

MARIA DOBRZYCKA
JAN CISAŁ

POLSKA SIEĆ GEODYNAMICZNA, 1997 – EPOKA 0

Prace wykonane w Instytucie Geodezji i Kartografii nad zaprojektowaniem i założeniem Polskiej Sieci Geodynamicznej, będące przedmiotem niniejszej publikacji, zostały sfinansowane głównie w ramach projektu badawczego KBN PB 155/T12/07/13, a częściowo ze środków Departamentu Geodezji i Kartografii GUGiK oraz ze środków własnych IGIK.

ZARYS TREŚCI: W artykule opisano prace nad założeniem, pomiarem i wynikami opracowania obserwacji GPS w Polskiej Sieci Geodynamicznej (PSG). Otrzymane współrzędne punktów tej sieci porównano z wynikami wcześniejszych kampanii EUREF-POL i POLREF służącymi do utworzenia katalogu współrzędnych punktów podstawowej osnowy geodezyjnej kraju. Stwierdzono przy tym różnice o wyraźnie systematycznym charakterze. Omawiając możliwe źródła ujawnionych rozbieżności, zwrócono szczególną uwagę na efekt modelowania wysokości centrów fazowych anten, organizując specjalną, dwudobową kampanię testową na Krajowej Bazie Długościowej Warszawa-Bemowo.

1. WSTĘP

Zastosowanie metod satelitarnych pozwala na tworzenie osnów geodezyjnych o zasięgu regionalnym, kontynentalnym i globalnym w jednym, wspólnym układzie współrzędnych. Położenie punktów tych sieci ulega zmianom w czasie, odzwierciedlając współczesne ruchy powierzchni skorupy Ziemi, powodowane tektoniką pochodzenia naturalnego, działalnością człowieka, zmianą stosunków wodnych itp. Śledzenie zmian położenia tych punktów oraz zmian parametrów pola grawitacyjnego i magnetycznego jest możliwe za pomocą powtarzalnych pomiarów, dzięki niemal powszechnej dostępności nowoczesnej aparatury i technologii (np. GPS, SLR, EDM i grawimetrii nowej generacji).

Koordynacja i ustalanie programu prac z dziedziny zastosowania metod geodezyjnych do badania dynamiki Ziemi jest przedmiotem działalności międzynarodowych organizacji zrzeszających środowiska geodezyjne. Na podstawie uchwał Międzynarodowej Unii Astronomicznej i Międzynarodowej

Unii Geodezyjno-Geofizycznej (MUA i MUGG) dotyczących podstawowych układów odniesienia (IERS 1995) jako jednolity na kontynencie europejskim Ziemi System Odniesienia ustanowiono ETRS (European Terrestrial Reference System) realizowany przez układ EUREF 89 (European Reference Frame 1989) (patrz np. Dobrzycka M. 1996). System ten ma zaspokoić potrzeby takich dziedzin, jak:

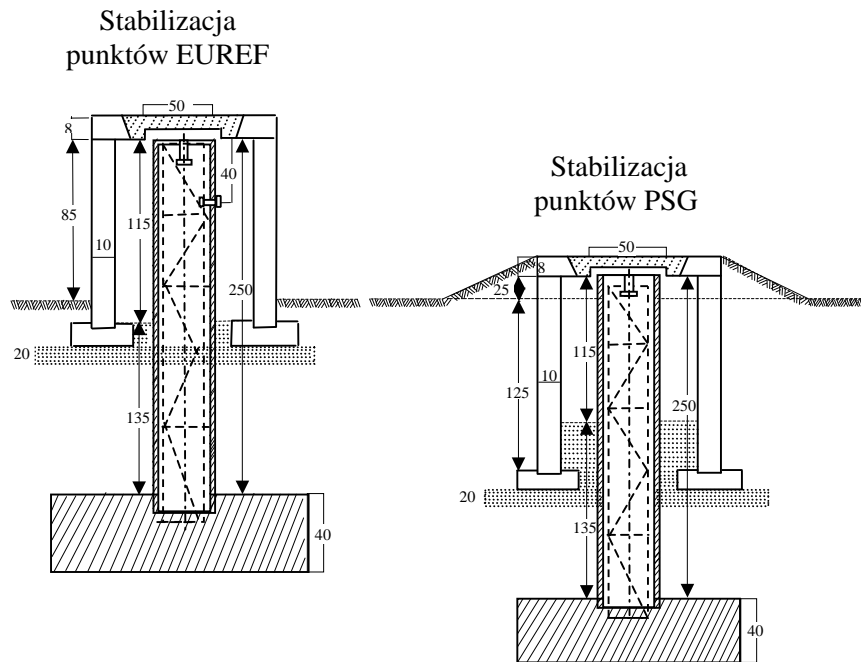
- nawigacja morska, powietrzna i lądowa,
- kartografia klasyczna i komputerowa,
- badania geodynamiczne,
- programy wielkich budowli (autostrady, koleje i kanały, zwłaszcza gdy dotyczą obszaru większego niż pojedynczy kraj).

Włączanie sieci geodezyjnych poszczególnych państw w system ETRS poprzez sieć 0-rzędu wymaga przynależności Państwowej Służby Geodezyjnej do organizacji CERCO (Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle), spełnienia odpowiednich standardów w pomiarach i obliczeniach oraz zatwierdzenia ich wyników przez Podkomisję EUREF Komisji X IAG MUGG. Sieci 0-rzędu są zagęszczane w poszczególnych krajach we własnym zakresie punktami niższego rzędu, stanowiąc osnowę geodezyjną realizującą układ ETRF w skali danego kraju. W Polsce Podstawową Osnowę Geodezyjną tworzy jedenaście punktów sieci 0-rzędu EUREF-POL i 356 punktów sieci I-rzędu o nazwie POLREF.

Wobec otwartej u schyłku lat 80. XX stulecia możliwości integracji państw byłego bloku socjalistycznego z Europą powstała tzw. Inicjatywa Państw Środkowej Europy (CEI), dynamicznie rozwijająca działalność w wielu dziedzinach, a zwłaszcza w geodezji. Jako jeden z trzech priorytetowych kierunków prac zalecanych przez Sekcję C-Geodezja tej organizacji uznano prowadzenie badań z dziedziny geodynamiki na potrzeby śledzenia deformacji powierzchni skorupy Ziemi i kontroli stabilności sieci geodezyjnych, integrowanych właśnie z siecią europejską w systemie ETRS (Lnaże 1991). Sformułowano także zalecenia, w myśl których w każdym kraju powinna być utworzona sieć geodynamiczna o zagęszczeniu punktów jeden na około 10 000 km², mająca na celu następujące zadania:

- śledzenie jednorodności i stabilności podstawowej osnowy geodezyjnej kraju,
- wkład w regionalne i globalne badania nad tworzeniem modeli geodynamicznych,
- utworzenie układu odniesienia dla lokalnych programów geodynamicznych.

Punkty takiej sieci powinny pokrywać kraj równomiernie, z uwzględnieniem jednak cech budowy geologicznej. Powinny odznaczać się trwałą, stabilną zabudową i możliwie bezpieczną lokalizacją, pozwalającą na dokładną, jednoznaczną identyfikację przy kolejnych, okresowo powtarzanych pomiarach. Zabudowa punktu powinna mieć przy tym



Rys. 2. Zabudowa punktów PSG

Polską Sieć Geodynamiczną tworzy 36 punktów, na które składają się:

- 11 punktów sieci 0-rzędu EUREF-POL (w tym 4 stacje permanentne) służących jako rozszerzenie systemu ETRS na terytorium Polski,
- 22 punkty wybrane z podstawowej osnowy geodezyjnej o nazwie POLREF, stanowiącej zagęszczenie wspomnianej wyżej sieci EUREF-POL,
- 3 dalsze punkty formalnie nie należące do podstawowej osnowy geodezyjnej kraju, mianowicie: stacja permanentna GPS Akademii Rolniczej we Wrocławiu i 2 punkty poligonu geodynamicznego SAGET (Bełchatów i Święty Krzyż).

Nie wszystkie punkty sieci geodynamicznej są zabudowane jednolicie. Sposób zabudowy 6 punktów sieci EUREF-POL i 20 dalszych punktów sieci geodynamicznej jest pokazany na rysunku 2. Pozostałe punkty, położone w obserwatoriach i należące do poligonu SAGET, zabudowano dawniej, nie według jednego schematu (Dobrzycka M., Siporski L. 1994), ale wydają się odpowiednio stabilne.

3. POMIARY I OBLICZENIA

Sieć geodynamiczną zaprojektowano i opracowano jako sieć powierzchniową. Pomiary mające stanowić epokę 0 dla badań geodynamicznych wykonano metodą GPS w dniach 6–24 września 1997 roku. Z uwagi na ograniczone środki finansowe oraz harmonogram prac, zgodnie z którymi należało przeprowadzić kampanię, pomiary postanowiono wykonać będącym w dyspozycji Departamentu Głównego Geodety Kraju zestawem ośmiu odbiorników Wild-Leica typu: SR 299 i 399 (siedem z nich z anteną sprzężoną z sensorem i jeden z anteną zewnętrzną). Na kampanię złożyło się pięć sesji obserwacyjnych trwających po trzy doby każda. Układ sesji obserwacyjnych pokazano na rysunku 3. Okresowa niesprawność dwóch odbiorników (zanikanie sygnałów na częstotliwości odpowiadającej L2, przerwy rejestracji na obu częstotliwościach) spowodowała konieczność wykonania dodatkowych obserwacji, które przeprowadzono w dniach 10–12 października 1997 roku i 25–30 kwietnia 1998 roku. Do obserwacji poprawkowych (patrz rysunek 3, linie czerwone) użyto odbiorników Ashtech ZXII3.

- wpływ troposfery parametryzowano modelem Neill w interwałach dwugodzinnych dla minimalnej wysokości 15°;
- wpływ jonosfery zredukowano za pomocą kombinacji liniowej L3, wspomaganą modelem jonosfery według pomysłu autora obliczeń (Figurski M. 1998);
- wpływ niejednakowego typu anten w sesjach obserwacyjnych zredukowano według obowiązującego obecnie modelu IGS 01/1996;
- nieoznaczoność fazy wyznaczano metodą SIGMA i QIF odpowiednio dla danych zestawów odbiorników.

Całą sieć podzielono na dni obserwacyjne, z każdego dnia otrzymywano plik równań normalnych i informację o wartości współrzędnych, ich błędach oraz parametrach opisujących troposferę. Dane te służyły do dalszego opracowania materiału programem ADDNEQ, w tym do wyrównania metodą najmniejszych kwadratów według modelu Gaussa-Markowa, spełniającego warunek $\Sigma(pvv) = \min$, gdzie v są poprawkami odniesionymi do przyrostów na bokach.

Ostateczne opracowanie materiału przeprowadzono w systemie ITRF96 w dwóch grupach, osobno dla obserwacji wykonanych w 1997 i 1998 roku, na ich średnie epoki. Następnie przetransformowano je do wspólnej epoki (1998.3) i poddano równoczesnemu wyrównaniu oraz zredukowaniu całości – z użyciem uzgodnionych oficjalnie przez Podkomisję EUREF parametrów – do epoki 1989.0. Ogółem do opracowania użyto 74 5927 obserwacji przy 4 418 wyznaczanych parametrach, uzyskując jako charakterystykę dokładności pojedynczej różnicy współrzędnych $\sigma = 0,0051$ m.

Realizację układu ETRF89 do wyrównania PSG stanowiły współrzędne 10 stacji permanentnych wspomnianej wyżej sieci EUREF (Resolution no 4, 1999), a mianowicie wszystkie 5 stacji polskich (BOGO – Borowa Góra, BOR1 – Borowiec, JOZE – Józefosław, LAMA – Lamkówko i WROC – Wrocław) oraz 5 stacji krajów sąsiednich (GOPE: Pecny – Czechy, GRAZ: Graz – Austria, METS: Metsahovi – Finlandia, ONSA: Onsala – Szwecja i WTZR: Wettzell – Niemcy), do których Polską Sieć Geodynamiczną nawiązano. Schemat boków użytych do wyrównania pokazano na rysunku 4. Z opracowania usunięto obserwacje wykonane na punkcie 2902, ponieważ rozrzut otrzymany w przyrostach na bokach w kombinacji z tym punktem z trzech kolejnych dni obserwacji wykazywał wysoce anomalny charakter. Przyczyną występujących niezgodności jest zapewne zła lokalizacja omawianego tu punktu, pośród szybko rosnących drzew młodego sadu, założonego już po stabilizacji punktu na sprywatyzowanych gruntach.

Wyniki obliczeń i pełna dokumentacja prac polowych wykonanych na potrzeby Polskiej Sieci Geodynamicznej znajdują się w Instytucie Geodezji i Kartografii, zostały też przekazane do Ośrodka Dokumentacji Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii.

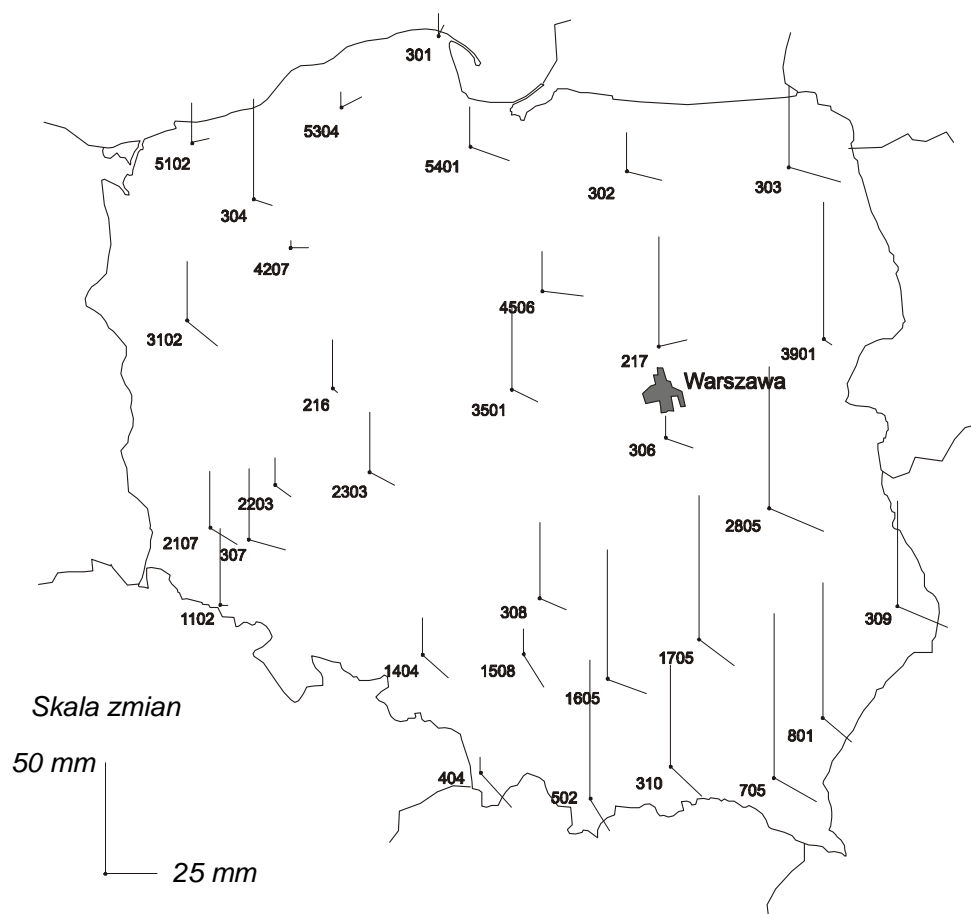
4. PORÓWNANIE WSPÓŁRZĘDNYCH OTRZYMANÝCH W PSG Z WYNIKAMI KAMPANII EUREF-POL I POLREF

Wartości współrzędnych punktów PSG porównano z wynikami uzyskanymi z kampanii EUREF-POL (1992) i POLREF (1994–1995) stanowiącymi podstawę katalogu współrzędnych podstawowej osnowy geodezyjnej kraju. Różnice (podane w mm) w szerokości (dB), długości (dL) i wysokości elipsoidalnej (dH) zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Wykaz różnic współrzędnych punktów sieci geodynamicznej otrzymanych z redukcji pomiarów wykonanych w kampanii PSG i z danych katalogowych

EUREF - POL				POLREF							
pkt	dB	dL	dH	pkt	dB	dL	dH	pkt	dB	dL	dH
0216	-2	+2	+25	0404	-16	+15	+7	2303	-6	+13	+28
0217	+3	+13	+49	0502	-17	+9	+65	2805	-10	+25	+65
0301	+4	+2	+10	0705	-11	+16	+79	3102	-11	+12	+27
0302	-2	+16	+18	0801	-20	+32	+62	3501	-5	+12	+42
0303	-8	+22	+36	1102	0	+3	+35	3901	-3	+4	+62
0304	-2	+9	+47	1404	-11	+9	+18	4207	0	+9	+4
0306	-5	+13	+8	1508	-15	+9	+12	4506	-2	+17	+22
0307	-5	+17	+33	1605	-7	+18	+63	5102	+2	+10	+19
0308	-6	+13	+35	1705	-12	+16	+66	5304	+6	+10	+7
0309	-10	+22	+45	2107	-6	+11	+26	5401	-6	+16	+18
0310	-10	+14	+49	2203	-5	+10	+12				

Wartości różnic podanych w tabeli 1 przedstawiono graficznie na rysunku 5, gdzie wyraźniej widać ich systematyczny charakter. W przeciwieństwie bowiem do składowej dB, dla której różnice te utrzymują się w zasadzie na poziomie oczekiwanej dokładności pomiaru (choć z przewagą znaków ujemnych), pozostałe składowe wykazują znaczny efekt systematyczny, zwłaszcza w składowej dH. Wzmianki o podobnych rozbieżnościach wyników otrzymywanych z różnych kampanii można znaleźć np. w pracach (Pujol E. i inni 1999; Olikainen M. i inni 1999; Rüdja A. 1999).



Rys 5. Graficzna ilustracja porównania współrzędnych katalogowych ze współrzędnymi PSG

Poszukując powodów różnicy między wartościami katalogowymi współrzędnych opartymi na wynikach kampanii EUREF-POL i POLREF a wynikami pomiarów w sieci geodynamicznej, rozważono kilka jej źródeł:

- sukcesywnie zmieniane i poprawiane parametry układu ITRF: ITRF91 do obliczeń sieci EUREF-POL (Zieliński J.B. i inni 1994), ITRF94 do sieci POLREF i ITRF96 do PSG;
- metoda wyrównania i wybór punktów nawiazania (11 punktów sieci EUREF-POL dla sieci POLREF, a 10 permanentnych stacji sieci „GPS Permanent EUREF Network” dla PSG);
- czas trwania sesji obserwacyjnych (ok. 10 godzin dziennie x 4,5 dnia w sieci EUREF-POL, nie mniej niż 2 sesje po 3,5 godziny w sieci POLREF i nie mniej niż 3 x 24 godziny w Polskiej Sieci Geodynamicznej);
- efekt modelowania położenia centrów fazowych anten;
- lokalne sezonowe zmiany współrzędnych punktów.

Dwa pierwsze z wymienionych tu ewentualnych źródeł niejednorodności wyników mogą być odpowiedzialne za przesunięcie i nachylenie względem siebie sieci POLREF i PSG. Również brak obserwacji nocnych w sieciach EUREF-POL i POLREF może prowadzić do efektów o charakterze systematycznym. Największe jednak rozbieżności wyników z wymienionych kampanii pochodzą zapewne z przyjęcia do redukcji materiału obserwacyjnego różnych sposobów modelowania położenia centrów fazowych anten.

5. WERYFIKACJA POŁOŻENIA CENTRÓW FAZOWYCH ANTEN

W obu kampaniach POLREF (1994–1995) i PSG (1997) używano zestawu ośmiu odbiorników Wild-Leica, typ SR 299 (POLREF) i SR 299, 399 i 399E (PSG). Punktami odniesienia w tych kampaniach było 11 punktów sieci EUREF-POL. W wypadku kampanii w zachodniej części Polski, na punktach nawiazania zainstalowano odbiorniki Trimble4000SSE z antenami L1/L2 geod., a odbiorniki Rogue z antenami Dorne Margolin (DM) w części wschodniej. Charakterystyki anten przyjęto według wartości podawanych przez producentów aparatury.

Punkty odniesienia dla sieci PSG (dziesięć stacji „GPS Permanent EUREF Network”) były wyposażone w następujące instrumentarium: Turbo Rogue z anteną DM model T na stacjach BOR1, GRAZ, LAMA, METS, WTZR, Turbo Rogue z anteną model B na stacji ONSA, Ashtech ZXII3 z anteną DM model Ash na stacjach BOGO i WROC, Trimble4000SSE z anteną 400ST L1/L2 geod na stacjach GOPE i JOZE. Charakterystykę anten w procesie obliczeń PSG przyjęto według obowiązującego obecnie modelu IGS 01/1996.

Różnice między danymi używanymi dawniej (zastosowanymi w sieci POLREF) i modelem IGS 01/1996 dla wybranych typów anten przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Typ anteny	Dawne dane (L1) (w m)	Nowe dane (L1) (w m)	Nowe-dawne (w mm)
Dorne Margolin T	0,110	0,110	0
Trimble 4000ST L1/L2 model 14532	0,070	0,078	+8
Trimble geod L1/L2 GP model 22020	0,062	0,075	+13
Wild-Leica SR299 i SR399	0,091	0,113	+22
Wild-Leica 399E without GP	0,039	0,068	+29
Dorne Margolin Ash	0,095	0,110	+15
Ashtech 700228	0,064	0,080	+16
Ashtech 700718	0,065	0,087	+21

Jak wynika z tabeli 2, różnica w modelu wysokości centrum fazowego danego typu anten ma istotny wpływ na wyniki opracowania poszczególnych kampanii.

Ażeby zweryfikować dane przedstawione w tabeli 2 w dniach 14–16 kwietnia 1999 roku zorganizowano dwudobową kampanię GPS na Krajowej Bazie Długościowej Warszawa-Bemowo. Dzięki uprzejmej współpracy takich instytucji, jak ówczesna ART Olsztyn, WAT i Politechnika Warszawska, było możliwe zebranie do tego eksperymentu prawie wszystkich zestawów instrument-antena, biorących udział w pomiarach PSG. Tylko DM typ B i WL SR 399E z anteną zewnętrzną nie zostały włączone w te badania.



Rys. 6. Obserwacje GPS na punktach Krajowej Bazy Długościowej Warszawa-Bemowo

W pierwszym dniu instrumenty zostały ustawione na słupach bazy (patrz rys. 6) w porządku „wprost”, w drugim zaś w porządku „odwrotnym”. Obserwacje zostały wykonane w zbliżonych warunkach atmosferycznych, a odległości dla poszczególnych par instrumentów wynosiły od 11 do 55 m. Anteny były ustawione w przybliżeniu na takiej samej wysokości, nad identycznym podłożem (wysuszona, niska trawa). Ten sposób obserwacji pozwolił na eliminację, a w każdym razie na zminimalizowanie wpływu stanu troposfery i jonosfery na uzyskane wyniki. Jako wartości wzorcowe przyjęto przewyższenia i odległości między słupami bazy uzyskane z wielokrotnych pomiarów dalmierzami i z niwelacji geometrycznej z błędem nie przekraczającym 2 mm. Wyniki obliczeń wykonanych programem GPPS zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3

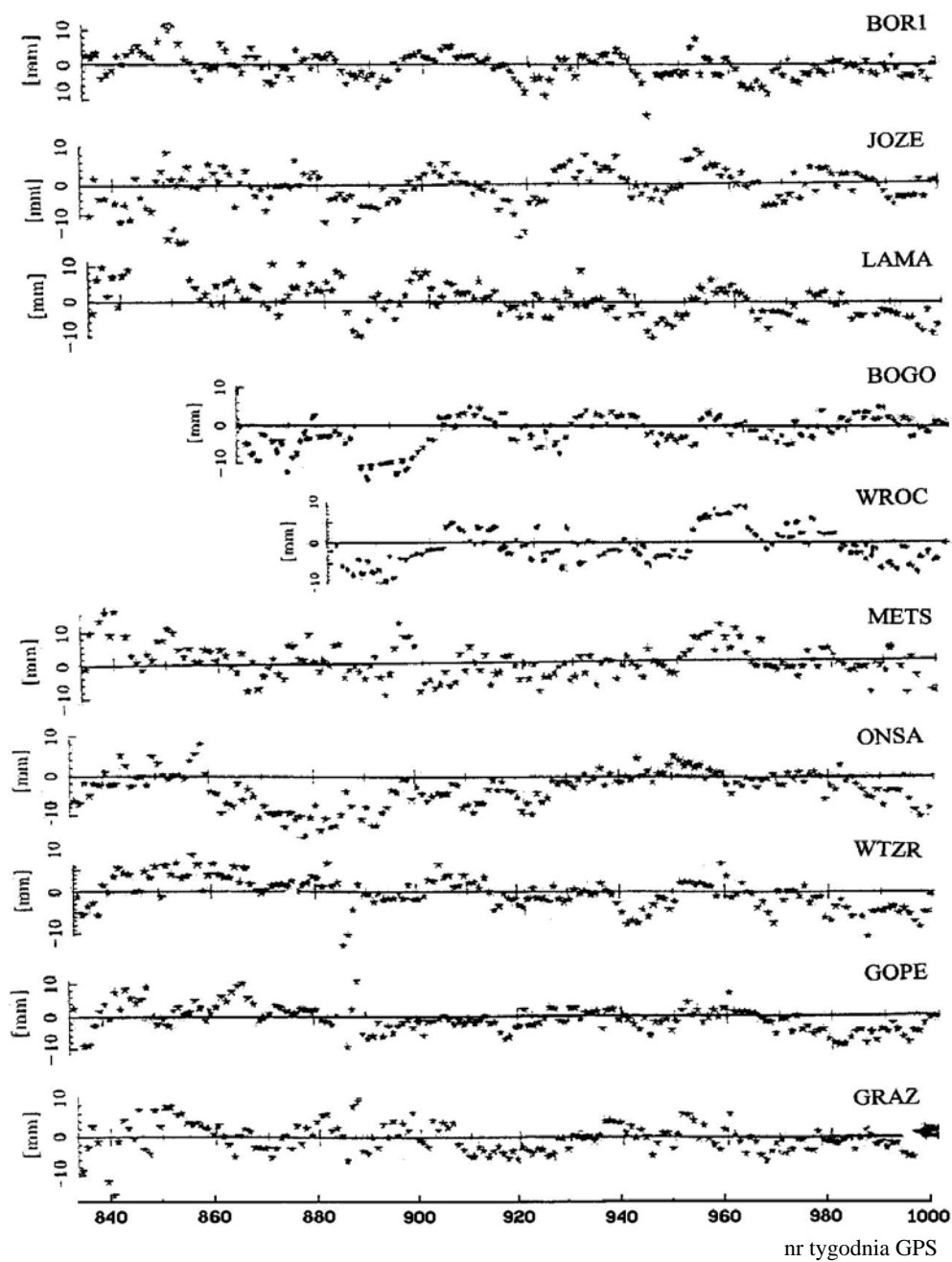
Odbiornik-antena	Pozycja wprost (w mm)	Pozycja odwrotna (w mm)
WL-TR	-7	+6
WL-DMA	-7	+6
WL-718A	-7	+6
WL-228A	-8	+4
WL-DMT	-3	+3
TR-DMA	-1	0
TR-718A	-1	+1
TR-228A	0	-1
TR-DMT	+4	-4
TR-WL	+7	-4

WL – Wild-Leica SR399
 TR – Trimble geod. L1/L2 22020
 DMA – Dorne Margolin Ash
 DMT – Dorne Margolin T
 718A – Ashtech 700718
 228A – Ashtech 700228

Sugerują one wyraźnie błąd w modelu wysokości centrum fazowego anteny WL i mniejszy – anteny DM model T. Pozostałe cztery typy badanych tu anten wykazują duże podobieństwo wyników (przy obserwacjach w cyklu dobowym) i zgodność z przyjętym modelem IGS 01/1996. Dane z opisanej tu kampanii testowej są przedmiotem dalszych redukcji z użyciem innych programów.

Należy również wspomnieć o jeszcze innym źródle otrzymywania różnych wyników z poszczególnych kampanii GPS, mianowicie zmiany pozycji samych punktów. Zjawisko to jest dobrze udokumentowane obserwacjami na permanentnych stacjach GPS, ale jeszcze nie interpretowane, być może spowodowane modelowaniem efektów pływowych, nie w pełni adekwatnym do rzeczywistych. Na rysunku 7 pokazano wykresy zmian wysokości 10 permanentnych stacji GPS sieci EUREF, które służyły jako stacje odniesienia do sieci PSG (http://www.epncb.oma.be/series_sm.html).

Wpływ tego zjawiska na zmiany współrzędnych – choć nie tak znaczny, jak w wypadku modelowania wysokości centrów fazowych anten – może osiągnąć 1cm.



Rys. 7. Zmiany wysokości punktów nawiązania według C. Bruyninx

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W okresie pierwszych fascynacji dokładnością pomiarów metodą GPS wydawało się możliwe badanie ruchów powierzchni skorupy Ziemi za pomocą okresowo przeprowadzanych kampanii. Sieci takie złożone z kilku – do kilkudziesięciu punktów zakładano w większości państw europejskich, zamierzając powtarzać pomiary z różną zresztą częstotliwością, np. we Francji co 8 lat, w Szwajcarii co 10, w Szwecji dwa razy w roku, a na Węgrzech co 2 lata. Określenie koniecznej częstotliwości takich pomiarów nadal jest kwestią otwartą. Trzeba bowiem zgodzić się na kompromis między ekonomią, dokładnością metody w stosunku do oczekiwanych rozmiarów badanego zjawiska i jego cech, być może o charakterze pulsacji.

Przedstawiona w niniejszej pracy dyskusja nad wynikami pochodzącymi z różnych kampanii GPS dla tych samych obiektów pokazuje, że ich wiarygodna interpretacja jest zadaniem złożonym i trudnym. Pomiary na zasadzie powtarzalnych kampanii wykonywane są z konieczności niejednorodną aparaturą i w innych warunkach meteorologicznych, a do opracowania są używane różne – chociaż doskonalone – programy i opcje. Prowadzi to do otrzymywania trudno porównywalnych wartości współrzędnych (patrz także np. Olikajnen M. i inni, 1999; Pujol E. i inni, 1998; Rüdja A. 1999). Niemniej obserwacje wykonane w Polskiej Sieci Geodynamicznej, stanowiąc jednorodny i zwarty materiał, przy użyciu doskonalszych niż obecnie metod opracowania mogą być wykorzystane jako dane wyjściowe do przyszłych badań ruchów powierzchni skorupy Ziemi na terytorium Polski. Możliwości metody GPS w zastosowaniu do badań dynamiki Ziemi ilustrują wyniki uzyskiwane w centralnie sterowanej i jednolicie opracowywanej europejskiej sieci stacji permanentnych. Jednak i w tym wypadku daje się jeszcze zauważyć niedopracowanie stosowanych opcji programów oraz modelowania, np. pływów oraz tropo- i jonosfery, co ostatnio jest przedmiotem usilnych prac Grupy Roboczej Podkomisji EUREF.

Do wielu celów dokładność współrzędnych punktów podstawowej osnowy geodezyjnej sporządzonych na podstawie wyników kampanii GPS EUREF-POL i POLREF może być całkowicie wystarczająca. Jednak do prac nad integracją sieci wysokościowych, poziomych i grawimetrycznych (w tym wyznaczania quasi-geoidy), dominujących obecnie działania Podkomisji EUREF Komisji X IAG, katalog współrzędnych punktów podstawowej osnowy geodezyjnej kraju powinien i może być zrewidowany. Mogą do tego posłużyć współrzędne punktów Polskiej Sieci Geodynamicznej, oparte na zalecanym przez wymienioną tu Podkomisję (Resolution no 4, 1999) systemie ETRS, realizowanym przez sieć stacji permanentnych EUREF GPS.

Grupa Robocza wyłoniona przez Podkomisję EUREF i CERCO przygotowuje obecnie (patrz raporty z jej posiedzeń w Bernie, Pradze i Dreźnie w 1999 r.) reformę standardów obowiązujących w sieci EUREF zerowego rzędu. Ich niespełnienie grozi degradacją polskiej części tej sieci.

Zamiast jak dotychczas 11 lub przysługujących naszemu krajowi 14 (1 na 30 tys. km² plus 3 do 4 na poszczególne kraje), możemy dysponować tylko 5 stacjami permanentnymi, i to jeżeli stacja Wrocław zdobędzie w Polskiej Służbie Geodezyjnej status punktu podstawowej osnowy geodezyjnej. W tej sytuacji akceptacja przez tę Służbę wyników uzyskanych w PSG lub powtórzenie pomiarów na wybranych z tej sieci punktach przed upływem postulowanych przez wspomnianą wyżej Grupę Roboczą 10 lat od pomiarów poprzednich, a więc przed 2002 rokiem, byłoby rozwiązaniem koniecznym.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy pragną wyrazić wdzięczność wszystkim osobom, które udzieliły uprzejmej pomocy w wykonaniu prac opisanych w niniejszej publikacji, a szczególnie prof. Ryszardowi Dadlezowi z Państwowego Instytutu Geologicznego, dr. Mariuszowi Figurskiemu z Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, zespołowi prof. Włodzimierza Barana z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego oraz koleżankom i kolegom z Zakładu Astronomii Geodezyjnej i Geodezji Satelitarnej oraz dr Elżbiecie Welker z Zakładu Geodezji Fizycznej Instytutu Geodezji i Kartografii.

LITERATURA

- [1] IERS: Missions and Goals for 2000, FAGGS, Paris, May 1995.
- [2] Dobrzycka Maria, 1996, *Europejski System Odniesienia ETRS*. Materiały z Konferencji „II Targi Geodezji”. Katowice 18–19 października.
- [3] Materiały z I Konferencji Sekcji C-Geodezja, Lnaže, CSR, 1991.
- [4] Dobrzycka M., Siporski L., 1994, *Research Program on Geodynamics performed in the Institute of Geodesy and Cartography*. Reports on Geodesy No 5 (13), Warsaw University of Technology, Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy.
- [5] Rothacher M., Mervart L., 1996, *The Bernese GPS Software Version 4.0*. Astronomical Institute, University of Berne, September.
- [6] Figurski M., 1998, *Local Ionosphere Model from GPS Observations*, Artificial Satellites vol. 33 No 1.
- [7] Resolution No 4. Resolutions of the EUREF Symposium in Prague, June 2–5, 1999.
- [8] Pujol E., Cifuentes F.H., Caturra J.L., de Neira S., Barrado J., 1999, *The BALEAR98 Project*. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Prague. Veröff. der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Astronomisch-Geodätische Arbeiten, Heft nr 60, München.

-
- [9] Olikainen M., Koivula H., Poutanen M., 1999, *The Densification of the EUREF Network in Finland*. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Prague. Veröff. der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Astronomisch-Geodätische Arbeiten, Heft nr 60, München.
- [10] Rüdja A., 1999, *A new ETRS realisation for Estonia*. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Prague. Veröff. der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Astronomisch-Geodätische Arbeiten, Heft nr 60, München.
- [11] Zieliński J.B., Jaworski L., Zdune R., Seeger H., Endelhardt G., Töppe F., Luthardt J., 1994, *Final Raport about the EUREF-POL 1992 Campaign*. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Warsaw. Veröff. der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Astronomisch-Geodätische Arbeiten, Heft nr 54, München.
- [12] EUREF Permanent Network Data and Products – Time Series (http://www.epneb.oma.be/series_sm.html).
- [13] XIX, XX, XXIth Meetings of the EUREF Technical Working Group, Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Prague. Veröff. der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Astronomisch-Geodätische Arbeiten, Heft nr 60, München 1999.

Recenzował: prof. dr hab. Janusz B. Zieliński

MARIA DOBRZYCKA
JAN CISAK

POLISH GEODYNAMIC NETWORK, 0 – EPOCH, 1997

S u m m a r y

Reflecting natural and man-induced tectonics the position of the network points do change in time. Their motion can be monitored by repetitive measurements using modern geodetic methods. According to current trends and international recommendations the so called geodynamic network was established in Poland, aiming at monitoring coherency and stability of the primary control network, contributing to regional and global geodynamic investigations and providing unified frame for local geodynamic programs. The geodynamic network was set up in the first half of 90-ties. It consists of 36 points. Most of them (33) were chosen from nearly 400 – points

of primary network that was in the process of fundamental modernisation. Location of points (Fig.1), consulted with geologists, gives coverage to main and subordinate crustal blocks. Monumentation of points (not fully uniform) is shown in Fig.2. The geodynamic network includes five permanent GPS stations of the "GPS Permanent EUREF Network" and seven remaining 0-order EUREF points, serving as an extension of ETRS system.

0-epoch GPS campaign in the Polish Geodynamic Network (PSG) was carried out in September 1997, in five three-day sessions, using eight sets of Leica receivers. The observations were processed and adjusted in co-operation with WUT Analysis Centre of the „GPS Permanent EUREF Network” program, using Bernese 4.0 software, according to presently valid standards. As the reference points served all five Polish GPS permanent stations, as well as five stations in neighbouring countries. Vectors used in adjustment are shown in Fig. 4. The results of 0 - epoch campaign were compared to those from former campaigns: EUREF-POL (1992) and POLREF (1994–1995). The differences obtained in latitude, longitude and ellipsoidal height are shown in Table 1 and illustrated in Fig. 5, in order to better indicate their systematic character that is especially significant in the height component.

Looking for reasons of such results several possible sources were considered, among them steadily changing, different ITRF frame parameters, used for elaboration of different campaigns (91 for EUREF-POL, 94 for POLREF and 96 for PSG), as well as different versions of computing program, methods of adjustment and ties selections. Special attention however, was paid to the antenna phase centre effect. In both POLREF (1994–1995) and PSG (1997) campaigns 8 Leica SR299 and SR399 receivers were used. At the reference points different sets of instruments were operating and different antenna characteristics were used: old and new, provided by manufacturers and recommended by IGS, model IGS 01/1996. Differences between old and new characteristics of the selected antenna types are shown in Table 2.

To test the validity of the antenna heights used in PSG measurements, two day's long GPS campaign on the Polish Standard Baseline Warszawa-Bemowo was conducted (see Fig.6), with use of the majority of GPS antenna applied in the PSG campaign. On the first day instruments were installed in direct while on the next day in the reverse order. Differences in calculated height and distance between each pair of antennas in both setting orders, were compared with standard values (accuracy better than 2mm, obtained from multiple precise EDM measurements and geometric levelling). The results shown in Table 3 may suggest erroneous value of height component for Leica and - smaller - for DM model T antenna phase centre, while four other antenna types show very good agreement.

Authors present one more possible source of discrepancies between results of different campaigns, reflected in rather regular, periodic variations of point positions. Not yet modelled, they are well documented by

observations at permanent GPS stations (see Fig. 7) and possibly caused by not enough sufficient modelling of tidal effects.

The reliable interpretation of results from different GPS campaigns is not easy, it needs very detailed information about instruments, methods and options of program used. Sometimes, when considering sophisticated tasks, re-computation might be appropriate.

Verification: Zbigniew Bochenek

*МАРИЯ ДОБЖИЦКА
ЯН ЦИСАК*

ПОЛЬСКАЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ СЕТЬ, 1997 – ЭПОХА 0

Резюме

Отражая современные движения поверхности земной коры, вызванные тектоникой натурального происхождения, деятельностью человека, изменением водных отношений и т. п. – положение пунктов геодезических основ подвергается изменениям во времени. Эти изменения можно проследивать с помощью повторяемых измерений, с использованием современных геодезических методов и инструментов. Согласно с господствующим течением и рекомендациями международных организаций, объединяющих геодезическую среду, создано в Польше т.н. геодинамическую сеть для задач, связанных с наблюдением однородности и стабильности государственной геодезической основы страны, являющихся вкладом в международные исследования динамики Земли и как отнесение локальных геодинамических программ. Польская геодинамическая сеть (PSG) была создана в первой половине 90-тых годов. Состоит она из 36 пунктов, из которых большинство (33) было выбрано из около 400-пунктовой государственной основы, модернизируемой полностью в этих годах. Локализация этих пунктов, проконсультированная с геологами, покрывает главные и второстепенные блоковые структуры на территории страны (рис. 1). Построение пунктов представлено на рисунке 2. Рассматриваемая здесь сеть содержит пять перманентных станций GPS, участвующих в международной программе „GPS Permanent EUREF Network” и следующих 7 пунктов 0 – ряда европейской, унифицированной в системе ETRS сети EUREF.

Первые измерения в геодинамической сети были выполнены методом GPS в сентябре 1997 года (эпоха 0) набором восьми приёмников Wild-Leica, в пяти трехсуточных сессиях. Наблюдения обработано и уравнено при сотрудничестве с WUT – Аналитическим

центром программы „GPS Permanent EUREF Network” – проводимым Институтом высшей геодезии и геодезической астрономии Варшавского политехнического института. Вычисления проводились с использованием бернской программы, версия 4.0, согласно с обязывающим в настоящее время в этой области стандартом. Пунктами привязки служили все 5 польских перманентных станций и 5 перманентных станций приграничных государств. Схема блоков, использованных для уравнивания, показана на рисунке 4. Результаты кампании, выполненной в сети PSG в 1997 году, были сравнены с результатами давних кампаний: EUREF-POL (1992) и POLREF (1994-1995). Полученные разницы в географической широте и долготе, в эллипсоидальной высоте представлены в таблице 1 и иллюстрированы графически на рисунке 5, с целью указания систематического характера, особенно значительного в случае составляющей высоты.

Ища причины появления этих расхождений, рассматривались несколько возможных их источников: последовательно изменяемые параметры системы ITRF, применяемой для разработки разных кампаний (ITRF91 для EUREF-POL, ITRF94 для POLREF и ITRF96 для PSG), разные методы уравнивания и подбор пунктов привязки. Особое внимание было обращено на влияние расположения фазовых центров антенн. Хотя в POLREF и PSG были использованы приёмники одной и той же фирмы (Wild-Leica), но на пунктах привязки работали приёмники других фирм, с иной характеристикой их антенн. Что больше – для таких же самых антенн принято было в обеих кампаниях иные величины характеристик. В кампании POLREF применялись величины, данные производителем аппаратуры, а в сети PSG, рекомендованная в настоящее время модель IGS –01/96. Разницы между прежними и новыми данными представлены на таблице 2.

Чтобы проверить данные о высотах фазовых центров антенн, была организована на Отечественном базисе длины Варшава-Бемово двухдневная кампания GPS (рис. 6), в которой были использованы почти все виды антенн, применяемых при измерении сети PSG. В первый день наблюдений инструменты были установлены на столбах базиса в направлении «вперед», а в другом в «обратном» направлении. Разницы высот и расстояний в обеих установках инструментов для каждой пары, полученные из наблюдений методом GPS, были сравнены с их образцовой величиной с точностью не менее чем 2 мм, полученной из многократных измерений высокоточными дальномерами и с помощью геометрической нивелировки. Исключая идеально совпадающие результаты для расстояний, в таблице 3 сопоставлены разницы между превышениями образцовыми и полученными из измерений GPS в порядке «вперёд» и «назад» для отдельных пар приёмников. Эти данные внушают наличие ошибки в высоте фазового центра антенны приёмника

W-L и – меньшей - для DM модель T. Четыре остальных вида антенн показывают очень хорошую сходность с моделью IGS- 01/96.

Авторы указывают ещё на один возможный источник несовпадения координат тех же самых пунктов из разных кампаний GPS, а именно периодические, регулярного характера изменения позиции пунктов, главным образом, их высоты. Это явление хорошо документировано наблюдениями перманентных станций GPS (рис.7) и может быть вызвано недостаточно точным моделированием приливных эффектов.

Как видно из представленных здесь материалов, достоверная интерпретация результатов разных кампаний GPS остаётся трудной задачей, требующей подробной информации о применённых инструментах и методах разработки. Иногда – для целей требующих особенно высокой точности – вычисления следовало бы проводить вновь.

Перевод: Роза Толстикова

