

JEDNOLITY SYSTEM GRAWIMETRYCZNEGO ODNIESIENIA POLSKICH STACJI PERMANENTNYCH GNSS I POLIGONÓW GEODYNAMICZNYCH – CZEŚĆ DOLNOŚLĄSKA

Tomasz Olszak², Andrzej Pachuta², Dominik Próchniewicz²,
Ryszard Szpunar², Marek Trojanowicz¹, Janusz Walo²

¹ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

² Politechnika Warszawska

Streszczenie. W latach 2006–2007 założono na obszarze Polski sieć punktów bezwzględnych pomiarów grawimetrycznych stanowiącą system grawimetrycznego odniesienia polskich stacji permanentnych GNSS i poligonów geodynamicznych. Dolnośląska część tego systemu składa się z pięciu punktów położonych w miejscowościach: Wrocław, Kłodzko, Janowice Wielkie, Lubiąż i Świebodzice. W niniejszej pracy szczegółowo omówiono położenie punktów Wrocław, Kłodzko, Janowice i Lubiąż, sposób ich stabilizacji oraz wyniki pierwszych pomiarów zrealizowanych na tych punktach.

Słowa kluczowe: geodynamika Dolnego Śląska, pomiary grawimetryczne

WSTĘP

Południowo-zachodnia Polska, w tym szczególnie Dolny Śląsk, charakteryzuje się bardzo skomplikowaną i złożoną budową tektoniczną. Wydzielone szeregiem głębokich dyslokacji jednostki tektoniczne tego obszaru są wciąż obiektem badań specjalistów z wielu dziedzin, a sporo pytań dotyczących przede wszystkim ewolucji poszczególnych struktur, zwłaszcza obszaru Sudetów i Przedsudecia, wciąż czeka na odpowiedź [Stupnicka 2007]. Elementem tych badań są prowadzone od lat siedemdziesiątych XX w., pomiary geodezyjne na poligonach geodynamicznych i sieciach badawczych tego obszaru. W skład szerokiego spektrum metod i technik pomiarowych stosowanych w tych sieciach wchodzi powtarzalne pomiary grawimetryczne, wykonywane na punktach obserwacyjnych. Pomiary te odnoszone są do punktów Podstawowej Osnowy Grawimetrycznej Kraju. Ogromny rozwój badań geodynamicznych, zauważalny nie tylko w Polsce, skłania jednak do stworzenia niezależnego systemu odniesienia dla

Adres do korespondencji – Corresponding author: Tomasz Olszak, Katedra Geodezji i Astronomii Geodezyjnej, Politechnika Warszawska, Pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa, e-mail: t.olszak@gik.pw.edu.pl

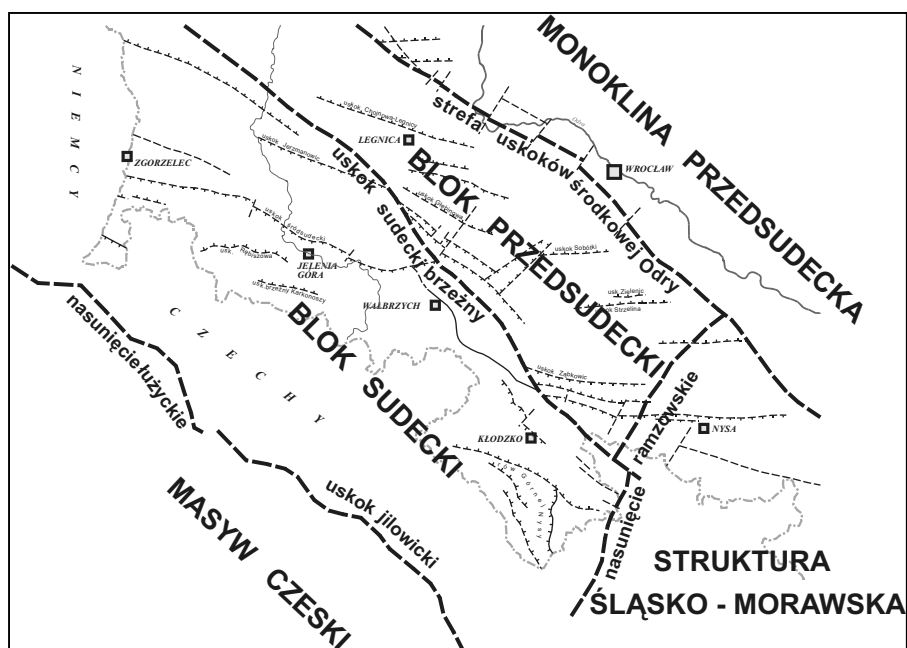
pomiarów grawimetrycznych prowadzonych w ramach tych badań. Prace nad stworzeniem takiego systemu prowadzone są w Polsce od 2006 r. w ramach projektu MNiSW nr 4 T12E 037 30. Część dolnośląską tego systemu prezentujemy w niniejszej publikacji.

CHARAKTERYSTYKA GŁÓWNYCH STRUKTUR TEKTONICZNYCH POŁUDNIOWO-ZACHODNIEJ POLSKI

Obszar południowo-zachodniej Polski jest w całości położony na platformie paleozoicznej Europy Zachodniej i Środkowej, będąc jednocześnie najbardziej wysuniętym na wschód jej fragmentem [Mizerski 2005]. Na tym obszarze wyróżnia się trzy spośród kilkunastu głównych jednostek tektonicznych Polski. Są to blok dolnośląski, struktura śląsko-morawska i monoklina przedsudecka (rys. 1). Całą południowo-zachodnią część tego obszaru zajmuje blok dolnośląski, który oddzielony jest na północnym-wschodzie od monokliny przedsudeckiej strefą głębokich uskoków środkowej Odry. Wzdłuż uskoku ramzowskiego graniczy od wschodu ze strukturą śląsko-morawską, a od południa jest ograniczony masywem czeskim wzdłuż nasunięcia łużyckiego i uskoku jilowickiego. Na zachodzie blok dolnośląski rozciąga się do granicy z Niemcami, sięgając masywu łużyckiego [Stupnicka 2007]. Głównymi jednostkami tektonicznymi bloku dolnośląskiego są oddzielone od siebie uskokiem sudeckim brzeżnym, blok przedsudecki i blok sudecki (rys. 1) [Mizerski 2005].

Ogólnie, w obrębie bloku dolnośląskiego wyróżnia się szereg mniejszych jednostek o różnych cechach budowy geologicznej, wydzielonych najprawdopodobniej bardzo starymi i sięgającymi głęboko w skorupę ziemską dyslokacjami. Z tego powodu budowa geologiczna tego bloku określana jest jako mozaikowa [Stupnicka 2007]. Taką mozaikową budowę blok dolnośląski zawdzięcza bardzo złożonym i wieloetapowym procesom tektonicznym, którym towarzyszył silny magmatyzm i metamorfizm [Oberc 1972].

Ostatecznie jednostki tektoniczne tego bloku zostały uformowane w czasie ruchów waryscyjskich. Po denudacji orogenu waryscyjskiego i jego przedpoła, począwszy od późnego karbonu przez perm i mezozoik, obszar ten tworzył wraz z obszarem całej Polski jeden basen sedymentacyjny. Powstałe w tym okresie lądowe i morskie osady zostały odsłonięte dopiero w wyniku ruchów laramijskich, na przełomie kredy i kenozoiku. W wyniku tego wypiętrzenia całego obszaru powstały młodsze jednostki tektoniczne Polski, m.in. monoklina przedsudecka. Późniejsza erozja odsłoniła duże fragmenty starszego podłoża waryscyjskiego, którego widocznym dzisiaj na powierzchni fragmentem są Sudety [Mizerski 2005]. Sudety, jako górską część bloku dolnośląskiego, ostatecznie zostały ukształtowane w okresie trzeciorzędowych ruchów tektonicznych.



Rys. 1. Główne jednostki tektoniczne południowo-zachodniej Polski

Fig. 1. Primary tectonic units in the South-West of Poland

Struktura śląsko-morawska od zachodu graniczy z blokiem dolnośląskim i masywem czeskim, od południowego-wschodu ograniczona jest nasunięciem Karpat, natomiast północno-wschodnią granicę stanowią podkredowe i podtrzeciorzędowe wychodne skał monokliny przedsudeckiej i krakowsko-częstochowskiej [Stupnicka 2007]. Na obszarze Polski znajduje się jedynie północny fragment tej struktury. W obrębie struktury śląsko-morawskiej wyróżnia się blok Sudetów Wschodnich oraz strefę kulmową [Mizerski 2005]. Warto zaznaczyć, że granice geograficzne Sudetów jako całości nie pokrywają się z granicami jednostek tektonicznych. Sudety Zachodnie i Sudety Środkowe należą do bloku Sudeckiego, natomiast Sudety Wschodnie, jak wspomniano wyżej, są częścią struktury śląsko-morawskiej.

Monoklina przedsudecka stanowi część niecki szczecińsko-łódzko-miechowskiej. Na południowym wschodzie przechodzi w monoklinę krakowsko-częstochowską, od południowego-zachodu graniczy z blokiem dolnośląskim, natomiast północną jej granicę wyznacza linia biegnąca przez Niemodlin, Strzelce Opolskie, Lubliniec w stronę Częstochowy [Stupnicka 2007].

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA POLIGONÓW GEODYNAMICZNYCH NA OBSZARZE POŁUDNIOWO-ZACHODNIEJ POLSKI

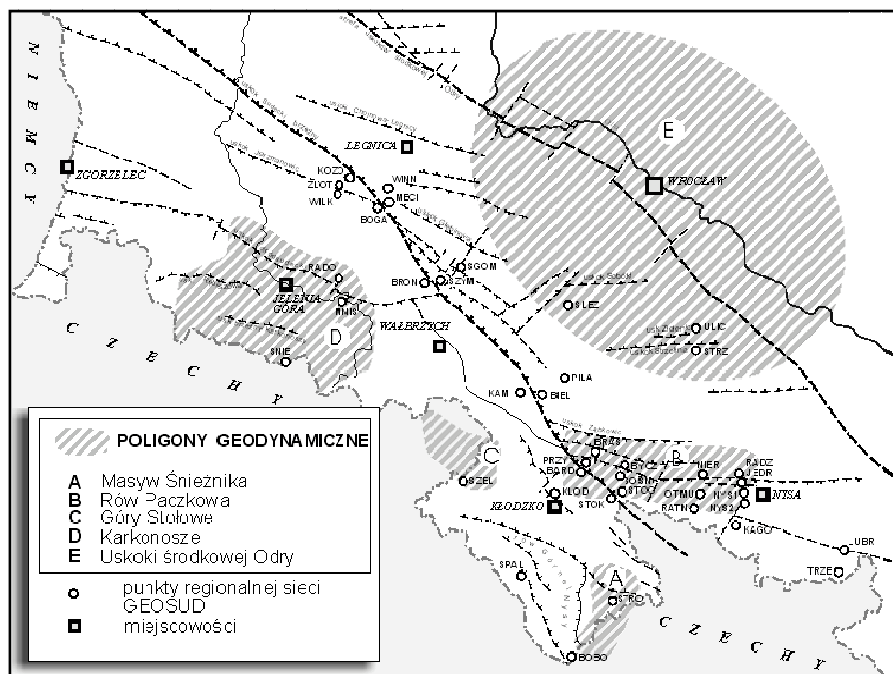
Rejon południowo-zachodniej Polski charakteryzuje się dosyć skomplikowaną i złożoną budową tektoniczną. Część głębokich dyslokacji, wydzielających jednostki tektoniczne tego obszaru, jest wciąż aktywna. Badanie tej aktywności, z uwagi na loka-

lizację niektórych obiektów inżynierskich, jest istotne nie tylko z naukowego punktu widzenia [Kontny 2003] i wymaga stosowania szerokiego spektrum metod badawczych, które ogólnie podzielić można na dwie grupy [Liszkowski 1976]:

- Metody bezpośrednie, oparte niemal wyłącznie na różnych technikach pomiarowych szeroko rozumianej geodezji. W metodach tych pomiarowi bezpośrednio podlegają przemieszczenia i czas. Wyróżnić tu można głównie: pomiary mareograficzne, pomiary ekstensometryczne, powtarzalne pomiary kątowno-liniowe i niwelacyjne, astronomiczne i kosmiczne techniki pomiarowe oraz pomiary satelitarne.
- Metody pośrednie, w których przemieszczenia i czas wyznaczane są w sposób pośredni. W szczególności wyróżnić tu można metody geologiczne i geomorfologiczne, metody geofizyczne (w tym metody sejsmiczne, paleomagnetyczne, grawimetryczne i elektrooporowe), metody oparte na ilościowej i jakościowej analizie obrazów satelitarnych i kartograficznych.

Badania geodynamiczne metodami geodezyjnymi prowadzone są w Sudetach i na terenie Przedsudecia już od lat siedemdziesiątych XX wieku. Pierwotnie prace pomiarowe prowadzone były technikami klasycznymi. Od roku 1992 dominującą techniką pomiarową stały się pomiary satelitarne GPS, uzupełniane w zależności od specyfiki sieci okresowymi, powtarzalnymi pomiarami grawimetrycznymi, pomiarami zmian pochylenia słupów obserwacyjnych i innymi. Poniżej przedstawiono ogólną charakterystykę sieci założonych i obserwowanych w tym rejonie do dnia ukazania się niniejszego opracowania.

- Poligon geodynamiczny „Masyw Śnieżnika” jest siecią składającą się z 27 punktów usytuowanych w rejonie masywu Śnieżnika Kłodzkiego (rys. 2). Na terytorium Republiki Czeskiej znajduje się 11 punktów, natomiast na obszarze Polski 16 [Cacoń i in. 1996]. Od roku 1992 prowadzone są tam pomiary satelitarne GPS, pomiary grawimetryczne [Barlik, Cacoń 1999] oraz pomiary pochylenia słupów obserwacyjnych. W latach 1992 i 1993 przeprowadzono pomiary całej sieci. Polska część została pomierzona jeszcze w latach 1996, 1997 oraz 2001. Od roku 2008 przewidziane do realizacji są kolejne trzy kampanie pomiarowe tej sieci.
- Poligon geodynamiczny „Rów Paczkowa” składa się z 15 punktów rozmieszczonych w rejonie zbiorników wodnych Nysa i Otmuchów (rys. 2), leżących na obszarze aktywnego rowu tektonicznego [Cacoń, Dyjor 1995], [Cacoń i in. 1998]. W latach 1993–2001 zrealizowano 6 kampanii pomiarowych polegających na obserwacjach satelitarnych GPS i grawimetrycznych.



Rys. 2. Poligony geodynamiczne i sieci badawcze Dolnego Śląska

Fig. 2. Geodynamic networks of Lower Silesia

- Poligon geodynamiczny „Góry Stołowe” jest siecią, która składa się z 10 punktów (rys. 2) zlokalizowanych głównie po stronie czeskiej Gór Stołowych (8 punktów). Polską część sieci stanowią dwa punkty mikrosieci badawczej „Szczeliniec”. W latach 1993–2002 zrealizowano cztery kampanie pomiarowe sieci „Góry Stołowe”, polegające na pomiarach satelitarnych i grawimetrycznych [Barlik, Cacoń 2001].
- Sieci geodynamiczna GEOSUD składa się z wybranych punktów poligonów badawczych „Masyw Śnieżnika”, „Rów Paczkowa” i „Góry Stołowe” oraz punktów nowych [Cacoń i in. 1998] (rys. 2). Od roku 1996 prowadzone są prace pomiarowe tej sieci polegające na obserwacjach satelitarnych oraz grawimetrycznych. Sieć ta powiązana została także z siecią stacji permanentnych EUREF-EPN [Kontny 2003]. W celu włączenia do obliczenia tej sieci najbliższych stacji EPN zaprojektowano również specjalną strategię opracowania danych lokalnych GPS w nawiązaniu do stacji permanentnych [Bosy, Kontny 1998].
- Sieć GEOSUD powiązana została w roku 1997 z czeską siecią SILESIA obejmującą północną część regionu morawsko-śląskiego. Sieć SILESIA oraz wybrane punkty sieci GEOSUD utworzyły sieć SUDETY. Od września 1997 roku prowadzone są coroczne, dwudobowe obserwacje GPS na punktach sieci SUDETY.

- Sieć geodynamiczną „Karkonosze” założono w roku 2000. Sieć składa się z 19 punktów i obejmuje swym zasięgiem rejon Karkonoszy, Kotliny Jeleniogórskiej i Gór Kaczawskich [Małowski i in. 2002] (rys. 2). Sieć pomierzono dwukrotnie w latach 2001 i 2002 [Kontny i in. 2002].
- Wiosną roku 2008 rozpoczęto budowę kolejnej sieci geodynamicznej na Dolnym Śląsku. Zadaniem tej sieci, składającej się z 17 punktów, jest monitorowanie aktywności tektonicznej w strefie uskoków środkowej Odry. Obszar monitoringu zaznaczono na rysunku 2. Wstępnie planowane są trzy kampanie pomiarowe tej sieci.

Na obszarze Dolnego Śląska istnieje jeszcze kilka innych sieci powtarzalnych pomiarów GPS. Są to: sieć Kopalni Węgla Brunatnego „Turów” w Bogatyni, sieć Lubińsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM), mikrosieć badawcza w rejonie zapory wodnej w Dobromierzu oraz sieć niwelacji satelitarnej Wrocławia, dla której zrealizowano dwie kampanie pomiarowe w latach 1998 i 2002.

W sumie, poza sieciami KWB „Turów” oraz LGOM, na obszarze Dolnego Śląska zlokalizowanych jest ok. 90 punktów obserwacyjnych wchodzących w skład sieci mierzonych w ramach różnych programów badawczych. Podstawowymi obserwacjami realizowanymi na tych punktach są pomiary satelitarne GPS oraz pomiary grawimetryczne, wykonywane w oparciu o punkty POGK. Szeroki zakres prowadzonych prac pomiarowych zmusza jednak do ustalenia jednolitego systemu odniesienia grawimetrycznego tych pomiarów. System taki został opracowany i zbudowany w ramach projektu „Jednolity system grawimetrycznego odniesienia polskich stacji permanentnych GNSS i poligonów geodynamicznych”. Dolnośląska część tego systemu jest prezentowana w kolejnych punktach.

DOLNOŚLĄSKA CZĘŚĆ JEDNOLITEGO SYSTEMU GRAWIMETRYCZNEGO ODNIESIENIA POLSKICH STACJI PERMANENTNYCH GNSS I POLIGONÓW GEODYNAMICZNYCH

W skład dolnośląskiej części jednolitego systemu grawimetrycznego odniesienia polskich stacji permanentnych GNSS i poligonów geodynamicznych wchodzi 5 punktów bezwzględnych pomiarów grawimetrycznych: *WROCLAW*, *KŁODZKO*, *JANOWICE*, *LUBIĄŻ* i *KŚIĄŻ*.

Punkt *WROCLAW* jest punktem grawimetrycznym stacji GNSS o nazwie *WROC*, która realizuje permanentne obserwacje GPS/GLONASS także w systemie stacji EPN, natomiast punkt *KŚIĄŻ* jest punktem Podstawowej Osnowy Grawimetrycznej Kraju (POGK). Podstawową funkcją pozostałych punktów jest stworzenie jednolitego systemu odniesienia grawimetrycznego dla badań geodynamicznych prowadzonych na Dolnym Śląsku. Dla każdego z tych punktów zaprojektowano i zastabilizowano łatwo dostępny punkt ekscentryczny. Ogólne położenie punktów prezentuje rysunek 3.

Wyboru położenia punktów dokonano, biorąc pod uwagę trzy podstawowe czynniki. Pierwszym z nich jest przewidywana stabilność wartości przyspieszenia siły ciężkości, drugim techniczne możliwości realizacji pomiarów na punkcie, trzecim zaś rozmieszczenie istniejących i projektowanych sieci do badań geodynamicznych na obszarze Dolnego Śląska.

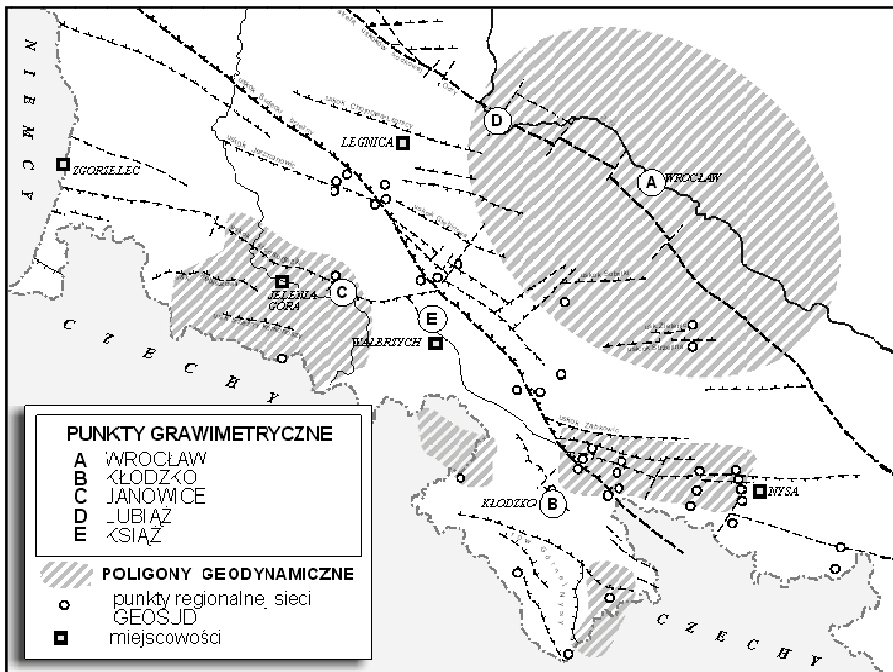
W dalszej części pracy przedstawiony został szczegółowy opis stabilizacji oraz położenia wyżej wymienionych punktów z wyjątkiem punktu *KŚIĄŻ*, który z uwagi na

swoje położenie i znaczenie w badaniach geofizycznych wymaga oddzielnego szerszego opracowania.

SZCZEGÓŁOWY OPIS POŁOŻENIA I STABILIZACJI PUNKTÓW

WROCLAW

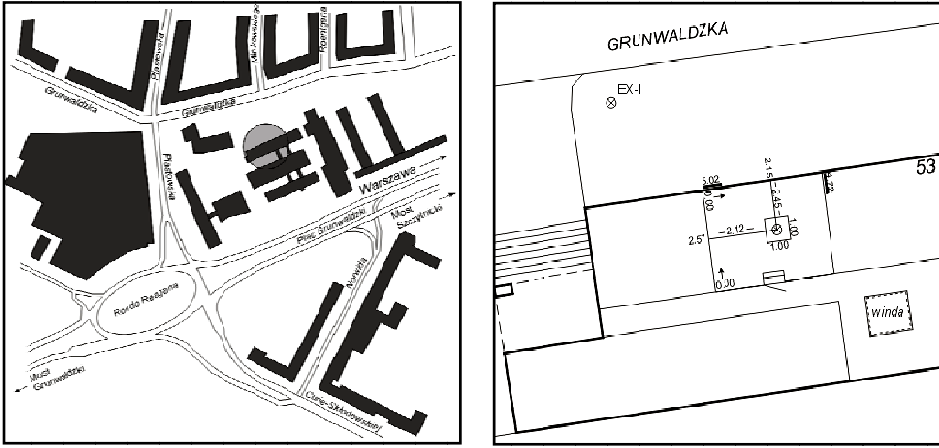
Punkt *WROCLAW* znajduje się w budynku Instytutu Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, przy ul. Grunwaldzkiej 53 (na dachu tego budynku umieszczony jest punkt permanentnych obserwacji GNSS *WROC*), w sali 09G. Jest to pomieszczenie znajdujące się w piwnicy budynku, obecnie wyłączone z zajęć dydaktycznych. Punkt ten został zastabilizowany w 2003 r. jako blok betonowy o wymiarach 100x100x100 cm z bolcem metalowym. Blok posadowiono na słupie betonowym o średnicy 30 cm, sięgającym do głębokości 4 m od poziomu posadzki. Punkt jest zabezpieczony metalową pokrywą.



Rys. 3. Położenie punktów dolnośląskiej części jednolitego systemu grawimetrycznego odniesienia polskich stacji permanentnych GNSS i poligonów geodynamicznych

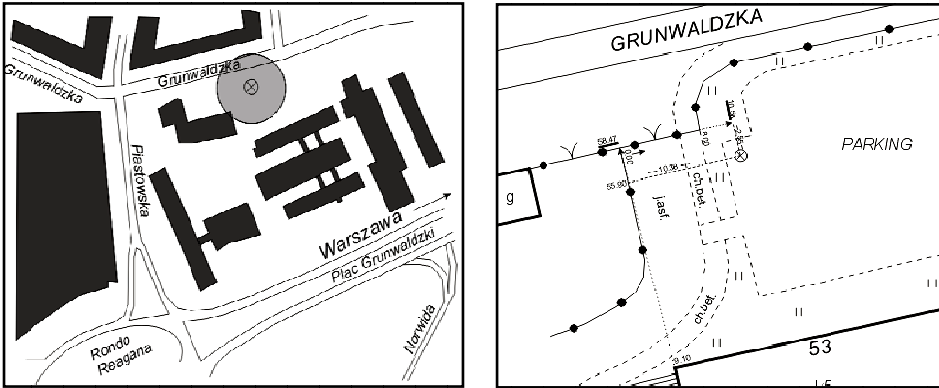
Fig. 3. Location of the gravity station of Lower Silesian part of the unified gravity reference system of Polish permanent GNSS network and geodynamic networks

Szczegółowa lokalizacja punktu przedstawiona jest na rysunku 4.



Rys. 4. Lokalizacja punktu *WROCLAW*
Fig. 4. Location of *WROCLAW* station

Jako punkt ekscentryczny punktu *WROCLAW* wybrany został jeden z punktów geodezyjnej sieci testowej założonej w pobliżu budynku przy ul. Grunwaldzkiej 53. Lokalizację tego punktu, o nazwie *WROCLAW EX1*, przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Lokalizacja punktu *WROCLAW EX1*
Fig. 5. Location of *WROCLAW EX1* station

Niżej przedstawione są fotografie punktu *WROCLAW* oraz jego punktu ekscentrycznego (fot. 1a,b).



Fot. 1. Fotografie punktu *WROCLAW* (a) i punktu *WROCLAW EXI* (b)
 Phot. 1. Photos of stations *WROCLAW* (a) and *WROCLAW EXI* (b)

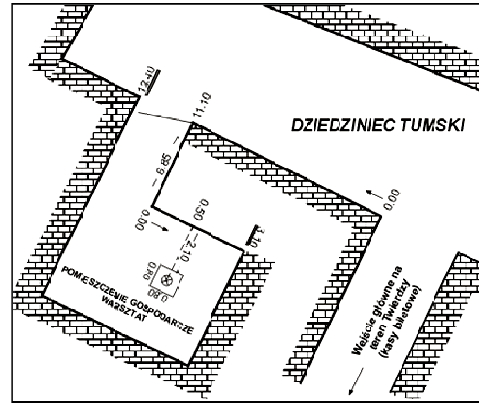
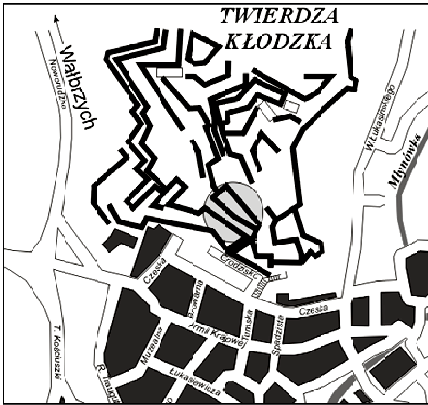
KŁODZKO

Punkt *KŁODZKO* znajduje się na terenie Twierdzy w Kłodzku przy ul. Grodzisko 1, w pomieszczeniu gospodarczym obok Muzeum Pożarnictwa. Ze względu na brak możliwości wykonania pełnej (tzw. w postaci prostopadłościennego bloku betonowego) stabilizacji, zdecydowano się na umieszczenie w posadzce pomieszczenia gospodarczego – metalowego bolca o długości 10 cm. Część posadzki stanowiąca kwadrat o wymiarach 80x80 cm, w środku której znajduje się punkt, oddzielona została od pozostałej części posadzki dylatacją o szerokości 5 mm i głębokości ok. 8 cm. Taka głębokość dylatacji nie zapewniła jednak całkowitego odizolowania punktu od pozostałej części podłogi. Jest to spowodowane grubością i budową posadzki tego pomieszczenia. Pod posadzką betonową, która została całkowicie przecięta, znajduje się jeszcze posadzka ceglana, której ze względu na ograniczenia techniczne nie udało się przeciąć na całej jej grubości. Stąd obszar wokół punktu nie jest całkowicie odizolowany od pozostałej części podłogi.

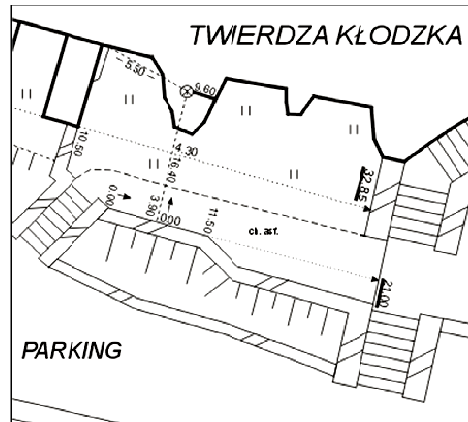
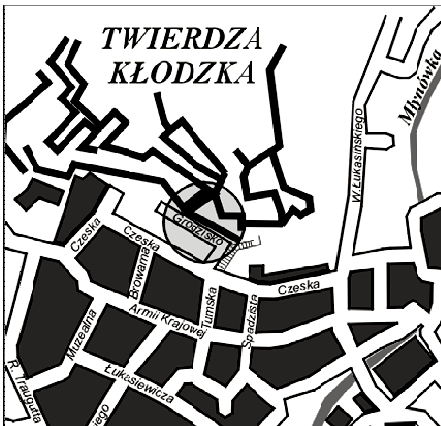
Szczegóły lokalizacji punktu przedstawia rysunek 6.

Lokalizacja punktu oraz sposób stabilizacji wynikały głównie z wymogów technicznych bezwzględnych pomiarów grawimetrycznych (pomieszczenie zamknięte, dostęp do energii elektrycznej), których nie spełniały inne, proponowane przez zarządcę obiektu pomieszczenia.

Punkt ekscentryczny punktu *KŁODZKO* został umieszczony na wychodni skał magmowych, przed głównym wejściem na teren twierdzy. Położenie punktu gwarantuje jego najlepszą stabilność oraz pełną dostępność. Stabilizacja punktu polegała na umieszczeniu w skale bolca metalowego o długości 10 cm. Punkt nosi nazwę *KŁODZKO EXI*, a jego lokalizację przedstawia rysunek 7.



Rys. 6. Lokalizacja punktu KŁODZKO
Fig. 6. Location of KŁODZKO station

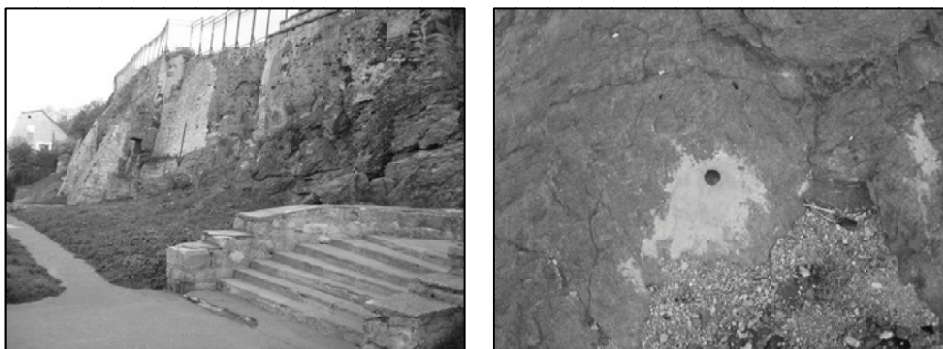


Rys. 7. Lokalizacja punktu KŁODZKO EXI
Fig. 7. Location of KŁODZKO EXI station

Niżej zamieszczone fotografie przedstawiają szczegóły lokalizacji punktu *Kłodzko* (fot. 2) oraz jego punktu ekscentrycznego (fot. 3).



Fot. 2. Fotografie przedstawiające położenie punktu *KŁODZKO*
Phot. 2. Photos of *KŁODZKO* station

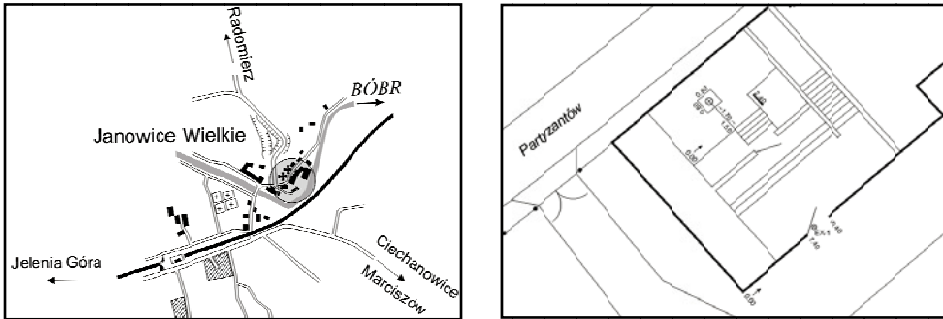


Fot. 3. Fotografie przedstawiające położenie punktu *KŁODZKO EX1*
Phot. 3. Photos of *KŁODZKO EX1* station

JANOWICE

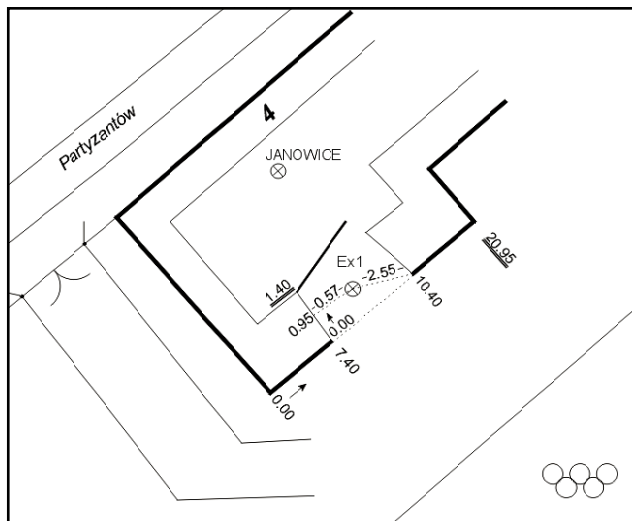
Punkt ***JANOWICE*** umieszczono w piwnicy Szkoły Podstawowej w Janowicach Wielkich, przy ul. Partyzantów 4, w pomieszczeniu dawnej kotłowni. W trakcie stabilizacji, po skuciu posadzki i usunięciu warstwy rumoszu skalnego natrafiono na jednolity fragment skały granitowej, wypełniający całą powierzchnię otworu o wymiarach ok. 80x80 cm, przygotowywanego do stabilizacji. Skała ta, znajdująca się na głębokości 20–30 cm od poziomu posadzki stanowiła podłoże stabilizowanego punktu. Tak przygotowany otwór wypełniono betonem, izolując jednocześnie tworzony blok betonowy od pozostałej części posadzki warstwą styropianu o grubości 1 cm. W środku takiego bloku umieszczony został bolec metalowy o długości 10 cm wskazujący położenie punktu.

Szczegóły położenia punktu przedstawione są na rys. 8.



Rys. 8. Lokalizacja punktu *JANOWICE*
Fig. 8. Location of *JANOWICE* station

Punkt ekscentryczny punktu *JANOWICE* umieszczono w progu bocznego wejścia do budynku szkoły. Wejście to prowadzi wprost do pomieszczenia, w którym znajduje się punkt *JANOWICE*. Stabilizacja punktu polegała na umieszczeniu w bloku granitowym, z którego zbudowany jest próg, metalowego bolca o długości 10 cm. Szczegóły lokalizacji punktu o nazwie *JANOWICE EX1* przedstawia rysunek 9.



Rys. 9. Lokalizacja punktu *JANOWICE EX1*
Fig. 9. Location of *JANOWICE EX1* station

Niżej przedstawione są fotografie punktu *JANOWICE* i jego punktu ekscentrycznego.

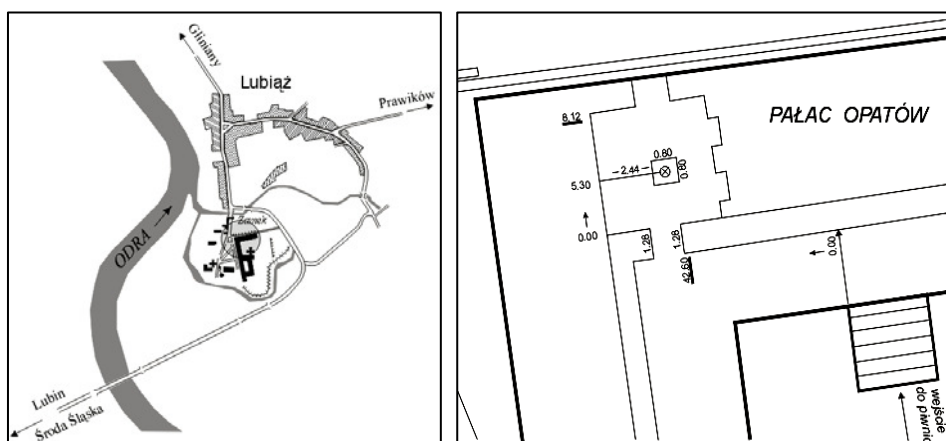


Fot. 4. Fotografie punktu *JANOWICE* (a) i punktu *JANOWICE EXI* (b)
 Phot. 4. Photos of stations *JANOWICE* (a) and *JANOWICE EXI* (b)

LUBIAŻ

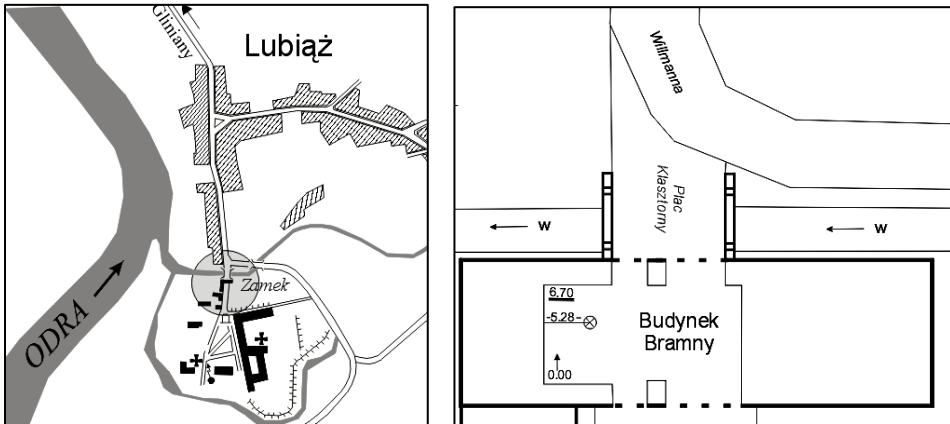
Punkt *LUBIAŻ* został posadowiony na terenie pocysterskiego zespołu pałacowego w Lubiażu, w piwnicznym pomieszczeniu leżącym pod Jadalnią Opatów, wchodzącym w skład Pałacu Opatów. Punkt ten został zastabilizowany na przełomie marca i kwietnia 2007 r. jako blok betonowy o wymiarach 80x80x100 cm z bolcem metalowym. Punkt odizolowany jest od podłogi piwnicy warstwą styropianu o grubości 1 cm.

Lokalizację punktu prezentuje rysunek 10.



Rys. 10. Lokalizacja punktu *LUBIAŻ*
 Fig. 10. Location of *LUBIAŻ* station

Punkt ekscentryczny dla punktu *LUBIAŻ* (*LUBIAŻ EX1*) położony jest w bramie wjazdowej (Budynek Bramny) do zespołu pałacowego. Stabilizacja punktu polegała na umieszczeniu w posadzce bramy bolca metalowego o długości 10 cm. Szczegółowe położenie punktu prezentowane jest na rys. 11.



Rys. 11. Lokalizacja punktu *LUBIAŻ EX1*
Fig. 11. Location of *LUBIAŻ EX1* station

Fotografie 5a,b przedstawiają punkt *LUBIAŻ* oraz jego punkt ekscentryczny.



a)



b)

Fot. 5. Fotografie punktu *LUBIAŻ* (a) i punktu *LUBIAŻ EX1* (b)
Phot. 5. Photos of stations *LUBIAŻ* (a) and *LUBIAŻ EX1* (b)

WYZNACZENIE POZYCJI PUNKTÓW GRAWIMETRYCZNYCH

Pozycje poziome (B, L) wszystkich punktów wyznaczono w dwóch etapach. W etapie pierwszym techniką GPS, w nawiązaniu do stacji referencyjnych udostępnionych w systemie ASG-PL, wyznaczono pozycje punktów pomocniczych stanowiących osnowę pomiarową. Na podstawie tych punktów, techniką klasyczną (wiszące ciągi poligonowe), wyznaczono pozycje punktów grawimetrycznych. Pomiarów satelitarne wykonano za pomocą odbiorników Z-extreme oraz Z XII firmy Ashtech.

Wysokości normalne wszystkich punktów zostały wyznaczone za pomocą niwelacji technicznej w nawiązaniu do reperów III kl. Wysokości geodezyjne, ponad elipsoidą WGS 84, wyznaczono poprzez dodanie do wysokości normalnych wysokości quasi-geoidy obliczonych z modelu „Geoidy niwelacyjnej 2001”.

Błędy wyznaczonych współrzędnych B i L zależą głównie od dokładności wyznaczonych techniką GPS współrzędnych punktów osnow pomiarowych oraz dokładności pomiarów klasycznych. Podane niżej błędy obserwacji klasycznych uwzględniają zarówno dokładności pomiarowe wykorzystanych instrumentów, jak i błędy ustawcze.

Błędy wysokości normalnych H zależą właściwie tylko od dokładności wysokości reperów dowiązania i wykonanej niwelacji. Dokładność wysokości geodezyjnych h jest dodatkowo uzależniona od dokładności modelu geoidy.

Wyznaczone pozycje punktów w układzie ETRF 89 oraz wysokości normalne punktów zestawiono w tabeli 1. Błędy tych współrzędnych prezentuje tabela 2.

Tabela 1. Współrzędne punktów w układzie ETRF 89 oraz ich wysokości normalne
Table 1. Coordinates of the station in ETRF 89 system and its normal heights

Numer	B			L			h	H
	°	'	''	°	'	''	[m]	[m]
LUBIAŹ	51	15	44.3776	16	28	7.1882	143.170	102.394
LUBIAŹ EX 1	51	15	48.0812	16	28	5.1681	141.968	101.192
KŁODZKO	50	26	24.9808	16	39	9.0388	370.054	326.926
KŁODZKO EX 1	50	26	22.2450	16	39	11.0365	355.745	312.617
JANOWICE	50	52	54.2200	15	55	33.2631	424.594	381.906
JANOWICE EX 1	50	52	53.9854	15	55	33.9890	425.409	382.721
WROCLAW	51	6	47.9959	17	3	43.8875	155.644	115.317
WROCLAW EX 1	51	6	49.3893	17	3	42.6384	158.818	118.491

Tabela 2. Błędy współrzędnych punktów
Table 2. Errors of the coordinates

Numer	m_B	m_L	m_h	m_H
	[m]	[m]	[m]	[m]
LUBIAŹ	0.029	0.019	0.039	0.020
LUBIAŹ EX 1	0.037	0.024	0.039	0.020
KŁODZKO	0.029	0.034	0.039	0.020
KŁODZKO EX 1	0.031	0.078	0.039	0.020
JANOWICE	0.017	0.015	0.039	0.020
JANOWICE EX 1	0.012	0.012	0.039	0.020
WROCLAW	0.014	0.014	0.039	0.020
WROCLAW EX 1	0.001	0.001	0.039	0.020

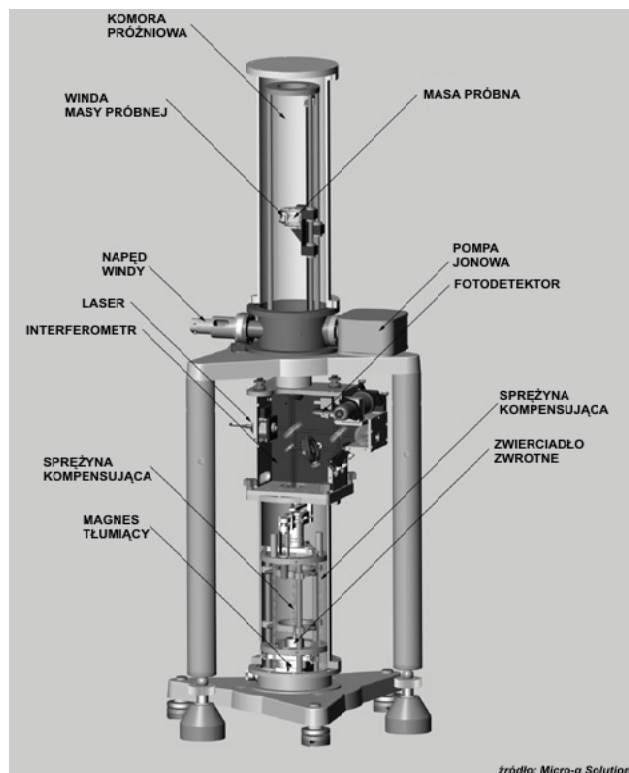
POMIARY ABSOLUTNEJ WARTOŚCI PRZYSPIESZENIA SIŁY CIĘŻKOŚCI

Pomiary na stanowiskach sudeckiej części jednolitego systemu grawimetrycznego odniesienia polskich stacji permanentnych GNSS i poligonów geodynamicznych wykonano w okresie maj-czerwiec 2007 grawimetrem balistycznym FG-5 nr 230. Pomiary wykonał Instytut Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej.

Konstrukcja grawimetru absolutnego

Pierwsze prace nad konstrukcją aparatu balistycznego rozpoczęto w 1962 r. i były one związane z konstrukcją interferometru. Przez ponad 30 lat wprowadzano w konstrukcji wiele poprawek, których skutkiem jest obecny status aparatów FG5, jako najdokładniejszych oraz oferujących dużą mobilność.

Deklarowana przez producenta i potwierdzona podczas synchronicznych pomiarów kalibracyjnych dokładność wyznaczenia pionowej składowej ciężkości wynosi $2 \mu\text{Gal}$ ($1 \mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{ms}^{-2}$). Dokładność ta uwzględnia nie tylko czynniki instrumentalne ale również te, które są związane z dokładnościami wprowadzanych poprawek do pomierzonej wartości przyspieszenia.



Fot. 6. Schemat konstrukcji grawimetru absolutnego FG5

Phot. 6. Scheme of absolute gravimeter FG5

Grawimetr FG5 składa się z następujących podstawowych elementów (fot. 6):

- Dropping chamber (komora próżniowa, w której porusza się masa próbna);
- Interferometr;
- Superspring (sprężyna kompensująca do zagwarantowania stabilności zwierciadła zwrotnego);
- Elektronika (pozwalająca na rejestrację i opracowanie danych).

Zasadą działania grawimetru balistycznego FG-5 jest wykorzystanie równania drogi swobodnie spadającej masy próbnej w polu siły ciężkości. Obserwowany jest spadek retroreflektora (corner cube) w komorze próżniowej. Obserwowana droga spadku ma ok. 20 cm, co przy wykorzystaniu zjawiska interferencji dla lasera He-Ne powoduje pojawienie się ok. 700000 prążków interferencyjnych. Pozycja spadającej masy jest obserwowana w funkcji czasu dla co tysięcznego prążka interferencyjnego.

Przy wykorzystaniu zjawiska interferencji do wyznaczania drogi pryzmatu niezwykle ważnym jest zagwarantowanie stabilności zwierciadła zwrotnego (internal reference corner cube). Zapewnia to konstrukcja sprężyny kompensującej (superspring).

Podczas spadku obiektu prążki interferencyjne są zliczane przez fotodiody, a rejestrowany czas podawany jest przez zegar rubidowy. To, w zestawieniu z długością definiowaną przez stabilizowany jodowo laser, powoduje, że wyznaczana wartość g związana jest bezpośrednio z układem SI, przez związanie z jednostkami metra i sekundy.

Typowa sesja pomiarowa składa się z 12–48 serii obserwacyjnych, powtarzanych co godzinę. Zwykle stosuje się pełną dobową sesję, czyli 24 serie obserwacyjne. Pojedyncza seria obserwacyjna (set) składa się ze stu spadków (drop) powtarzanych co 10 sekund. Średnia wartość przyspieszenia wyznaczonego dla pojedynczej serii obserwacyjnej cechuje się odchyleniem standardowym zależnym od jakości stanowiska pod względem sejsmicznym. W wyjątkowo dobrych warunkach jest to $4\mu\text{Gal}$. Za dobre uchodzą punkty, na których odchylenie standardowe obserwacji w pojedynczej serii nie przekracza $20\mu\text{Gal}$.

Ostateczna wartość przyspieszenia jest średnią z serii obserwacyjnych uzupełnioną poprawkami: pływową litosferyczną, pływową uwzględniającą przemieszczanie mas morskich, barometryczną i poprawką ze względu na zmiany położenia bieguna.

Wyznaczenie wartości przyspieszenia

Opracowanie rezultatów pojedynczego spadku obejmującego ok. 700 zarejestrowanych pozycji ciała – x_i – oraz czasu – t_i – polega na wyznaczeniu metodą najmniejszych kwadratów wartości g z równania drogi o następującej postaci:

$$x_i = x_0 + v_0 \tilde{t}_i + \frac{g_0 \tilde{t}_i^2}{2} + \frac{\gamma x_0 \tilde{t}_i^2}{2} + \frac{1}{6} \gamma x_0 \tilde{t}_i^3 + \frac{1}{24} \gamma x_0 \tilde{t}_i^4 \quad \tilde{t} = t_i - \frac{(x_i - x_0)}{c}$$

gdzie:

γ – pionowy gradient ciężkości ($\sim 3\mu\text{Gal/cm}$);

c – szybkość światła;

x_0 – pozycja wyjściowa;

v_0 – prędkość wyjściowa;

g – wyznaczona wartość przyspieszenia.

Wyznaczona wartość jest odniesiona do pozycji x_0 , t_0 , czyli do początku drogi spadku. W konstrukcji grawimetru FG-5 jest to wysokość ok. 130 cm nad znakiem pomiarowym. Niezbędna jest zatem redukcja absolutnej wartości przyspieszenia na poziom znaku pomiarowego przez pomiar rzeczywistego pionowego gradientu przyspieszenia siły ciężkości między poziomem znaku a wysokością ok. 130 cm (aby gradient obejmował pełny zakres redukcji przyspieszenia). Wartość gradientu jest również niezbędna jako element równania drogi.

Zaobserwowana, wyznaczona na podstawie równania drogi wartość przyspieszenia nie uwzględnia wielu czynników powodujących krótko- lub długookresowe zmiany przyspieszenia, związane np. ze zmianą grawitacyjnego wpływu ciał niebieskich, zmianami ciśnienia atmosferycznego, zmianami położenia bieguna etc. Wpływ każdego z tych efektów należy wprowadzić do obserwowanej wartości przyspieszenia jako poprawkę.

- Poprawka pływowa litosferyczna – *Earth Tide Correction*.
- Poprawka pływowa oceaniczno-obciążeniowa – *Ocean Loading Effect*.
- Poprawka barometryczna – *Barometric Correction*.
- Poprawka ze względu na ruch bieguna – *Polar Motion Correction*.
- Poprawka redukująca przyspieszenie na wybrany poziom odniesienia – *Datum Height Reduction*.

Wyznaczane na podstawie równania drogi przyspieszenie jest odniesione dla początku drogi spadku, czyli dla grawimetru balistycznego FG-5 do wysokości ok. 130 cm nad znakiem pomiarowym. Redukcja na wybrany poziom odniesienia wymaga znajomości rzeczywistego gradientu pionowego. Dokładność tej redukcji, a tym samym dokładność zredukowanej na poziom centru znaku wartości przyspieszenia, jest zależna od dokładności wyznaczenia gradientu pionowego.

Budżet błędów pomiarów absolutnych grawimetru FG-5

Standardowa procedura pomiaru obejmuje 24 serie obserwacyjne po 100 spadków każda. Każdy spadek masy próbnej pozwala na wyznaczenie i rejestrację wartości przyspieszenia. Wartość ta, poprawiona stosownymi poprawkami, po uśrednieniu daje nam absolutne przyspieszenie siły ciężkości na stanowisku. Z racji tego, że średnia wartość przyspieszenia może być tworzona nawet przez kilka tysięcy obserwacji, statystyczna analiza dokładności rozumiana jako błąd średni średniej arytmetycznej prowadzi do „sztucznych” dokładności szacowanych na około 0,2–0,3 μGal . Wartości tej nie możemy nazywać dokładnością wyznaczenia również i z innego powodu. Obserwowana wartość przyspieszenia jest poprawiana kilkoma poprawkami, zatem należy wziąć pod uwagę również i błędy związane z modelowaniem tych poprawek. Producent sugeruje także uzupełnienie analizy dokładności o elementy związane z czynnikami instrumentalnymi, związanymi np. z reszkowym wpływem atmosfery w komorze spadku, krótkookresowym wpływem zmian częstotliwości zegara, wpływem pola magnetycznego na masę próbną, wpływem dyfrakcji promienia laserowego w zjawisku interferencji etc.

Można zatem wyróżnić trzy składniki uwzględniane przy analizie dokładności: analiza statystyczna obserwacji (*measurement precision*), wpływ błędów poprawek (*model errors*), wpływ konstrukcji instrumentu (*system type error*).

Dla określenia ostatecznego błędu wyznaczenia wartości przyspieszenia wykorzystuje się prawo przenoszenia Gaussa, sumując:

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_{\text{obserwacje}}^2 + \sigma_{\text{model}}^2 + \sigma_{\text{instrument}}^2}$$

Błąd wyznaczenia wartości przyspieszenia jest zatem rozumiany jako niepewność wyznaczenia. Dla typowej, 24-godzinnej sesji obserwacyjnej uzyskuje się niepewność pomiaru o wartości około 2 μGal .

Rezultaty pomiarów absolutnej wartości przyspieszenia

W ramach wyznaczenia wartości absolutnej przyspieszenia siły ciężkości wykonano dobowe sesje pomiarowe. Do wyznaczeń absolutnej wartości przyspieszenia siły ciężkości użyto grawimetru balistycznego FG-5 nr 230. W pomiarach absolutnych na każdym ze stanowisk stosowano identyczny schemat pomiarowy obejmujący 24-godzinne serie obserwacyjne po 100 spadków w każdej z serii. Dla minimalizacji efektu związanego z wpływem siły Coriolisa na tor ruchu masy próbnej orientowano grawimetr zawsze w kierunku północnym. Wyznaczenia gradientu dokonywano na podstawie obserwacji grawimetrem względnym na dwóch poziomach – na centrze znaku grawimetrycznego i na poziomie ok. 1,35 nad znakiem pomiarowym. Dobór wysokości wynikał z konstrukcji grawimetru balistycznego FG-5 w potrzeby redukcji absolutnej wartości przyspieszenia z wysokości ok. 1,30 m, tj. z początku drogi spadku.



Fot. 7. Pomiar grawimetrem FG-5 na stanowisku *JANOWICE*

Phot. 7. Measurement by FG-5 gravimeter at *JANOWICE* station



Fot. 8. Pomiar grawimetrem FG-5 na stanowisku *WROCLAW*

Phot. 8. Measurement by FG-5 gravimeter at *WROCLAW* station

Do wyznaczenia ostatecznych wartości przyspieszenia na stanowiskach badawczych wykorzystano wartości przyspieszenia uzyskane w seriach obserwacyjnych, poprawione ze względu na:

- pływy litosferyczne (*tide*) wg modelu ETGTAB z globalnymi wartościami współczynników fal pływowych:

Start	Stop	Amplitude	Phase	Term
0.000000	0.002427	1.000000	0.0000	DC
0.002428	0.249951	1.160000	0.0000	Long
0.721500	0.906315	1.154250	0.0000	Q1
0.921941	0.974188	1.154240	0.0000	O1
0.989049	0.998028	1.149150	0.0000	P1
0.999853	1.216397	1.134890	0.0000	K1
1.719381	1.906462	1.161720	0.0000	N2
1.923766	1.976926	1.161720	0.0000	M2
1.991787	2.002885	1.161720	0.0000	S2
2.003032	2.182843	1.161720	0.0000	K2
2.753244	3.081254	1.07338	0.0000	M3
3.791964	3.937897	1.03900	0.0000	M4

- pływy oceaniczne (*ocean loading*) wyznaczone na podstawie modelu Schwiderskiego ze współczynnikami rozwinięcia potencjału:

Waves:	M2	S2	K1	O1	N2	P1	K2	Q1	Mf	Mm	Ssa
Amplitude uGal:	0.819	0.258	0.091	0.142	0.159	0.031	0.066	0.039	0.103	0.050	0.058
Phase (deg):	-34.8	-5.7	-35.6	-143.7	-51.9	-54.3	2.1	165.1	9.4	18.9	74.8

- poprawkę atmosferyczną (*barometric correction*) ze współczynnikiem zmiany przyspieszenia $c = 0,3 \mu\text{Gal}/\text{mbar}$;
- liniowe współczynniki rzeczywistego gradientu pionowego przyspieszenia siły ciężkości – wyznaczone na każdym stanowisku na potrzeby równania drogi i redukcji wartości przyspieszenia (*datum height correction*);
- zmianę orientacji osi obrotu Ziemi poprawką (*polar motion*) uwzględniającą ruch bieguna, wyznaczaną na podstawie współrzędnych bieguna – x, y – wyznaczonych na średni moment obserwacji na podstawie Biuletynu B publikowanego przez służbę International Earth Rotation Service (IERS).

Wyniki wyznaczeń uzyskane w latach 2007 i 2008 umieszczono w tablicy poniżej (w zestawieniu pominięto stanowisko Książ). Przedstawione wyniki wyznaczeń odnoszą się do centru znaku grawimetrycznego, natomiast błąd wyznaczenia uwzględnia również błąd redukcji do centru znaku grawimetrycznego.

Rok 2007				
Stanowisko	Data	gradient	g	m _g
		$\mu\text{Gal}/\text{cm}$	μGal	μGal
WROCLAW	9.06.2007	2,79	981145886,72	3,10
JANOWICE	8.06.2007	2,26	981043667,30	3,06
KŁODZKO	12.06.2007	2,92	981036427,48	3,08
LUBIĄŻ	13.06.2007	2,87	981177942,88	3,05
Rok 2008				
WROCLAW	19.04.2008	2,79	981145890,55	3,10

WNIOSKI

Założone w latach 2006–2007 punkty sudeckiej części jednolitego systemu grawimetrycznego odniesienia polskich stacji permanentnych GNSS i poligonów geodynamicznych stanowią znakomite odniesienie do planowanych w tym rejonie grawimetrycznych pomiarów na poligonach geodynamicznych. Definiują one precyzyjny poziom odniesienia dla pomiarów względnych oraz umożliwiają kalibrację (skalowanie) grawimetrów względnych. Jednocześnie po wykonaniu następczej epoki pomiarowej będzie możliwa interpretacja zmian ciężkości na stanowiskach absolutnych.

PIŚMIENNICTWO

- Barlik M., Cacoń S., 1999. Gravity changes observed in the Polish part of Eastern Sudety Mountains and Fore-Sudetic Block in period 1992–1998, *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*, Vol. IV, No. 2, 8–10.
- Barlik M., Cacoń S., 2001. Gravity variations monitoring in the Polish part of Eastern Sudety Mts and Sudetic foreland in period 1992–2000, *Reports on Geodesy No. 2 (57)*, 2001. Warsaw University of Technology, Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy, 115–124.
- Bosy J., Kontny B., 1998. Strategy of GPS data processing in local geodynamical networks. *Reports on Geodesy No. 9 (39)*, 1998. Warsaw University of Technology, Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy, 105–114.
- Camp Van M., Camelbeeck T., 2003. The FG5 absolute gravimeter: metrology and geophysics; *Physica Magazine, Journal of the Belgian Society*, 25(3) 2003.
- Cacoń S., Dyjor S., 1995. Neotectonic and recent movements of the earth crust in Polish part of the Sudety and Fore-Sudetic Block. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*, Vol. VI, No. 2, 11–16.
- Cacoń S., Kontny B., Bosy J., 1998. Recent geodynamics of Eastern Sudety Mountains and Foreland. *Reports on Geodesy No. 9 (39)*, 1998. Warsaw University of Technology, Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy, 115–124.
- Cacoń S., Weigel J., Svabensky O., Kontny O., Jamroz O., 1996. *Geodynamika masywu Śnieżnika i obszarów przyległych*, Monografia: „Masyw Śnieżnika – zmiany w środowisku przyrodniczym”, Wyd. PAE, Warszawa 1996, 57–70.
- FG5 Absolute Gravimeter Operator's Manual; Micro-g Solutions inc., Lafayette.
- Kontny B., 2003. Geodezyjne badania współczesnej kinematyki głównych struktur tektonicznych polskich Sudetów bloku przedsudeckiego na podstawie pomiarów GPS. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, Nr 468, Rozprawy.
- Kontny B., Bosy J., Mąkowski K., 2002. Geodynamic GPS Network Karkonosze – Preliminary results of the campaign 2001. *Acta Montana, Ser. A, Geodynamics*, No. 20, Prague, 25–29.
- Mąkowski K., Mierzejewski M., Kaczałek M., 2002. Geodynamic research concerning recent movements in the Karkonosze Mts. And Karkonosze foreland. *Acta Montana, Ser. A, Geodynamics*, No. 20, Prague, 93–96.
- Mizerski W., 2005. *Geologia Polski dla geografów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- Liszkowski J., 1976. Metody badań geotektonicznych i współczesnych ruchów skorupy ziemskiej, *Mat. I Kraj. Symp. Współczesne i geotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce*, t. 2, Wyd. Geol., Warszawa, 55–74.
- Oberc J., 1972. Sudety i obszary przyległe. *Budowa geologiczna Polski*, t. IV, cz. 2, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.

Stupnicka E., 2007. Geologia regionalna Polski. Wydanie III zmienione. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego.

**THE UNIFIED GRAVITY REFERENCE SYSTEM
OF THE POLISH PERMANENT GNSS NETWORK
AND GEODYNAMIC NETWORKS – PART OF LOWER SILESIA**

Abstract. In years 2006–2007, at the area of Poland there were established a network of the absolute gravity measurements points for definition gravity reference system of the Polish Permanent GNSS network and geodynamic networks. Lower Silesian part of the system consist of five points situated in places: Wrocław, Kłodzko, Janowice Wielkie, Lubiąż i Świebodzice. The paper contain detailed description of location of the points Wrocław, Kłodzko, Janowice and Lubiąż, methods of monumentation and first results of measurements made at the points.

Key words: geodynamic of Lower Silesia, gravity measurements

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 15.12.2008

Do cytowania – For citation: Olszak T., Pachuta A., Próchniewicz D., Szpunar R., Trojanowicz M., Walo J., 2008. Jednolity system grawimetrycznego odniesienia polskich stacji permanentnych GNSS i poligonów geodynamicznych – część dolnośląska. Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr., 7(4), 45–66.