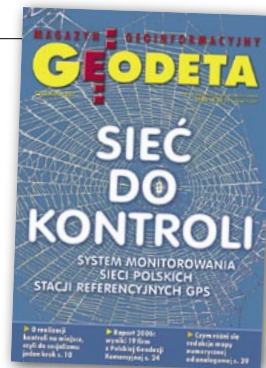


System monitorowania sieci polskich stacji referencyjnych GPS,
cz. I – artykuł recenzowany



SIECI GPS DO KONTROLI

Stacje GNSS na terenie Polski budują już nie tylko ośrodki akademickie, ale również urzędy administracji i firmy prywatne. Brak przepisów standaryzacyjnych prowadzi do dowolności, a wręcz bałaganu w zakresie wyznaczania ich współrzędnych i redystrybucji obserwacji. Pałący staje się problem koncepcji monitorowania pracy stacji i realizacji układu odniesienia.

MARIUSZ FIGURSKI

Realizowany przez GUGiK projekt ASG-EUPOS stał się stymulatorem wzrostu zainteresowania kwestiami zdalnego sterowania i zarządzania sieciami stacji GNSS. W 2006 ro-

ku ukazał się w GEODECIE cykl artykułów dotyczących zmodernizowanej sieci ASG-PL w Śląskiem, w których opisywano zalety i wady takiego rozwiązania. Autorzy publikacji marginalnie traktują w nich jednak problemy nadzorowania pracy stacji referencyjnych i realizacji układu odniesienia. Stwierdzają

przy tym, że sprawy te rozwiązują wewnętrzne mechanizmy programów do zarządzania i generowania poprawek powierzchniowych RTK, zapominając, że współrzędne stacji referencyjnej nie mogą być wyznaczone z krótkiej, np. kilkugodzinnej sesji obserwacyjnej. Jest to tylko tzw. kontrola wewnętrzna systemu, ale brakuje kontroli zewnętrznej.

Z punktu widzenia praktyki geodezyjnej w Polsce kwestia ta jeszcze kilka lat temu była czysto teoretyczna, bo działających stacji referencyjnych było niewiele. Ostatnio zaczęło ich gwałtownie przybywać, a brak przepisów standaryzacyjnych prowadzi do dowolności, a wręcz bałaganu w zakresie wyznaczania współrzędnych stacji i redystrybucji obserwacji. W 2006 roku zespół Centrum Geomatyki Stosowanej Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej w ramach prac statutowych podjął temat badawczy związany z monitorowaniem polskiej sieci stacji referencyjnych, którego celem miało być ustalenie: ● Jaka jest dokładność i stabilność wyznaczanych współrzędnych stacji referencyjnych w funkcji czasu? ● Jaka jest jakość obserwacji rejestrowanych na stacjach referencyjnych w formacie RINEX? ● W jaki sposób można przenieść system odniesienia ETRS'89 na powsta-

STRESZCZENIE: System monitorowania sieci polskich stacji referencyjnych.

W pracy przedstawione zostały problemy monitorowania stacji referencyjnych na obszarze Polski. Pokazano sposób monitorowania stacji permanentnych w sieci IGS i EPN oraz krótko scharakteryzowano historię rozwoju stacji referencyjnych na terenie Polski. Została zwrócona uwaga na brak standardu w zakresie prowadzenia obserwacji i wyznaczania współrzędnych stacji referencyjnych. Na podstawie standardów IGS i EPN sformułowano założenia dla systemu monitorowania polskich stacji referencyjnych, który może być realizowany na dwóch poziomach. Pierwszy poziom wykorzystywany jest do konserwacji systemu ETRF'89, a drugi – do analizy jakości obserwacji i wyznaczanych współrzędnych. Poziom drugi wykorzystuje szybkie efemerydy precyzyjne IGS, co pozwala monitorować stacje w czasie prawie rzeczywistym.

ABSTRACT: Polish reference stations monitoring system. The paper presents issues related with reference stations monitoring in Poland. Monitoring of permanent IGS and EPN stations is presented and a short characteristics of the reference stations development in Poland is provided. A lack of a standard concerning conducting observations and determining reference stations coordinates is highlighted. Guidelines for developing a monitoring system for Polish reference stations, based IGS and EPN standards, are presented. The system might be realized at two levels: one is used for maintaining ETRF'89 system, the other – for quality of observations analysis and coordinates determination. The latter system uses rapid and ultra rapid precise IGS ephemerids which allows to monitor stations in near-real time.

jąca sieć stacji referencyjnych ASG-EUPOS?

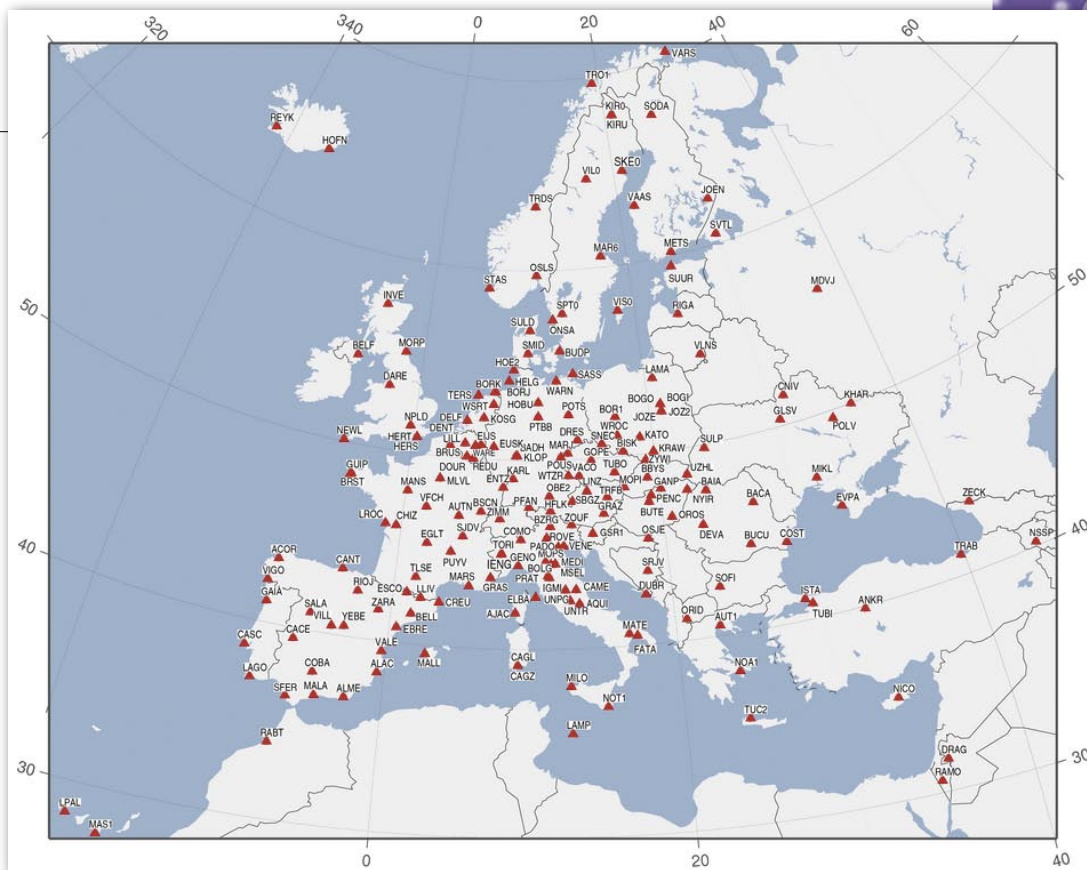
● Czy system monitorowania umożliwia wykrywanie błędów obserwacyjnych? ● Jak często należy prowadzić monitorowanie?

Odpowiedzi na powyższe pytania umożliwią ocenę jakościowo-ilościową istniejących polskich stacji referencyjnych GNSS w przedniu uruchomienia sieci ASG-EUPOS. Najpierw jednak zapoznajmy się z dwoma rozwiązaniami sprawdzonymi i funkcjonującymi od kilkunastu lat – globalną siecią stacji permanentnych GNSS zarządzanych przez IGS (International GNSS Service) i europejską siecią stacji permanentnych EPN (European Permanent Network), które stały się bazą dla opracowania systemu monitorowania stacji referencyjnych na terenie Polski.

● IGS – GLOBALNA SIĘĆ STACJI PERMANENTNYCH GNSS

W połowie lat 80. próbowano stworzyć międzynarodowe standardy archiwizacji i opracowania obserwacji GPS. Rezultatem kilku lat dyskusji, prób i analiz oraz rocznego programu pilotażowego w 1993 roku decyzją IAG (International Association of Geodesy) powołano międzynarodową służbę IGS (International GNSS Service), która od 1 stycznia 1994 roku działa operacyjnie (Beutler i in., 1994). Podstawowe jej cele to: ● opracowywanie efermyd precyzyjnych, ● opracowywanie globalnych modeli jonosfery i troposfery, ● prowadzenie badań w dziedzinie geodezji, geofizyki i geodynamiki, ● wdrażanie technologii GNSS.

Realizacja tych celów jest możliwa dzięki wszechstronnej koordynacji i organizacji współdziałania stacji GPS, których liczba szybko wzrasta i które obsługiwane są przez rozmaite instytucje naukowo-badawcze na całym świecie. Duża ilość danych obserwacyjnych GPS gromadzonych z sieci permanentnej IGS jest archiwizowana według ściśle ustalonych standardów, podobnie jak ich numeryczna obróbka i redystrybucja wyników obliczeń (Mueller, 1993).



Rys. 1. Rozmieszczenie stacji sieci EPN. Stan z 1 marca 2007 roku (<http://www.epncb.oma.be>)

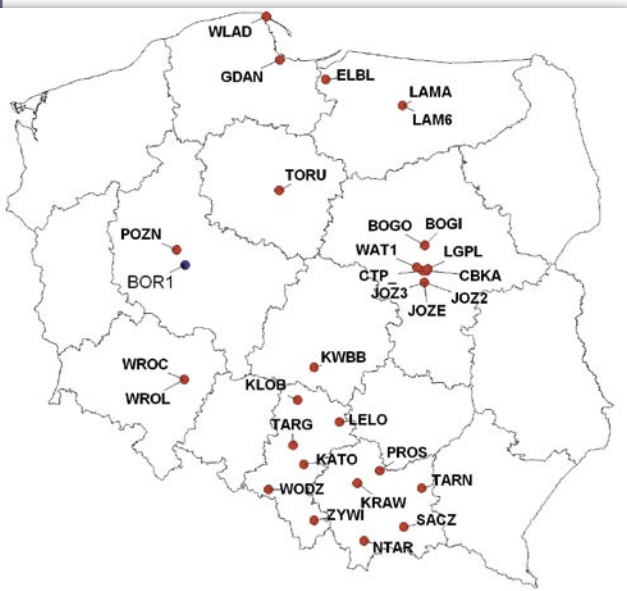
IGS jest członkiem FAGS (Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services) i działa w ścisłej współpracy z IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service). Dzięki prowadzonemu w ramach tej współpracy zagęszczaniu układu ITRF możliwe jest określanie współrzędnych każdej stacji IGS w jednolitym globalnym układzie odniesienia z dokładnością rzędu 5 mm (IGS, 1998). Jest to jedno z najważniejszych zadań IGS, ale nie jedyne. Kolejne to wyznaczanie wysokiej jakości efermyd satelitarnych GPS/GLONASS, parametrów ruchu obrotowego Ziemi, prędkości przemieszczania się stacji (roczne i miesięczne), poprawek zegarów satelitów i odbiorników GPS, parametrów refrakcji jonosferycznej i troposferycznej oraz pozyskiwanie obserwacji meteorologicznych. Wśród efermyd precyzyjnych satelitów GPS wyróżnić można: ● szybkie predykowane (IGS Ultra Rapid), ● szybkie (IGS Rapid), ● końcowe (IGS Final). Realizację zadań IGS zapewnia hierarchiczna struktura organizacyjna, w skład której wchodzi: ● stacje podstawowe, ● lokalne sieci satelitarne, ● centra danych, ● centra analiz, ● stowarzyszone centra analiz, ● koordynator analiz, ● biuro centralne, ● kierownictwo.

W styczniu 1994 roku w skład sieci IGS wchodziło tylko 70 stacji, a do początku 2003 roku ich liczba wzrosła do ok. 300 jednostek należących do 76 orga-

nizacji. Wszystkie one tworzą globalną sieć referencyjną (Mueller, 1993). Każda stacja posiada co najmniej jeden permanentnie pracujący 2-częstotliwościowy odbiornik kodowo-fazowy (zbierający dane co 30 sekund) oraz infrastrukturę niezbędną do przesyłania raz na dobę zbiorów pomiarowych do określonego centrum danych (Kouba, 1998). Stacje IGS mają wystarczająco dobrze wyznaczone współrzędne, aby mogły służyć jako nawiązanie lokalnych sieci permanentnych lub zakładanych okresowo osnów pomiarowych. W 1996 roku podjęto decyzję o zamrożeniu sieci globalnej (tworzy ona globalną sieć podstawową). Jednocześnie wysunięto propozycję tworzenia sieci regionalnych lub nawet lokalnych, które w konsekwencji wspólnie będą stanowiły rozszerzoną sieć globalną IGS (Zumberge i Liu, 1995).

● EPN – EUROPEJSKA SIĘĆ STACJI PERMANENTNYCH GNSS

W Europie już przed II wojną światową trwały prace nad ujednoczeniem geodezyjnego układu odniesienia. Jednak dopiero w 1987 roku XIX Zgromadzenie Generalne Międzynarodowej Unii Geodezji i Geofizyki w Vancouver powołało w ramach Komisji X (Sieci Kontynentalne) IAG nową podkomisję EUREF. Jej zadaniem było opracowanie założenia nowego, precyzyjnego geodezyjnego systemu odniesienia dla kontynentu europejskiego – ETRS'89. W czerwcu 1994 roku na



Rys. 2. Mapa rozmieszczenia stacji referencyjnych włączonych do systemu monitorowania POL_EPN

symposium EUREF w Warszawie przedstawiono propozycję utworzenia permanentnej sieci GPS na terenie Europy, którą nazwano EPN (European Permanent Network). Do współpracy zostały zaproszone wszystkie ośrodki w Europie prowadzące ciągle obserwacje GPS. Jednocześnie zaproponowano powołanie ośrodków mogących na wzór IGS odgrywać rolę lokalnych centrów analiz. W maju 1996 roku IGS oficjalnie zaakceptowała włączenie sieci EPN do projektu „Zaangażowanie ITRF poprzez analizę regionalną”. Wzięło w nim udział około 60 stacji w Europie oraz 7 lokalnych centrów analiz. Po rocznym okresie testów od 1 stycznia 1997 roku projekt został przekształcony w regularną służbę.

Obok realizacji jednolitego systemu odniesienia dla Europy ETRS'89 sieć EPN spełnia także ważną funkcję dla definicji układu globalnego ITRF oraz jego ciągłego udoskonalania (Bruyninx i in., 1997). Europejski System Odniesienia ETRS'89 został zdefiniowany w 1990 roku na podstawie Międzynarodowego Ziemińskiego Systemu Odniesienia ITRS dla epoki 1989.0 (ITRS'89), którego praktyczną realizacją jest układ ETRF (Gubler i Hornik, 1993). Jego podstawową zaletą jest fakt usadowienia go na stabilnej części płyty euroazjatyckiej.

Organizacja oraz system zarządzania EPN działają podobnie jak w IGS (Bruyninx i in., 1996). W skład sieci wchodzi:

- stacje permanentne GPS,
- centra operacyjne,
- lokalne centra zbierania obserwacji GPS,
- regionalne centra danych,
- lokalne centra analiz,
- regionalne

centrum analiz, ● biuro koordynujące działanie sieci.

Operacyjne centra zbierania danych zajmują się bezpośrednią obsługą stacji GPS oraz archiwizowaniem i przetwarzaniem obserwacji satelitarnych do formatu RINEX.

Lokalne centra zbierania danych przechodzą dane obserwacyjne z sieci lokalnych stacji permanentnych oraz prowadzą redystrybucję obserwacji. W wielu przypadkach zadania lokalnych centrów zbierania danych pokrywają się z zadaniami centrów operacyjnych. Jeżeli lokalna sieć stanowi część sieci regionalnej lub globalnej (EPN, IGS), wówczas obserwacje gromadzone przez lokalne centrum są przesyłane do centrów regionalnych. Tego typu centra funkcjonują np. w sieci SAPOS (Frohlich, 1994).

Centra regionalne zbierania danych archiwizują i weryfikują dane z operacyjnych i lokalnych centrów, a także udostępniają obserwacje w internecie. Równocześnie stanowią one główne źródło danych dla centrów analitycznych IGS i EPN.

Sieć EPN jest obecnie opracowywana przez 16 **lokalnych centrów analiz**, a działania nadzorowane są przez **biuro koordynujące** z siedzibą w Brukseli. Każde centrum zajmuje się obserwacjami z określonej liczby stacji permanentnych, z zachowaniem zasady, że dane z jednej stacji powinny być opracowywane przez co najwyżej trzy centra. Obserwacje przetwarzane są w trybie dobowym i w postaci rozwiązań tygodniowych (w formacie SINEX) przesyłane są do **regionalnego centrum analiz**. W wyniku połączenia rozwiązań z 16 lokalnych centrów analiz EPN na poziomie równań normalnych uzyskuje się tygodniowe rozwiązanie regionalne, a wynik stanowi produkt do dalszych analiz (np. wyrównania sieci globalnej IGS). Ponadto zajmuje się ono badaniem stabilności układu ETRF (Söhne i Weber, 2003).

Obecnie w inicjatywy BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie), lokalnego centrum analiz EPN z Politechniki Warszawskiej (WUT LAC EPN) oraz Centrum Geomatyki Stosowanej WIG Wojsko-

wej Akademii Technicznej prowadzone są prace koncepcyjne nad sposobem łączenia rozwiązań dobowych z różnymi centrami. Rozwiązanie tego problemu pozwoli na dokładniejszą analizę zmian współrzędnych stacji i układu ETRF (Habrich, 2003).

● POLSKA SIĘĆ STACJI GNSS

W Polsce pierwsza stacja referencyjna GPS została uruchomiona w sierpniu 1993 roku w Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjnym PW w Józefosławiu. Od samego początku działa ona w sieci IGS i była w tym czasie najdalej wysuniętą na wschód europejską stacją permanentną. Kolejna stacja była własnością Centrum Badań Kosmicznych i powstała w Borowcu koło Poznania (1994 r.). Ciekawostką jest, że na obu punktach pracują nieprzerwanie od samego początku te same odbiorniki, co ma duże znaczenie przy badaniu ciągów zmian współrzędnych w czasie i realizacji układu odniesienia. Następne stacje powstawały w LamkóWKu koło Olsztyna (Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, 1994 r.), w Borowej Górze (Obserwatorium Instytutu Geodezji i Kartografii, 1996 r.), we Wrocławiu (Uniwersytet Przyrodniczy, 1996 r.), a w 2001 r. na istniejących stacjach w Borowej Górze i w Józefosławiu uruchomiono dodatkowe odbiorniki GPS/GLONASS. Warto wspomnieć, że dwie ostatnie lokalizacje były pierwszymi w Polsce z dwoma odbiornikami GNSS. Powodem takiego podejścia była decyzja o uruchomieniu na świecie w miarę możliwości jak największej liczby odbiorników pozwalających na rejestrację sygnałów GLONASS. Wymiana istniejącego sprzętu na dwusystemowy zakłóciłaby ciągłość wieloletnich rozwiązań. Synchroniczna praca dwóch niezależnych zestawów odbiorczych daje wiele innych możliwości, m.in. badanie troposfery i refrakcji troposferycznej czy też analizę błędów instrumentalnych. Podobne rozwiązanie kilka miesięcy później zastosowano na stacjach w Borowcu (dodatkowy odbiornik do transferu czasu) i LamkóWKu (odbiornik włączony na potrzeby sieci ASG-PL).

Początek XXI wieku zaowocował pomysłem sieci stacji referencyjnych, która mogłaby w przyszłości przejąć rolę osnowy podstawowej. W ten sposób powstała istniejąca do dzisiaj sieć ASG-PL, która wystartowała w województwie śląskim, jako projekt pilotażowy, a obecnie obejmuje także teren Małopolski. Sieć składała się z 6 stacji podstawowych oraz licznej grupy punktów stowarzyszonych,

które zgłosiły chęć uczestniczenia w tym przedsięwzięciu. Trudno jednak powiedzieć, ile jest faktycznie stacji referencyjnych w Polsce. Co jakiś czas pojawiają się informacje o uruchomieniu kolejnych, ale nie wszystkim można nadać taki status, przynajmniej w mojej ocenie.

● O CZYM WARTO WIEDZIEĆ

Praktycznie wszystkie stacje permanentne w Polsce wykonują obserwacje w jednym lub kilku serwisach pomiarowych (np. IGS, EPN, ASG-PL). Po-naddziesięcioletnia praca kilku z wymienionych pozwoliła na dokładne oszacowanie prędkości ich przemieszczania się w układzie odniesienia ITRF. Z praktycznego punktu widzenia stosowanie w geodezji układów kinematycznych (takim jest układ ITRF) jest problematyczne. Z tego powodu dla Europy został wprowadzony system odniesienia ETRS'89, którego zastosowanie ograniczono do platformy euroazjatyckiej. Z zebranych informacji wynika, że obecnie w Polsce pracuje ponad 30 stacji (zgodnie z weryfikacją przeprowadzoną przez autora), z tego 10 permanentnych włączonych do sieci IGS i EPN. Tylko one posiadają precyzyjnie wyznaczone współrzędne w układach ITRF i ETRS'89. Pozostałe mają status lokalnych, krajowych stacji referencyjnych.

Ważnym elementem wpływającym na dokładność wyznaczanych współrzędnych jest sprzęt, czyli odbiornik i antena GNSS. Szczególnie istotna w tym kontekście jest gwarancja utrzymania parametrów technicznych w różnych warunkach klimatycznych, ale przede wszystkim zagwarantowanie ich eksploatacji w długim okresie czasu. Kilku-, kilkunastoletni cykl działania instrumentu pozwala po pierwsze – wyznaczyć stały błąd instrumentalny (kształtujący się na poziomie ± 25 ns), a po drugie – uniknąć zaburzenia ciągu rejestrowanych współrzędnych wywołanych szczególnie zmianami anteny (każda ma np. różną geometrię, inne położenie centrum fazowego dla częstotliwości L1 i L2 czy dokładność centrowania). Ideałem byłoby, gdyby uruchomione stacje pracowały nieprzerwanie, bez konieczności wymiany odbiorników lub anten. Sytuacja taka jest jednak obecnie nieosiągalna. Na wielu punktach zdarzały się przypadki zniszczenia anteny i odbiornika przez wyładowania atmosferyczne (Wrocław) lub wymiany odbiornika na nowszy model. Jedyną stacją, która pracuje nieprzerwanie i bezawaryjnie na tym samym

zestawie odbiornik-antena, jest Józefosław. Jest to główny powód jej włączenia do większości międzynarodowych programów badawczych.

Wartości współrzędnych stacji referencyjnych ASG-PL opublikowano dopiero po 3 latach pracy systemu. Niestety, wykaz współrzędnych zawiera tylko część stacji permanentnych (EPN, IGS) i referencyjnych z terenu Polski, który został opracowany przez centrum ASG-PL w Katowicach.

Następny problem związany z wykorzystaniem stacji referencyjnych, który pojawił się w ostatnich latach w Polsce, dotyczy obiektów zarządzanych przez firmy prywatne. Źródła pochodzenia współrzędnych tych stacji oraz metody nawiązania do systemu ETRS'89 w większości przypadków są nieznane, przez co trudno je zweryfikować. Nowo powstające stacje są nawiązywane prze-ważnie do sieci POLREF, której dokładność zgodnie z ostatnimi badaniami została podważona. Brak jest ponadto procedur postępowania przy włączaniu nowych stacji referencyjnych. Dodatkowo nie są publikowane informacje o stabilności współrzędnych i ich zmian w czasie. Prowadzi to do tego, że zamiast jednolitego układu współrzędnych, który mógłby być realizowany przez jednorodną sieć stacji referencyjnych na terenie Polski, mamy chaos. Pewnym rozwiązaniem tego problemu może być zaproponowany system monitorowania sieci stacji permanentnych na terenie Polski zgodnie ze standardami EPN (POL_EPN), który został opracowany w Centrum Geomatyki Stosowanej Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji WAT.

● ZAŁOŻENIA SYSTEMU POL_EPN

Zasadniczym założeniem systemu POL_EPN było przyjęcie standardu opracowania zgodnego z EPN. Podejście to jest stosowane w większości państw europejskich (np. Szwajcaria – sieć AGNES, Niemcy – sieć SAPOS). Budowa systemu POL_EPN wymagała rozwiązania proble-

Stacja numer stacji *)	Skrót	Data uruchomienia	Punkt sieci **)	D/H
Józefosław ***)	JOZE	03.08.1993	IGS, EPN, ASG-PL	tak
12204M001				
Borowiec ***)	BOR1	10.01.1994	IGS, EPN, ASG-PL	tak
12205M002				
Lamkówko	LAMA	01.12.1994	IGS, EPN,	tak
12209M001				
Borowa Góra	BOGI	03.01.2001	IGS, EPN, ASG-PL	tak
12207M003				
Borowa Góra	BOGO	08.06.1996	EPN, ASG-PL	tak
12207M002				
Józefosław	JOZ2	03.01.2002	IGS, EPN,	tak
12204M002				
Józefosław	JOZ3		ASG-PL	
Katowice	KATO	30.01.2003 ¹⁾ 11.2002 ²⁾	EPN, ASG-PL	tak
12219S001				
Kraków	KRAW	01.01.2003	EPN, ASG-PL	tak
12218M001				
Wrocław	WROC	28.11.1996	IGS, EPN, ASG-PL	tak
12217M001				
Żywiec	ZYWI	30.01.2003 ¹⁾ 11.2002 ²⁾	EPN, ASG-PL	tak
12220S001				
CBK-Warszawa	CBKA	?	ASG-PL	tak
Elbląg	ELBL	01.2005	ASG-PL	tak
Gdańsk	GDAN	1998-2000	ASG-PL	tak
Kłobuck	KLOB	11.2002	ASG-PL	tak
Bełchatów	KWBB	?	ASG-PL	
Lamkówko	LAM6	?	ASG-PL	tak
Lelów	LELO	11.2002	ASG-PL	tak
Poznań	POZN	?	ASG-PL	tak
Nowy Sącz	SACZ	?	ASG-PL	
Tarnowskie Góry	TARG	11.2002	ASG-PL	tak
Toruń	TORU	1998 05.2004 ²⁾	ASG-PL	tak
Wodzisław	WODZ	11.2002	ASG-PL	tak
Proszowice	PROS	2006	ASG-PL	tak
Tarnów	TARN	2006	ASG-PL	tak
Nowy Targ	NTAR	2006	ASG-PL	tak
WAT-Warszawa	WAT1	2006	-	tak
Leica Geosystems Warszawa	LGPL	2006	-	tak
Czerski Trade Polska - Warszawa	CTP_	2007	-	tak
Władysławowo	WLAD	?	-	tak
Wrocław	WROL	2006	-	tak

*1) dotyczy tylko stacji IGS i EPN; **1) dotyczy tylko sieci IGS, EPN lub ASG-PL; ***1) punkt nawiązania sieci EPN; ¹⁾ punkt sieci EPN; ²⁾ punkt sieci ASG-PL; D – obserwacje dobowe, H – godzinne; Uwaga: GDAN nie jest stacją EPN, w roku 2006 dane dostępne są tylko z 33 dni

mów zarówno natury merytorycznej, jak i logistycznej. Główną przeszkodą okazał się wgląd do obserwacji ze stacji referencyjnych, które są zarządzane przez różne instytucje. Procedury uzyskania dostępu do danych trwały nawet kilka miesięcy. W tym czasie zostały podpisane niezbędne porozumienia z operatorami 20 stacji referencyjnych (w tym ASG-PL i sieci sta-



Rys. 3. Autor artykułu obok superkomputera FENIX

cji referencyjnych województwa małopolskiego). Stacje włączone do systemu monitorowania POL_EPN prezentuje rys. 2, a tabela na s. 19 zawiera podstawowe informacje o nich.

Na etapie przygotowania danych stwierdzono, że pewne stacje referencyjne pracujące w trybie RTK nie archiwizują obserwacji. Innym mankamentem jest brak standardów regulujących wpisy w nagłówkach plików RINEX. Dotyczy to nazewnictwa odbiorników i anten oraz sposobu kodowania nazw punktów. W EPN tego problemu nie ma, ponieważ przyjęto standard IGS. Zgodnie z nim każdy odbiornik i antena posiadają swoje nazwy kodowe, a punkt opisuje 4-znakowa nazwa i 16-znakowy numer. Przykładowo odbiornik Trimble R8 i antena Trimble Integrated Antenna (R8) są oznaczone: odbiornik Trimble R8, antena TRM_R8_GNSS. Kodowanie dla innych odbiorników i anten można znaleźć w pliku ftp://epncb.oma.be/pub/station/general/rcvr_ant.tab na serwerze EPN. By ujednolicić wszystkie dane z polskich stacji referencyjnych, podjęto decyzję, że będą one zbierane na lokalnym serwe-

rze ftp, a następnie poddawane analizie w bazie danych w celu sprawdzenia poprawności formatu RINEX i jakości obserwacji (poziom szumów, wielkość interferencji fal wtórnych, zakłóceń elektromagnetycznych itp.). Dodatkowo do systemu POL_EPN zostały włączone stacje permanentne z sieci EPN: WTZR i POTS – Niemcy, ONSA – Szwecja, METS – Finlandia, GLSV – Ukraina. Ich wybór nie jest przypadkowy – wchodzi one bowiem w skład stacji fundamentalnych sieci EPN i w sposób naturalny mogą stanowić nawiązanie stacji referencyjnych w projekcie POL_EPN. Co prawda, w Polsce są dwie stacje fundamentalne EPN (BOR1 i JOZE), ale tylko pierwsza z nich wykorzystana jest do nawiązania, a druga do kontroli poprawności rozwiązań. Obserwacje z sieci EPN są pozyskiwane z regionalnych i lokalnych baz danych EPN (np. baza BKG <http://igs.ifag.de>). W bazie BKG są dostępne ponadto: efemerydy satelitarne, rozwiązania sieci EPN w formacie SINEX, współrzędne stacji i inne informacje niezbędne

do opracowania obserwacji GNSS. Zebrane obserwacje są zapisywane, a system pozwala na bieżącą kontrolę stacji oraz analizę obserwacji archiwalnych, co zostanie pokazane w drugiej części artykułu.

Projekt POL_EPN zakłada wykorzystanie obserwacji dobowych z czasem akwizycji 5 s. Taki standard jest kreowany przez sieć ASG-PL, ale również będzie przyjęty w sieci ASG-EUPOS. Natomiast stacje pracujące tylko w sieci IGS i EPN zbierają obserwacje co 30 s, dlatego do testowania systemu przyjęto jako podstawowy ten właśnie interwał.

Zgodnie z pierwotnym założeniem, do ujednolicenia metodyki obróbki obserwacji skorzystano ze standardów obliczeń EPN. Wybrana droga ma dwojakiego rodzaju zalety. Z jednej strony wykorzystana jest sprawdzona strategia opracowania, z drugiej – istnieje możliwość porównania wyników z siecią EPN.

Głównym narzędziem analitycznym w systemie monitorowania polskich stacji permanentnych jest program Bernese 5.0/5.1, który został uruchomiony na 64-bitowym klastrze komputerowym FENIX

(rys. 3), działającym w Wojskowej Akademii Technicznej. Klaster wyposażony jest w 32 procesory Itanium 2, pracujące pod kontrolą systemu Linux. Na uwagę zasługuje fakt, że jest to pierwsza i – jak do tej pory – jedyna instalacja programu Bernese na platformie IA-64. Proces obliczeniowy, w którym wykorzystywane są dobowe obserwacje z ok. 35 stacji, zajmuje komputerowi zaledwie 4 minuty. Podobne procedury na dwuprocesorowej stacji roboczej trwają 10 razy dłużej!

System jest zasilany podobnym zestawem danych początkowych i brzegowych, jak w sieci EPN. Dotyczy to również stacji nawiązania, którymi są: ONSA, WTZR i BOR1. Taki sam zestaw stacji nawiązania jest stosowany do opracowania części sieci EPN w lokalnym centrum analiz EPN Politechniki Warszawskiej (WUT LAC EPN).

● FUNKCJE SYSTEMU MONITOROWANIA

Założono, że POL_EPN powinien spełniać dwie podstawowe funkcje:

- ujednolicić opracowania obserwacji i wyrównanie oraz zapewnić transformację do układu ETRF,
- monitorować pracę stacji z oceną stabilności rozwiązań.

Z uwagi na powyższe do opracowania należy użyć różnych typów efemeryd precyzyjnych i parametrów ruchu obrotowego Ziemi, co prowadzi do dwóch poziomów monitorowania. **Poziom pierwszy** wykorzystuje ostateczne orbity i parametry ruchu obrotowego (IGS Final). Z uwagi na opóźnienie dochodzące nawet do 10 dni od momentu wykonania obserwacji jest przeznaczony do zagadnień związanych z konserwacją układu odniesienia ETRF na terenie Polski. **Poziom drugi** służy do monitorowania pracy stacji referencyjnych i praktycznie można go realizować w zależności od szybkości uzyskania wyników obliczeń na trzy sposoby:

- RAPID – efemerydy i parametry ruchu obrotowego (Rapid IGS), obserwacje dobowe, monitorowanie sieci stacji z opóźnieniem maks. 18 godzin po zakończeniu obserwacji;

- ULTRA-RAPID-1 – efemerydy i parametry ruchu obrotowego IGS (IGS Ultra Rapid), obserwacje godzinne łączone w interwale 24 godzin, monitorowanie sieci stacji z opóźnieniem maks. 2 godzin;

- ULTRA-RAPID-2 – efemerydy i parametry ruchu obrotowego IGS (IGS Ultra Rapid), obserwacje godzinne, monitorowanie sieci stacji z opóźnieniem maks. 20 minut.

Obecnie system monitorowania pracuje operacyjnie na poziomie 1 oraz 2 z wykorzystaniem efemeryd IGS Rapid. Wyniki uzyskiwane na różnych poziomach monitorowania mają nie tylko znaczenie poznawcze, stanowią one również podstawę do weryfikowania wpływu różnych modeli obserwacyjnych i efemeryd precyzyjnych na dokładność współrzędnych i długość sesji pomiarowych. O tych problemach będzie mowa w drugiej części artykułu, w której skupimy się na określeniu warunków brzegowych obliczeń, poddamy dyskusji problem dokładności i precyzji wyznaczeń GPS, przedstawimy wyniki monitorowania oraz dokonamy analizy porównawczej z wynikami ASG-PL i EPN. Dołączony zostanie również aktualny katalog współrzędnych w systemie ETRS'89 polskich stacji referencyjnych opracowany na podstawie wyników systemu POL_EPN.

DR HAB. INŻ. MARIUSZ FIGURSKI,
prof. WAT, prodziekan ds. naukowych
Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji
Wojskowej Akademii Technicznej
im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie
Recenzent: PROF. IRENEUSZ WINNICKI,
dziekan WILiG WAT w Warszawie

Literatura:

- Beutler G., Bauersima I., Gurtner W., Rothacher M., Schildknecht T., Geinger A., Atmospheric Refraction and Other Important Biases in GPS Carrier Phase Observations, in Atmospheric Effects on Geodetic Space Measurements, Monograph 12, pp. 15-43, School of Surveying, University of New South Wales, Kensington, Australia 1987.
- Bruyninx C., Gurtner W., Muls A., (1996), The EUREF Permanent GPS Network EUREF Symposium at Ankara, 22-25 May, 1996.
- Bruyninx C., Dousa J., Ehrnsperger W., Fachbach N., Figurski M., Johansson J., Springer T., Vespe F., Weber G., (1997), The Use of the EUREF Permanent GPS network for the Maintenance of the European Terrestrial Reference Frame" IAG Symposium in Rio.
- Frohlich M., (1994), The high precise permanent positioning service (HPPS) in north Germany- Test and first results. Proceedings DSNS 94 - Third International Conference on Differential Satellite Navigation System, London.
- Gubler E., Hornik H., (1993), The Use of IGS Products For Densifications of Regional/Local Networks, Proceedings of EUREF Symposium, Budapest, Hungary, May 1993, EUREF Publication No. 2, ed. E., pp. 194-19
- Habrich H., (2003), Introduction into Topics of Interest, EUREF Analysis Workshop, Graz, September 18-19.
- Kouba J., (1998), Analysis Activities, in IGS 1997 Annual Report, pp. 10-15, IGS Central Bureau, JPL, Pasadena, California, USA.
- Mueller L.I., (1993), International GPS Service for Geodynamics: Terms of Reference, Proceedings of the 1993 IGS Workshop, Bern, March 25 - 26, pp. 3-9.
- Söhne W., Weber G., (2003), Present Status of the EPN Special Project Troposphere Parameter Estimation, EUREF Analysis Workshop, Graz, September 18-19.
- Zumbege J.F., Liu R., Neilan R.E., (1995), International GPS Service for Geodynamics 1994 Annual Report. IGS Central Bureau, Jet Propulsion Laboratory.
- Zumbege J.F., Liu R., (1995), Densification of the IERS Terrestrial Reference Frame through Regional GPS Network, Workshop Processing of the IGS Workshop, November 30-December 2, 1994, Pasadena 1994.