

ABSOLUTNE POMIARY GRAWIMETRYCZNE W POLSCE

A. Pachuta, M. Barlik, T. Olszak, D. Próchniewicz, R. Szpunar, J. Walo
Katedra Geodezji i Astronomii Geodezyjnej, Politechnika Warszawska

Wstęp

Współczesne pomiary grawimetryczne w dużym stopniu opierają się na wykorzystaniu obserwacji bezwzględnych. Dzieje się tak dlatego, że obserwacje absolutnej wartości natężenia siły ciężkości stały się, dzięki dostępności i mobilności grawimetrów absolutnych, dość łatwe do wykonania. Niestety, pomiary takie wymagają długotrwałych obserwacji na specjalnie do tego przygotowanych stanowiskach, nie są zatem technologią na tyle mobilną i szybką, aby znaleźć zastosowanie w obserwacjach na punktach osnowy niższej klasy, wszystkich punktach poligonów geodynamicznych lub służyć w geofizyce w pracach szczegółowego rozpoznania ziemskiego pola siły ciężkości. Z tego powodu przez długie lata istniała będzie jeszcze potrzeba współistnienia grawimetrycznych pomiarów bezwzględnych i względnych. Rola pomiarów bezwzględnych jest tu kilkuwartkowa, a mianowicie: zabezpieczenie precyzyjnego „poziomu” odniesienia na określoną epokę pomiarową; zapewnienie precyzyjnej skali przesłań do kalibracji grawimetrów względnych. Pomiarom względnym zostawia się pomiar różnic przyspieszenia względem punktu odniesienia do punktów szczegółowych. Takie rozwiązanie jest z punktu widzenia geodynamiki bardzo komfortowe, uwalniając interpretację od „dylematu” stałości punktu odniesienia. Jest to również rozwiązanie atrakcyjne z punktu widzenia ekonomiki rozwiązania, gdyż punkt odniesienia można ulokować w pobliżu poligonu badawczego oszczędzając tym samym czas i koszty związane z pomiarem różnicowym.

Oprócz aspektu geodynamicznego istnieją również inne zastosowania pomiarów grawimetrycznych, związane z praktyką inżynierskich pomiarów geodezyjnych. Do tego typu zastosowań należą: zabezpieczenia pomiarów niwelacyjnych związane z zakładaniem osnów podstawowych, wyznaczenie odstępów geoidy od elipsoidy, poszukiwania geofizyczne, monitorowanie kinematyki obiektów inżynierskich i inne. Dlatego założono podstawową osnowę grawimetryczną kraju zaliczaną, podobnie jak osnowa pozioma i pionowa, do osnów geodezyjnych.

Rys historyczny pomiarów grawimetrycznych w Polsce

Pierwsze pomiary grawimetryczne miały miejsce na ziemiach polskich w latach 1892-1903. Wykonane przez Sternecka, Birkermajera i Rudzkiego względne pomiary metodą wahadłową dowiązano do fundamentalnego wówczas stanowiska dla sieci Europejskiej w Wiedniu. Podobne prace prowadzono w zaborze rosyjskim dowiązując przesła do punktu w Pułkowie. W okresie między I i II wojną światową wykonano na ziemiach polskich około 100 obserwacji mających na celu założenie osnowy grawimetrycznej i rozpoznanie geofizyczne głównie w rejonie Centralnego Ośrodka Przemysłowego i w Zagłębiu Śląskim. Fundamentalnym punktem narodowej sieci grawimetrycznej był wówczas punkt w Głównym Urzędzie Miar. W czasie II wojny światowej niemiecki Instytut Geodezyjny w Poczdamie założył sieć kilkudziesięciu punktów związanych z systemem poczdamskim. Pierwsze pomiary absolutnej wartości przyspieszenia wykonano w Polsce w 1978 roku na punktach w Krakowie i Borowej Górze przez zespół specjalistów pod kierunkiem dr Arnautowa z Akademii Nauk b. ZSRR z Nowosybirsk za pomocą instrumentu GABL (Sas-Uhrynowski, 1998). Kolejny pomiar absolutny wykonany został przez ten sam zespół w 1986 roku w Gdańsku w laboratorium Uniwersytetu Gdańskiego. Następne pomiary absolutne w Polsce wykonane zostały w 1992 roku na 12 punktach dwoma grawimetrami skonstruowanymi przez Instytut „Metrologia”, z Charkowa. W pomiarach tych aktywny udział wzięli dr Szurubkin i dr Zanimonski. Pomiary te miały charakter eksperymentalny i wyniki nie zostały włączone do wyrównania sieci grawimetrycznej.

Założenie jednolitej osnowy grawimetrycznej dla terenu całego kraju zainicjował Państwowy Instytut Geologiczny w roku 1956. Struktura tej sieci objęła punkty I i II klasy oraz bazę do kalibracji grawimetrów sprężynowych. Sieć zakładana w latach pięćdziesiątych minionego wieku, związana z systemem IGSN71, stanowiła podstawę wyznaczeń grawimetrycznych do lat osiemdziesiątych (Bokun, 1985).

Sieć grawimetryczna w Polsce

Stanowiska zmodernizowanej podstawowej osnowy grawimetrycznej kraju (POGK) w Polsce zostały zastabilizowane w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku. W latach 1994–1998 osnowę grawimetryczną gruntownie zmodernizowano wyróżniając w jej strukturze sieć „0” rzędu – składającą się z punktów, na których zaplanowano pomiary za pomocą grawimetrów absolutnych oraz sieć I klasy, w której obserwacje nastąpiły przy użyciu grawimetrów względnych. Zaplanowano też dwie południkowo usytuowane linie kalibracyjne, powiązane z wybranymi punktami sieci „0” rzędu. Łącznie podstawowa osnowa grawimetryczna zawierała 366 punktów, z których:

- 12 punktów to punkty sieci „0” rzędu, rozmieszczone w myśl zaleceń International Gravimetric Commission (IGC) of the International Association of Geodesy (IAG) głównie w obserwatoriach astronomiczno-geodezyjnych, piwnicach pałaców itp.;

- 354 punkty to punkty sieci I klasy rozmieszczone równomiernie na terenie Polski (w większości trwale zastabilizowane za pomocą betonowych bloków o rozmiarach 0,8x0,8x1,0 m),

- dwie bazy kalibracyjne poprowadzone są pomiędzy punktami absolutnymi:

- ✓ Gdańsk – Borowa Góra – Ojców (baza centralna),

- ✓ Koszalin – Borowiec – Książ (baza zachodnia).

W okresie tej modernizacji sieci nie było w Polsce odpowiedniej klasy dokładności grawimetru absolutnego i dlatego większość pomiarów w polskiej sieci grawimetrycznej wykonały zespoły z Niemiec, Finlandii i Stanów Zjednoczonych trzema grawimetrami balistycznymi, a mianowicie:

- FG5 No. 101 (IfAG, Niemcy, cztery punkty),

- JILAG-5 (FGI, Finlandia, trzy punkty),

- FG5 No. 107 (DMA, USA, pięć punktów).

Ponadto, w 1996 roku wykonano pomiary grawimetrem produkcji włoskiej IMGIC na punktach w Lamkówku i w Borowcu, a na przełomie lat 1997/1998 w pomiarach uczestniczył prototypowy polski grawimetr ZZG (Zbigniew Zabek Gravimeter – Politechnika Warszawska), którym wykonano obserwacje na punktach Giby, Lamkówko i Borowa Góra.

W sumie, w pomiarach uczestniczyło pięć różnych egzemplarzy grawimetrów absolutnych, za pomocą których wykonano pomiary na 12 punktach. W celu zagwarantowania wspólnego poziomu odniesienia, wszystkie grawimetry były kalibrowane w czasie czwartej i piątej międzynarodowej kampanii kalibracyjnej (ICAG) w Sévres pod Paryżem, w latach 1994 i 1997.

Program modernizacji podstawowej osnowy grawimetrycznej obejmował wykonanie także pomiarów grawimetrami statycznymi (względny) między punktami sieci I klasy. W sumie pomierzono wartości różnic przyspieszenia siły ciężkości na 674 przęśłach grawimetrycznych. Sieć I klasy została wstępnie wyrównana w maju 1998 roku w nawiązaniu do wartości ciężkości na 6 „sprawdzonych” pomierzonych polskich punktach absolutnych – Koszalin, Borowiec, Książ, Gdańsk, Borowa Góra i Ojców (Siporski, 1998). Sieć ta zawierała w sumie 357 punktów, dla której wyznaczono w wyniku pomiaru i wyrównania wartości przyspieszenia siły ciężkości. Następne wyrównanie sieci obejmowało już 12 punktów absolutnych (dodatkowo Piwnice, Konopnica, Białowieża, Sieniawa, Lamówko, Józefosław). Jednak nie wszystkie zamierzenia modernizacyjne i zalecenia IGC zostały dotychczas zrealizowane. Na zaprojektowanych 17 punktach absolutnych nie wykonano bezwzględnych pomiarów na pięciu punktach: Łągow i Szczecin (położonych blisko granicy z Niemcami) oraz Józefosław, Święty Krzyż i Grybów (należących także do sieci geodynamicznej SAGET). Ponadto, pomiary absolutne wykonywane były pięcioma egzemplarzami różnych marek grawimetrów, co mogło zakłócić jednolitość informacji w sieci krajowej.

Pod koniec lat 90-tych XX wieku realizowany był na terenie Europy Środkowej projekt UNIGRACE zmierzający do unifikacji absolutnych pomiarów grawimetrycznych (Śledziński 1998). W ramach tego projektu wykonano pomiary absolutne w Polsce na punktach w Józefosławiu i Krokowej (Władysławowo). W Józefosławiu pomiary wykonywane były za pomocą 5 grawimetrów absolutnych – JILAG-6 (Austria), JILAG-5 (Finlandia, FG5-101 (Niemcy), IMGIC (Włochy), ZZG (Polska) – rys.1 a w Krokowej dwoma grawimetrami absolutnymi JILAG-5 i ZZG. Ten sam grawimetr absolutny JILAG-5 wykorzystany został przez Makinena w 2006 roku do pomiaru absolutnego na Kasprowym Wierchu w celu modernizacji południkowej bazy kalibracyjnej .

Nie zostało wypełnione jedno z zaleceń IGC, która rekomenduje gęstość punktów absolutnych na poziomie jednego punktu na 15000 km². Przy takim założeniu w polskiej sieci grawimetrycznej powinno być co najmniej 20 stanowisk wyznaczeń bezwzględnych wartości przyspieszenia siły ciężkości.

Modernizacja sieci grawimetrycznej

Od roku 2006 Politechnika Warszawska i Instytut Geodezji i Kartografii zainicjowały prace związane z modernizacją Podstawowej Osnowy Grawimetrycznej Kraju skupiając swoją uwagę na zagęszczeniu punktów absolutnych. W ramach modernizacji sieci punktów absolutnych przewidziano:

- zagęszczenie sieci punktów absolutnych o dodatkowych pięć stanowisk,
- projekt modernizacji dwóch baz kalibracyjnych – centralnej i zachodniej zakładający „oparcie” przeseł bazy jedynie o punkty wyznaczeń absolutnych,
- wyznaczenie absolutnej wartości przyspieszenia na istniejących punktach absolutnych.

Harmonogram prac obejmował lata 2006-2009 i do roku 2008 został częściowo zrealizowany w ramach konsorcjum Instytutu Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej i Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie. Do końca roku 2008 zrealizowano fragment projektu dotyczącego modernizacji bazy centralnej i wschodniej części sieci absolutnej. Szkic zmodernizowanej sieci przedstawiono na rysunku nr 2.

Pomiary grawimetryczne w badaniu geodynamiki obszaru Polski

Precyzyjne absolutne obserwacje przyspieszenia siły ciężkości umożliwiają niezależne i pośrednie wyznaczenia weryfikujące zmiany pionowej współrzędnej stacji. Niezależność od geometrycznych technik wyznaczeń pozycji czyni z grawimetrii bardzo cenne dodatkowe źródło spostrzeżeń. Współczesne grawimetry absolutne umożliwiają wyznaczenie przyspieszenia siły ciężkości z błędem całkowitym szacowanym na ok. ± 20 nms⁻². Przyjmuje się, iż zmiana przyspieszenia siły ciężkości o 10 nms⁻² ma miejsce dla 3-5 mm zmiany wysokości stanowiska (*Jachens, 1978*). Interpretacja danych grawimetrycznych nie ma jednakże tak natychmiastowego wpływu na powtarzalność wartości przyspieszenia, gdyż w grę wchodzi bowiem kilka innych czynników związanych z najbliższym otoczeniem punktu oraz z samym instrumentem. Czynniki instrumentalne związane są z zapewnieniem poprawności i stabilności odtwarzanej przez grawimetr absolutny jednostki przyspieszenia siły ciężkości. Do tego celu interferometry i zegary, w które są wyposażone grawimetry absolutne, komparuje się w narodowych biurach miar i wag, ale częściej spotykane są mitingi komparacyjne, w których wykonywane są synchroniczne obserwacje wieloma grawimetrami absolutnymi. Ostatnie tego typu kappanie kalibracyjne odbyły się w Paryżu (2005) i Luksemburgu (2007). Zaleca się, aby takie obserwacje wykonywane były nie rzadziej, niż co dwa lata. Kolejnym źródłem niegeodynamicznych zmian obserwowanego przyspieszenia siły ciężkości mogą być czynniki środowiskowe do których możemy zaliczyć: zmiany ciśnienia atmosferycznego, zmiany wilgotności gruntu wokół stanowiska pomiarowego, zmiany poziomu wód gruntowych itp.. Efekty związane ze zmianami gęstości gruntu wokół stanowiska są zwykle najbardziej dominującymi czynnikami, których wyeliminowanie musi poprzedzać interpretację geodynamiczną. Użyteczność pomiarów grawimetrycznych w interpretacji ruchów pionowych potwierdza wiele analiz ciągów obserwacyjnych GPS i absolutnych pomiarów grawimetrycznych lub w pracach związanych z obserwacją ruchów pionowych półwyspu skandynawskiego (*Wilmes H. i inni, 2005*).

W Polsce od lat dziewięćdziesiątych minionego wieku założonych zostało kilka poligonów geodynamicznych na których pracownicy Katedry Geodezji i Astronomii Geodezyjnej prowadzą pomiary metodami grawimetrycznymi. Prace takie prowadzone są:

- przez Instytut Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej w rejonie pienińskiego pasa skałkowego – sieć grawimetryczna towarzyszy tam badaniom związanym z ruchami pionowymi i poziomymi wykonywanymi metodami satelitarno-niwelacyjnymi;
- przez Instytut Geodezji i Geomatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w rejonie Sudetów – grawimetria jest tu również jedną z kilku metod badawczych;
- przez Zakład Geofizyki Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie w rejonie fliszu karpackiego.

Prowadzone są również prace związane z geodynamicznym wykorzystaniem obserwacji absolutnej wartości przyspieszenia. Precyzyjne wyznaczenia ciężkości metodami balistycznymi wykonywane były od lat dziewięćdziesiątych dla celów zakładania podstawowej osnowy grawimetrycznej oraz monitorowania zjawisk geodynamicznych. Obserwację te stanowią dziś początek szeregów czasowych zmian absolutnej wartości przyspieszenia kontynuowanych do dziś. Prace takie prowadzi się na wybranych stanowiskach reprezentatywnych dla głównych struktur geologicznych Polski (Barlik, 2008). Od roku 2006 rozpoczęto również projekt monitorowania zmian absolutnej wartości przyspieszenia dla permanentnych stacji GNSS pracujących w ramach służb EPN i IGS (Walo, 2007). Projekty te, prowadzone przez Katedrę Geodezji i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej, realizowane są przy użyciu jedyne w Polsce grawimetru balistycznego FG5 nr 230. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowo lokalizację nowych punktów absolutnych na obszarze poligonów geodynamicznych w Sudetach.

Literatura

1. Barlik M., Monitorowanie długookresowych zmian bezwzględnego natężenia siły ciężkości na terytorium Polski, Materiały XX Jesiennej Szkoły Geodezyjnej, Polanica Zdrój 2007, Uniwersytet Przyrodniczy Wrocław, 2008.
2. Bokun J., Sas A.; Rys historyczny prac nad utworzeniem podstawowej osnowy grawimetrycznej dla potrzeb geodezji. Przegląd Geodezyjny nr 1/1985.
3. Jachens, R. C.; Temporal gravity changes as applied to studies of crustal deformation. U.S. Geological Survey Openfile Report 79–370. – P. 222–243, 1978.
4. Sas-Uhrynowski A. Pomiar absolutny na podstawowej osnowie grawimetrycznej kraju – materiały VI Sympozjum “Współczesne problemy podstawowych sieci geodezyjnych”; Warszawa, 3–4.09.1998.
5. Siporski L. Wyrównanie wyników pomiarów nowej podstawowej osnowy grawimetrycznej kraju (POGK97) – materiały VI Sympozjum “Współczesne problemy podstawowych sieci geodezyjnych”; Warszawa, 3–4.09.1998.
6. Śledziński J. Proceedings of the 1st UNIGRACE working conference Frankfurt/Main, Germany, 2-3 February 1998 – Reports on Geodesy No 2(32), 1998.
7. Wilmes H., Richter B., Ihde J. Contribution of Gravity to the ECGN // EUREF Publication, No. 13, Symposium Toledo, 4–7 June 2003, in Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt a.M., Band 33. – P.186–189.
8. Wilmes H., Falk R., Klopffing F., Roland E., Lothhammer A., Reinhold A., Richter B., Plag H-P., Mäkinen J.: Fennoscandian Uplift Observed with Absolute Gravity Measurements in the Period 1991 to 2003. European Geosciences Union, Wiedeń, 2005.
9. Walo J.; Project of Unification Gravimetric Reference Frame for Polish GNSS Stations and Geodynamic Test Fields, Materiały międzynarodowej konferencji grawimetrycznej. St. Petersburg VIII. 2007.
10. Ząbek Z. The transportable ballistic gravimeter ZZG. Reports on Geodesy.

Абсолютні гравіметричні вимірювання в Польщі

А. Пахута, М. Барлик, Т. Ольсжак, Д. Пручнейвіч, Р. Шпунар, Я. Вало

Наведений аналіз результатів абсолютних гравіметричних визначень в Польщі.

Абсолютные гравиметрические измерения в Польше

А. Пахута, М. Барлик, Т. Ольсжак, Д. Пручнейвич, Р. Шпунар, Я. Вало

Приведен анализ результатов абсолютных гравиметрических определений в Польше.

Absolute gravimetric measurements in Poland

A. Pachuta, M. Barlik, T. Olsghak, D. Pruchnejvich, R. Szpunar, Ja. Walo

The analysis of results of gravimetric measurements when researches of geodynamic of Poland territories is presented in the paper.