

ANDRZEJ SAS-UHRYNOWSKI

MARIA CISAK

ABSOLUTNE POMIARY GRAWIMETRYCZNE W POLSCE

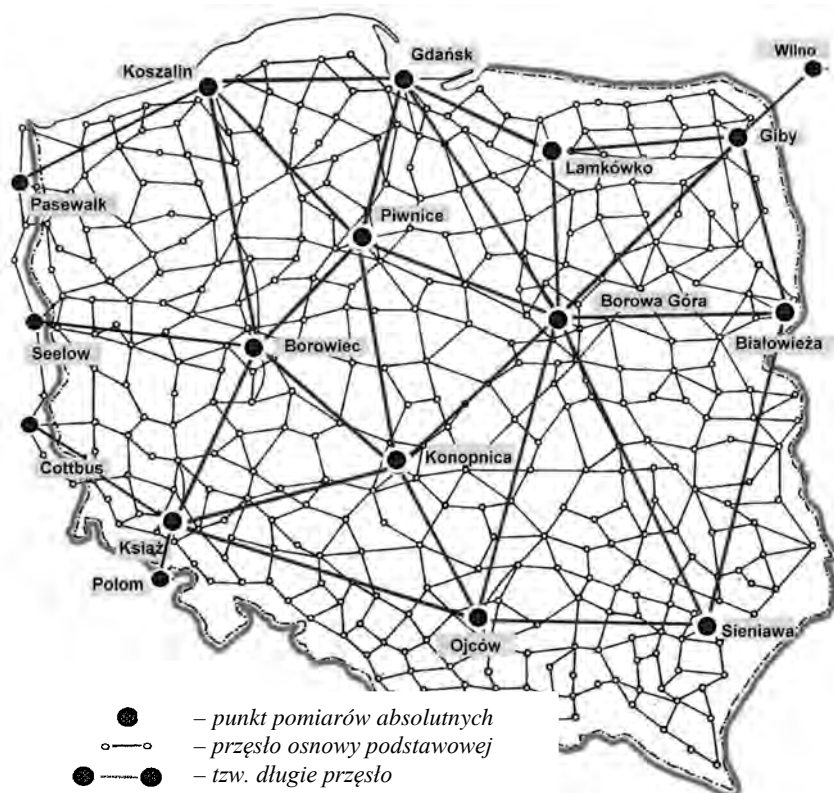
ZARYS TREŚCI: Założona w latach 1994–1999 nowa podstawowa osnowa grawimetryczna kraju oparta została na 12 punktach absolutnych. Pomiar na tych punktach zostały wykonane pięcioma grawimetrami balistycznymi. Wyniki powtórnych pomiarów, wykonanych na kilku punktach różnymi grawimetrami, wykazały różnice dochodzące do 30 mikrogali. Zaszła zatem konieczność przeprowadzenia weryfikacji tych pomiarów. W tym celu wykonano pomiary względne zespołem czterech grawimetrów Lacoste & Romberg na 25 przęsłach łączących 12 punktów absolutnych. Przeprowadzona analiza umożliwiła zaakceptowanie pomiarów wykonanych tylko trzema grawimetrami – FG 5-101, FG 5-107 i JILAg 5, których wskazania nie różniły się więcej niż 3 mikrogale. Grawimetry te uznano za reprezentujące międzynarodowy standard grawimetryczny i ich wskazania przyjęto jako wzorzec dla polskiej grawimetrycznej osnowy podstawowej.

1. WPROWADZENIE

W latach 1994–1999, na zlecenie GUGiK, została w Polsce założona przez Instytut Geodezji i Kartografii nowa podstawowa osnowa grawimetryczna kraju. Osnowa składa się z 354 punktów terenowych, zastabilizowanych betonowymi blokami 80 cm x 80 cm x 100 cm. Punkty te powiązane są 685-ma przęsłami, które tworzą 313 zamkniętych figur (rys. 1). Wartości różnic przyspieszenia siły ciężkości (Δg) na przęsłach zostały pomierzone grawimetrami LaCoste & Romberg. Średni błąd pomiaru Δg na przęsła, obliczony z odchyłek zamknięcia figur i z wyrównania sieci niezależnej, wynosi 9 mikrogali ($1 \mu\text{Gal} = 1 \times 10^{-8} \text{ m s}^{-2}$).

Na rysunku 1 pokazano także tzw. długie przęsła, które przebiegają między 12 punktami absolutnymi i które, dla kontroli wyznaczeń absolutnych, zostały pomierzone z dużą dokładnością (średni błąd 4 μGal) zespołem trzech lub czterech grawimetrów L & R.

Rys. 1. Podstawowa osnova grawimetryczna kraju



Do lat siedemdziesiątych osnowy grawimetryczne były oparte na punkcie absolutnym w Poczdamie. Wyznaczenia przeprowadzone na nim za pomocą aparatury wahadłowej stanowiły podstawę do zdefiniowania międzynarodowego grawimetrycznego poziomu odniesienia, który został przyjęty jako system poczdamski. Na początku lat siedemdziesiątych wykonano w Poczdamie pomiary absolutne grawimetrem balistycznym. Dały one podstawę do wprowadzenia korekty do poprzedniego poziomu odniesienia, który został zmniejszony o 14 miligali.

Zbudowanie aparatury balistycznej, a następnie skonstruowanie przenośnego grawimetru balistycznego, pozwoliły na systematyczne powiększanie liczby punktów absolutnych. Pomimo to, że zasada pomiaru metodą absolutną za pomocą grawimetru balistycznego jest prosta (mierzy się czas swobodnego spadania ciała próbnego w próżni na określonym odcinku drogi spadania tego ciała), grawimetr taki jest urządzeniem niezmiernie skomplikowanym, a sam pomiar jest bardzo trudny i czasochłonny, głównie

z uwagi na potrzebę uzyskania bardzo wysokiej dokładności wyznaczenia czasu i odległości. Trudność ta sprawia, że tylko w kilku krajach podjęto budowę grawimetru balistycznego (Francja, USA, Włochy, Rosja, Ukraina, Chiny, Japonia i Polska). Należy nadmienić, że jedynie w USA wyprodukowano dwie krótkie serie takiej aparatury – JILAg oraz najnowszego modelu – FG 5. W sumie, zbudowano około 20 grawimetrów balistycznych, przy czym tylko 3–4 instytucje posiadające taką aparaturę wykonują pomiary poza swoim krajem. Dziś absolutne pomiary grawimetryczne aparaturą bali-styczną zostały już wykonane na kilkuset punktach i ich liczba stale wzrasta.

Obecnie ustalaniem globalnego systemu grawimetrycznego zajmuje się Międzynarodowa Komisja Grawimetryczna (IGC). Zgodnie z rekomendacjami tej Komisji (Boedecker G. 1998), przyjmuje się, że *wzorzec grawimetryczny jest reprezentowany przez zespół wartości przyspieszenia siły ciężkości wyznaczonych aparaturami balistycznymi (grawimetrami absolutnymi) skalibrowanymi podczas kampanii porównawczych w Międzynarodowym Biurze Miar w Sèvres*. Dlatego też w każdym kraju dąży się do założenia pewnej liczby punktów, na których wyznaczane są absolutne wartości g za pomocą grawimetrów balistycznych przebadanych w Sèvres.

Pierwsze pomiary absolutne w Polsce zostały wykonane grawimetrem balistycznym GABL przez zespół specjalistów z Akademii Nauk b. ZSRR w Nowosybirsku, pod kierownictwem dr. G. Arnautova (Arnautov G. 1978 i 1986). W roku 1978 pomiary zostały przeprowadzone w Obserwatorium Geodezyjno-Astronomicznym IGiK w Borowej Górze (obecna nazwa Obserwatorium Geodezyjno-Geofizyczne IGiK) oraz w Krakowie. Następne, w 1986 roku – w Gdańsku. Do IGiK zostało przekazane zestawienie otrzymanych wyników pomiarów, natomiast materiał źródłowy pozostał w Nowosybirsku.

Zgodnie z rekomendacjami Międzynarodowej Asocjacji Geodezji, jeden punkt absolutny powinien przypadać na 15 000 km², co daje odległość między punktami 100–130 km. Na terytorium Polski powinno być zatem około 20 takich punktów. Projekt podstawowej osnowy grawimetrycznej kraju, przyjęty do realizacji w 1993 roku, przewidywał 17 punktów absolutnych, nazwanych siecią zerowego rzędu.

W 1992 roku, mając na uwadze planowaną modernizację grawimetrycznej osnowy podstawowej, IGiK przyjął propozycję Instytutu Metrologii w Charkowie, aby udostępnić kilka punktów polskiej sieci dla eksperymentalnych pomiarów absolutnych aparaturą balistyczną, skonstruowaną w tym Instytucie. Celem podjęcia tej współpracy było przeprowadzenie badań terenowych charkowskiej aparatury na polskiej sieci zerowego rzędu oraz zbadanie możliwości zastosowania jej do pomiarów w Polsce. W latach 1992 i 1993 na 12 punktach przeprowadzono pomiary absolutne jednocześnie dwoma aparatami balistycznymi GP-4 i GP-5. Wykonane prace eksperymen-

talne pozwoliły na zebranie bardzo cennych doświadczeń, które okazały się wielce przydatne w następnych latach, zarówno przy doskonaleniu użytej aparatury, jak i przy innych kolejnych pomiarach absolutnych na terytorium Polski.

W 1994 roku, Instytut Geodezji i Kartografii wraz ze Służbą Topograficzną Wojska Polskiego podjął starania o sprowadzenie do Polski aparatury balistycznej z zagranicy, sprawdzonej w Sévres, w celu wykonania grawimetrycznych pomiarów absolutnych na kilku choćby punktach i dowiązania w ten sposób polskiej osnowy podstawowej do standardu europejskiego. Z uwagi na intensyfikację prac pomiarowych grawimetrami balistycznymi, głównie w Afryce, Ameryce Płd. i Azji, oraz z uwagi na małą liczbę takich grawimetrów, udało się zawrzeć porozumienie tylko z trzema instytucjami zagranicznymi, które przychyliły się do prośby IGiK. Instytucje te to: b. Instytut Zastosowań Geodezji we Frankfurcie nad Menem (IFAG), który zgodził się wykonać pomiary grawimetrem FG 5 nr 101 na 4 punktach, Fiński Instytut Geodezyjny (FGI), który zgodził się wykonać pomiary grawimetrem JILAg-5 na 3 punktach oraz b. Amerykańska Wojskowa Agencja Kartograficzna (DMA), która zgodziła się wykonać pomiary grawimetrem FG 5 nr 107 na 5 punktach. Rysunek 2 przedstawia fotografie obu grawimetrów balistycznych – FG 5 i JILAg.

W ten sposób, dzięki współpracy z trzema wymienionymi wyżej instytucjami, w latach 1994 i 1995 udało się wyznaczyć absolutne wartości przyspieszenia siły ciężkości na 10 następujących punktach osnowy: Koszalin, Borowiec, Książ, Piwnice, Konopnica, Gdańsk, Białowieża, Sieniawa, Ojców i Borowa Góra.

W 1996 roku w Borowcu i w Lamkówku wykonał pomiary Cerutti (Cerutti G. i inni 1997) włoskim grawimetrem balistycznym IMG. W końcu 1997 roku i na początku roku 1998 pomiary absolutne polskim grawimetrem balistycznym ZZG, również sprawdzonym w Sévres, wykonał na punkcie w Lamkówku i na punkcie w Gibach prof. Z. Ząbek. Na 4 punktach prof. Ząbek pomiary powtórzył (Ząbek Z. 1997 i 1998). Należy zaznaczyć, że na punkcie Borowa Góra, który został wybrany jako punkt fundamentalny osnowy, pomiary wykonano czterema grawimetrami: JILAg-5, FG 5-101, FG 5-107 i ZZG.

Pomierzono zatem 12 punktów absolutnych. Z pozostałych 5 zaprojektowanych punktów 2 – Szczecin i Łagów –, położone są w pobliżu niemieckich punktów Pasewalk i Seelow, w związku z czym postanowiono pomiary na nich odłożyć, a do nawiązania osnowy polskiej z niemiecką użyć ww. punktów niemieckich. 3 ostatnie zaprojektowane punkty, nie uwzględnione w tych pomiarach – Józefosław, Św. Krzyż i Grybów – są punktami poligonu geodynamicznego SAGET, na którym wyznaczenia absolutne przeprowadza Instytut Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej.



Grawimetr balistyczny JILag

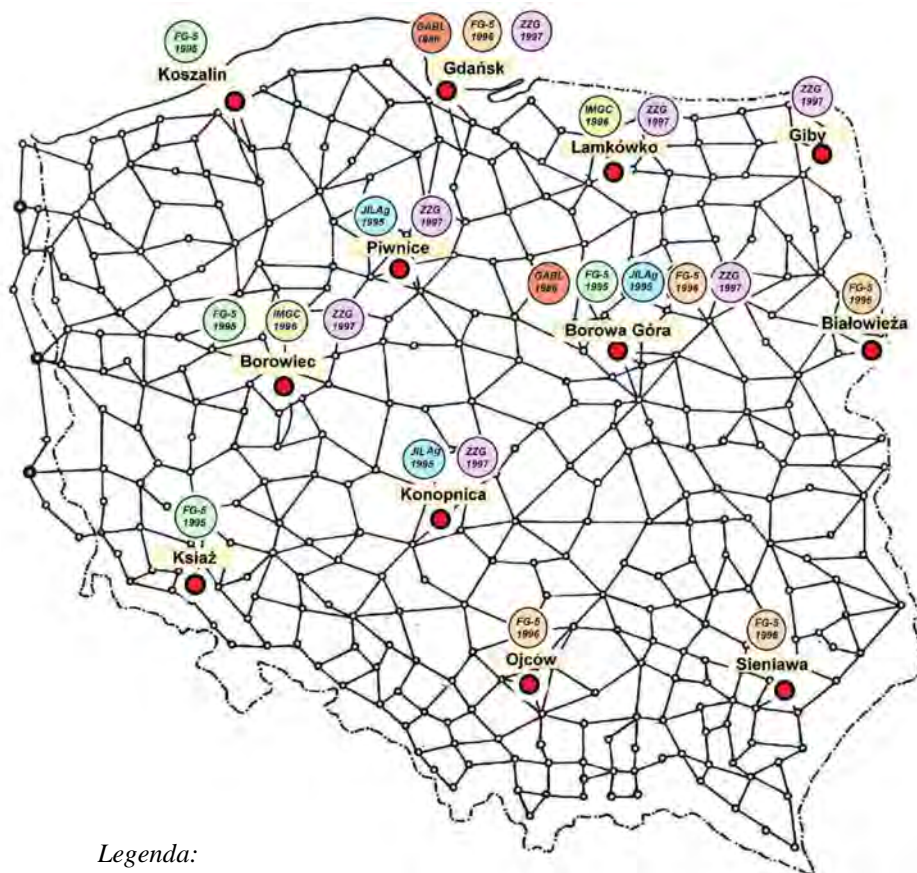


Grawimetr balistyczny FG 5







Rys. 2

2. OPIS PUNKTÓW ABSOLUTNYCH PODSTAWOWEJ OSNOWY GRAWIMETRYCZNEJ KRAJU

Na rysunku 3 przedstawiony został szkic pomierzonych punktów absolutnych wraz ze wskazaniem typu instrumentu, którym wyznaczenia grawimetryczne zostały przeprowadzone.



Legenda:

-  Zespół Akademii Nauk b. ZSRR
-  Zespół Instytutu Meteorologii w Turynie
-  Zespół Fińskiego Instytutu Geodezyjnego
-  Zespół Wojskowej Agencji Kartograficznej USA
-  Zespół Instytutu Zastosowań Geodezji we Frankfurcie nad Menem
-  Zespół Instytutu Geodezji Wyższej i Astronomii geodezyjnej P.W.

Rys. 3. Pomierzone punkty absolutne osnowy podstawowej

Borowa Góra. Punkt Borowa Góra został przyjęty jako fundamentalny punkt osnowy podstawowej. Punkt położony jest na terenie Obserwatorium Geodezyjno-Geofizycznego Instytutu Geodezji i Kartografii w Borowej Górze i zlokalizowany jest w laboratorium, znajdującym się w piwnicy przedwojennego (starego) budynku Obserwatorium. Aparatura grawimetryczna ustawiana jest na betonowym słupie wpuszczonym w podłoże na głębokość 1,5 m. Górna powierzchnia słupa, o wymiarach 1m x 1m, znajduje się na poziomie podłogi. Oprócz słupa w budynku starym, w budynku nowym, zbudowanym w latach pięćdziesiątych, w laboratorium grawimetrycznym zlokalizowanym w piwnicy, znajdują się 3 podobne słupy o wymiarach górnej powierzchni 1,2 m x 1,2 m. Środkowy z nich został przyjęty jako ekscentr punktu fundamentalnego i oznaczony numerem BG-Ex1.

Ponadto w Obserwatorium znajdują się jeszcze 2 słupy zlokalizowane w pawilonach obserwacyjnych oraz 3 słupy zlokalizowane w terenie otwartym. Jeden z nich o numerze BG-Ex2, jest drugim ekscentrem punktu fundamentalnego i jednocześnie punktem podstawowej osnowy grawimetrycznej kraju o numerze 156. 2 pozostałe punkty przewidziane są do badań testowych aparatury grawimetrycznej w warunkach polowych. Słupy do ustawiania aparatury grawimetrycznej zostały zbudowane z myślą o jednoczesnych pomiarach kilkoma grawimetrami, zarówno statycznymi, jak i balistycznymi, w celu porównywania ich wskazań. W tym celu również wszystkie stanowiska do pomiarów grawimetrycznych mają wyznaczone współrzędne, wysokości nad poziom morza i wartości przyspieszenia siły ciężkości (Cisak M. i inni 1998).

Pierwszy pomiar absolutny, jak już wspomniano, został wykonany aparaturą balistyczną GABL w 1978 roku. Następne pomiary, w latach 1992 i 1993, wykonano jednocześnie dwoma grawimetrami balistycznymi GP-4 i GP-5 Instytutu Metrologii w Charkowie przez zespół pod kierownictwem dr. W. Szurubkina. W 1995 roku wykonano kolejną serię pomiarów: w listopadzie aparaturą FG 5 nr 101 przez zespół IFAG pod kierownictwem dr. R. Falka oraz w grudniu, aparaturą JILAg nr 5 przez dr. J. Makinena z FGI. W lipcu 1996 roku wykonano pomiar aparaturą FG 5 nr 107 przez zespół DMA pod kierownictwem dr. D. Stizza.

W końcu 1997 roku pomiary przeprowadził także prof. Ząbek z Instytutu Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej.

Tak długa seria pomiarów stawia fundamentalny punkt grawimetryczny Borowa Góra w rzędzie nielicznych stanowisk, na których wykonywano wielokrotnie pomiary absolutne przyspieszenia siły ciężkości aparaturą balistyczną różnego typu.

Koszalin. Punkt Koszalin znajduje się na terenie Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Koszalinie i zlokalizowany jest w Laboratorium Geotechniki Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska. Punkt zastabilizowany jest betonowym blokiem wpuszczonym w podłoże na głębokość 1,5 m. Górna

powierzchnia bloku o wymiarach 1m x 1m znajduje się na poziomie podłogi. Punkt Koszalin został założony w 1986 roku przez IGiK, jako punkt ówczesnej Jednolitej Grawimetrycznej Sieci (JGS) państw b. Układu Warszawskiego. W 1989 roku zostały na nim wykonane przez zespół Akademii Nauk b. ZSRR pomiary względne aparaturą wahadłową AGAT, które wiązały go z podobnym punktem w Poznaniu. W 1992 roku na punkcie tym zostały wykonane pierwsze pomiary absolutne grawimetrami GP-4 i GP-5 przez zespół Instytutu Metrologii z Charkowa. W 1995 roku zespół IFAG pod kierownictwem dr. Falka, wykonał pomiary absolutne grawimetrem balistycznym FG 5 nr 101. Punkt ten posiada dwa stanowiska ekscentryczne, jedno zamarkowane metalowym bolcem w betonowym podeście przy bocznym wejściu do Auli im. prof. Rzymkowskiego, o numerze KOSZ-Ex1 i drugie o numerze KOSZ-Ex2, który jest jednocześnie punktem sieci nr 2.

Borowiec. Punkt absolutny Borowiec znajduje się na terenie Obserwatorium Astrogeodynamicznego Centrum Badań Kosmicznych PAN w Borowcu i zlokalizowany jest w najniższej kondygnacji głównego budynku Obserwatorium, w byłym laboratorium fotograficznym. Początkowo punkt w tym regionie został zaprojektowany w Poznaniu, w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Poznańskiego w centrum miasta. Na tym punkcie w 1989 roku wykonano pomiary wahadłowe aparaturą AGAT, podobnie jak na punkcie w Koszalinie. Należy także nadmienić, że na tym punkcie w 1992 roku wykonano pomiary absolutne aparaturą balistyczną GP-4 i GP-5. Ponieważ w czasie tych pomiarów okazało się, że poziom mikrosejsmów pochodzących od ruchu ulicznego jest zbyt wysoki, podjęto decyzję przeniesienia tego punktu do Obserwatorium w Borowcu. W 1993 roku na punkcie w Borowcu zostały wykonane na zlecenie CBK pomiary absolutne aparaturą z Charkowa. Wyniki tych wyznaczeń, które miały charakter eksperymentalny, znajdują się w CBK. W listopadzie 1995 roku pomiary absolutne w Borowcu wykonał zespół IFAG za pomocą grawimetru FG 5 nr 101. Latem 1996 roku na zaproszenie Instytutu Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej pomiary grawimetrem balistycznym IMGC wykonał zespół włoski pod kierownictwem dr. Ceruttiego, a w lutym 1998 roku, pomiary grawimetrem ZZG konstrukcji polskiej wykonał prof. Z. Ząbek. Punkt wyznaczeń absolutnych posiada dwa stanowiska ekscentryczne. Jedno, o numerze BORO-Ex1, to obelisk betonowy położony na terenie obserwatorium, będący punktem sieci EUREF oraz drugie, o numerze BORO-Ex2, to oznakowany bolcem stopień betonowy przed wejściem do Pawilonu Astrografu.

Książ. Punkt absolutny Książ znajduje się na terenie Dolnośląskiego Obserwatorium Geofizycznego Instytutu Geofizyki PAN w Książu koło Wałbrzycha. Obserwatorium zajmuje część skrzydła zewnętrznych zabudowań zamku Książ. Punkt grawimetryczny zlokalizowany jest na końcu korytarza piwnicznego w pomieszczeniu po lewej stronie. Punkt

zastabilizowany został blokiem betonowym, wpuszczonym w podłoże i osadzonym na litej skale. Górna powierzchnia bloku, o wymiarach 1 m x 2 m znajduje się na poziomie podłogi. Instytut Geofizyki PAN prowadzi w Obserwatorium badania sejsmiczne, a także udostępnia część swoich pomieszczeń CBK na badania pływów skorupy ziemskiej. W latach 1992 i 1993 na punkcie tym zespół z Charkowa wykonał serię absolutnych wyznaczeń przyspieszenia siły ciężkości aparaturą balistyczną GP-4 i GP-5. W listopadzie 1995 roku ponowne wyznaczenia zostały przeprowadzone przez zespół IFAG aparaturą balistyczną FG 5. Punkt ten posiada dwa stanowiska ekscentryczne: KSIA-Ex1 – wykorzystany fundament zdemontowanej anteny satelitarnej, zaznaczony bolcem metalowym, będącym jednocześnie punktem osnowy grawimetrycznej nr 351, oraz KSIA-Ex2 – oznakowany bolcem metalowym betonowy schodek przy bocznym wejściu do kościoła pod wezwaniem św. Apostołów Piotra i Pawła w Świebodzicach.

Piwnice. Punkt absolutny Piwnice znajduje się na terenie Astronomicznego Obserwatorium Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Punkt zlokalizowany jest w najniższej kondygnacji starego budynku Obserwatorium w Piwnicach. Punkt zastabilizowany jest betonowym blokiem, wpuszczonym w podłoże na głębokość 1,5 m. Górna powierzchnia bloku, o wymiarach 1 m x 1 m, znajduje się na poziomie podłogi. Pierwsze pomiary absolutne na punkcie Piwnice zostały wykonane w grudniu 1995 roku aparaturą balistyczną JILAg-5 przez J. Makinena z FGI. W 1998 roku na punkcie tym pomiary absolutne grawimetrem ZZG wykonał prof. Ząbek. Punkt ten posiada dwa stanowiska ekscentryczne jedno – o numerze PIWN-Ex1, zaznaczone bolcem na betonowym schodku przed Pawilonem „Drappera”, drugie, o numerze PIWN-Ex2, zaznaczone bolcem miejsce na opasce betonowej fundamentu kościoła św. Jana Chrzciciela w Świerczynkach.

Konopnica. Punkt Konopnica znajduje się na terenie pałacu w Konopnicy, należącego obecnie do Politechniki Łódzkiej i mieszczącego ośrodek wypoczynkowy tej uczelni. Punkt zlokalizowano w piwnicy w pomieszczeniach kuchennych ośrodka i zamarkowano mosiężnym bolcem wpuszczonym w terakotę na podłodze w garderobie obok stołówki ośrodka. W 1995 roku na punkcie Konopnica wykonane zostały pierwsze pomiary absolutne grawimetrem balistycznym JILAg przez J. Makinena z FGI. Pomiary przeprowadzono nie w garderobie, lecz w sąsiednim pomieszczeniu należącym do kuchni. Okazało się bowiem, że terakota w garderobie nie jest wystarczająco stabilna. Miejsce pomiaru także zastabilizowano mosiężnym bolcem wpuszczonym w podłogę. Oba stanowiska pomiarowe zostały powiązane pomiarami względnymi. W 1998 roku na punkcie tym pomiary absolutne grawimetrem ZZG wykonał prof. Ząbek. Punkt ten posiada dwa punkty ekscentryczne: jeden – KONO-Ex1, zastabilizowany w fundamencie

kościół pod wezwaniem św. Rocha w Konopnicy, oraz drugi – KONO-Ex2, który jest punktem sieci POLREF 2406.

Gdańsk. Punkt absolutny Gdańsk znajduje się w Oliwie, na terenie Uniwersytetu Gdańskiego, w laboratorium akusto-optyki, w piwnicy budynku Instytutu Matematyki i Fizyki. Zastabilizowany jest on betonowym blokiem wpuszczonym w podłogę na głębokość 1,5 m. Górna powierzchnia bloku, o wymiarach 1 m x 1 m, znajduje się na poziomie podłogi. Punkt Gdańsk zaprojektowany został jako jeden z pięciu polskich punktów Jednolitej Grawimetrycznej Sieci (JGS). W 1986 roku na punkcie tym przeprowadzone zostały absolutne pomiary grawimetryczne aparaturą balistyczną GABL, pod kierownictwem dr. G. Arnautowa. W 1987 roku wykonano na nim także wahadłowe pomiary względne aparaturą rosyjską AGAT, które miały na celu powiązanie tego punktu z punktem JSJG w Kaliningradzie. W lipcu 1996 roku, na punkcie Gdańsk, zostały wykonane absolutne pomiary grawimetryczne aparaturą FG 5 nr 107 przez zespół DMA, pod kierownictwem dr. D. Stizza. Pod koniec roku 1997 na punkcie tym wykonał pomiary także prof. Ząbek. Punkty ekscentryczne to GDAN-Ex1, znajdujący się na występie fundamentu budynku Instytutu Matematyki i Fizyki (zamarkowany bolcem metalowym) oraz GDAN-Ex2, który jest punktem osnowy grawimetrycznej o numerze 11.

Lamkówko. Punkt absolutny Lamkówko znajduje się w miejscowości Lamkówko, na terenie Obserwatorium Geodezyjnego Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Punkt zlokalizowany jest w dawnym pawilonie satelitarnym, na słupie betonowym, na którym ustawiana była kamera do obserwacji satelitarnych. Słup ten został dostosowany do ustawiania grawimetru balistycznego. Górna powierzchnia słupa znajduje się na wysokości 47 cm nad poziomem gruntu. Specjalnie podwyższona podłoga ułatwia ustawianie grawimetru. W 1993 roku eksperymentalne pomiary absolutne wykonał na punkcie zespół z Charkowa. Latem 1996 roku na zaproszenie Instytutu Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej pomiary grawimetrem balistycznym IMGK wykonał zespół włoski pod kierownictwem dr. Ceruttiego, a w końcu 1997 roku pomiary absolutne grawimetrem ZZG wykonał prof. Ząbek. Punkty ekscentryczne LAMK-Ex1 to wykorzystany do tego celu słup w piwnicy grawimetrycznej obserwatorium oraz punkt LAMK-Ex2, którym jest „betonowy grzybek” na zewnątrz obserwatorium.

Giby. Punkt absolutny Giby znajduje się na terenie kościoła parafialnego w Gibach. Punkt zlokalizowany jest w piwnicy plebani, gdzie zbudowano słup betonowy do ustawiania grawimetru balistycznego. Słup, o wymiarach 1 m x 1 m x 1,5 m wkopany jest równo z powierzchnią podłogi. Pierwszy pomiar absolutny grawimetrem GP-5 wykonał zespół z Charkowa w 1993 roku. Następny pomiar absolutny został wykonany w końcu 1997 roku przez prof. Ząbka grawimetrem ZZG. Punkt ekscentryczny GIBY-Ex1 to

bolec w fundamencie kanału betonowego, zaś drugi punkt, GIBY-Ex2, to punkt osnowy w Sejnach o numerze 29, stabilizowany betonem.

Białowieża. Punkt absolutny Białowieża znajduje się na terenie Parku Pałacowego w Białowieży w budynku Zakładu Badania Ssaków PAN. Punkt zlokalizowany jest w piwnicy głównego budynku Zakładu w pomieszczeniu magazynowym płynnego paliwa dla lokalnej kotłowni. Betonowy słup do ustawiania aparatury pomiarowej został wpuszczony w podłoże na głębokość około 1,5 m. Górna powierzchnia słupa, o wymiarach 1 m x 1 m, znajduje się na poziomie podłogi. Początkowo, w pierwszej wersji projektu, punkt Białowieża znajdował się w Domu Marszałkowskim, w dolnej części Parku Pałacowego. Pomiary absolutne, wykonane na tym punkcie w 1993 roku przez zespół Instytutu Metrologii z Charkowa, wykazały jego małą stabilność, co spowodowało, że lokalizacja punktu musiała ulec zmianie. Jak wykazały pomiary wykonane w 1996 roku przez zespół DMA grawimetrem balistycznym FG 5 nr 107, nowe miejsce spełnia wymagania określone w kryteriach dotyczących grawimetrycznych punktów absolutnych. Punkt posiada 2 stanowiska ekscentryczne: BIAL-Ex1, które jest punktem osnowy o numerze 171, i BIAL-Ex2, które jest zamarkowanym znakiem w betonowym podeście przy wejściu do kościoła pod wezwaniem św. Teresy od Dzieciątka Jezus.

Sieniawa. Punkt absolutny Sieniawa znajduje się w pałacu Czartoryskich w Sieniawie, który obecnie przebudowany jest na hotel (Hotel Pałac) i ośrodek konferencyjno-szkoleniowy. Punkt zlokalizowany jest na parterze budynku (budynek nie jest podpiwniczony) w małym pokoju przejściowym, obok sali wystawowej. Pomiary absolutne na punkcie Sieniawa zostały przeprowadzone po raz pierwszy w lipcu 1996 roku aparaturą balistyczną FG 5 nr 107 przez zespół DMA pod kierownictwem dr. D. Stizza. Punkt ten posiada 2 stanowiska ekscentryczne: SIEN-Ex1 to zamarkowany bolcem występ fundamentu przy głównym wejściu do kościoła pod wezwaniem Najświętszej Marii Panny w Sieniawie i SIEN-Ex2 to punkt sieci POLREF 1806, zastabilizowany płytą betonową.

Ojców. Pomiary absolutne przyspieszenia siły ciężkości po raz pierwszy zostały wykonane aparaturą balistyczną GABL w Krakowie w 1978 roku. Stanowisko pomiarowe zostało wybrane w piwnicy budynku należącego do Uniwersytetu Jagiellońskiego, przy ul. Kopernika 27, a więc w centrum miasta. Rozwój miasta, a zwłaszcza wzrost liczby pojazdów mechanicznych na ulicach Krakowa, tak spotęgował drgania w miejscu, na którym ustawiana jest balistyczna aparatura pomiarowa, że nie jest już możliwe osiągnięcie wymaganej dokładności pomiarów, rzędu kilku mikrogali. Zaszła więc konieczność przeniesienia punktu grawimetrycznego w inne miejsce. Nowe stanowisko pomiarowe zlokalizowano w Obserwatorium Sejsmicznym Instytutu Geofizyki PAN w Ojcowie. Na pierwszej, a zarazem najniższej kondygnacji budynku Obserwatorium jedno z pomieszczeń magazynowych przeznaczono na laboratorium grawimetryczne.

W pomieszczeniu tym zbudowano betonowy słup, który został wpuszczony w podłoże i osadzony na litej skale. Górna powierzchnia słupa, o wymiarach 1,2 m x 1,2 m, znajduje się na poziomie podłogi. W lipcu 1996 roku na punkcie Ojców zostały wykonane po raz pierwszy absolutne pomiary grawimetryczne aparaturą FG 5 nr 107 przez zespół DMA pod kierownictwem dr. D. Stizza. Punkt pomiarów absolutnych ma 2 stanowiska ekscentryczne: OJCO-Ex1 to betonowy blok posadowiony w roku 1995 w tarasie ziemnym przed Obserwatorium oraz OJCO-Ex2 to blok betonowy posadowiony w 1974 roku przy kościele pod wezwaniem św. Mikołaja w Skale.

3. GRAWIMETRYCZNE POMIARY APARATURĄ BALISTYCZNĄ W POLSCE

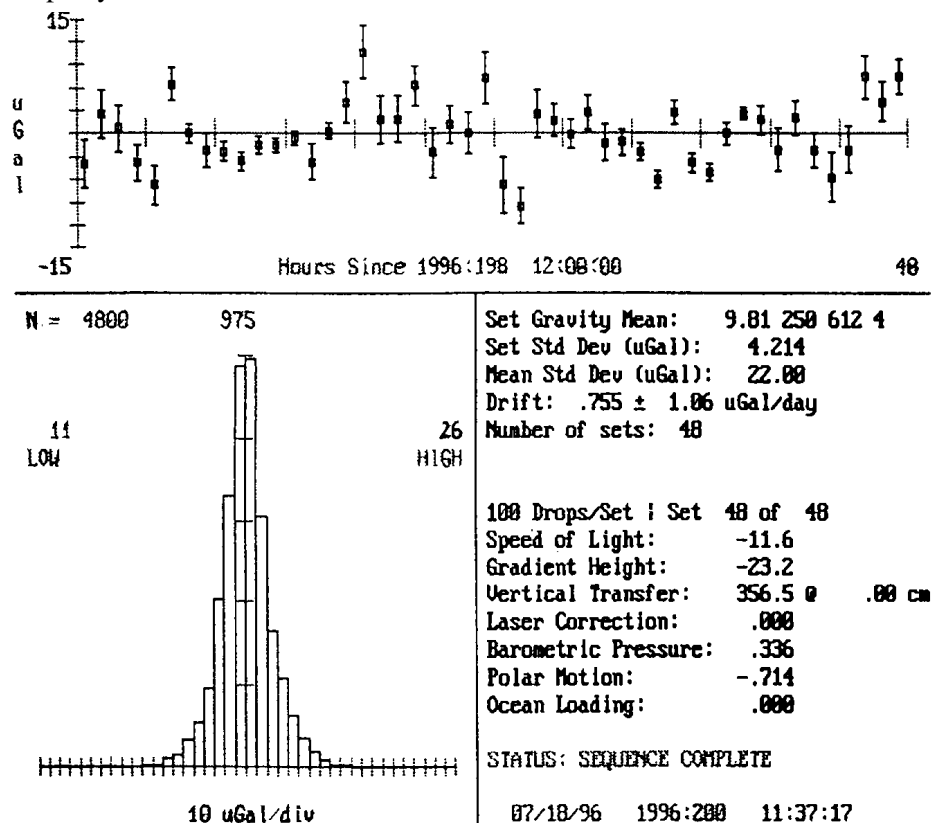
Jak już wspomniano, zasada pomiaru g metodą absolutną polega na rejestracji czasu spadania ciała próbnego w próżni (rzędu 1×10^{-4} tora) na określonym odcinku drogi spadania tego ciała. W praktyce podczas jednego upadku ciała pomiar tych dwóch parametrów, czasu i drogi, odbywa się wielokrotnie na kilkuset nawet odcinkach, na jakie podzielony jest tor spadania masy próbnej. Czas mierzony jest za pomocą kwarcowego lub rubidowego wzorca częstotliwości, z dokładnością rzędu jednej nanosekundy. Droga mierzona jest za pomocą interferometru laserowego z dokładnością jednego nanometra.

Należy nadmienić, że istnieją dwa rodzaje grawimetrów balistycznych. W jednym obserwowany jest spadek ciała w rurze próżniowej (np. w grawimetrach JILAg i FG 5), zaś w drugim ciało próbne jest podrzucane do góry, a po osiągnięciu wierzchołka trajektorii swobodnie spada w dół (np. w grawimetrze ZZG). W tym wypadku obserwacje są dokonywane przy ruchu w obu kierunkach. Taka metoda nazywa się symetryczna, podczas gdy poprzednia – niesymetryczna.

Na punkcie absolutnym pomiary wykonywane są co najmniej przez dobę. W tym okresie dokonuje się od 3500 do 4000 (w seriach po kilkadziesiąt) rzutów lub podrzutów. W razie uzyskania niezadowolającej dokładności wyznaczenia g , pomiary kontynuuje się zwykle kolejną dobę. Do wyników wprowadza się szereg poprawek i redukcji, między innymi z powodu dryftu i zmiany stałych współczynników lasera, szczątkowego ciśnienia w rurze próżniowej, reakcji podłoża w początkowym momencie ruchu ciała próbnego, pływów ziemskich, ruchu bieguna Ziemi, ciśnienia atmosferycznego.

Na rysunku 4 pokazany jest jako przykład wynik pomiarów g aparaturą FG 5 nr 107 wykonanych w Borowej Górze przez dr. D. Stizza w dniu 18 lipca 1996 roku. Jest to wynik wstępny, przedstawiony w postaci graficznej, który musi być uzupełniony poprawkami wyznaczonymi w laboratorium po zakończeniu kampanii pomiarowej. Graficzne

przedstawienie wyniku ułatwia szybkie dokonanie analizy poprawności pracy grawimetru i oceny warunków przeprowadzania pomiarów, głównie warunków sejsmicznych. W tabeli 1 jako przykład pokazano końcowy wynik pomiarów grawimetrem JILAg w Borowej Górze, w Piwnicach i w Konopnicy.



Rys. 4. Wstępny wynik pomiarów absolutnych przedstawiony graficznie

Tabela 1. Końcowe opracowanie wyników pomiaru grawimetrem balistycznym JILAg (przesłane przez J. Mäkinena)

Revised results of the Polish-Finnish absolute –gravity campaign of 1995. The revision consists of discarding the correction for the zero crossing detector (ZCD) comparator. In the results reported on April 11, 1996 this correction was calculated using the paper by Niebauer, Sasagawa, Faller, Hilt and Klopping (Metrologia 32, 159–180). The assumption was that the correction determined in that paper for the fg 5 gravimeter would be applicable for the JILAg-5. Tests have shown since that this is not the case.

Table 1a. Summary of corrections at observation height. The unit is microrgal

Station	Epoch	Result at obs height with tidal	For laser drift	For frequency standard	For ZCD comparator	For recoil	For atmosphere	For polar motion	Final corrected results at obs height
Borowa Góra	24.-26.11.1995	981 250 349.7	0.1	-2.7	0.0	3.3	2.1	1.8	981 250 354.4
Konopnica	29.-30.11.1995	981 148 246.3	0.1	-2.7	0.0	2.7	4.6	2.2	981 148 253.2
Piwnice	3.-5.12.1995	981 268 445.4	0.1	-2.7	0.0	0.0	5.6	2.5	981 268 450.9

Table 1b. Reduction of g to different levels

Station	Final corrected result at obs height	Observation height above station mark, metres	Vertical gradient $\mu\text{gal/m}$	Reduction from observation height to 0.800 m	Result at 0.800 m	Reduction from observation height to 0.000 m	Result at 0.000 m
Borowa Góra	981 250 354.4	0.845	-271.4	12.2	981 250 366.6	229.3	981 250 683.7
Konopnica	981 148 253.2	0.847	-255.8	12.0	981 148 265.2	216.7	981 148 469.9
Piwnice	981 268 450.9	0.844	-277.6	12.2	981 268 463.1	234.3	981 268 685.2

Table 1c. Error statistics. All uncertainties are one sigma, in microrgals. The total uncertainty at observation height is the quadratic sum of the preceding four columns. The estimate for other systematics is from Niebauer (1987)

Station	Number of sets	Number of drops = sets x 25	Rms drop scatter within sets	S. deviation of set means	S. deviation of result	Uncertainty from laser	Uncertainty from recoil	Other systematics	Total uncertainty at obs height	Uncertainty of vertical transfer	Uncertainty at 0.000 m
Borowa Góra	150	3750	27.7	4.6	0.4	3.0	3.0	2.7	5.1	2.0	5.5
Konopnica	108	2700	24.2	4.0	0.4	3.2	3.2	2.7	5.2	2.0	5.6
Piwnice	152	3800	24.9	4.2	0.3	3.0	3.0	2.7	5.1	2.0	5.5

Reference: Niebauer, T.M., 1987: New absolute gravity instruments for physics and geophysics. Ph.D. thesis, 155 pp. University of Colorado, Boulder

4. POMIARY NA PUNKTACH EKSCENTRYCZNYCH

Według rekomendacji Międzynarodowego Biura Grawimetrycznego i Międzynarodowej Asocjacji Geodezji, w pobliżu grawimetrycznego punktu absolutnego powinny być założone co najmniej 2 punkty ekscentryczne. Punkty te mają na celu umożliwienie oceny stabilności punktu absolutnego pod kątem grawimetrycznym, drogą okresowego wykonywania na nich odpowiednich pomiarów nawiązujących za pomocą grawimetrów do wyznaczeń względnych.

W celu zastosowania się do ww. rekomendacji, a jednocześnie w celu obniżenia kosztów, punkty ekscentryczne wybrano na znajdującym się w pobliżu, istniejącym już fundamencie, np. betonowe schody, opaska betonowa wokół budynku, betonowy postument. W kilku przypadkach wykorzystano założone już punkty osnowy grawimetrycznej lub geodezyjne punkty sieci POLREF.

Każdy punkt ekscentryczny dowiązany został do głównego punktu absolutnego specjalnymi pomiarami względnymi, wykonanymi grupą 3 grawimetrów L & R, na zamkniętym poligonie o trzech bokach. Ponadto, na każdym punkcie ekscentrycznym wyznaczony został pionowy gradient pola przyspieszenia siły ciężkości.

5. GRADIENTY PIONOWE POLA PRZYSPIESZENIA SIŁY CIĘŻKOŚCI

Grawimetryczny punkt absolutny, któremu przypisywana jest określona wartość przyspieszenia siły ciężkości, znajduje się, w sensie fizycznym, na górnej powierzchni betonowego bloku stanowiącego stabilizację punktu, czyli na poziomie podłogi. Wyznaczenia absolutne natomiast za pomocą aparatury balistycznej wykonywane są w pewnej odległości nad blokiem. Komora balistyczna bowiem, w której opada masa próbna, osadzona jest na statywie aparatu powyżej punktu, przy czym, zależnie od typu aparatury, wysokość ta jest różna: w grawimetrze GABL pomiary wykonuje się na wysokości około 130 cm, w grawimetrze GP-4 i GP-5 – na wysokości około 80 cm, w grawimetrze FG 5 – na wysokości około 130 cm, zaś w grawimetrze JILAg – na wysokości około 85 cm. Najniższa wysokość pomiaru jest w grawimetrze ZZG i wynosi 32 cm.

Ponieważ przyspieszenie siły ciężkości zmienia się wraz z wysokością średnio o 300 μGal na 1 m, przy osiągniętych obecnie dokładnościach pomiarów absolutnych rzędu 1–2 μGal , zachodzi konieczność pomierzenia wysokości punktu odniesienia w komorze balistycznej nad blokiem betonowym z dokładnością milimetrową oraz konieczność wyznaczenia gradientu pola z dokładnością możliwie najwyższą. Podczas pomiarów absolutnych w latach 1978 i 1986 nie było w Polsce aparatury grawimetrycznej wysokiej klasy,

przeprowadzone wyznaczenia gradientów na punktach w Gdańsku, w Borowej Górze i w Krakowie nie były więc dokładne. W latach 1995 i 1996 zagraniczne zespoły, które wykonywały pomiary absolutne w Polsce, posiadały po kilka grawimetrów L & R, wyposażonych w tzw. *feedback* podwyższający dokładność pomiarów. Grawimetrami tymi wyznaczono gradienty pionowe na wszystkich pomierzonych punktach. W roku 2000 Instytut dokonał pomiarów gradientów pionowych na stanowiskach ekscentrycznych punktów absolutnych oraz ponowne pomiary tego gradientu na wszystkich punktach absolutnych. W tym wypadku pomiar każdego gradientu wykonywano dwukrotnie 2 grawimetrami. Jako pomierzone Δg przyjęto średnią wartość z czterech pomiarów. Stosunek $\Delta g/\Delta h$ jest wartością gradientu pionowego, wyrażonego w mGal/m (tab. 2).

Tabela 2. Zestawienie pomierzonych gradientów pionowych na punktach absolutnych i stanowiskach ekscentrycznych

Lp.	Oznaczenie	Punkt absolutny i stanowiska ekscentryczne	Gradient [mGal/m]	Błąd [mGal/m]
1	A-BIAL	ABS Białowieża	0,270	0,004
2	BIAL-Ex1	171 Białowieża	0,299	0,003
3	BIAL-Ex2	Białowieża – kościół	0,333	0,003
4	A-BG	ABS Borowa Góra	0,275	0,001
5	BG-Ex1	Borowa Góra – stan. G2	0,282	0,002
6	BG-Ex2	156 Borowa Góra	0,293	0,004
7	A-BORO	ABS Borowiec	0,278	0,003
8	BORO-Ex1	0216 Borowiec	0,302	0,001
9	BORO-Ex2	Borowiec – astrograf	0,305	0,004
10	A-GDAN	ABS Gdańsk	0,278	0,002
11	GDAN-Ex1	Gdańsk – Uniwersytet	0,305	0,003
12	GDAN-Ex2	11 Gdańsk	0,318	0,003
13	A-GIBY	ABS Giby	0,293	0,003
14	GIBY-Ex1	Giby – plebania	0,317	0,004
15	GIBY-Ex2	29 Sejny	0,315	0,005
16	A-KONO	ABS Konopnica	0,256	0,004
17	KONO-Ex1	Konopnica – kościół	0,283	0,002
18	KONO-Ex2	2406 Jasień	0,307	0,006

19	A-KOSZ	ABS Koszalin	0,296	0,002
20	KOSZ-Ex1	Koszalin – Politechnika	0,314	0,006
21	KOSZ-Ex2	2 Koszalin	0,302	0,002
22	A-KSIA	ABS Książ	0,290	0,006
23	KSIA-Ex1	351 Książ	0,394	0,003
24	KSIA-Ex2	Świebodzice – kościół	0,307	0,005
25	A-LAMK	ABS Lamkówko	0,328	0,003
26	LAMK-Ex1	Lamkówko – piwnica	0,240	0,001
27	LAMK-Ex2	Lamkówko – ogród	0,328	0,004
28	A-OJCO	ABS Ojców	0,223	0,006
29	OJCO-Ex1	Ojców – płyta	0,274	0,004
30	OJCO-Ex2	Skala – kościół	0,313	0,003
31	A-PIWN	ABS Piwnice	0,282	0,002
32	PIWN-Ex1	Piwnice – pawilon Drapper’a	0,328	0,004
33	PIWN-Ex2	Świerczynki – kościół	0,306	0,005
34	A-SIEN	ABS Sieniawa	0,307	0,005
35	SIEN-Ex1	Sieniawa – kościół	0,302	0,002
36	SIEN-Ex2	1806 Tryńcza	0,312	0,006

6. POMIARY ZMIAN POZIOMU WÓD GRUNTOWYCH W OTOCZENIU PUNKTU

Na absolutnych punktach grawimetrycznych, a zwłaszcza na tych, które są przewidziane także do przeprowadzania pomiarów do badań geodynamicznych, powinna istnieć możliwość uzyskania informacji o zmianach poziomu wód gruntowych, bowiem, jak wiadomo, przemieszczające się masy wodne, powodując zmianę gęstości podłoża, wpływają na wynik wyznaczeń grawimetrycznych. Wpływ ten musi być uwzględniony w końcowych rezultatach pomiarów, które mają być wykorzystywane do interpretacji zjawisk geodynamicznych zachodzących wewnątrz skorupy ziemskiej. Mając to na uwadze, na kilku punktach absolutnych, na których według badań hydrologicznych powinna być możliwość rejestracji zmian poziomu wód gruntowych, zainstalowano piezometry.

Otwór piezometru został dowiązany za pomocą niwelacji technicznej do punktu wysokościowego osnowy państwowej i do punktu grawimetrycznego.

Zestawienie pomierzonych punktów, zawierające ich nazwy, współrzędne geograficzne i wysokości oraz informację o piezometrach i najbliższym punkcie osnowy, znajduje się w tabeli 3.

Tabela 3. Dane dotyczące pomierzonych punktów absolutnych

Nazwa punktu	φ ° ' "	λ ° ' "	h m	h piez. m	Najbliższy punkt osnowy
Koszalin	54 11 30	16 12 30	38,26	–	Koszalin, nr 2, 3 km
Borowiec	52 16 37	17 04 25	79,64	80,13	Kórnik, nr 133, 5 km
Książ	50 50 36	16 17 42	399,36	–	Książ, nr 351, 15 m
Piwnice	53 05 44	18 33 22	82,16	84,06	Toruń, nr 70, 8 km
Konopnica	51 21 00	18 49 20	157,77	–	Wieluń, nr 70, 14 km
Ojców	50 13 07	19 47 43	378,00	–	Olkusz, nr 276, 16 km
Gdańsk	54 23 46	18 34 24	20,16	–	Gdańsk, nr 11, 3 km
Białowieża	52 42 15	23 50 59	160,00	–	Białowieża, nr 171, 40 m
Sieniawa	50 10 16	22 36 31	177	–	Leżajsk, nr 301, 20 km
Borowa Góra	52 28 32	21 02 06	106,72	108,36	Borowa Góra, nr 156, 30 m
Lamkówko	53 53 06	20 40 15	157,00	–	Biskupiec, nr 81, 16 km
Giby	54 02 20	23 21 45	130,00	–	Sejny, nr 29, 8 km

7. WYNIKI POMIARÓW ABSOLUTNYCH NA PUNKTACH ZEROWEGO RZĘDU

Wyniki pomiarów grawimetrami balistycznymi na punktach absolutnych zestawiono w tabeli 4.

Jak widać, na kilku punktach, które mają więcej niż jedno wyznaczenie, występują różnice wartości g wielokrotnie przekraczające podane błędy ich wyznaczenia. Różnice skrajnych wartości g wynoszą w Borowej Górze 18 mikrogali (bez pomiarów grawimetrem GABL), w Borowcu – 25, w Piwnicach – 13, w Konopnicy – 30, w Lamkówku – 21, przy średnich błędach wyznaczenia g nie przekraczających 5 mikrogali. Na 6 punktach wartości g wyznaczono tylko raz, również z małymi błędami, lecz w świetle powyższego trudno zakładać, że błędy te wyrażają rzeczywistą dokładność pomierzonej wartości g . W tej sytuacji krajowy wzorzec mógł być ustalony tylko przez odpowiednią weryfikację posiadanych wartości g . Weryfikację taką przeprowadzono za pomocą pomiarów względnych pomiędzy punktami pomiarów absolutnych, na tzw. długich przesłach.

Tabela 4. Wartości g z pomiarów absolutnych

Nazwa punktu	Data pomiaru	Instru- ment	g z pomiaru	Błąd	Źródło informacji
Borowa Góra	9/78	GABL	981250,612 ^{a)}	0,015	(Arnautov,1978)
	11/95	FG5-101	,586	0,001	(Falk,1996)
	11/95	JILAg-5	,584	0,005	(Makinen,1997)
	7/96	FG5-107	,587	0,004	(Stizza,1996)
	12/97	ZZG	,602	0,004	(Ząbek,1997)
Koszalin	11/95	FG5-101	981425,038	0,005	(Falk,1996)
Borowiec	11/95	FG5-101	981246,147	0,002	(Falk,1996)
	5/96	IMGC	,139	0,005	(Cerutti,1997)
	8/98	ZZG	,164	0,004	(Ząbek,1998)
Książ	11/95	FG5-101	981050,682	0,002	(Falk,1996)
Gdańsk	4/86	GABL	981437,760	0,022	(Arnautov,1986)
	7/96	FG5-107	,741	0,020	(Stizza,1996)
	11/97	ZZG	,751	0,010	(Ząbek,1997)
Ojców	7/96	FG5-107	981014,405	0,009	(Stizza,1996)
Białowieża	7/96	FG5-107	981257,400	0,003	(Stizza,1996)
Sieniawa	7/96	FG5-107	981039,470	0,005	(Stizza,1996)
Piwnice	11/95	JILAg-5	981268,685	0,004	(Makinen,1997)
	8/98	ZZG	,672	0,002	(Ząbek,1998)
Konopnica	11/95	JILAg-5	981148,470	0,004	(Makinen,1997)
	8/98	ZZG	,500	0,002	(Ząbek,1998)
Lamkówko	5/96	IMGC	981377,614	0,005	(Cerutti,1997)
	10/97	ZZG	,635	0,002	(Ząbek,1997)
Giby	10/97	ZZG	981391,438	0,002	(Ząbek,1997)

a) Wartość g po przeliczeniu wg (Timmen L., Wenzel H.G. 1994).

8. WERYFIKACJA WARTOŚCI g Z POMIARÓW ABSOLUTNYCH

W celu przeprowadzenia weryfikacji wartości g z pomiarów absolutnych wykonano specjalne pomiary względne pomiędzy punktami absolutnymi. Wartości Δg pomiędzy punktami absolutnymi, odległymi od siebie o 150–350 kilometrów, pomierzono metodą tzw. długich przesła.

Należy podkreślić, że w obliczeniach Δg z pomiarów względnych stosowano te same sposoby liczenia poprawek pływowych i barycznych, jakie były stosowane przy pomiarach absolutnych (Timmen L. i Wenzel H.G. 1994; Boedecker G. 1988). Wprowadzono również poprawki wynikające z różnic pionowych gradientów g na końcach przesła.

Sieć długich przęseł, w liczbie 25, pokazano na rysunku 1 na tle sieci przęseł osnowy podstawowej. Średni błąd pomiaru długiego przęsła, obliczony z odchyłek zamknięć figur, równa się 4 mikrogale. Sieć tę wyrównano jako sieć niezależną, nawiązaną do punktu w Borowej Górze. Ze względu na dużą zgodność g z pomiarów grawimetrami FG5-101, FG5-107 i JILAg-5, jako stałą wartość g dla punktu w Borowej Górze przyjęto wartość średnią g z wyznaczeń tymi trzema instrumentami. Średni błąd pomiaru przęsła, obliczony z niezależnego wyrównania sieci, wynosi 5 mikrogali. Średnie błędy wyrównanych Δg w sieci długich przęseł zawierają się w granicach 3–4 mikrogali. Można zatem powiedzieć, że jest to sieć pomiarów względnych mająca dokładność równorzędną z dokładnością pomiarów absolutnych.

Uzyskane z wyrównania 25 wartości Δg oraz policzone wartości g dla 12 punktów absolutnych przyjęto jako podstawę do przeprowadzenia weryfikacji 21 wartości g , które były wyznaczone w Polsce grawimetrami absolutnymi skalibrowanymi w Sèvres.

W wyniku porównań i analiz stwierdzono, że największe zgodności pomiarów absolutnych w Polsce wykazują grawimetry FG5-101, FG5-107 i JILAg-5. Uznano, że pomiary wykonane grawimetrami ZZG i IMGC nie odpowiadają wysokim wymaganiom ustalanego wzorca. Przyjęto więc, że 12 wartości g z pomiarów grawimetrami FG5-101, FG5-107 i JILAg-5 na 10 punktach (Borowa Góra, Koszalin, Borowiec, Książ, Gdańsk, Piwnice, Konopnica, Ojców, Białowieża, Sieniawa) mogą stanowić wzorzec grawimetryczny.

Wobec bardzo zbliżonych dokładności pomiarów względnych i absolutnych, dokonano łącznego wyrównania wartości g i Δg , uzyskując ostateczne wartości g , stanowiące elementy wzorca. Wartości g w Lamkówku i Gibach wyznaczono tylko z pomiarów względnych (metodą długich przęseł).

W tabeli 5 zostały zestawione wartości g na punktach absolutnych, zweryfikowane i wyrównane łącznie z siecią tzw. długich przęseł oraz dowiązane do nich wartości g na stanowiskach ekscentrycznych.

Należy zaznaczyć, że jednostkę przyspieszenia siły ciężkości określają tu wartości g wyznaczone grawimetrami FG5-101 i FG5-107 na 6 punktach 2 baz kalibracyjnych: Koszalin–Borowiec–Książ oraz Gdańsk–Borowa Góra–Ojców. Poziom grawimetryczny reprezentowany jest przez wartości g wyznaczone na 10 punktach grawimetrami FG5-101, FG5-107 i JILAg-5. Krajowy wzorzec wyznaczony zatem został w „systemie” tych trzech grawimetrów. Biorąc jednak pod uwagę, że grawimetry te były kilkakrotnie porównywane w Sèvres (z bardzo dobrymi wynikami) oraz że były one używane do wyznaczeń g w wielu punktach globu, można powiedzieć, że polski wzorzec grawimetryczny jest elementem wzorca światowego, o najwyższej obecnie osiągalnej dokładności.

Tabela 5. Zestawienie wartości g na punktach absolutnych i stanowiskach ekscentrycznych

Lp.	Oznaczenie	Punkt absolutny i stan. ekscentryczne	Współrzędne		g [μ Gal]
			φ [° ' "]	λ [° ' "]	
1	A-BIAL	ABS Białowieża	52 42 13	23 51 07	981 257,403
2	BIAL-Ex1	171 Białowieża	52 42 13	23 51 07	257,155
3	BIAL-Ex2	Białowieża – kościół	52 42 06	23 52 33	254,759
4	A-BG	ABS Borowa Góra	52 28 33	21 02 07	981 250,586
5	BG-Ex1	Borowa Góra – stan.G2	52 28 32	21 02 09	250,443
6	BG-Ex2	156 Borowa Góra	52 28 32	21 02 09	250,178
7	A-BORO	ABS Borowiec	52 16 37	17 04 24	981 246,148
8	BORO-Ex1	0216 Borowiec	52 16 34	17 04 29	245,275
9	BORO-Ex2	Borowiec – astrograf	52 16 38	17 04 31	245,087
10	A-GDAN	ABS Gdańsk	54 23 47	18 34 31	981 437,737
11	GDAN-Ex1	Gdańsk – Uniwersytet	54 23 51	18 34 33	437,258
12	GDAN-Ex2	11 Gdańsk	54 22 06	18 37 00	436,475
13	A-GIBY	ABS Giby	54 02 18	23 21 42	981 391,443
14	GIBY-Ex1	Giby – plebania	54 02 19	23 21 42	391,189
15	GIBY-Ex2	29 Sejny	54 06 35	23 20 30	401,989
16	A-KONO	ABS Konopnica	51 21 00	18 49 18	981 148,473
17	KONO-Ex1	Konopnica – kościół	51 21 15	18 49 45	147,245
18	KONO-Ex2	2406 Jasień	51 16 31	18 43 59	141,391
19	A-KOSZ	ABS Koszalin	54 11 12	16 11 51	981 425,038
20	KOSZ-Ex1	Koszalin – Politechnika	54 11 05	16 11 49	425,131
21	KOSZ-Ex2	2 Koszalin	54 12 29	16 09 28	429,875
22	A-KSIA	ABS Książ	50 50 36	16 17 42	981 050,682
23	KSIA-Ex1	351 Książ	50 50 36	16 17 42	049,860
24	KSIA-Ex2	Świebodzice – kościół	50 51 39	16 19 21	076,533
25	A-LAMK	ABS Lamkówko	53 53 28	20 40 11	981 377,622
26	LAMK-Ex1	Lamkówko – piwnica	53 53 28	20 40 14	377,983
27	LAMK-x2	Lamkówko – ogród	53 53 27	20 40 15	377,947
28	A-OJCO	ABS Ojców	50 13 10	19 48 12	981 014,406
29	OJCO-Ex1	Ojców – płyta	50 13 10	19 48 12	014,972
30	OJCO-Ex2	Skała – kościół	50 13 53	19 51 15	007,818
31	A-PIWN	ABS Piwnice	53 05 42	18 33 30	981 268,685
32	PIWN-Ex1	Piwn. – Paw. Drappera	53 05 46	18 33 26	267,568
33	PIWN-Ex2	Świerczynki – kościół	53 05 55	18 31 51	267,614
34	A-SIEN	ABS Sieniawa	50 10 15	22 36 54	981 039,469
35	SIEN-Ex1	Sieniawa – kościół	50 10 38	22 36 33	039,399
36	SIEN-Ex2	1806 Trynca	50 09 09	22 34 11	038,846

Przedstawioną na początku sieć przęseł osnowy podstawowej wyrównano w nawiązaniu do 12 wyżej opisanych punktów wzorca oraz do 3 punktów na terenie Niemiec. Uzyskano w rezultacie zbiór wartości g dla 354 punktów osnowy podstawowej, która stanowi jednorodną sieć pod względem poziomu grawimetrycznego i grawimetrycznej skali, jak również pod względem dokładności i konstrukcji.

LITERATURA

- [1] Arnautov G., 1978, *Dzienniki obliczeń wartości g na punktach Borowa Góra i Kraków*. Akademia Nauk ZSRR. Materiały znajdują się w IGiK.
- [2] Arnautov G., 1986, *Dziennik obliczeń wartości g na punkcie Gdańsk*. Akademia Nauk ZSRR. Materiały znajdują się w IGiK.
- [3] Boedecker G., 1998, *IGC-Working Group 2 – World Gravity Standard – Activity Reports 1995–1998*. BGI Bull. D'Inf., Nr 83, s. 25–27.
- [4] Cerutti G., De Maria P., De Sogus S., Mazzoleni F., Marson I., Velicogna I., 1997, *Absolute Gravimetry in the Central European Initiative, The Italian Contribution*. Reports on Geodesy, IGWiAG, Nr 3, s. 105–111.
- [5] Cisak M., Sas A., Siporski L., 1998, *Fundamentalny punkt podstawowej osnowy grawimetrycznej kraju w Borowej Górze*. Prace IGiK, T. XLV, Nr 96, s. 19–28.
- [6] Falk R., 1996, *Sprawozdanie z pomiarów absolutnych na punktach Borowa Góra, Koszalin, Borowiec i Książ*. IFAG. Materiały znajdują się w IGiK.
- [7] Mäkinen J., 1997, *Revised Results of the Polish-Finnish absolute gravity campaign of 1995*. FGI. Sprawozdanie z absolutnych pomiarów grawimetrycznych na punktach Borowa Góra, Piwnice i Konopnica. Materiały znajdują się w IGiK.
- [8] Stizza D., 1996, *Absolute Gravity Campaign – Poland 1996*. DMA. Sprawozdanie z absolutnych pomiarów grawimetrycznych na punktach Gdańsk, Borowa Góra, Ojców, Sieniawa i Białowieża. Materiały znajdują się w IGiK.
- [9] Timmen L., Wenzel H.G., 1994, worldwide Synthetic Gravity Tide Parameters Available on Internet; BGI Bull. d' Inf. Nr 75, s. 32–39
- [10] Ząbek Z., 1997, *Sprawozdanie z wykonania pomiarów przyspieszenia siły ciężkości grawimetrem balistycznym na czterech punktach absolutnych osnowy grawimetrycznej Polski z nawiązaniem do punktu fundamentalnego w Sèvres*. Materiały znajdują się w IGAIAG PW, Warszawa.
- [11] Ząbek Z., 1998, *Sprawozdanie z pomiarów na punktach Borowiec, Konopnica i Piwnice*. IGWiAG PW. Materiały znajdują się w IGiK.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Tadeusz Chojnicki

ANDRZEJ SAS-UHRYNOWSKI
MARIA CISAK

ABSOLUTE GRAVIMETRIC MEASUREMENTS IN POLAND

S u m m a r y

New basic gravimetric network in Poland was established between 1994 and 1999. It is based on 12 points, so-called absolute points; the measurements on these points were done with five ballistic gravimeters: FG 5-101, FG 5-107, JILAg 5, IMG C and ZZG. Absolute points were selected, according to recommendations of the International Gravimetric Commission, on the lowest floors of such buildings, as observatories, museums, schools, churches, etc. It gives a chance, that the absolute point will survive for at least several decades. The paper includes the detailed descriptions of all absolute points. The measurements were performed by German, American, Finnish, Italian and Polish teams. As results of measurements, done with the use of various gravimeters, differed on a few points even by 30 microgals, it was necessary to make their verification. The direct connecting measurements between absolute points were performed with the use of four LaCoste & Romberg gravimeters. The measurements were done on 25 so-called long spans (160–300 km). Results of absolute determinations and results of relative connections were jointly analysed. This analysis enabled to eliminate those gravimeters, which do not fulfil the assumed criteria of reliability – IMG C and ZZG. The remaining gravimeters: FG 5-101, FG 5-107 and JILAg 5, which did not differ in readouts more than 3 microgals, were found to be representatives of the international gravimetric standard. Their readouts were assumed as the standard for Polish gravimetric basic network. The results of relative measurements on 685 spans of network were adjusted to 12 absolute points and to 3 points on the territory of Germany. Finally set of values of gravity acceleration for 354 points of network was obtained. This network is homogeneous, as far as gravimetric level and gravimetric scale is concerned; it also fulfils accuracy and construction requirements.

Translation: Zbigniew Bochenek

" / "
МАРИЯ ЦИСАК

АБСОЛЮТНЫЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ПОЛЬШЕ

Резюме

В 1994–1999 годах была заложена в Польше новая гравиметрическая основа страны. Основа базируется на 12 пунктах, т.н. абсолютных пунктах, на которых были проведены измерения 5 баллистическими гравиметрами: GG 5-101, FG 5-107, JLA_g 5, IMGС и ZZG. Абсолютные пункты были выбраны, согласно с рекомендациями Международной гравиметрической комиссии, на самых низких этажах зданий таких как, обсерватории, музеи, школы, костёлы и т.д. Это даёт надежду, что абсолютный пункт продержится в ненарушенном состоянии, по крайней мере, несколько десятков лет. В работе дано подробное описание всех абсолютных пунктов. Измерения выполнялись коллективами: немецким, американским, финским, итальянским и польским. Так как на нескольких пунктах, на которых измерения повторялись разными гравиметрами, результаты отличались даже на 30 микрогалов, появилась необходимость проведения их проверки. С этой целью были выполнены непосредственные привязывающие измерения между абсолютными пунктами с помощью комплекта 4 гравиметров LaCoste & Romberg. Выполнены измерения на 25 т.н. длинных пролётах (160–300 км). Результаты абсолютных определений и результаты относительных привязок были подданы общему анализу, который дал возможность исключения гравиметров, не исполняющих принятых критериев надёжности – IMGС и ZZG. Остальные гравиметры: FG 5-101, FG 5-107 и JLA_g 5, показания которых не отличались больше чем 3 микрогала, были признаны представляющими международный гравиметрический стандарт. Их показатели были приняты в качестве образца (эталона) для польской гравиметрической основы. Результаты относительных измерений на 685 пролётах основы были уравнены с привязкой до 12 вышеуказанных абсолютных пунктов, а также до 3 пунктов на территории Германии. В результате был получен свод величин ускорения силы тяжести на 35 пунктах основы, которая является однородной сетью как с точки зрения гравитационного уровня и гравиметрического масштаба, так и с точки зрения точности и конструкции.

Перевод: Роза Толстикова