

Cezary Specht
Marcin Skóra
Akademia Marynarki Wojennej

ANALIZA PORÓWNAWCZA WYBRANYCH AKTYWNYCH SIECI GEODEZYJNYCH

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono uruchomioną w czerwcu 2008 roku polską aktywną sieć geodezyjną ASG-EUPOS na tle wybranych aktywnych sieci geodezyjnych działających na świecie. W zasadniczej części publikacji wyróżniono przestrzeń porównawczą obejmującą architekturę i usługi (serwisy) wraz z metodami radiowej transmisji danych telemetrycznych zgodnych ze standardem RTCM SC-104. Artykuł kończą uogólnione wnioski przedstawiające zalety poszczególnych rozwiązań, które mogą być pomocne przy modernizacji systemów obecnie eksploatowanych oraz projektowaniu i budowie analogicznych.

Słowa kluczowe:

aktywne sieci geodezyjne, ASG-EUPOS, CORS, SAPOS, SWEPOS, OS — AGN.

WSTĘP

Permanentne obserwacje GNSS realizowane przez wielkoobszarowe satelitarne sieci geodezyjne uległy w ostatnich kilku latach przekształceniu w złożone systemy teleinformatyczne oferujące poza postprocessingowymi serwisami różnicowymi GPS również korekty przesyłane w czasie rzeczywistym. Pierwszym z etapów ich rozwoju były pasywne systemy narodowe tworzone na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku, również w naszym kraju [1]. Ewolucywały one od pojedynczych stacji referencyjnych zlokalizowanych w uczelniach wyższych do systemów narodowych. Cechowała je autonomiczność stacji, brak standaryzacji w zakresie wykorzystania jednolitego protokołu wymiany danych oraz lokalny charakter wykorzystania. W miarę upływu czasu systemy pasywne pozyskiwały

kolejno funkcje różnicowe (GPS) czasu rzeczywistego, stając się strukturami aktywnymi, tj. umożliwiającymi świadczenie usług DGNSS w czasie rzeczywistym, zapewniając tym samym realizacjom geodezyjnym nowy jakościowo wymiar obsługi inwestycji. Znaczne rozszerzenie strefy działania, wzorem morskich systemów DGPS [7], związane było z pojawieniem się nowych typów depesz RTCM, poczynając od wersji 2.0 aż do aktualnej 3.1 [13], oraz rozwojem modelowania matematycznego poprawek powierzchniowych GPS [10].

Pierwsza koncepcja utworzenia sieci permanentnych stacji GNSS w Polsce została opracowana w 1995 roku [2] z inicjatywy Komisji Geodezji Satelitarnej Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN oraz Sekcji Sieci Geodezyjnych Komitetu Geodezji PAN. Po przeanalizowaniu różnych aspektów sieci stacji permanentnych przyjęto założenie, iż powinna ona być siecią wielofunkcyjną, dostosowaną nie tylko do potrzeb geodezyjnych. W wyniku działań różnych ośrodków powstawały kolejno lokalne rozwiązania. W pierwszym etapie uruchomiono stacje na obszarze wybranych aglomeracji (Warszawa, Łódź, Gdańsk) oraz na obszarach intensywnej działalności wydobywczej (Górny Śląsk, Lubiąsko-Głogowski Okręg Miedziowy). W dalszej kolejności utworzono sześciopunktową sieć na obszarze Śląska [3]. Powstała również trzypunktowa sieć na obszarze Trójmiasta [5].

Dominującym trendem światowym początku XXI wieku stało się uruchamianie, przez organy do spraw geodezji poszczególnych państw, aktywnych sieci narodowych z przeznaczeniem oferowania dla użytkowników odpłatnych lub nieodpłatnych usług (serwisów), w tym również czasu rzeczywistego. Dołączając do tej grupy, polski Główny Urząd Geodezji i Kartografii podjął się poważnego wyzwania realizacji aktywnej sieci geodezyjnej ASG-EUPOS, będącej narodową siecią permanentnych stacji GNSS oferującą serwisy dla geodezji i nawigacji [4]. Przeprowadzoną na obszarze kraju inwestycję zrealizowano do kwietnia 2008 roku, a zakończyły ją pomyślnie testy serwisów i infrastruktury teleinformatycznej [14].

Analiza szeroko rozumianych struktur funkcjonalnych systemów aktywnych sieci geodezyjnych zwraca uwagę na istnienie zarówno elementów wspólnych, jak i różnic w stosowanych rozwiązaniach techniczno-realizacyjnych istniejących sieci. Duża złożoność systemów narodowych uniemożliwia podjęcie próby kompleksowej analizy porównawczej rozwiązań DGNSS, stąd w niniejszym artykule zdecydowano się dokonać próby ich oceny w zakresie: architektury funkcjonalnej, serwisów oraz metod dostępowych do danych telemetrycznych. Dla porównania wybrano następujące sieci:

- ASG-EUPOS (aktywna sieć geodezyjna) — Polska;
- CORS (ang. Continuously Operating Reference Stations) — Stany Zjednoczone Ameryki Północnej;
- SWEPOS (ang. SWEdish POsitioning Service) — Królestwo Szwecji;

- OS — AGN (ang. Ordnance Survey — Active GPS Network) — Zjednoczone Królestwo Wielkiej Brytanii i Irlandii Północnej;
- SAPOS (niem. Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung) — Republika Federalna Niemiec.

W zakresie wyróżnionych kryteriów porównawczych autorzy dokonywali wyborów pomiędzy takimi rozwiązaniami, które wskazywałyby na istnienie alternatywnego podejścia tworzenia narodowych sieci satelitarnych GNSS.

ARCHITEKTURA AKTYWNYCH SIECI GEODEZYJNYCH

CORS

Amerykański Krajowy System Stacji Referencyjnych Ciągłego Działania (ang. Continuously Operating Reference Station — CORS) jest zarządzany przez Narodową Służbę Geodezyjną USA (ang. National Geodetic Survey — NGS) podlegającą Narodowej Administracji Oceanu i Atmosfery USA (ang. National Oceanic and Atmospheric Administration — NOAA). Nazwa CORS stosowana jest również potocznie dla innych geodezyjnych systemów stacji permanentnych na świecie. Na terytoriach należących do Stanów Zjednoczonych Ameryki rozmieszczonych jest około 1250 (wrzesień 2008 r.) permanentnie pracujących stacji odbierających sygnały GNSS (GPS i GLONASS), pozwalając na uzyskiwanie dokładności rzędu kilku centymetrów w stosunku do Narodowego Przestrzennego Systemu Odniesienia (ang. National Spatial Reference System — NSRS).

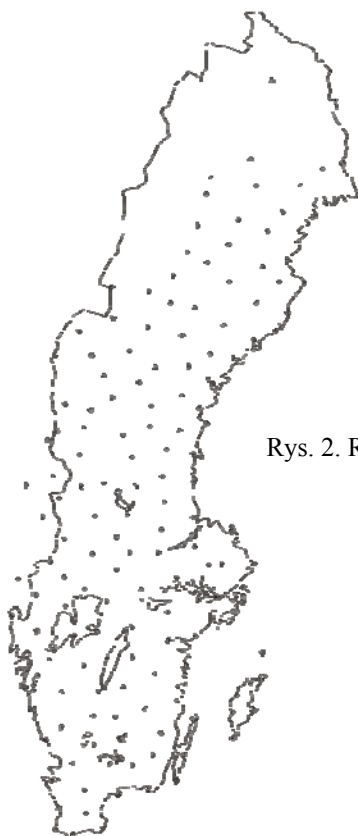


Rys. 1. Rozmieszczenie stacji CORS

Liczba stacji zwiększa się o około 200 rocznie, dzięki czemu CORS może pretendować do miana najbardziej dynamicznie rozwijającej się sieci, gdyż żadna inna narodowa sieć nie włącza do swojego systemu tylu stacji w ciągu dwunastu miesięcy. Taki stan rzeczy CORS zawdzięcza wielu organizacjom (rządowym, akademickim oraz prywatnym), których stacje referencyjne są przyłączane, spełniając ustalone przez NGS kryteria. Stacje te należą między innymi do NOAA, NASA, FAA. Nadzorowane przez NGS pracują w różnych interwałach — od 1 do 30 sekund, prowadząc obserwacje kodowe i fazowe.

SWEPOS

Jednym z państw europejskich, które posiada dziś zaawansowany stopień rozwoju sieci narodowej, jest Szwecja. System SWEPOS (ang. SWEdish POsitioning Service) swój status walidacji osiągnął już 1 lipca 1998 roku, choć pierwsze stacje budowane były w latach 1991 i 1992 [9]. Obecnie w szwedzkim systemie działa 27 stacji klasy A i 125 stacji klasy B (stan na grudzień 2008 r.).



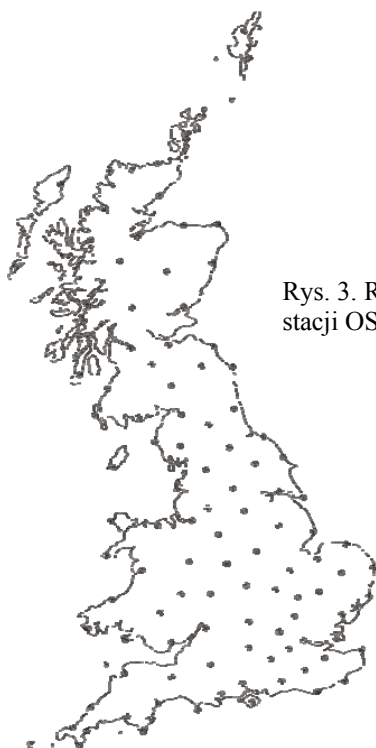
Rys. 2. Rozmieszczenie stacji SWEPOS klasy A i B

Na stacjach klasy A odbiorniki są umieszczone na wysokich betonowych kolumnach posadowionych na utwardzonym fundamencie w celu zapewnienia jak najlepszej łączności między anteną a satelitami GPS. Temperatura betonowych kolumn jest utrzymywana na poziomie 15 °C dla zminimalizowania skutków rozszerzalności cieplnej materiałów. Wszystkie stacje referencyjne wyposażone są w osłonięte półkulistymi kopułami (ochrona przed śniegiem i ptactwem) anteny Dorne Margolin (stosowane w miejscach o dużych wahaniami temperatury). Każda stacja jest wyposażona w akumulatory, które w razie awarii zasilania zapewnią odbiornikowi ciągłość działania przez 48 godzin. Ponadto co najmniej raz w roku wszystkie stacje klasy A są serwisowane. Odbiorniki na stacjach klasy B są zazwyczaj umieszczone na dachach i nie podlegają tak rygorystycznemu reżimowi pracy.

Stacje przesyłają dane GPS i GLONASS z interwałami 1 i 15 sekund. Za rozwój i funkcjonowanie SWEPOS odpowiedzialny jest Lantmäteriet — szwedzki urząd do spraw geodezji, kartografii i katastru.

OS — AGN

Brytyjska sieć OS — AGN (ang. Ordnance Survey — Active GPS Network) to system należący do Głównego Urzędu Geodezji (ang. Ordnance Survey — OS).



Rys. 3. Rozmieszczenie i promień zasięgu każdej stacji OS — AGN

Oferowane przez OS usługi można podzielić na:

- sieć aktywną, złożoną z około 110 stacji permanentnych, rejestrujących obserwacje GNSS — OS Net;
- sieć pasywną, złożoną z około 1000 punktów o precyzyjnie wyznaczonych współrzędnych; sieć ta według planów OS Wielkiej Brytanii nie będzie już rozbudowywana.

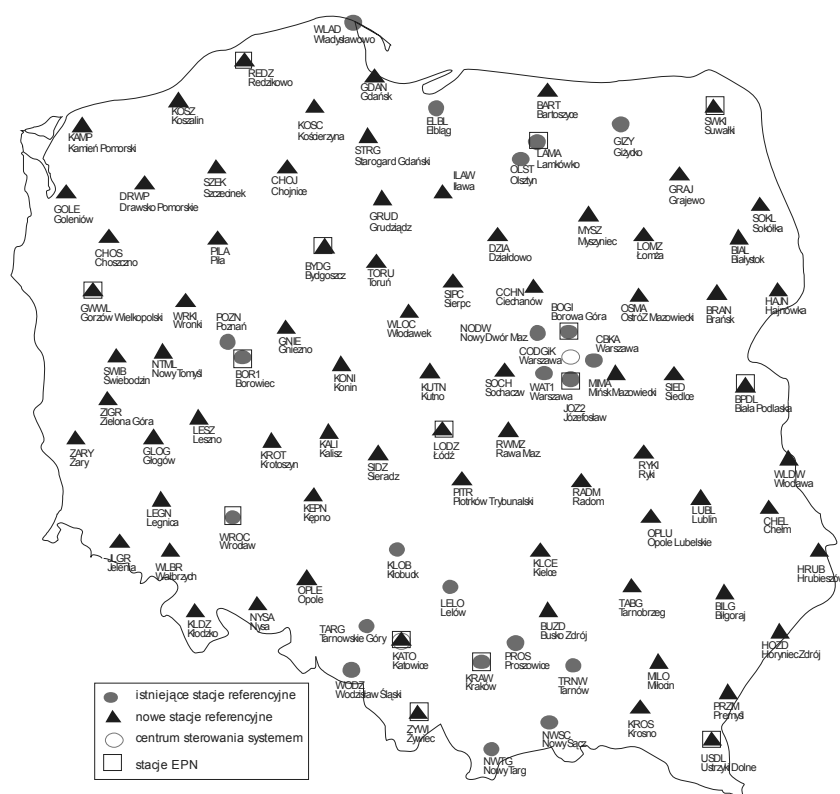
ASG-EUPOS

W latach dziewięćdziesiątych XX wieku państwa Europy Środkowej i Wschodniej zaczęły budować stacje DGNSS. Nie były one jednak w pełni kompatybilne ze stacjami w Europie Zachodniej. Historyczna szansa uzyskania wsparcia politycznego i finansowego została wykorzystana podczas warsztatów 5 i 6 marca 2002 roku w Berlinie, gdzie zdecydowano o rozwoju Europejskiej Sieci Wielofunkcyjnych Stacji Referencyjnych — EUPOS (ang. European Position Determination System) w kierunku wschodnim. Polska część systemu określana terminem ASG-EUPOS składa się z 98 równomiernie rozmieszczonych na obszarze kraju stacji referencyjnych (rys. 4.). Oprócz uruchomionych nowych stacji do systemu zostały włączone istniejące stacje referencyjne, zarządzane przez uczelnie wyższe, jednostki naukowo-badawcze, administrację państwową oraz firmy prywatne. Aktualnie architektura pomiarowa ASG-EUPOS składa się z następujących grup stacji referencyjnych:

- 84 stacji z modułem GPS;
- 14 stacji z modułem GPS/GLONASS.

Dodatkowo system współpracuje z blisko 30 stacjami zagranicznymi.

Drugi segment systemu ASG-EUPOS to Krajowe Centra Zarządzające (KCZ) zamiennie określane centrami obliczeniowymi. Główne centrum zarządzające znajduje się w Warszawie, natomiast zapasowe w Katowicach. Do zadań centrów należy kontrola i zarządzanie siecią stacji, generowanie poprawek do wykonanych obserwacji i udostępnianie obserwacji satelitarnych. Wszelkie zakłócenia są sygnalizowane, analizowane i w razie potrzeby podejmowane są środki zaradcze. Oba centra obliczeniowe są względem siebie w zakresie świadczonych usług całkowicie redundantne. Poza zapewnieniem usług pozycjonowania centrum obliczeniowe pełni funkcję dotyczącą konserwacji układu odniesienia [4]. Cotygodniowa kontrola układu pozwala na bieżącą kontrolę stałości punktów definiujących ten układ. Przewidziana maksymalna liczba użytkowników jednocześnie obsługiwanych przez centra obliczeniowe wynosi 1200.



Rys. 4. Rozmieszczenie stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS

USŁUGI (SERWISY) ORAZ SPOSOBY TRANSMISJI KOREKT AKTYWNYCH SIECI GEODEZYJNYCH

CORS

System jest wyposażony w możliwość automatycznego obliczania obserwacji użytkownika dzięki umieszczoneму na stronie internetowej pod adresem <http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/> nieodpłatnemu narzędziu OPUS (ang. Online Positioning User Service). Wysłane pliki z obserwacjami muszą być zapisane w formacie RINEX, Hatanaka (Compact RINEX) bądź skompresowane. Dane wymagają również podania modelu anteny oraz jej wysokości nad punktem pomiarowym w metrach. Ograniczeniem OPUS-S (ang. Static) jest opracowywanie wyłącznie obserwacji z odbiorników dwuczęstotliwościowych o długości obserwacji co najmniej dwóch godzin i kroku rejestracji 1, 2, 3, 5, 10, 15 bądź 30 sekund. Z kolei dla

OPUS-RS (ang. Rapid Static) wartości te wynoszą odpowiednio od 15 minut do czterech godzin oraz 1, 2, 3, 5, 10, 15 lub 30 sekund. Wyniki opracowania są przesyłane do użytkownika pod wskazany adres pocztą elektroniczną. Od początku działania OPUS (marzec 2001 r.) dominuje trend rosnący liczby obserwacji. Obecnie łączna liczba generowanych raportów dla powyższych serwisów w ciągu miesiąca przekracza 20 tysięcy. NGS udostępnia i archiwizuje oryginalnie zebrane dane przez 30 dni. Po tym czasie następuje ich redukcja — interwał czasowy zmniejszany jest do 30 sekund. W dalszym ciągu trwa testowanie i rozbudowa CORS RTK, który będzie oferował dostarczanie poprawek w czasie rzeczywistym.

SWEPOS

SWEPOS oferuje usługi związane z pozycjonowaniem w czasie rzeczywistym i w postprocessingu. Obie techniki wyznaczania pozycji są odpłatne. Usługi z pozycjonowaniem w czasie rzeczywistym są dostępne pod nazwą EPOS i OmniSTAR. EPOS jest serwisem DGPS zarządzanym przez firmę Cartesia. W Gävle znajduje się Centrum Kontrolne SWEPOS, które nadzoruje poprawki, przesyłając je kanałami RDS (ang. Radio Data System) szwedzkich programów radiowych FM: P3 i P4 poprzez sieć Teracom (operator telekomunikacyjny). Również OmniSTAR firmy Fugro jest usługą DGPS, która wykorzystuje stacje SWEPOS do swego serwisu WADGPS. Obecnie trwają prace nad wdrożeniem przesyłania poprawek RTK na wybranych obszarach. Obliczanie współrzędnych dla pomierzonego punktu przez SWEPOS do postprocessingu jest możliwe dzięki wysłaniu danych w formacie RINEX na serwer poprzez usługę WWW (ang. World Wide Web) lub protokół FTP (ang. File Transfer Protocol). Zleczone obliczenia mogą być wykonane przez pojedynczą lub wszystkie stacje sieci SWEPOS [2].

SAPOS

Należący do niemieckiej Służby Geodezyjnej (ang. German National Survey) system oferuje następujące dwa odpłatne serwisy w czasie rzeczywistym:

- EPS (niem. Echtzeit-Positionierungs-Service lub ang. Real-Time Positioning Service) — Serwis Pozycjonowania w czasie rzeczywistym, w którym wykorzystywana jest technika DGPS (dokładność 0.5–3 m);
- HEPS (niem. Hochpräziser Echtzeit-Positionierungs-Service lub ang. High Precision Real-Time Positioning Service) — Wysokoprecyzyjny Serwis Pozycjonowania w czasie rzeczywistym, w którym wykorzystywana jest technika RTK (dokładność 1–2 cm)

oraz dwa odpłatne serwisy w postprocessingu:

- GPPS (niem. Geodätischer Postprocessing Positionierungs-Service lub ang. Geodetic Precise Positioning Service) — Serwis Pozycjonowania z geodezyjną dokładnością (dokładność do 1 cm);
- GHPS (niem. Geodätischer Hochpräziser Positionierungs-Service lub ang. Geodetic High Precision Positioning Service) — Serwis Pozycjonowania z najwyższą geodezyjną dokładnością (dokładność 1 mm).

W zależności od serwisu korekty pseudoodległościowe mogą być przesyłane przez nadajniki radiowe, RDS, telefonią komórkową GSM oraz Internet. Centrum SAPOS zlokalizowane jest w Berlinie i tam władze zdecydowały się nie utrzymywać tradycyjnej sieci geodezyjnej, lecz jedynie 10% punktów do pomiarów kontrolnych. Większość precyzyjnych pomiarów odbywa się przy użyciu systemu SAPOS.

OS — AGN

Oferowane serwisy pozycjonowania precyzyjnego (OS Net) mogą być wykorzystywane w pomiarach w czasie rzeczywistym i w postprocessingu. Odebrane przez stacje referencyjne informacje są co godzinę przesyłane poprzez dedykowane łącze komunikacyjne do centrum kontrolnego w Southampton. Z kolei centrum udostępnia te dane partnerom handlowym. Obecnie są to dwie renomowane firmy geodezyjne: Leica Geosystems i Trimble. Korzystanie z serwisów obu tych firm jest odpłatne. Leica Geosystems oferuje serwis pod nazwą „SmartNet”, który jest usługą działającą nie tylko na obszarze Wielkiej Brytanii, ale również na obszarze Irlandii i Irlandii Północnej za sprawą podpisanej umowy z Głównym Urzędem Geodezji w Irlandii (irl. Suirbhéireacht Ordanáis Éireann lub ang. Ordnance Survey Ireland — OSI) oraz Irlandii Północnej (ang. Ordnance Survey Northern Ireland — OSNI). Poprawki RTK i DGPS są przesyłane subskrybentom telefonią komórkową GSM. Druga firma — Trimble oferuje usługi lokalizacyjne pod nazwą „VRS NOW”. Oferta obejmuje obszar wyłącznie Wielkiej Brytanii, nie różniąc się znacznie w działaniu od swego konkurenta.

AUSPOS

System opracowuje wyłącznie obserwacje z odbiorników dwuczęstotliwościowych, których długość sesji obserwacyjnej wynosi co najmniej jedną godzinę, a informacje są zapisane w formacie RINEX. Operator zapewnia wymaganą dokładność

dopiero przy 6-godzinnych zbiorach. Usługi AUSPOS są wolne od opłat, a obliczenia użytkownika są prowadzone wyłącznie w postprocessingu. Jedynym ograniczeniem jest możliwość opracowania do siedmiu punktów w czasie jednego logowania w systemie. Za pomocą interfejsu strony internetowej dostępnego pod adresem: <http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl>, możliwe jest przesłanie plików z sesji obserwacyjnych na serwer AUSLIG (rys. 5.).

Number of RINEX Files <input type="text" value="1"/>		Submit RINEX using <input checked="" type="radio"/> upload <input type="radio"/> ftp	
File Name	Height (m)	Antenna Type	
<input type="text"/> <input type="button" value="Browse..."/>	0.0000	DEFAULT (NONE) <input type="text"/>	
Your Email Address: <input type="text"/>			
<input type="button" value="submit"/> <input type="button" value="start over"/>			

Rys. 5. Formularz dla systemu AUSPOS umieszczony na stronie internetowej umożliwiający przesłanie danych po zakończeniu sesji obserwacyjnej

Wyniki opracowania są przesyłane do użytkownika pocztą elektroniczną lub pobierane z serwera WWW w formacie PDF (ang. Portable Document Format).

ASG-EUPOS

Dla użytkowników przeznaczono trzy serwisy udostępniania poprawek w czasie rzeczywistym. Są to serwisy o następujących nazwach: NAWGEO, KODGIS i NAWGIS. System obliczeniowy do prowadzenia powyższych serwisów wykorzystuje oprogramowanie Trimble GPSNet. Z idei samego systemu wynika, że dokładność lokalizacji jest identyczna w dowolnym rejonie kraju. Możliwe jest wyznaczenie pozycji z dokładnością od jednego metra do kilku centymetrów. Użytkownik, który korzysta z serwisu NAWGEO, musi posiadać dwuczęstotliwościowy odbiornik GNSS i rejestrować dane z co najmniej pięciu satelitów. Ta kinematyczna metoda pomiaru systemu ASG-EUPOS charakteryzuje się najwyższą dokładnością pomiarów spośród wszystkich usług w czasie rzeczywistym. Pozostałe usługi oferowane dla nawigacji, KODGIS i NAWGEO, nie wymagają dwuczęstotliwościowego odbiornika. W pomiarach wykorzystywana jest metoda różnicowa, co przekłada się na dokładność pomiarów.

Tabela 1. Charakterystyka serwisów w czasie rzeczywistym ASG-EUPOS

Serwis/cecha usługi	NAWGEO	KODGIS	NAWGIS
Metoda pomiaru	Kinematyczna (RTK)	Różnicowa (DGNSS)	Różnicowa (DGNSS)
Format danych	RTCM wersja 3.1, RTCM wersja 2.3 FKP, RTCM wersja 2.3 VRS	RTCM wersja 2.x	RTCM wersja 3.1
Sposób odbioru danych	GPRS/Internet	GPRS/Internet	GPRS/Internet
Zakładane dokładności pomiaru położenia	< 0.03 m w poziomie < 0.05 m w pionie	< 0.25m	< 1.0 m

Usługi postprocessingowe charakteryzują się wyższą dokładnością względem pomiarów realizowanych w czasie rzeczywistym. Serwisy dla metody statycznej to POZGEO i POZGEO D. System obliczeniowy do prowadzenia powyższych usług wykorzystuje oprogramowanie Trimble Total Control (TTC). Oba serwisy dostępne są z poziomu strony WWW.

Serwis POZGEO umożliwia przetwarzanie pomiarów statycznych poprzez wykonanie automatycznego postprocessingu z wykorzystaniem obserwacji użytkownika i obserwacji wybranych (najbliższych) stacji referencyjnych, wyrównanie pomiarów GPS oraz przeliczenie wyznaczonych współrzędnych do układów państwowych. Poprzez stronę WWW użytkownik przesyła pliki RINEX zarejestrowanych pomiarów, określając model anteny wykorzystanej do pomiaru i ewentualnie układ lokalny, w jakim chciałby otrzymać wyniki. Serwis POZGEO realizuje obliczenia dla plików obserwacyjnych spełniających poniższe warunki:

- format pliku obserwacyjnego: RINEX wersja 2.x;
- interwał pomiarowy: całkowita wielokrotność sekundy;
- czas pomiaru: od 15 minut do 24 godzin;
- maksymalny rozmiar plików obserwacyjnych: 17 MB;
- minimalna liczba epok pomiarowych: 720;
- maksymalna wykorzystywana liczba epok: 3600; w przypadku przekroczenia tej wartości obserwacje są rozrzedzane do większego interwału będącego wielokrotnością interwału podstawowego.

W zależności od liczby epok pomiarowych obserwacji uzyskiwany jest różny poziom dokładności. Wynikiem procesu obliczeniowego jest raport zawierający między innymi współrzędne punktu wyznaczone w obowiązujących w Polsce układach współrzędnych oraz charakterystykę dokładnościową obliczonych współrzędnych.

Alternatywą dla systemu automatycznego postprocessingu jest serwis POZGEO D. POZDGE0 D — nie wykonuje obliczeń, a jedynie udostępnia obserwacje stacji, dzięki którym użytkownik może samodzielnie wykonać obliczenia. Korzystając z zewnętrznego oprogramowania, użytkownik ma możliwość przetworzenia danych obserwacyjnych, obliczenia wektorów i wyrównania sieci. Dodatkowo system udostępnia dane obserwacyjne z rzeczywistych (Fizyczna Stacja Referencyjna — CORS) i wirtualnych (Wirtualna Stacja Referencyjna — VRS) stacji referencyjnych.

Tabela 2. Charakterystyka serwisów w postprocessingu ASG-EUPOS

Serwis/cecha usługi	POZGEO	POZGEO D
Metoda pomiaru	Statyczna	Statyczna
Format danych	RINEX wersja 2.x	RINEX wersja 2.x
Sposób odbioru danych	Internet	Internet
Zakładane dokładności pomiaru położenia	< 0.03 m w poziomie < 0.05 m w pionie	0.1 m (odbiornik L1) i 0.01 m (odbiornik L1/L2)

OCENA PORÓWNAWCZA ARCHITEKTURY, SERWISÓW ORAZ METOD TRANSMISJI DANYCH WYBRANYCH AKTYWNYCH SIECI GEODEZYJNYCH

Zaprezentowany przegląd wybranych aktywnych sieci geodezyjnych wskazuje na istnienie, w zależności od państwa, różnicy w ich realizacji. Polski system ASG-EUPOS opiera się na równoważności jakościowej stacji referencyjnych, niezależnie od rodzaju odbiornika i jego stabilizacji geodezyjnej. W ramach tego systemu wszystkie stacje znajdują się na obiektach należących do administracji państwowej lub uczelni wyższych. Stacje będące własnością osób prywatnych nie wchodzi w skład systemu. Odmiennie podejście zastosowano w systemie CORS, gdzie spełnienie wymagań NGS nawet przez systemy niepubliczne umożliwia rozbudowę sieci i jej zagęszczanie. W przeciwieństwie do systemu polskiego, gdzie stacje rozmieszczono ze zbliżonym zagęszczeniem, rozwiązanie amerykańskie wskazuje na istnienie związku gęstości stacji z nierównomiernością zagęszczenia kontynentu. Z powyższej przesłanki można wywieść wniosek, że liczba stacji referencyjnych wyróżnionych aktywnych sieci geodezyjnych ma niebagatelny wpływ na funkcjonowanie konkretnego systemu. W tabeli 3. zestawiono ją z powierzchnią państwa, na którego obszarze stacje działają. Tabelę uzupełniono o dane dotyczące systemów SAPOS [6] oraz AUSPOS w oparciu o dane publikowane w sieci WWV.

Tabela 3. Zagęszczenie stacji referencyjnych w funkcji powierzchni państwa

Nazwa sieci	Państwo	Liczba stacji referencyjnych	Powierzchnia państwa [km ²]	Liczba stacji/1000 km ²
CORS	Stany Zjednoczone	1250	$9\,631 \times 10^3$	0.13
SWEPOS	Szwecja	152	449×10^3	0.34
SAPOS	Niemcy	250	357×10^3	0.7
OS — AGN	Wielka Brytania	110	244×10^3	0.45
AUSPOS	Australia	15	$7\,686 \times 10^3$	0.002
ASG-EUPOS	Polska	98	322×10^3	0.3

Przedstawione w powyższej tabeli porównanie wskazuje na istnienie związku architektury systemu (liczby i rozmieszczenia stacji) z poziomem rozwoju cywilizacyjnego państwa oraz z gęstością zaludnienia. Systemy szwedzki oraz brytyjski również potwierdzają ten związek (rys. 2. i 3.).

W przeciwieństwie do pozostałych systemów szwedzki SWEPOS charakteryzuje specyfika hierarchizacji stacji referencyjnych GPS realizowana poprzez ich podział na dwie kategorie: A i B. Wydzielenie dwóch jakościowo różnych stacji referencyjnych wskazuje na różnice w wagach zmierzonych przez nie parametrów (pseudoodległości) i konieczność ich uwzględniania przy wypracowaniu poprawek powierzchniowych użytkownika.

W zakresie dostępnych serwisów oferowanych przez aktywne sieci geodezyjne dostrzegane są również istotne różnice. Większość z systemów aktywnych sieci geodezyjnych udostępnia usługi geodezyjno-nawigacyjne w oparciu o pomiary realizowane przez odbiorniki dwuczęstotliwościowe L1, L2, ograniczając w ten sposób liczbę użytkowników i możliwości realizacji z ich wykorzystaniem. Wyjątek stanowią systemy sieci EUPOS, tj. polski ASG oraz niemiecki SAPOS, które świadczą usługi czasu rzeczywistego na poziomie submetrowym. Należy w tym miejscu podkreślić, że pomiary kodowe GPS w przeciwieństwie do fazowych umożliwiają znacznie szybszą akwizycję sygnałów, nie ma konieczności rozwiązywania problemu nieoznaczoności fazy i znajdują one znacznie szersze zastosowanie w nawigacji. Dostrzegalna wydaje się tu pewna strategia, gdzie w przypadku systemów CORS i SWEPOS główny rynek odbiorców stanowią usługi geodezyjne, natomiast usługi nawigacyjne oferowane w USA są przez system WAAS, a w przypadku SWEPOS — przez system Omnistar. Doświadczenia wskazują, iż są one nieporównywalnie lepsze niż serwisy systemu EGNOS na terenie Europy i stanowią doskonałe uzupełnienie pomiarów DGPS realizowanych poprzez wyznaczenie kodowe.

Długość obserwacji będąca w ścisłym związku z dokładnością wyznaczeń w niektórych systemach (CORS, AUSPOS) została określona na ściśle ustalonym poziomie (min. 1 godzina) w celu zagwarantowania spełnienia minimalnych charak-

terystyk dokładnościowych. Natomiast w systemie ASG-EUPOS wynosi ona jedynie pół godziny.

Za interesujące, choć nie powszechne, należy uznać rozwiązanie sieci brytyjskiej OS — AGN, gdzie dostawcami serwisów są dwie firmy produkujące odbiorniki GPS, będące niewątpliwie światowymi liderami. W ocenie autorów stwarza to możliwość konkurencji przedkładającej się na jakość usług oraz rachunek ekonomiczny. W tym kontekście monopol administracji państwowej (jak w przypadku ASG-EUPOS) wydaje się rozwiązaniem z minionej epoki. Przytoczyć tu można analogiczne rozwiązanie polskiego systemu DGPS, który uruchomiono w 1994 roku, niespełna trzy lata po pierwszym rozwiązaniu tego typu na świecie. Brak środków publicznych spowodował jednak, że modernizację tej sieci (obsługiwanej przez komputery z procesorem 66 MHz) przeprowadzono dopiero w 2008 roku.

Nie sposób na zakończenie nie odnieść się do metod przesyłania danych pomiędzy sieciami i użytkownikiem. Wydaje się, że przełomowym momentem dla rozwoju emisji GPS/GPRS w zakresie obsługi teletransmisyjnej było opracowanie przez RTCM w 2004 roku protokołu NTRIP [13], który przesądził los emisji radiowych zakresu VHF oraz innych rozwiązań z wykorzystaniem bezprzewodowych linii radiowych w relacji stacja bazowa — rover, których kilkukilometrowy zasięg uniemożliwiał realizację sieciowych rozwiązań GNSS i przesyłania poprawek powierzchniowych.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych analiz wybranych aktywnych sieci geodezyjnych można sformułować następujące wnioski:

1. Aktywne sieci geodezyjne pomimo istnienia wielu podobieństw wykazują istotne różnice funkcjonalne.
2. Architektura i serwisy sieci są komplementarne z krajową strategią świadczenia usług geodezyjnych oraz krajowym planem radionawigacyjnym uwzględniającym dostępność zbliżonych lub alternatywnych usług w zakresie pozycjonowania.
3. Klasyczne osnowy geodezyjne wypierane są przez krajowe rozwiązania aktywnych sieci geodezyjnych.
4. Rozmieszczenie stacji referencyjnych jest funkcją zurbanizowania regionów i kraju.
5. Istnieją zasadniczo dwie formy świadczenia usług: państwowa — reprezentowana przez Krajowy Urząd ds. Geodezji oraz publiczno-prywatna, gdzie usługi udostępniają komercyjne firmy produkujące instrumenty geodezyjne.
6. Ustanawiane sieci stacji permanentnych wypierają klasyczne osnowy geodezyjne.

7. Stosowanie na świecie różnych rozwiązań aktywnych sieci geodezyjnych nie sprzyja ich popularyzacji i uniwersalności. Unifikacja i współpraca pomiędzy wieloma państwami realizowana jest tylko przez projekt EUPOS.
8. By uzyskać wysoką dokładność w czasie rzeczywistym i w postprocessingu, odległości pomiędzy stacjami referencyjnymi nie powinny przekraczać kilkudziesięciu kilometrów.
9. Najpopularniejszym stosowanym medium transmisyjnym do przesyłania korekt w czasie rzeczywistym jest GSM. O popularności stosowanej pakietowej transmisji danych (ang. GPRS — General Packet Radio Service) świadczy fakt pokrycia dużych obszarów i niewielkie koszty związane z jego użytkowaniem. Wykorzystanie publicznych stacji radiowych do transmisji korekt pozwala na obniżenie kosztów związanych z korzystaniem z systemu. Natomiast pliki z danymi z obserwacji w postprocessingu są przesyłane głównie przez Internet.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Baran W., *New National System of Geodetic Coordinates in Poland*, „Geodezja i Kartografia”, 1994, t. XLIII, z. 1, s. 41–49.
- [2] Baran L. W., Zieliński J. B., *Active GPS Stations as a New Generation of the Geodetic Network*, „Geodezja i Kartografia”, 1998, t. XLVII, z. 1–2, s. 33–40.
- [3] Baran L. W., Oszczak S., Zieliński J. B., *Wykorzystanie technik kosmicznych w geodezji i nawigacji w Polsce*, „Nauka” 2008, nr 4, s. 43–63.
- [4] Bosy J., Graszka W., Leonczyk M., *ASG-EUPOS The Polish Contribution to The EUPOS Project*, Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Berlin, 11–14 November 2008.
- [5] Ciećko A., Oszczak B., Oszczak S., *Determination of Accuracy and Coverage of Permanent Reference Station DGPS/RTK in Gdynia*, Proceedings of the 7th Bilateral Geodetic Meeting Italy — Poland, 22–24 May 2003, Bressanone, Italy, „Reports on Geodesy” 2003, nr 2 (65), s. 45–51.
- [6] Cord-Hinrich J., *SAPOS-Part of a Geosensors Network*, Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Berlin, 11–14 November 2008.
- [7] Dziewicki M., Felski A., Specht C., *Availability of DGPS Reference Station Signals on South Baltic*, Proceedings of the 2nd European Symposium on Global Navigation Satellite Systems — GNSS '98, Toulouse, France, 1998.
- [8] Greaves M., Fane C., Cruddace P., Bingley R., Baker D., *National Report of Great Britain*, EUREF, 2003.

- [9] Hedling G., Jonsson B., Lilje Ch., Lilje M., *SWEPOS— The Swedish Network of Permanent GPS Reference Station (Status February 2001)*, FIG Working Week 2001, Seoul Korea, 6–11 May 2001.
- [10] Landau H., Vollath U., Xiaoming Chen, *Virtual Reference Stations versus Broadcast Solutions in Network RTK — Advantages and Limitations*, GNSS Conference 2003, Graz, Austria, April 2003.
- [11] Rizos C., Yan T., Omar S., Musa T., Kinlyside D., *Implementing network — RTK: the SydNET CORS infrastructure*, The 6th International Symposium on Satellite Navigation Technology Including, Mobile Positioning & Location Services, Melbourne SatNav 2003, Australia, 22–25 July 2003.
- [12] *RTCM Recommended Standards for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service*, Version 3.0, RTCM Paper 30-2004/SC104-STD, 2004.
- [13] *RTCM Recommended Standards for Network Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP)*, Version 1.0, RTCM Paper 200-2004/SC104-STD, 2004.
- [14] *Wykonanie testów infrastruktury i usług systemu precyzyjnego pozycjonowania satelitarne ASG-EUPOS*, red. C. Specht, projekt badawczy na zlecenie Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii w zakresie: Wykonanie testów infrastruktury systemu ASG-EUPOS oraz wykonania testów usług systemu ASG-EUPOS, konsorcjum naukowe: Politechnika Gdańska/Uniwersytet Warmińsko-Mazurski /Akademia Marynarki Wojennej, maj — czerwiec 2008.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SELECTED ACTIVE GEODETIC NETWORKS

ABSTRACT

The article presents comparable analyses between the Polish Active Geodetic Network ASG-EUPOS established in June 2008 and other selected networks like: CORS (US), SAPOS (Germany), SWEPOS (Sweden), OS — AGN (UK). Architecture, services and methods of GPS pseudorange correction transmission according to RTCM SC-104 standard were used for comparisons. Advantages and disadvantages of different national active geodetic network solutions are presented as conclusions.

Keywords:

active geodetic networks, ASG-EUPOS, CORS, SAPOS, SWEPOS, OS — AGN.

Recenzent prof. dr hab. inż. Stanisław Oszczak