii anomalii Faye'a. Cięcie izolinii na 11 arkuszach mapy przyjęto co 2 mgal, a dla 2 arkuszy, tj. M-34-C — Ostrawa i M-34-D — Przemyśl, izolinie przeprowadzono co

4 mgal, z uwagi na bardzo urozmaicony charakter przebiegu anomalii Faye'a w rejonie Karpat i Podkarpacia.

Przy interpolacji i wykreślaniu przebiegu izolinii na czystorysach arkuszy mapy dla zachodnich obszarów Polski korzystano pomocniczo — dla ogólnej orientacji — z przybliżonego przebiegu izolinii anomalii Faye'a, wykreślonego na kalkach w skali 1 : 100 000 podczas adaptacji punktów dawnego zdjęcia Seismosu (patrz p. 6. 2). Natomiast dla pozostałych czystorysów arkuszy 1 : 500 000 mapy anomalii Faye'a wykreślono najpierw w sposób przybliżony przebieg izolinii, a następnie, po odpowiedniej korekcie i uzgodnieniu, ustalono ostateczny przebieg izolinii anomalii Faye'a. Na podstawie tak opracowanych czystorysów wykreślono na kodatrasie matryce mapy. Z matryc tych dokonane zostały odbitki litograficzne.

Na mapie anomalii Faye'a w skali 1 : 500 000 zaznaczone są kółeczkami te punkty grawimetryczne, na podstawie których opracowano mapę i wykreślono przebieg izolinii.

Dla każdego arkusza mapy grawimetrycznej opracowany został załącznik w skali 1 : 500 000. Na załączniku zaznaczone są punkty grawimetryczne, z podaniem ich numerów (wg numeracji katalogu) oraz ich wartości anomalii Faye'a.

Należy stwierdzić, że przy cięciu izolinii co 2 mgal mapa dla terenów równinnych i pagórkowatych jest przejrzysta i z łatwością można na jej podstawie odczytać wartości anomalii Faye'a dowolnych punktów z oszacowaniem do 0,5 mgal. Natomiast dla Podkarpacia i Karpat skala opracowania mapy 1 : 500 000 daje — nawet przy cięciu izolinii co 4 mgal — za mało przejrzysty obraz przebiegu anomalii.

Dla ilustracji przedstawiono na rys. 6 mały wycinek z jednego arkusza mapy anomalii siły ciężkości Faye'a w skali 1 : 500 000.

9. 2. Mapa w skali 1 : 200 000 anomalii siły ciężkości Faye'a terenu Karpat i Podkarpacia.

Pole grawitacyjne w obszarach górskich i podgórskich jest bardzo urozmaicone. Wobec tego, dla praktycznych potrzeb geodezyjnych sporządzona została dla obszaru Karpat i Podkarpacia mapa anomalii siły ciężkości Faye'a w skali 1 : 200 000. Mapa ta obejmuje obszar, odpowiadający arkuszom M-34-C — Ostrawa i M-34-D — Przemyśl, tj. obszar położony na południe od równoleżnika $\varphi = 50^\circ$ do granicy państwowej z Czechosłowacją.

Do opracowania mapy Karpat i Podkarpacia przyjęto wszystkie punkty zestawione dla tego obszaru w katalogu punktów grawimetrycznych. Mapę opracowano w 3 arkuszach w skali 1 : 200 000. Izolinie anomalii Faye'a na każdym arkuszu wykreślono w odstępach 2 mgal.

Należy zaznaczyć, iż opracowane w ten sposób materiały grawimetryczne tego rejonu wystarczają dla praktycznych potrzeb obliczenia założonych sieci geodezyjnych, natomiast dla szczegółowego badania naukowego geoidy w Karpatach należałoby jeszcze w przyszłości przewidzieć dodatkowe pomiary grawimetryczne.

W analogiczny sposób, jak wyżej omówiliśmy, przygotowana została mapa anomalii Faye'a w skali 1 : 200 000 dla części obszarów Górnego i Dolnego Śląska.

9. 3. Mapa w skali 1 : 2 000 000 anomalii siły ciężkości Faye'a w Polsce.

Na podstawie mapy anomalii Faye'a 1 : 500 000 opracowana została na drodze generalizacji ogólna mapa Polski w skali 1 : 2 000 000.

Cięcie izolinii przyjęto co 5 mgal.

Dla orientacji ogólnego pola grawitacyjnego załącza się przy niniejszej pracy mapę anomalii Faye'a w skali 1 : 2 000 000 (patrz załącznik).

9. 4. Zastosowanie opracowanych map anomalii Faye'a przy obliczeniach sieci niwelacji I klasy i sieci astronomiczno-geodezyjnej.

Na podstawie map anomalii Faye'a w skali 1 : 200 000 obszarów górskich i podgórskich w Polsce można dla celów geodezyjnych bezpośrednio a) obliczać średnie wartości anomalii Faye'a $(g_0 - \gamma_0)_{sr}$ dla odcinków pomiędzy sąsiednimi reperami niwelacji precyzyjnej I klasy i tym samym umożliwić obliczenie — w systemie wysokości normalnych — poprawki niwelacyjnej (PN) ze względu na nierównoległość powierzchni poziomych, b) obliczać składowe grawimetryczne odchylenia pionu praktycznie dla stref obejmujących obszar w promieniu od 0 do 30 — 60 km od punktu astronomiczno-geodezyjnego.

Mapy anomalii Faye'a w skali 1 : 500 000 można bezpośrednio wykorzystać do obliczenia składowych odchylen pionu praktycznie dla stref, obejmujących obszar w promieniu od 5 — 10 km do 100 — 150 km od punktu astronomiczno-geodezyjnego, natomiast wpływ pola grawitacyjnego dalszych stref dogodnie jest obliczać z map anomalii Faye'a 1 : 2 000 000.

Dla strefy centralnej, tj. do 5 — 10 km od punktu astronomiczno-geodezyjnego, należy opracować szczegółowy przebieg izolinii anomalii Faye'a (np. na kalce w skali 1 : 100 000), opierając się na danych zestawionych w katalogu punktów grawimetrycznych.

Dla obliczenia poprawek niwelacyjnych (PN) w terenach równinnych i nizinnych (tj. poza obszarami, dla których opracowane są mapy grawimetryczne w skali 1 : 200 000) można wyznaczyć średnie wartości anomalii Faye'a $(g_0 - \gamma_0)_{sr}$ dla poszczególnych odcinków niwelacji I klasy na podstawie wzajemnego porównania położenia na ciągu niwelacji I klasy reperów i punktów grawimetrycznych.

W tym celu trzeba przyjąć oczywiście wszystkie punkty grawimetryczne zebrane w katalogu punktów grawimetrycznych dla obliczanego ciągu niwelacji precyzyjnej I klasy.

10. Uwagi końcowe

Opracowanie grawimetryczne, omówione w niniejszej pracy, wykonane zostało przede wszystkim dla pilnych potrzeb praktycznych. Przeprowadzone prace grawimetryczne umożliwiły wykorzystanie — po raz pierwszy w Polsce — danych grawimetrycznych do obliczenia i wyrównania nowozałożonej sieci astronomiczno-geodezyjnej i sieci niwelacji precyzyjnej I klasy.

Z perspektywy przeszło dwuletniego okresu czasu od zakończenia tego opracowania grawimetrycznego, dochodzi się do wniosku, że przyjęte przy tym opracowaniu założenia i ich realizacja były słuszne z punktu widzenia konkretnych i pilnych potrzeb geodezyjnych.

Przeprowadzone, po zakończeniu omawianych prac, porównanie wyników nawiązań grawimetrycznych na punktach granicznych z państwami sąsiednimi (opisane w punkcie 5. 6) wykazało, że przyjęty przy naszym opracowaniu grawimetryczny poziom odniesienia jest zgodny w granicach przeciętnie 0,5 mgal z poziomami grawimetrycznymi państw sąsiednich. Dalszym potwierdzeniem słuszności przyjętego poziomu odniesienia, opartego na punktach wahadłowych Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego, były wyniki wykonanych w 1956 i 1957 roku pomiarów aparaturą wahadłową Askania. (W ramach współpracy z Instytutem Geodezji i Kartografii pomiary te przeprowadziła Katedra Geodezji Wyższej Politechniki Warszawskiej). Porównanie pomierzonych tą aparaturą wahadłową wartości Δg pomiędzy kilkoma dawnymi punktami wahadłowymi z wynikami Geodezyjnego Instytutu Poczdamskiego daje dobrą zgodność (wyniki te różnią się dla przęsła Warszawa — Poznań o 0,03 mgal, Warszawa — Kraków o 0,56 mgal, Warszawa — Radom o 0,02 mgal, Warszawa — Gdańsk o 0,06 mgal i Poznań — Gdańsk o 0,32 mgal).

Rozpatrując sugerowany podczas ostatniego Zgromadzenia Ogólnego Unii Geodezyjnej i Geofizycznej w Toronto system wysokości geopotencjalnych do opracowania niwelacji precyzyjnej [36] oraz potrzebne do tego celu dane grawimetryczne ([1], [13]), dochodzimy do wniosku, iż przygotowane przez nas materiały grawimetryczne odpowiadają na ogół tym wymaganiom, zarówno pod względem gęstości punktów, jak też dokładności danych grawimetrycznych.

Należy zaznaczyć, że nasze opracowanie grawimetryczne dla potrzeb niwelacji przeprowadzono uwzględniając lokalizację sieci niwelacji precyzyjnej I klasy. Dla dokładnego opracowania niwelacji precyzyjnej II klasy trzeba również mieć odpowiednie dane grawimetryczne. W tym celu potrzebne są pewne uzupełnienia dotychczasowego opracowania, co

wiąże się z przeprowadzeniem dodatkowych pomiarów grawimetrycznych.

Dokonane opracowanie grawimetryczne umożliwia sporządzenie mapy geoidy wzdłuż łańcuchów sieci astronomiczno-geodezyjnej. Brak materiałów grawimetrycznych dla morza Bałtyckiego wpływa na obniżenie dokładności obliczeń grawimetrycznych odchyleń pionu i opracowania geoidy w północnych obszarach Polski.

Opracowanie w przyszłości dla celów naukowo-badawczych szczegółowej mapy geoidy na terenie całej Polski wymaga założenia jeszcze pewnej ilości dodatkowych punktów astronomiczno-geodezyjnych oraz, w związku z tym, przeprowadzenia uzupełniających pomiarów i opracowań grawimetrycznych.

LITERATURA

- [1] *Baeschlin F.* Rapport special sur Nivellement et Pesanteur. Association Intern. de Geodesie Assemblee generale a Toronto, 1957.
- [2] *Bulanże J. D.* Formuły i tablice dla obrabotki grawimietricheskich nabljudenij. Moskwa 1949.
- [3] *Chudoba V.* O československých gravimetrických zakladech. Geofizikalni Sborn. 1954, Praga 1955.
- [4] *Facsinay L., Szilard J.* A magyar orszagos gravitacios alaphalozat. Geofizikai Közlemenyek nr 2, Budapest 1956.
- [5] *de Graff Hunter J.* The Figur of the Earth form Gravity Obserwations and the Precision Obtainable. Londyn 1935.
- [6] *Izotow A. A.* Forma i razmiery Ziemi po sowriemionnym dannym. Trudy CNIIGAiK wyp. 73, Moskwa 1950.
- [7] *Junczewski E.* Geofizyka, Kraków 1948.
- [8] *Jeremiejew W. F., Zwoncow W. J.* O sistiemie wysot niwielirnoj sieti SSSR Trudy CNIIGAiK, wyp. 96, Moskwa 1953.
- [9] *Jung R.* Der Einfluss der wahren Schwere auf die Nivellements hoher Genauigkeit. Sonderheft 19. Nachrichten Reichsvermessungsdienst. Berlin 1941.
- [10] *Kamela Cz.* Wyznaczenie geoidy z pomiarów grawimetrycznych. Warszawa, 1950.
- [11] *Kamela Cz.* Geodezja dynamiczna t. 1 i t. 2. Warszawa 1953 i 1955.
- [12] *Kneissl M.* Niveau und Massstab der vorläufigen europäischen Gravimeter-netzes. Deutsche Geod. Komm., nr. 21, Monachium 1956.
- [13] *Kukkamäki T.* General Report on Precise Levelling 1954-1956 presented at the General Assembly of IUGG in Toronto, 1957.
- [14] *Kühnen F., Furtwängler Ph.* Bestimmung der absoluten Grösse der Schwere-kraft zu Potsdam mit Reversionspendel. Berlin 1906.
- [15] *Kwiatkowski A.* Wyznaczenie przyspieszenia siły ciężkości w 14-tu punktach Pomorza w r. 1928. GUM, Warszawa 1931.
- [16] *Kwiatkowski A.* Prace grawimetryczne w latach 1930-1932. GUM, Warszawa 1933.
- [17] *Kwiatkowski A.* Prace grawimetryczne w latach 1933-1934. GUM, Warszawa 1935.
- [18] *Kwiatkowski A.* Prace grawimetryczne w roku 1935. GUM, Warszawa 1937.
- [19] *Kwiatkowski A.* Nouvelles liaisons gravimétriques avec Potsdam de la station de reference du Bureau National des Mesures. GUM, Warszawa 1938.
- [20] *Kwiatkowski A.* Prace grawimetryczne w latach 1936 i 1937. GUM, Warszawa 1938.
- [21] *Michajłow A. A.* Kurs grawimetrii i teorii figury Ziemi. Moskwa, 1939.
- [22] *Miedźwiecki — Kowal M.* Wyznaczenie przyspieszenia siły ciężkości w Gdy-ni, Kartuzach i Warszawie w roku 1926, GUM, Warszawa 1928.
- [23] *Mołodeński M. S.* Osnownyje woprosy gieodieziceskoj grawimetrii. Trudy CNIIGAiK, wyp. 42, Moskwa 1945.
- [24] *Niethammer Th.* Nivellement und Schwere als Mittel zur Berechnung wahrer Meereshöhen. Berno 1932.

- [25] *Olczak T.* Pomiary grawimetryczne w Polsce w okresie 1926 — 1930. *Prace Astronom.-Geodez.* Nr 1, Kraków, 1932.
- [26] *Olczak T.* Pomiary przyspieszenia siły ciężkości w roku 1934. *Prace Astronom.-Geodez.* Nr 3, Kraków 1936.
- [27] *Pawłowski St.* Badania grawimetrem Nörngaarda w środkowej Polsce. *Biuletyn PIG*, nr. 47, Warszawa 1948.
- [28] *Pawłowski St.* Kilka zagadnień geofizycznych w Polsce. *Biuletyn PIG*, Warszawa 1952.
- [29] *Pawłowski St.* Grawimetria okolic Radomska. *Biuletyn IG*, Warszawa 1953.
- [30] *Pawłowski St.* Grawimetria okolic Izbicy — Kłodawy — Łęczycy — Ozorkowa. *Biuletyn IG*, Warszawa 1953.
- [31] *Ramsayer K.* Die Schwerereduktion von Nivellements. *Deutsch. Geod. Komm. Reihe A.*, nr. 6, Monachium 1953.
- [32] *Rieckmann E., German S.* Das Potsdamer Schweresystem seine vollständige Definition und seine richtilge Übertragung. *Deutsche Geod. Komm. Reihe B*, nr. 50, 1957.
- [33] *Sorokin L. W.* Grawimetria i grawimetriczeskaja razwiedka. Moskwa-Leningrad 1953.
- [34] *Stokes G. G.* On the Variation of Gravity of the Surface of the Earth. Londyn 1849.
- [35] *Ślósarz T.* Pomiary natężenia siły ciężkości w województwie śląskim w r. 1937. Polska Akademia Umiejętności, Wyd. Śląskie. *Prace geologiczne* nr 6, Kraków 1939.
- [36] *Tardi P.* Solution adoptée par le Comité National Français pour le calcul des altitudes à partir des cotes — géopotentielles. *Com. Nat. Français de Geod. et Geoph.* Paryż, 1957.
- [37] *Warchałowski E.* Niwelacja geometryczna. Warszawa, 1954.
- [38] *Weiken K.* Ergebnisse der Pendelmessungen der Jahre 1934 bis 1943. *Veröffentl. Geod. Instit. in Potsdam*, nr. 3, Berlin 1950.
- [39] *Wiełądek R.* Podstawowe pomiary grawimetryczne w północno-wschodniej Polsce. *Biuletyn PIG*, nr 76, Warszawa 1951.
- [40] *Wiełądek R.* Pomiary grawimetrem Nörngaarda w północno-wschodniej Polsce. *Biuletyn PIG*, nr 83, Warszawa 1952.
- [41] *Wittinger M.* Tihová měření v ČSR v letech 1945-1952. Praga 1954.
- [42] *Wittinger M.* Tabulky normalního tihového zrychlení. *Geofizikální Sborn.* 1954, Praga 1955.
- [43] *Wolf H.* Gedanken zu einem deutschen Schwereprogramm. *Deutsche Geod. Komm., Reiche A.*, nr. 3, Bamberg 1952.
- [44] *Vening Meinesz F. A.* A formula expressing the deflection of the plumb — lines in the gravity anomalies and some formulae for the gravity — field and the gravity Potential outside the geoid. Amsterdam 1928.
- [45] *Zakatow P. S.* Kurs wysszej gieodiezji. Moskwa 1953.
- [46] Association Internationale de Géodésie. Assemblée Générale de Toronto (3-14 Septembre 1957). *Decision et vœux.* Paryż 1957.
- [47] *Comptes rendus des Séances de la X I-ème Conference generale de l'Association Géodésique International*, rennie à Londre et à Cambridge en 1909. Vol. 3.
- [48] Katalog wysokości. Ministerstwo Komunikacji, Warszawa 1939.
- [49] *Travaux géodésiques executés de 1933 à 1935.* Pologne. Warszawa 1936.
- [50] *Travaux géodésiques executés de 1936 à 1939.* Pologne. Comité Nat. de Géod. et Géoph., Kraków 1939.
- [51] Tymczasowa instrukcja niwelacji precyzyjnej I i II klasy CUGiK., Warszawa 1956.

ЕЖИ БОКУН

ПОДГОТОВКА ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НУЖД ПОЛЬСКОЙ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ И СЕТИ ТОЧНОЙ НИВЕЛИРОВКИ I-го КЛАССА

Резюме

При вычислениях прежних сетей точной нивелировки и триангуляции на территории Польши не использовались результаты гравиметрических измерений. Однако, точная обработка основных геодезических измерений требует наличия соответствующих гравиметрических материалов, которые дают возможность: ввести в точную нивелировку действительные поправки за непараллельность уровенных поверхностей, вычислить гравиметрические отклонения отвесной линии и применить методы астрономо-гравиметрического нивелирования для вычисления расстояния геоида от референц-эллипсоида.

В связи с проложением в Польше новой сети основной триангуляции и сети точной нивелировки I класса, необходимо было приготовить для этих сетей соответствующие гравиметрические материалы.

Гравиметрическая разработка в Польше впервые произведена для геодезических целей в 1953—55 г. Институтом Геодезии и Картографии в Варшаве.

Для определения программы работ произведен был сначала анализ потребностей относительно новых триангуляционных и нивелировочных сетей: размещения и числа гравиметрических точек и точности гравиметрических измерений и вычислений. Учтены действительные условия территории Польши в отношении рельефа поверхности и аномальности гравитационного поля.

В результате анализа, намечены следующие потребности и предпосылки:

1. Для триангуляционной сети необходимы гравиметрические данные относительно:

точек, характеризующих общее гравиметрическое поле на территории всей страны с сгущением точек не менее одной гравиметрической

точки на 100 км^2 , причем точка подбирается таким образом, чтобы значение аномалии в свободном воздухе было среднее для всей территории, представляемой этой точкой,

— точек, расположенных концентрически в ближайшем соседстве всех астрономо-геодезических пунктов триангуляционной сети (т. е. в центральной зоне радиуса около 30 км вокруг астрономо-геодезического пункта происходит соответственное сгущение гравиметрических точек, число которых, в зависимости от рельефа, не может быть меньше 20—22 на низменности, до 60—65 точек в горных территориях, а точность гравиметрической аномалии в свободном воздухе не меньше 1,5 миллигала в потсдамской системе).

2. Для сети точной нивелировки необходимы гравиметрические данные точек, расположенных вдоль всех ходов точной нивелировки. Расстояние между гравиметрическими точками вдоль хода зависит от рельефа местности и гравитационного поля. Эти расстояния не должны превышать 1—2 км. в горных и подгорных районах, и 5—6 км. в плоской местности; средняя погрешность определения аномалии Фая не должна превышать $\pm 1,5$ мгл в потсдамской системе.

3. Все гравиметрические данные должны вычисляться в однородной системе, согласной с потсдамской системой.

4. Гравиметрические материалы для нужд триангуляции и нивелировки должны быть вычислены в аномалиях силы тяжести в свободном воздухе.

При составлении плана работ существенную роль играли такие обстоятельства, как краткий срок исполнения задания, его экономика и актуальное состояние инструментального оборудования.

Поскольку на территории Польши производились разнообразные гравиметрические и маятниковые измерения, следовало их принять во внимание и, по возможности, использовать. Проанализированы все имеющиеся гравиметрические материалы последних 25 лет, так как невозможно основываться на более старых материалах, ввиду их небольшой точности. Проанализированные материалы были использованы для геодезических целей.

Из маятниковых измерений использовано в некоторой степени (20 станций), измерения Гляяного Управления Мер (А. Квятковски) произведенные в 1930—39 гг., а также измерения Геодезического Института в Потсдаме (Geodätisches Institut in Potsdam), исполненные в течение 1936—43 годов на территории Цольши и увязанные к основному исходному пункту в Потсдаме. В большей степени использованы также результаты гравиметрических измерений (гравиметром Нэргарда), исполненные для геологических целей Геологическим Институтом (С. Павловски, Р. Велиондек), а также Предприятием Геофизических Разведок (К. Марыняк и другие). Эти измерения имели характер региональных и подробных съёмок. Для геодезических целей использованы глав-

ным образом новые измерения периода 1947—54 гг. Адаптирование этих измерений состояло в частичном перевычислении и трансформации, ввиду унифицирования на территории страны всех измерений к единой системе, т. е. к потсдамской системе. Высоты гравиметрических точек над уровнем моря определялись, в подгорных и горных местностях, при помощи технической нивелировки, а на низменностях по топографическим гипсометрическим картам (масштаба 1 : 25000). Адаптированы также измерения, исполненные на опытном геодезическом поле в окрестности Варшавы гравиметром Нэргарда Институтом Геодезии и Картографии (Е. Невяровски и Е. Бокун).

Для западной части страны единственным материалом были графические гравиметрические материалы без численных данных (карты аномалии Буге в масштабе 1 : 200 000, со средним сгущением 6 точек на 100 км²). Эти материалы были проверены на основании специальных контрольных измерений гравиметром Нэргарда в 1953 г., узязанных к маятниковым пунктам, проложенным Потсдамским Институтом.

В результате контрольных измерений и проверки установлено, что вышеупомянутые гравиметрические карты могут быть в большей степени использованы для представления общей характеристики гравиметрического поля, но они слишком мало точны для гравиметрической обработки ходов точной нивелировки и ближайшей окрестности астрономо-геодезических пунктов (для этих целей необходимо было исполнить новые измерения). Чтобы получить по картам аномалии Буге значения аномалии Фая, характеризующие общее гравиметрическое поле, производились следующие вычисления. После идентификации, для гравиметрической точки определялись высоты над уровнем моря по топографическим картам 1 : 25 000, затем вычислялась аномалия Фая для отдельных точек, путем прибавления к отсчитанному по карте значению аномалии Буге, соответственной редукции $[(g_0 - \gamma_0) = (g_0'' - \gamma_0) + + 0,0796 \cdot H \text{ мгл/м.}]$. Следует подчеркнуть, что учитывая реальные точности, погрешность вычисления аномалии в свободном воздухе в среднем равняется $\pm 0,4$ мгал.

Затем был обработан общий ход изолинии аномалии в свободном воздухе (в масштабе 1 : 100 000), на основании которого можно было элиминировать точки дающие большие погрешности (вызванные трудностью идентификации точек и определения их высоты над ур. моря), а также сверить с результатами новых измерений. На основании эскизных карт аномалии в свободном воздухе избраны точки, характеризующие общее гравитационное поле; те же точки были приняты для гравиметрической обработки для нужд геодезии.

Кроме использования имеющихся материалов, проводились в 1953—55 гг. новые измерения при помощи кварцевых гравиметров Нэргарда специально для настоящей работы.

Целью новых гравиметрических измерений было: а) взаимная увязка отдельных региональных сетей и маятниковых пунктов (проложенных Потсдамским Геодезическим Институтом), б) измерения вдоль нивелирных ходов и в окрестности астрономо-геодезических пунктов для тех областей, для которых не было никаких гравиметрических материалов, либо имелись только вышеупомянутые графические материалы, либо измерения, произведенные для надобностей геологии, недостаточные для наших надобностей, в) произведение дополнительных измерений, г) осуществление граничных увязок с соседними государствами.

Средняя кв. ошибка измерения Δg между точками гравиметрической сети равняется $\pm 0,1-0,2$ мгл, а средняя кв. ошибка определения значения g частной точки по отношению к основным точкам $\pm 0,2-0,3$ мгл (для некоторых точек, расположенных в горных местностях кв. ошибка достигает $\pm 0,5$ мгл.). Новые измерения произведены на около 2000 точках.

Высоты над уровнем моря гравиметрических точек получены: а) для точек вдоль ходов нивелировки, расположенных при реперах нивелировки — по данным нивелировки; б) для точек, находящихся в горных и пригорных местностях — по результатам тригонометрического и технического нивелирования, проведенного специально для этой цели; в) для остальных точек на равнинах и низменностях — по топографическим картам масштаба 1:25 000.

Унификация горизонта относимости всех гравиметрических измерений для геодезии на территории всей страны, достигнута взаимной увязкой новыми измерениями отдельных основных и региональных гравиметрических сетей; эти увязки опирались на маятниковые пункты потсдамской системы, (выбранные после соответственного анализа и контроля из 38 маятниковых пунктов, измеренных Геодезическим Институтом в Потсдаме).

В связи с этим изменился принимаемый до сих пор в Польше условный гравиметрический горизонт, который, согласно показаниям соответственных увязок с Потсдамом, был слишком высок на порядок 1 мгл. Основной гравиметрический пункт, Варшава — Главное Управление Мер, получил, в результате перевычисления на единый горизонт значение $g = 981,2403$ гал т. е. значение на 0,9 мгл ниже принимаемого до сих пор.

Для отдельных съёмок, региональных и подробных сетей, установлены трансформационные поправки и произведены вычисления на потсдамский условный горизонт.

Следует подчеркнуть, что гравиметрические граничные увязки с соседними государствами показывают хорошую согласованность условных горизонтов в пределах 0,2—0,5 мгл. (причем эти разности имеют случайный характер). Таким образом проверено, что условный горизонт гравиметрической обработки, для геодезических нужд согласуется

с горизонтами соседних государств и находится в потсдамской системе.

Общий объём подготовленных гравиметрических материалов для нужд польской нивелиационной сети и астрономо-геодезической сети включает данные около 6000 гравиметрических точек. Общее число точек и их сгущение больше чем требуемые по утверждённым положениям. Для всех этих точек проведен анализ точности. В зависимости от рода данной точки (маятниковая, основная гравиметрическая, региональной сети, частная) и способов определения высоты точки, вычислены средние кв. ошибки аномалии силы тяжести в свободном воздухе по отношению к основному пункту в Потсдаме. Они составляют для точек:

- а) вдоль ходов точной нивелировки: $\pm 0,3—0,7$ мгл,
- б) в окрестности астрономо-геодезических пунктов: $\pm 0,3—1,0$ мгл.,
- в) характеризующих общее гравиметрическое поле и полученных по новым измерениям, проводимым для геодезических и геологических нужд $\pm 0,3—0,9$ мгл., а полученных в результате вычисления прежних картографических материалов: $\pm 0,8—1,0$ мгл.

Следует подчеркнуть, что положенные критерии точности удовлетворены, а полученные средние кв. ошибки меньше допустимых.

Документацией подготовленных гравиметрических материалов для геодезических нужд является единый каталог, заключающий числовые данные для около 6000 гравиметрических точек, а также карты, являющиеся приложениями, с локализацией точек.

На основании данных, помещенных в каталоге, для представления общего гравитационного поля разработана карта аномалии силы тяжести в свободном воздухе в масштабе 1:500 000 для всей территории Польши (изолинии проведены через 2 мгл, а для горных и пригорных местностей — через 4 мгл),

Для пригорных и горных местностей, т. е. для Прикарпатской Области, Карпат и Нижней Силезии обработаны подробные карты аномалии в свободном воздухе в масштабе 1:200 000, служащие основанием для нивелировки и вычислений отклонений отвеса.

Прилагается, для обзора характера гравитационного поля Польши, карта аномалии силы тяжести в свободном воздухе, в масштабе 1:2 000 000.

JERZY BOKUN

PREPARATION OF GRAVIMETRIC MATERIALS FOR THE POLISH ASTRO — GEODETIC NET AND THE I CLASS PRECISE LEVELLING NET

S u m m a r y

When computing the older levelling and triangulation nets in Poland, the results of gravity measurements were not used. The precise elaboration of fundamental geodetic measurements, nevertheless, needs the proper gravimetric materials which enable: to introduce true corrections for the nonparallelity of equipotential surfaces into precise levelling, to compute the gravity deviations of the perpendicular and to apply the astro — gravimetric levelling method to compute the distances between the geoid and the reference ellipsoid.

In connection with establishment of a new basic triangulation net and a precise levelling net of first-class, it was necessary to prepare adequate gravimetric materials for these nets.

The gravimetric elaboration for geodetic purposes in Poland was first made in 1953-55 by the Institute of Geodesy and Cartography in Warsaw.

In order to settle up the program of work, a detailed analysis of the requirements of the new triangulation and levelling nets has been carried out concerning the situation, number of gravity points and the precision of measurements and gravimetric elaboration. The conditions of relief and of gravity field anomaly in Poland have been taken into consideration.

The following are the requirements and assumptions derived from the analysis:

1. For the purposes of the triangulation net there are indispensable
 - gravimetric data of points characterizing the general gravity field on the area of the whole country (i. e. with a density not less than 1 gravity point per 100 km², the point being so chosen that its Faye's anomaly value be an average for the represented area);
 - gravimetric data of points situated concentrically in the nearest vicinity of all the astro - geodetic points of the triangulation net (i. e. on

the area in radius of about 30 km from the astro - geodetic point there is need of a proper concentration of gravity points, the number of which in dependence of the relief should not be less than 20 - 22 in a lowland up to 60 - 65 points in a mountainous country, and the precision of Faye's gravity anomaly („free air”) not less than 1,5 mgal in the Potsdam system).

2. For the purposes of the precise levelling net the gravimetric data are necessary for the points situated along all the precise levelling main lines. The distance between gravimetric points along the levelling line depends on the relief and the gravity field. These distances should not exceed 1,0 — 2,0 km in the mountainous or hilly country, and 5 — 6 km in lowlands: the mean error of the determination of Faye's anomaly should not exceed $\pm 1,5$ mgal in the Potsdam system.

3. All the gravimetric data should be elaborated in a uniform system conformable with the Potsdam system.

4. Both for the purposes of levelling and those of triangulation the gravimetric materials should be determined in Faye's gravity anomalies („free air”).

When the operating program was being set up a substantial role was given to factors like these: a short time for execution of the task, the economic considerations and the actual state of instrumental equipment.

As various gravity and pendulum measurements have been carried on the Polish territory, they should have been used as much as possible. All the existing gravimetric materials from these 25 years have been analysed, excluding the older ones on account of their small precision. These materials have been largely approved for the purposes of geodetic elaboration. To a certain degree the pendulum measurements (20 points) have been availed of viz. these carried out in 1933-39 by the Central Office of Measures (A. Kwiatkowski), as well as those by the Geodetic Institute at Potsdam („Geodätisches Institut in Potsdam”) executed on the Polish territory in 1936-1943 tied to the initial point at Potsdam. The results of gravimetric measurements (of Nörsgaard's type) extensively carried out for geological purposes by the Geological Institute (S. Pawłowski, R. Wielądek) and by the Geophysical Prospecting Company (K. Maryniak and others) have been largely resorted to. These measurements were of regional and detailed survey type. For the geodetic purposes mainly the latest of these material have been used dating back not farther than 1947-1954. These measurements have been adapted by means of a partial recomputation and transformation in order to unify all the measurements in the country to a uniform system, i. e. to the Potsdam system. The determination of the elevations above the sea level of gravity points has been achieved by means of technical levelling in the hilly country, and according to the topographic maps (1 : 25 000 scale) in lowlands.

The measurements carried out with the Nörsgaard gravimeter by the Institute of Geodesy and Cartography (J. Niewiarowski and J. Bokun) in the geodetic experimental field in the neighbourhood of Warsaw have also been adapted.

Besides, for the western part of the country the only material was supplied by the graphic gravimetric materials with out any catalogue data (maps of Bouguer's anomaly in 1 : 200 000 scale, with an average concentration of 6 points per 100 km²). The materials have been checked by comparison with specially for this purpose carried out measurements with the Nörsgaard gravimeter in 1953. The measurements were connected to the pendulum points established by the Potsdam Institute. As a result of central measurements and verification it has been fixed that the above mentioned gravimetric maps may be broadly used for the representation of the general characteristics of the gravity field, but, on the other hand, are not precise enough for the purposes of gravimetric elaboration of precise levelling traverses and the nearest vicinity of the astro-geodetic points (for these purposes new measurements were necessary). In order to receive the values of Faye's anomalies characterizing the general gravity field from maps of Bouguer's anomalies, the following recomputations have been carried out. After having been identified, the particular points had their elevation above the sea level established from topographical maps in 1 : 25 000 scale; then Faye's anomaly has been computed for these points by adding a corresponding reduction $[(g_0 - \gamma_0) = (g''_0 - \gamma_0) + 0,0796 \cdot H \text{ mgal/m}]$ to the value of Bouguer's anomaly taken from the map. It should be stressed that the recomputation error of the Faye's anomaly, taking into consideration real precisions, amounted to $\pm 0,4$ mgals on an average.

Then „free air” isoanomalies have been roughly plotted (in 1 : 100 000 scale). On their basis the points bearing gross errors (caused by difficulties in the point identification and in determination of elevation) could have been eliminated and compared with the results of new measurements. On the basis of these roughly sketched maps of Faye's anomaly points were chosen that characterized the general gravity field. These points have been taken for the gravimetric elaboration for the geodetic purposes.

Beside using the existing materials, in 1953-55 new gravity measurements with quartz gravimeters of Nörsgaard's type have been carried out specially for the purposes of the actual work.

These gravity measurements aimed at:

a) establishing a mutual connection of particular regional nets and pendulum points (laid down by the Potsdam Geodetic Institute),

b) execution of measurements along the levelling traverses and in the vicinity of astro — geodetic points for the areas for which no gravimetric materials, or only above mentioned old graphical materials, were

available, or the measurements for the geological purposes were not adequate for the present elaboration,

- c) execution of supplementary measurements,
- d) establishment of frontier connections with the neighbouring states.

The mean measurements error Δg between the points of the gravimetric net amounted to $\pm 0,1 - 0,2$ mgals, the mean error of determination of the value g of a detailed point in reference to the basic points amounted to $0,2 - 0,3$ mgals (for some points situated in the mountainous regions the error amounted to $\pm 0,5$ mgals).

The new measurements were carried out for about 2000 points.

The elevations above the sea level of gravimetric points were obtained: a) for the points situated at the levelling benchmarks — from levelling data, b) for the points situated in mountainous and hilly countries — from the results of trigonometric and technical levelling carried out specially for that purpose, c) for the rest of the points in lowlands — from topographic maps in 1 : 25 000 scale.

The unification of the reference level of all the measurements for geodetic purposes in the territory of the whole country has been achieved by mutual connection with new measurements of particular primary and district gravimetric nets, on the basis of pendulum points referred to the Potsdam system. (These pendulum points have been chosen after a careful analysis and control of 37 pendulum points measured by the Geodetic Institute at Potsdam).

Hence, the previous gravimetric reference system in Poland has been changed. As it was shown by direct connections to Potsdam this system exceeded the latter by an order of 1 mgal. The fundamental gravity point Warszawa, the Main Office of Measures, as a result of transformation to a uniform level has got the value $g = 981,240\ 3$ Gal, i.e. 0,9 mgal less than it was before.

The transformation corrections have been established for particular surveys, regional — and detailed nets. The transformations have been made into the Potsdam reference systems.

It should be stressed that the frontier gravimetric connections with the neighbouring countries show a good conformity of the reference levels within the range of $0,2 - 0,5$ mgal (the level differences do not reveal any systematic character). It was thus controlled that the reference level of the gravimetric elaboration assumed for the geodetic purposes agrees with those of the neighbouring countries and is in conformity with the Potsdam system.

The whole of the gravimetric material provided for the purposes of the Polish levelling net and the astro-geodetic net contains data of about 6000 gravity points. The total number of points and their concentration is higher than that demanded by the plan. A precision analysis has been carried out for all these points. The mean errors of Faye's gravity anomaly

in reference to the basic point at Potsdam have been computed in dependence on the type of the given point (pendulum, fundamental gravity point, or belonging to a regional or detailed net) and on the way of determination of the point's elevation.

The mean errors of points amount to:

- a) $\pm 0,3 - 0,7$ mgals along the traverses of the percision levelling
- b) $\pm 0,3 - 1,0$ mgal in the vicinity of astro - geodetic points
- c) $\pm 0,3 - 0,9$ mgals of those characterizing the general gravity field and obtained by new measurements carried out for the purposes of geodesy and geology; $\pm 0,8 - 1,0$ mgal of those obtained by transforming from old map materials.

It should be stressed that the required precision criteria have been satisfied and the mean errors are lower than admissible.

The final result of the prepared gravimetric materials for the geodetic purposes is presented by a uniform catalogue containing numerical data of about 6000 gravity points and corresponding enclosed map anexes with point localization.

On the basis of data collected in the catalogue for representing general gravity field there has been plotted a map of Faye's gravity anomaly in 1 : 500 000 scale for the whole Poland's territory (the isolines being traced every 2 mgals, and having intervals of 4 mgal in the mountainous or hilly countries).

Detailed maps of Faye's anomaly in 1 : 200 000 scale have been plotted for mountainous and hilly countries, i.e. for the Subcarpathian region, for Carpathians and Lower Silesia. The map was to be a basis for levelling purposes and the computations of the deviations of the perpendicular.

The Faye's gravity anomaly map of Poland in 1 : 2 000 000 scale is enclosed to give the general idea about the character of the gravity field.



Opracował Jerzy Bokun
Instytut Geodezji i Kartografii

MAPA GRAWIMETRYCZNA POLSKI

Anomalie siły ciężkości $g_0 - \delta g$ (Faye'a)

Skala 1: 2 000 000

Wartość normalna siły ciężkości g_0 według wzoru Helmerla z 1901r.
Wartości przyspieszeń siły ciężkości w systemie poczdamskim.
Izolinie co 5 mgal.

Sporządzono w roku 1957 na podstawie pomiarów gravimetrycznych wykonanych
w latach 1933-55 przez Instytut Geologiczny, Główny Urząd Miar, Geodezji i Instytut
w Poczdamie, Firmę Seismas, Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych oraz
Instytut Geodezji i Kartografii.

Warszawa 1957