

Z. Siejka

Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja, Kraków

AKTYWNA SIEĆ GEODEZYJNA, OBECNE MOŻLIWOŚCI JEJ WYKORZYSTANIA W POMIARACH GEODEZYJNYCH W POLSCE

©Siejka Z., 2007

The paper presents general foundation and manners of utilization of systems of reference stations GNSS. Fundamental part of article presents architecture of monitoring reference station from global system IGS for local system there is that of Malopolska Precise Positioning System IGS. Accuracy parameters have been discussed and different capabilities of usefulness applications of systems.

1. Wprowadzenie

Pełne wykorzystanie możliwości satelitarnych systemów nawigacyjnych takich jak GPS czy GLONASS może odbywać się jedynie w integracji z naziemnymi systemami wspomaganymi opartymi o zespoły permanentnych stacji referencyjnych. Idea istnienia sieci stacji referencyjnych realizowana była od początku tworzenia systemu GPS. Pierwowzór tych stacji stanowiły stacje kontroli i monitorowania systemu NAVSTAR GPS. Pod koniec lat 80-tych, w Europie powstała jednorodna sieć kontynentalna EUREF oparta na ciągłych pomiarach satelitarnych. Ich rozmieszczenie przedstawia rys. 1. Obecnie stacje referencyjne stanowią wielofunkcyjne, interaktywne systemy wspomaganie pomiarów satelitarnych oraz definiują globalne, kontynentalne i narodowe systemy odniesień przestrzennych. Stacje referencyjne pracują w trybie automatycznym, nieprzerwanie w ciągu całej doby, przez siedem dni w tygodniu, dostarczając danych do wysoko-precyzyjnych pomiarów satelitarnych w czasie rzeczywistym oraz w trybie postprocessingu.

2. International GNSS Service

Idea światowej sieci stacji referencyjnych (IGS) powstała podczas konferencji naukowej International Association of Geodesy (IAG) w Edynburgu w 1989 roku. Pierwsze projekty pilotażowe mające wykazać jej przydatność w badaniach naukowych dla różnych dziedzin życia, a w szczególności geodezji i geofizyki zostały przeprowadzone w latach 1992 i 1993. Projekty te obejmowały wówczas około 30 stacji permanentnych.

Obecnie w ramach IGS pracuje blisko 300 stacji w 75 krajach świata. Wśród nich jest kilka stacji zlokalizowanych na terenie Polski m. in. w Borowcu koło Poznania, w Borowej Górze, w Józefosławiu, Wrocławiu i Lamkówku pod Olsztynem. IGS dostarcza najwyższej jakości danych i wyników jako standardu dla Globalnego Systemu Nawigacji Satelitarnej (**Global Navigation Satellite Systems - GNSS**). Aktualnie w skład IGSS wchodzi dwa systemy nawigacji: amerykański GPS i rosyjski GLONASS.

W strukturze IGS wyróżniamy:

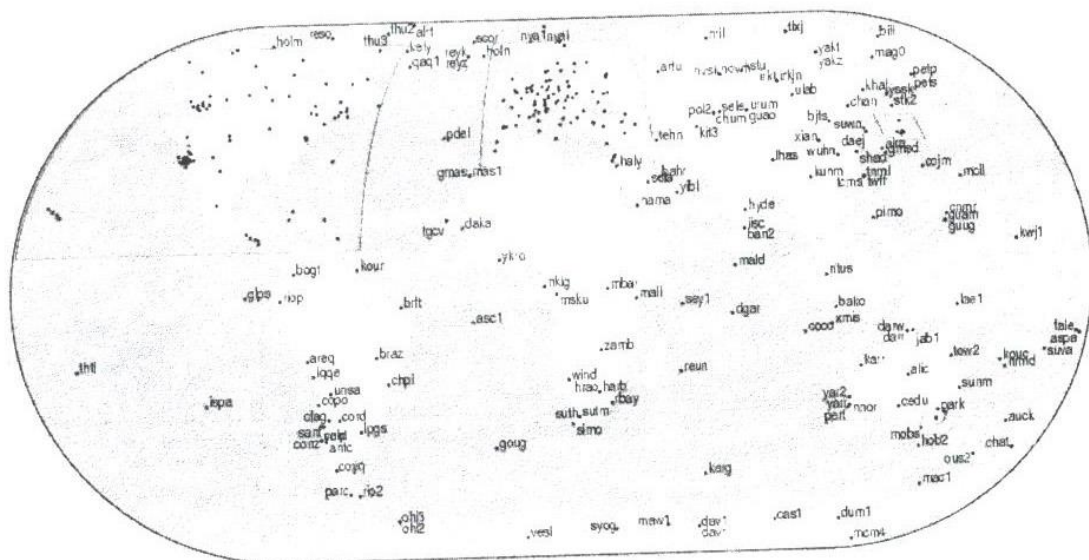
1. Sieć stacji śledzących – stanowią je rozlokowane na całej kuli ziemskiej wielokanałowe odbiorniki satelitarne o wysokiej dokładności wyznaczania pozycji. Stacje te zbierają informacje w sposób ciągły i przesyłają je do centrów danych (Data Centers). Obecnie w sieci IGS około 300 stacji śledzi satelity GPS w tym około 30-tu, satelity systemu GLONASS.

2. Centra danych (Data Centers) pośredniczą ponadto w przekazywaniu i wymianie danych pomiędzy stacjami a centrum obliczeniowym, dbają o poziom bezpieczeństwa i niezawodność całej sieci. W systemie IGS wyróżniamy 3 światowe centra danych, 5 regionalnych i 23 operacyjne.

3. Centra zajmujące się analizowaniem danych (Analysis Centers) – zajmują się opracowaniem zebranych przez odbiorniki danych i przetwarzają je na produkty jak np.: precyzyjne efemerydy, współrzędne stacji, informacje o stanie jonosfery. Dane te są następnie udostępniane poprzez strony internetowe. Nad całością czuwa organizacja koordynująca (Analysis Center Coordinator), która zajmuje się sprawdzaniem jakości wyników i rozwijaniem standardów dotyczących ich opracowywania.

4. Grupy robocze i projekty pilotażowe (Working Groups & Pilot Projects) – pracują nad konkretnymi zagadnieniami zapisanymi w statucie IGS. Obecnie prowadzą one:

- badania jonosfery i troposfery,
 - opracowują aktualny światowy układ odniesienia,
 - wdrażają technologie RTK,
 - badania nad precyzyjnym wyznaczeniem czasu i częstotliwości,
 - integrację systemów GPS i GLONASS,
 - prace nad programem Low Earth Orbiter Project – systemem satelitów pracujących na niskich orbitach w celu zbierania informacji o stanie jonosfery, troposfery i atmosfery,
 - monitoring poziomu mórz i oceanów.
5. Część administracyjna – Central Bureau Information System (CBIS) oraz IGS Governing Board.



IGSM 2007 Jul 21 17:29:30

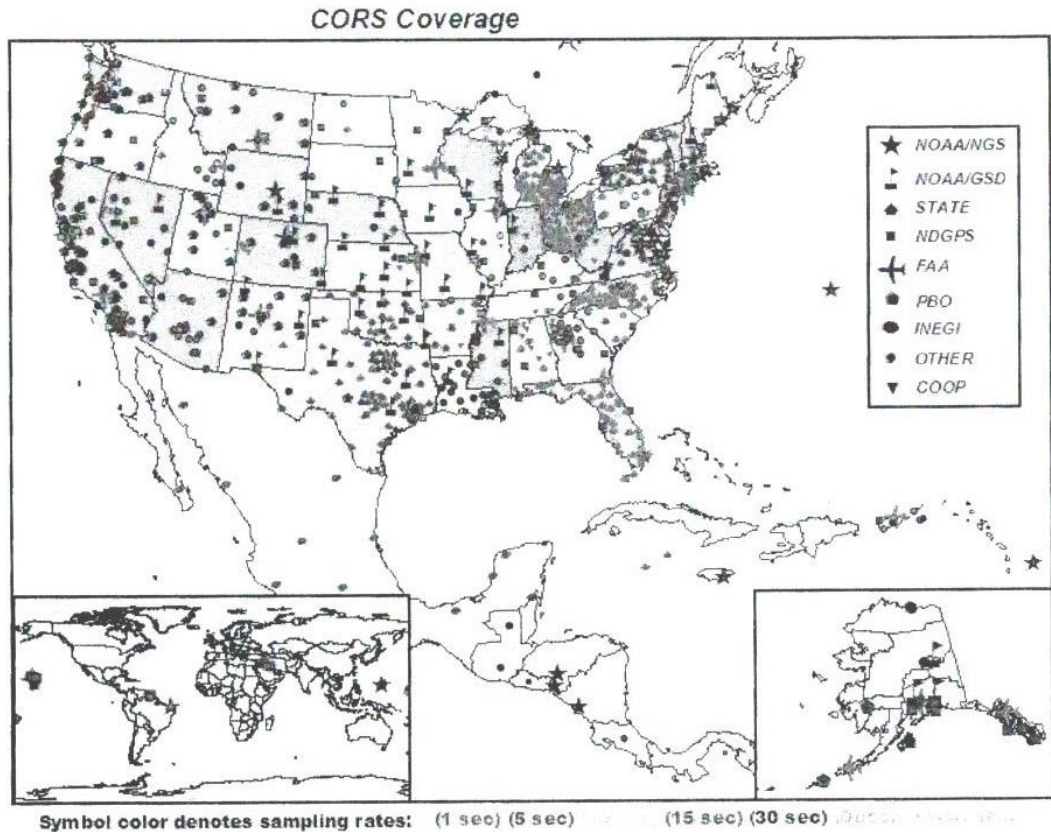
Rys. 1. Rozmieszczenie stacji permanentnych IGS stan na lipiec 2007
<http://igs.cb.jpl.nasa.gov/network/>

3. Narodowe Systemy Stacji Referencyjnych

3.1. CORS – Continuously Operating Reference Stations - USA

Idea stworzenia CORS w Stanach Zjednoczonych powstała na początku lat 90-tych XX-go wieku podczas prac nad przestrzennym układem odniesienia o nazwie: National Spatial Reference System (NSRS). W pełnym zakresie sieć stacji permanentnych CORS z centrum kontroli i zarządzania w Silver Spring zaczęła działać w 1998 roku. Obecnie w systemie pracuje ponad 300 odbiorników (rys. 2), a odległości pomiędzy sąsiednimi stacjami wynoszą przeciętnie około 200 km. Ostatecznym celem CORS będzie przekroczenie 100 km w terenach słabo zaludnionych i 50 km w terenach zurbanizowanych oraz obszarach zagrożeń sejsmicznych (Kalifornia). Dodatkowo system umożliwi pobieranie przez strony internetowe danych obserwacyjnych, meteorologicznych, a także danych o stanie jonosfery z dowolnej stacji sieci. Ponadto udostępnia efemerydy precyzyjne i wykonuje obliczenia dla użytkowników. W tym

celu należy przesłać wyniki pomiarów do centrali CORS gdzie zostaną one opracowane i odesłane do użytkownika. Jednak aby taka usługa była możliwa, użytkownik powinien wykonać na punkcie pomiaru przez minimum 2 godziny, wykorzystując geodezyjny odbiornik dwuczęstotliwościowy. Ponadto udostępnia usługę DGPS/RTK, która pozwala na otrzymywanie poprawek do pomiarów wykonywanych w czasie rzeczywistym.



Rys. 2. Rozmieszczenie stacji systemu CORS - USA [www.ngs.noaa.gov/cors/]

W Stanach Zjednoczonych system stacji permanentnych wykorzystywany jest powszechnie do różnego rodzaju prac, nie tylko geodezyjnych ale także:

- do budowy infrastruktury (departamenty autostrad),
- do nawigacji,
- do wykonywania pomiarów sytuacyjno wysokościowych sporządzania map,
- w pracach z zakresu GIS,
- w hydrologii,
- do badań i pomiarów z zakresu tektoniki,
- do wyznaczania kształtu i rozmiarów Ziemi,
- do badania jonosfery i jej wpływu na pomiary GPS,
- do badania wpływu warunków atmosferycznych,
- do opracowywania różnych modeli geoidy.

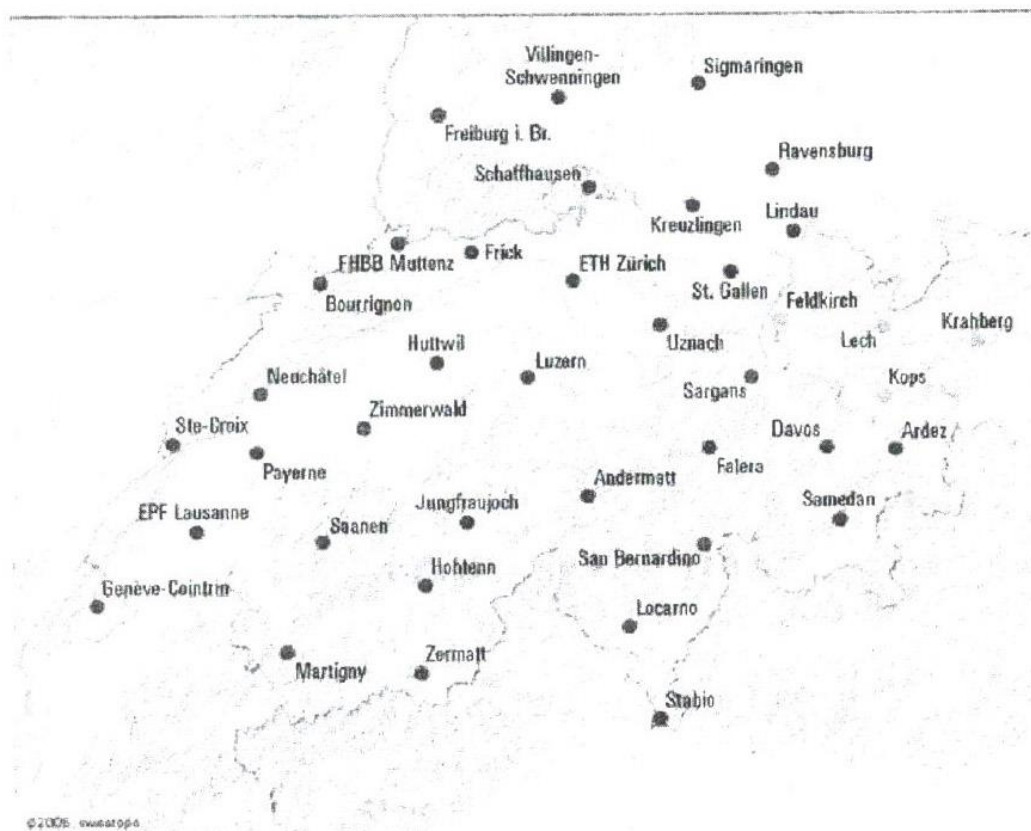
3.2. AGNES – Automatische GPS Netz Schweiz

AGNES zaczęła funkcjonować na terytorium Szwajcarii w 2001 roku jako wielofunkcyjna, aktywna osnowa podstawowa. Składa się ona z 30-tu równomiernie rozmieszczonych, w pełni

automatycznych stacji, które rejestrują dane z satelitów a następnie przesyłają je do centrum obliczeniowego. Średnia odległość pomiędzy stacjami wynosi 50 km. Centrum kontroluje działanie całej sieci oraz opracowuje wyniki dla celów postprocessingu oraz zastosowań RTK. Na bazie stacji AGNES zbudowano system Swipos, który świadczy usługi w dwóch trybach czasu rzeczywistego: Swipos-NAV, oraz Swipos-GIS/GEO. Swipos-NAV wysyła ogólnie dostępne poprawki DGPS z pojedynczych stacji referencyjnych, które można odbierać za pomocą GSM oraz GPRS/NTRIP w formacie RTCM 2.3. Rozwiązanie to zapewnia dokładność wyznaczenia pozycji od 0.5m do 1.0 m.

Natomiast Swipos-GIS/GEO pracuje w systemie powierzchniowym wirtualnej stacji referencyjnej (RTK-VRS) wyznaczonej na bazie trzech najbliższych położonych punktów referencyjnych. Dokładność pomiaru wykonywanego z wykorzystaniem tych opcji wynosi 1 ± 2 cm. Natomiast korekty udostępniane są za pomocą telefonii GSM oraz GPRS/NTRIP w formacie RTCM 3.0.

Swipos ma obecnie (wg danych na czerwiec 2007) zarejestrowanych ponad 200-tu stałych użytkowników, którzy w 80% wykorzystują technologię GPRS/NTRIP, pozostałych 20% korzysta z klasycznego połączenia GSM. Opłata za roczną subskrypcję do poprawek GPRS/NTRIP wynosi 2000 euro.

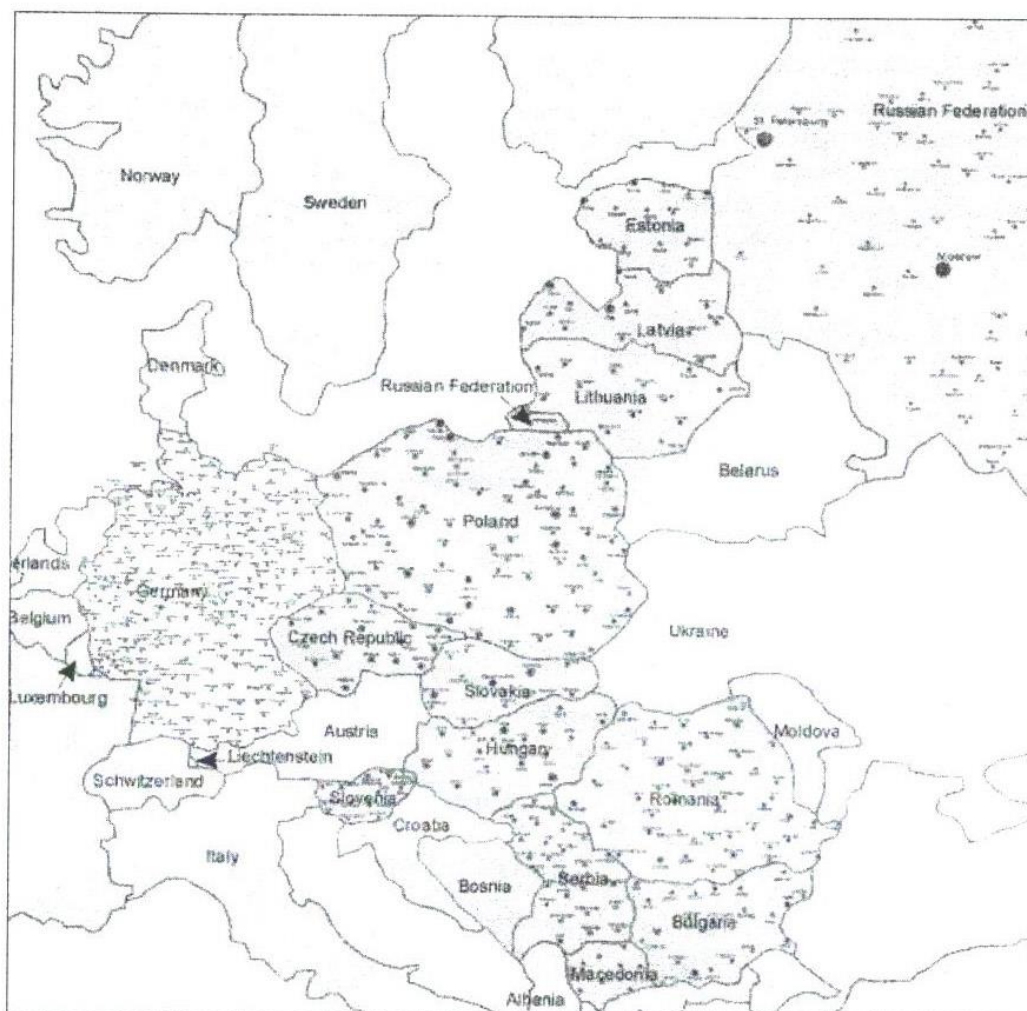


Rys. 3. Rozmieszczenie stacji permanentnych Swipos – Szwajcaria [www.swisstopo.ch]

4. EUPOS – jako wielofunkcyjny system pozycjonowania dla Europy Środkowej

Wielofunkcyjne systemy stacji referencyjnych działają obecnie jeszcze w kilku krajach Europy zachodniej (Danii, Szwecji, Anglii i innych), nie zawsze jednak są one kompatybilne ze sobą, co ogranicza ich wykorzystanie w szerszym, np. kontynentalnym wymiarze. Dlatego w 2003 roku powstał projekt szerokiego referencyjnego systemu nawigacyjnego EUPOS (European Position Determination System), który objął swym zasięgiem piętnaście krajów Europy Środkowej i Wschodniej (Bułgarię, Bośnię i Hercegowinę, Czechy, Estonię, Litwę, Łotwę, Macedonię, Niemcy, Polskę, Rumunię, Rosję,

Serbię i Czarnogorę, Słowację, Słowenię i Węgry). Projekt EUPOS przewiduje założenie około 430 stacji referencyjnych (rys. 4) połączonych przez narodowe centra zarządzające w jeden zintegrowany system nawigacyjny. Narodowe Centra Zarządzające w każdym kraju z osobna, będą świadczyły jednakowe rodzaje usług, a także będą wymieniały między sobą dane obserwacyjne, poprawki i dodatkowe informacje. Budowa systemu jest koordynowana przez Międzynarodowy Komitet Sterujący (International Steering Committee - ISC) z siedzibą w Berlinie.



Rys. 4. Rozmieszczenie stacji EUPOS: istniejących (kolor czerwony), planowanych (kolor zielony) [www.eupos.org]

Ogólne założenia sieci EUPOS można przedstawić w następujący sposób: [Śledziński, 2005]:

- Stacje EUPOS mają być permanentnymi wielofunkcyjnymi referencyjnymi stacjami DGNSS pracującymi na potrzeby precyzyjnych pomiarów geodezyjnych oraz potrzeby nawigacji: lądowej, powietrznej i morskiej.
- Kraje uczestniczące w projekcie będą stosować jednolity standard techniczny.
- Maksymalne odległości pomiędzy stacjami nie będą przekraczać 70-80 km.
- Istniejące stacje np. IGS włączone będą do sieci EUPOS.
- Dane EUPOS będą wyznaczone w układzie odniesienia ETRS89 (EUREF89) a następnie przeliczane do układów narodowych.

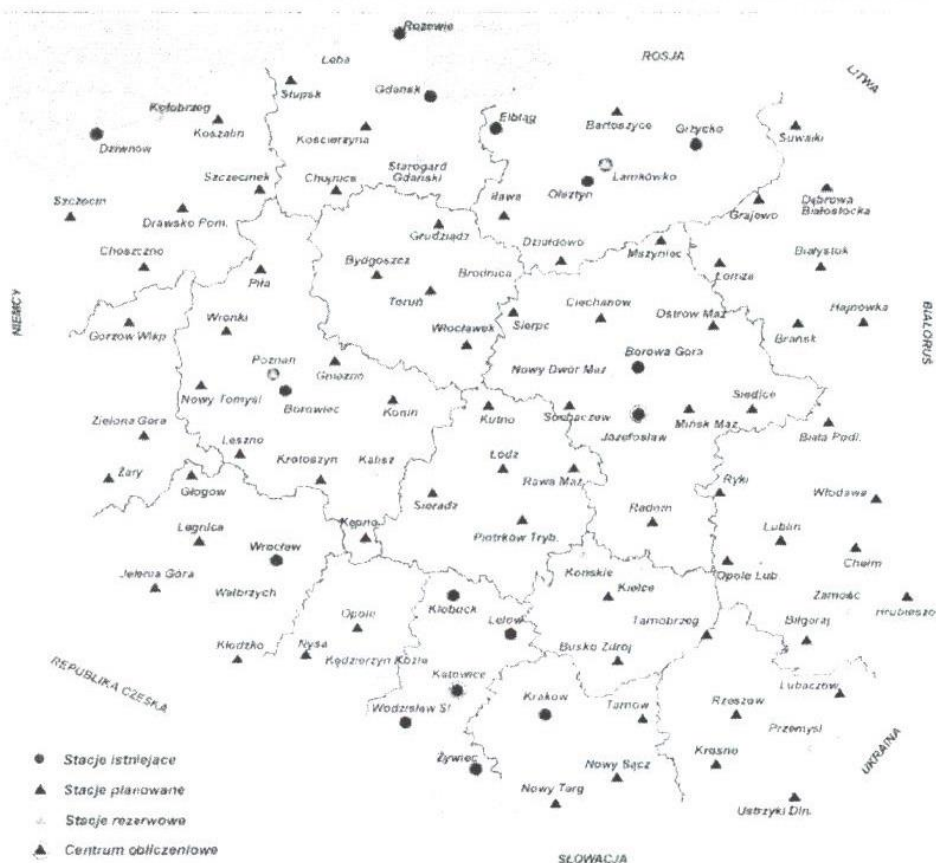
- Podstawowym sygnałem dla sieci EUPOS będzie sygnał tworzony systemu europejskiego GALILEO, do tego czasu wykorzystywany ma być sygnał systemu GPS i GLONASS.
- Stacje EUPOS będą obsługiwane przez wysokiej klasy odbiorniki sygnałów satelitarnych. Położenie anten będzie stale monitorowane ze względu na możliwość ewentualnych przemieszczeń.
- Kraje sąsiadujące będą sobie wzajemnie udostępniały dane z przygranicznych stacji referencyjnych.

4.1. Polska część systemu EUPOS

Polski segment systemu EUPOS nosi nazwę roboczą ASG/EUPOS. System ten będzie zbudowany z trzech podstawowych elementów:

- Sieci stacji referencyjnych,
- Centrów obliczeniowych,
- Użytkowników systemu.

Sieć stacji stanowić będzie 90 naziemnych stacji referencyjnych, które będą odbierały sygnały z systemów GPS i GLONASS (8 stacji w pierwszym etapie) oraz docelowo GALILEO. Miejsca lokalizacji stacji ustalane zostały w oparciu o wykonane wcześniej ekspertyzy. Uwzględnili one konieczność równomiernego pokrycia terenu całego kraju, wymagania metody RTK i DGPS, umieszczanie w pierwszym rzędzie stacji na budynkach pozostających własnością Skarbu Państwa oraz zapewnienie warunków obserwacji satelitów zgodnych ze standardem stosowanym na stacjach EPN. Rozmieszczenie planowanych stacji podsystemu ASG/EUPOS na terenie Polski przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Rozmieszczenie planowanych stacji ASG/EUPOS na terenie Polski [www.asg-eupos.gov.pl]

Cały system będzie koordynowany przez Krajowe Centrum Zarządzające w Warszawie i wspomagane przez Regionalne Centrum w Katowicach. Transmisja danych pomiędzy elementami systemu t.j. stacjami referencyjnymi i centrami zarządzania, będzie realizowana przez bezpieczne, dedykowane łącza teleinformatyczne. Usługi dla użytkowników końcowych będą przesyłane poprzez publiczne systemy telekomunikacyjne, internet oraz sieci komórkowe.

Głównym zadaniem systemu będzie udostępnianie poprawek do obserwacji wykonywanych w czasie rzeczywistym przy użyciu odbiorników satelitarnych GNSS. Ponadto, system będzie udostępniał dane obserwacyjne (raw data) z fizycznych stacji referencyjnych oraz ze stacji wirtualnych (VRS) do obliczeń w postprocessingu. Będzie również wykonywał obliczenia dla użytkowników.

W zależności od posiadanego przez użytkownika sprzętu oraz wybranego rozwiązania pozycja będzie mogła być wyznaczana z dokładnością od 1 cm do 3 m w czasie rzeczywistym lub postprocessingu. Docelowo system ASG/EUPOS stanowić ma stabilny, aktywny układ odniesień przestrzennych, który w przyszłości zastąpi klasyczne, „pasywne” osnowy geodezyjne.

4.2. Małopolski System Pozycjonowania Precyzyjnego

Obecnie działa w Polsce uruchomiony na początku listopada 2006 roku Małopolski System Pozycjonowania Precyzyjnego. Obejmuje on swym zasięgiem obszar województw: małopolskiego i śląskiego. W skład systemu wchodzi 11 (rys. 6) stacji referencyjnych a centrum kontroli i zarządzania znajduje się w Urzędzie Marszałkowskim Województwa Małopolskiego. Cały system działa w oparciu o technologię VRS (Virtual Reference Stations). System dostarcza danych obserwacyjnych do postprocessingu z fizycznych stacji systemu oraz umożliwia generowanie wirtualnych zbiorów obserwacyjnych dla punktów leżących wewnątrz obszarów wyznaczanych przez stacje referencyjne. Ponadto generuje korekty RTK/DGPS dla pomiarów w czasie rzeczywistym. Generowane korekty pozwalają na zachowanie dokładności wyznaczenia punktów położonych wewnątrz obszaru stacji referencyjnych metodą RTK (Real Time Kinematics) z dokładnością nie gorszą niż 1÷3 cm w poziomie i 1÷5 cm w pionie. Natomiast korekty do pomiarów wykonywanych metodą DGPS (Differential GPS) pozwalają na wyznaczenie współrzędnych z dokładnością do 0.5 m w płaszczyźnie poziomej.



Rys. 5. Lokalizacja stacji referencyjnych w małopolskim systemie pozycjonowania [www.gps.malopolska.pl]

Dane z systemu udostępniane są użytkownikom w Internecie za pośrednictwem programu WebServer, który zainstalowany jest na serwerze systemu. Pozwala on na wybór, przeglądanie i pobieranie danych przez użytkownika. Poprawki do obserwacji RTK/DGPS dostępne są przez transmisję GSM (CSD) oraz internet/GPRS pod numerem IP: 89.171.137.204 w oparciu o publiczne punkty dostępowe APN sieci operatorów komórkowych: era, plus, orange. – dla połączeń z wykorzystaniem protokołu NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) na porcie: 8080.

Z pojedynczej stacji możemy odbierać korekty w następujących formatach:

- RTCM ver. 2.0,
- RTCM ver. 2.3,
- RTCM ver. 2.3 II,
- RTCM ver. 3.0.

Zarejestrowany użytkownik systemu ma wgląd i możliwość korzystania z pełnego serwisu, w tym może otrzymywać następujące informacje:

- pobrać najnowszy almanach,
- uzyskać informacje na temat aktualnych poprawek jonosferycznych oraz troposferycznych wpływających na określenie pozycji,
- uzyskać informacje o satelitach śledzonych przez poszczególne stacje,
- ma dostęp do wielu raportów dotyczących działania stacji i systemu,
- ma dostęp do danych ze stacji referencyjnych.

5. Podsumowanie

Zrealizowany na terenie małopolski i śląska system precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego oparty o zespół naziemnych stacji referencyjnych spowodował, że przy pomocy tylko jednego odbiornika GPS można wykonywać, w krótkim czasie, bardzo efektywnie, precyzyjne pomiary metodą RTK/OTF z wykorzystaniem łączności GSM oraz GPRS do transmisji poprawek. Rozwiązanie to, istotnie usprawnia wykonywanie pomiarów w czasie rzeczywistym poprzez stworzenie nowej ulepszonej technologii przy mniejszym nakładzie pracy i czasu pozyskiwania danych. Technologia ta pozwala na inwentaryzację i modernizację osnów szczegółowych oraz pomiarowych, umożliwia tworzenie i aktualizację map może być wykorzystywana w pracach realizacyjnych do sterowania maszynami i robotami na terenach odkrytych. Nadaje się również do tworzenia precyzyjnego Numerycznego Modelu Terenu szczególnie na obiektach liniowych, w czasie projektowania autostrad, dróg, oraz zabezpieczeń powodziowych.

System zasadniczo zmienia podejście do nawiązywania sieci geodezyjnych zakładanych technikami satelitarnymi - nie ma konieczności wykonywania „klasycznego” nawiązania poprzez pomiar wektorów do punktów sieci pasywnych np. POLREF, na których trzeba ustawiać dodatkowe odbiorniki. Wpływa to istotnie na ekonomię wykonania pomiarów poprzez skrócenie czasu pracy [Siejka 2005]. Nawiązanie można wykonać do najbliższych stacji referencyjnych, co sprowadza się do pobrania za pomocą stron www odpowiednich danych obserwacyjnych z tych stacji lub wygenerowania wirtualnych obserwacji dla odpowiednich punktów.

W systemie ASG-PL działa także moduł obliczeniowy w funkcji postprocessingu obejmujący wszystkie jedenaście stacji permanentnych działających na terenie obydwu województw, do którego użytkownik może wysłać własne wyniki pomiarów statycznych, celem ich opracowania.

System znalazł również zastosowanie w Krakowskim Pogotowiu Ratunkowym do optymalnego zarządzania flotą pojazdów ratownictwa medycznego oraz w Tatrzańskim Ochotniczym Pogotowiu Ratunkowym. Korzysta z niego również Zarząd Dróg Wojewódzkich w Krakowie [Antosiewicz 2007]. System jest otwarty co oznacza, że mogą być do niego dołączane kolejne stacje jak również świadczone dodatkowe usługi.

System udostępnia korekty na portach TCP/IP serwera komunikacyjnego o statycznym adresie IP, realizując możliwość wielokanałowego (jednoczesnego) dostępu dla praktycznie nieograniczonej liczby użytkowników. Przeprowadzone dotychczas badania potwierdzają wysoką dokładność i dużą

wiarygodność danych pozyskiwanych w oparciu o Małopolski System Pozycjonowania Satelitarnego (MSPS). System ten stał się początkiem budowy wielofunkcyjnego systemu precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego ASG/EUPOS, który obejmie swoim zasięgiem całą Polskę, a jego uruchomienie przewidziane jest na początek roku 2008.

1. Antosiewicz Maciej 2007. Sieć nie tylko dla Małopolski. Geodeta Nawi luty 2007 Warszawa. 2. Januszewski Jacek Systemy satelitarne GPS, Galileo i inne PWN Warszawa. 3. Śledziński Janusz 2005 Alfabet GPS. Miesięcznik Nawi 1(3), 2(4), 5(7) Warszawa. 4. Siejka Zbigniew 2005. Dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów geodezyjnych nawiązywanych do systemu stacji referencyjnych ASG-PL w aspekcie badań empirycznych. I Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna Rzeszów - Polańczyk 2005.

Artykuł recenzowany przez: dr hab. inż. Urszulę Litwin