

JAN CISAK

8. WIELOFUNKCYJNY SYSTEM PRECYZYJNEGO POZYCJONOWANIA SATELITARNEGO ASG-EUPOS

8.1. Europejski system wyznaczania pozycji EUPOS

Polski, wielofunkcyjny system precyzyjnego pozycjonowania satelitarne ASG-EUPOS należy do rodziny naziemnych, nawigacyjnych systemów referencyjnych Europy Środkowej i Wschodniej o nazwie **EUPOS** (European Position Determination System) (EUPOS, 2010). Inicjatywa stworzenia kompatybilnego, wielofunkcyjnego systemu stacji referencyjnych Globalnych Systemów Nawigacji Satelitarnej (Global Navigation Satellite System – GNSS) w krajach Europy Środkowej i Wschodniej powstała w 2002 roku. Celem projektu EUPOS jest zbudowanie ujednoczonego systemu stacji referencyjnych na obszarze 18 krajów Europy, pokrywającego 25% Unii Europejskiej i ponad 60% całego obszaru Europy. Należy podkreślić wielofunkcyjność systemu, który potencjalnie może służyć nie tylko geodetom, ale również innym użytkownikom jak policja, straż miejska, pogotowie ratunkowe, transport, itp. Do roku 2010, 13 państw Europy Środkowej i Wschodniej zbudowało swoje systemy. W Niemczech i na Łotwie powstały oddzielne systemy dla aglomeracji miejskich – Berlina i Rygi (ryc. 1).

Projektem EUPOS zarządza Międzynarodowy Komitet Sterujący składający się z przedstawicieli wszystkich państw należących do EUPOS. Komitet Sterujący, pozostawiając niezależność w podejmowaniu decyzji lokalnych dotyczących udostępniania danych, wyboru instytucji współpracujących itp., ustala zasady współpracy międzynarodowej i standardy techniczne, którym powinny odpowiadać systemy krajowe. Według tego jednolitego standardu przyjęto następujące założenia techniczne:

- EUPOS to system wielofunkcyjny zabezpieczający zarówno potrzeby precyzyjnych pomiarów geodezyjnych, jak również prowadzenie nawigacji lądowej, powietrznej i morskiej;
- dane EUPOS są wyznaczone w geodezyjnym układzie odniesienia będącym realizacją systemu ETRS89, wspólnego dla Europy, a następnie przeliczane do narodowych układów współrzędnych. W Polsce obowiązują układy „1992” i „2000” będące odwzorowaniami kartograficznymi elipsoidy GRS80;

- kraje uczestniczące stosują jednolity standard techniczny EUPOS, kompatybilny ze standardem istniejącego w Niemczech systemu SAPOS;
- odległości między stacjami referencyjnymi nie powinny przekraczać 70-80 km, a kraje członkowskie są zobowiązane udostępniać sobie nawzajem dane z przygranicznych stacji referencyjnych, zgodnie z wytycznymi EUPOS.

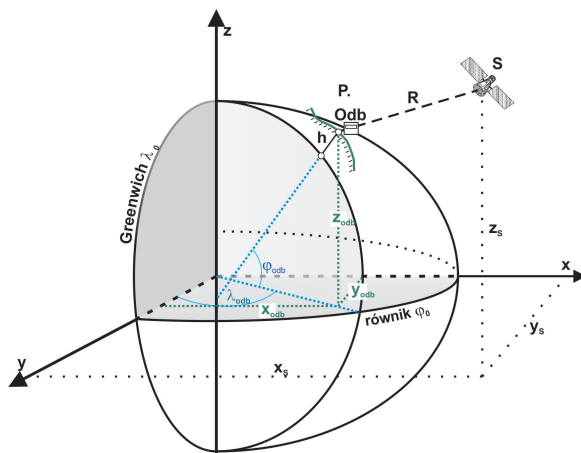


Ryc. 1. Krajowe systemy EUPOS – stan w 2010 r. (opracowanie własne)

8.2. Wyznaczanie pozycji w systemie EUPOS

Głównym zadaniem GNSS jest wyznaczanie pozycji użytkownika. W chwili obecnej do GNSS zalicza się GPS (Global Positioning System) oraz rosyjski GLONASS (Globalnaja Navigacjonnojaja Sputnikowa Sistema). W przyszłości dojdzie europejski system Galileo oraz chiński Compass. W dużym uproszczeniu zasada wyznaczania pozycji opiera się na znajomości współrzędnych

satelitów w momencie wysyłania sygnału i pomiarze odległości od satelity do odbiornika. Rycina 2 przedstawia satelitę i odbiornik systemu GNSS w jednym wspólnym ortokartezjańskim, przestrzennym układzie współrzędnych.



$$R = \sqrt{(x_{sat} - x_{odb})^2 + (y_{sat} - y_{odb})^2 + (z_{sat} - z_{odb})^2} \quad R = c\Delta t$$

Ryc. 2. Zasada wyznaczania pozycji odbiornika GNSS

W równaniach występują trzy niewiadome współrzędne odbiornika oraz różnica czasu obciążona błędem zegara odbiornika. Są więc do wyznaczenia cztery niewiadome, a więc potrzeba zaobserwować minimum cztery satelity aby uzyskać pozycję odbiornika. Ta zasada, przedstawiona w wielkim uproszczeniu, ma zastosowanie do wyznaczenia pozycji bezwzględnej, której dokładność może nawet osiągać kilkanaście metrów. Osiągnięcie lepszej precyzji pomiarów jest możliwe przez zastosowanie pomiarów różnicowych, w których mierzymy przyrosty współrzędnych i w których znaczna ilość błędów eliminuje się poprzez różnicowanie równań.

System EUPOS opiera się na naziemnych, funkcjonujących permanentnie stacjach GNSS. Oznacza to, że metody wyznaczania pozycji z zastosowaniem systemu są metodami różnicowymi, w których rolę odbiornika referencyjnego pełni jedna lub kilka stacji należących do systemu. W zależności od czasu pomiaru na punkcie, metody wyznaczania pozycji dzielimy na:

- pomiary statyczne;
- szybkie pomiary statyczne (Fast Static, Rapid Static);
- pomiary w czasie rzeczywistym:
 - pomiary kinematyczne (RTK, RTN),
 - pomiary DGNS;
- pomiary kinematyczne w post-processingu.

8.2.1. Pomiary statyczne

Pomiary statyczne polegają na pozostawieniu jednego lub kilku odbiorników na punktach mierzonej osnowy w celu zebrania odpowiedniej ilości danych GNSS. Stosując programy obliczeniowe w tzw. post-processingu obliczane są składowe wektorów jakie powstają między mierzonymi punktami. W nawiązaniu do stacji referencyjnych o znanych współrzędnych pomiary są wyrównywane a punkty mierzone otrzymują współrzędne. Pomiary statyczne zapewniają najwyższą dokładność pomiarów GNSS. Wykorzystywane są w pomiarach krajowych osnow geodezyjnych oraz w badaniach geodynamicznych. Pozwalają one uzyskać, w zależności od długości wektora, następujące dokładności:

- przy użyciu efemeryd pokładowych: $\pm 1 \text{ cm} + 2 \text{ ppm} \cdot D$ dla współrzędnych horyzontalnych i $\pm 2 \text{ cm} + 2 \text{ ppm}_{[E]} \cdot D$ dla wysokości. W zapisie tym ppm oznacza część milionową – 1×10^{-6} (part per milion);
- przy użyciu orbit precyzyjnych IGS: dokładność wyznaczenia wynosi 10^{-8} - 10^{-9} dla wektorów ponad 300 km.

8.2.2. Szybkie pomiary statyczne

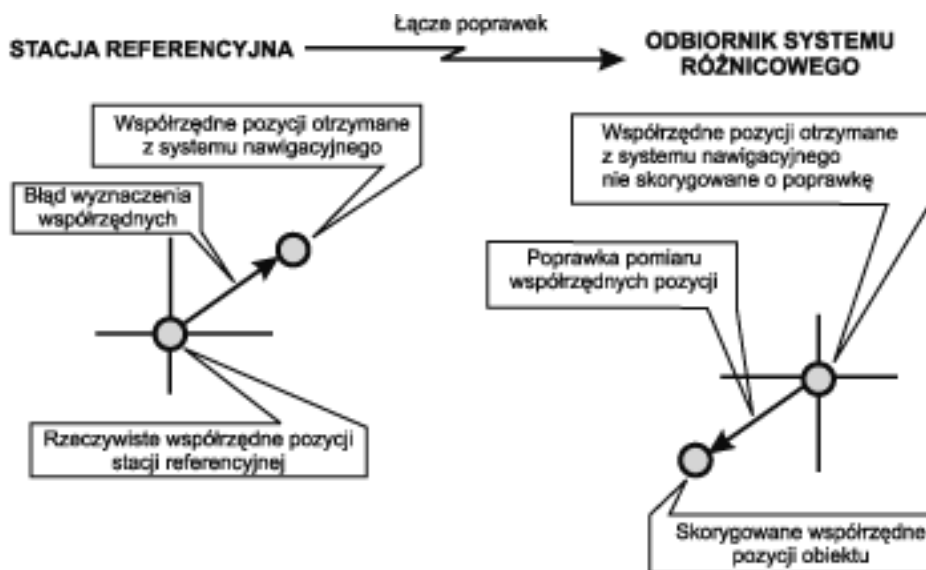
Jest to odmiana pomiarów statycznych, dla których skrócono do 5-20 minut pomiar na wyznaczanym punkcie. Osiągnięto to wprowadzając nowe generacje odbiorników (głównie dwuczęstotliwościowych) oraz algorytmy wyznaczania nieoznaczoności. Zaostrzeniu uległy w stosunku do metody statycznej kryteria pomiaru:

- odbiornik musi ciągle śledzić minimum 5 – 6 satelitów,
- interwał zliczeń obserwacji wynosi 1 – 10 sekund,
- minimalna wysokość satelitów nad horyzontem 15° ,
- długość wektorów nie powinna przekraczać 20 km.

Metoda pozwala uzyskać dokładności wyznaczenia punktu na poziomie kilku cm wykorzystując oprogramowanie firmowe.

8.2.3. Pomiary w czasie rzeczywistym

Warunkiem realizacji pomiarów w czasie rzeczywistym jest bezpośrednia łączność między stacją bazową a odbiornikiem ruchomym. Informacje ze stacji bazowej w postaci obserwacji lub poprawek do obserwacji są przesyłane do odbiornika ruchomego, gdzie następuje proces opracowania i wyznaczenia pozycji. Opracowanie obserwacji ze stacji bazowej oraz odbiornika ruchomego następuje bezpośrednio w terenie na przenośnym komputerze (palmtopie). Zasadę pomiaru w czasie rzeczywistym pokazuje rycina 3.



Ryc. 3. Zasada wyznaczania pozycji w czasie rzeczywistym

Źródło: J. Cisak

8.2.4. Pomiary RTK (Real Time Kinematic)

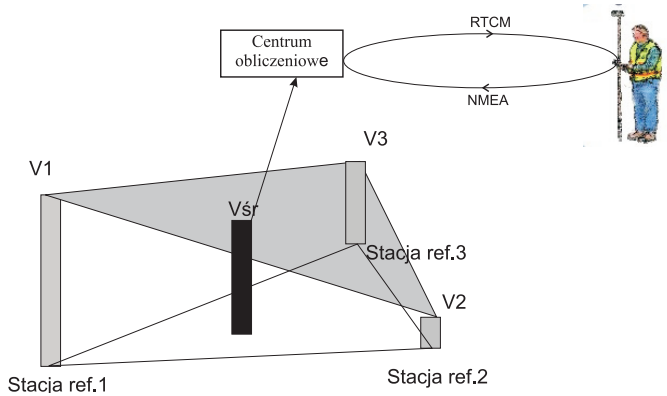
Pomiary RTK należą do pomiarów w czasie rzeczywistym. Metoda bazuje na algorytmie inicjalizacji OTF (On The Fly) czyli prawie natychmiastowego rozwiązywania nieznannej ilości fal na drodze satelita odbiornik. Wymaga widoczności minimum 5 satelitów powyżej 15° . Wykorzystywane są obserwacje fazowe odbiornikiem dwuczęstotliwościowym. Zaletą w stosunku do pomiarów statycznych jest natychmiastowe wyznaczenie pozycji, natomiast do wad należy zaliczyć konieczność zapewnienia ciągłej łączności między stacją bazową i odbiornikiem ruchomym oraz ograniczenie zasięgu metody wynikające z ograniczeń możliwości uproszczonych algorytmów stosowanych w komputerze przenośnym. Typowe warunki pomiarów RTK to:

- inicjalizacja około 1 minuty,
- pomiar pikiety 3 – 5 sekund,
- zasięg pomiarów 10 do 30 km,
- dokładność $\pm 1\text{-}2 \text{ cm} + 2 \text{ ppm} \cdot D$ dla składowych horyzontalnych i około $\pm 3 \text{ cm} + 2 \text{ ppm} \cdot D$ dla składowej wysokościowej.

8.2.5. Pomiary RTK - RTN (powierzchniowe)

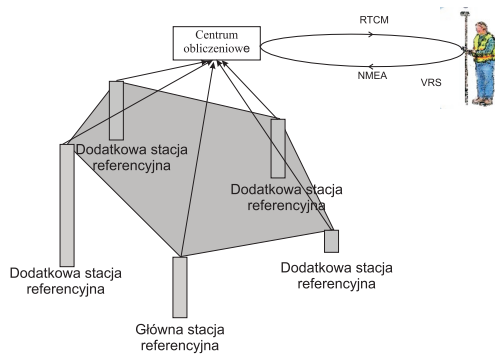
W pomiarach powierzchniowych RTK rolę stacji bazowej przejmuje sieć stacji permanentnych przesyłających dane obserwacyjne w czasie rzeczywistym do Centrum Zarządzania. Oprogramowanie sterujące w Centrum Zarządzania przetwarza dane ze stacji, tworząc albo poprawki powierzchniowe typu

FKP (ryc. 4) lub MAC (ryc. 5) albo obserwacje z Wirtualnej Stacji Referencyjnej (Virtual Reference Station – VRS), której koncepcję przedstawia rycina 6.



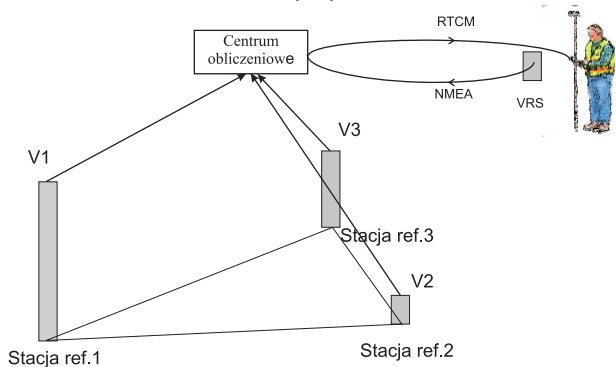
Ryc. 4. Zasada tworzenia poprawek FKP (Fläche Korrektur Parameter)

Źródło: M. Ryczywolski, 2009



Ryc. 5. Zasada tworzenia poprawek MAC (Master and Auxiliary Concept)

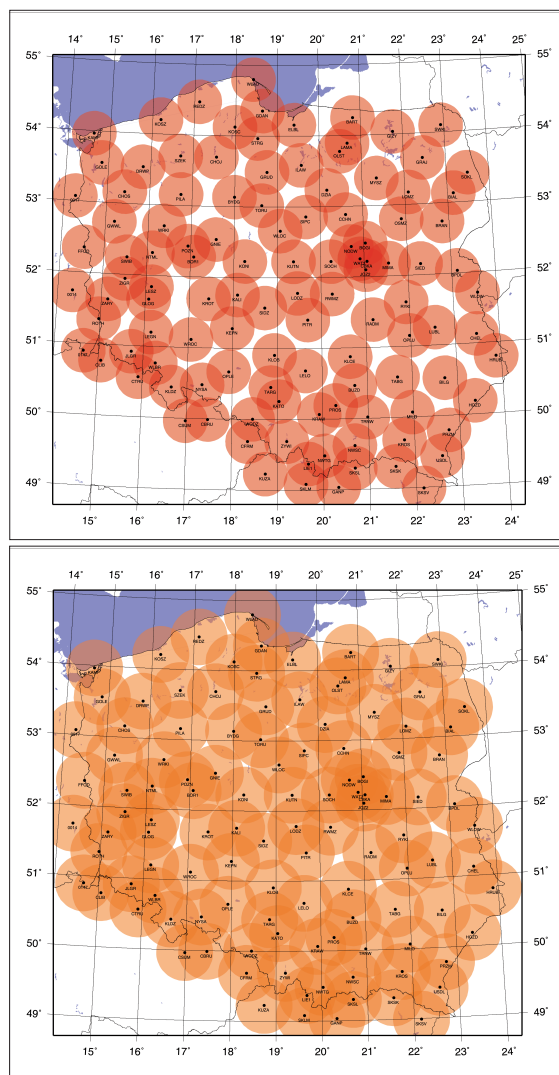
Źródło: M. Ryczywolski, 2009



Ryc. 6. Zasada tworzenia poprawek ze stacji wirtualnej.

Źródło: M. Ryczywolski, 2009

Zaletą systemu powierzchniowego RTK jest możliwość pracy z jednym odbiornikiem ruchomym. Rolę stacji bazowej przejmują na siebie system. Odległości między stacjami według obecnych warunków oprogramowania Centrum Zarządzania mogą wynosić 70–80 km, a otrzymywane dokładność i niezawodność wyznaczenia pozycji jest wyższa niż dla typowych pomiarów RTK. Rycina 7a przedstawia pokrycie Polski stacjami ASG-EUPOS. Twórcy systemu gwarantują niezawodność nawet przy odległościach 90 kilometrowych między stacjami.



Ryc. 7. Pokrycie Polski zasięgiem stacji ASG-EUPOS przy odległościach między stacjami a) 70 km, b) 90 km

Źródło: J. Cisak i in., 2008

8.2.6. *Pomiary DGNSS*

Termin DGNSS odnosi się do metody różnicowych pomiarów satelitarnych. W przypadku prac wykonywanych w czasie rzeczywistym terminu tego używa się w odniesieniu do kodowych pomiarów satelitarnych, w których wyznaczona pozycja, tak jak w pomiarach RTK poprawiana jest na bieżąco o dane korekcyjne.

W odróżnieniu od RTK, DGPS jest prostszą techniką wyznaczania współrzędnych, bazującą przede wszystkim na pomiarach kodowych, tzn. nie istnieje potrzeba wyznaczenia nieoznaczoności (procesu inicjalizacji). Do określenia współrzędnych wystarczają już 4 satelity nawigacyjne. Dokładności uzyskiwane tą techniką zależą głównie od odległości od stacji bazowej.

Pomiary kodowe znajdują zastosowanie przede wszystkim w nawigacji, turystyce oraz gromadzeniu danych dla systemów GIS.

8.2.7. *Pomiary kinematyczne w post-processingu*

Jest to metoda pomiaru pozycji anteny będącej w ruchu oparta na obliczeniach wykonanych po pomiarze w tzw. post-processingu. Stosowana jest w przypadkach, gdy metody RTK nie zdają egzaminu, np. przy wyznaczaniu środków rzutów kamery w nalotach fotogrametrycznych.

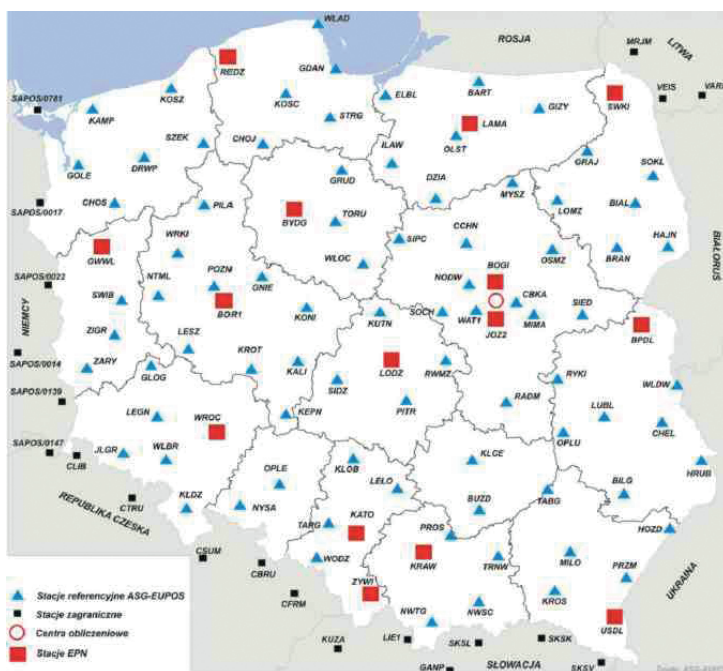
8.3. System ASG-EUPOS (Aktywna sieć geodezyjna – EUPOS)

System jest kontynuacją pilotażowego projektu stworzenia wielofunkcyjnego systemu precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego jakim był ASG-PL. Ze względu na tę kontynuację oraz przynależność Polski do EUPOS oddany do użytkowania w połowie roku 2008 system nazwano ASG-EUPOS (Jaworski, 2009a i b). Celem założenia wielofunkcyjnego systemu precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego ASG-EUPOS jest udostępnianie w trybie on-line poprawek do obserwacji GNSS odbieranych przy użyciu odbiorników satelitarnych i umożliwienie precyzyjnego pozycjonowania i nawigacji na obszarze Polski. Po ostatecznym związaniu istniejących osnów państwowych z systemem ASG-EUPOS punkty odniesienia stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS będą stanowiły osnowę geodezyjną w rozumieniu przepisów ustawy z dnia 17 maja 1989 r. – Prawo geodezyjne i kartograficzne (Dz. U. z 2010 r. Nr 193, poz. 1287).

System ASG-EUPOS składa się z segmentu naziemnych stacji referencyjnych, segmentu zarządzania oraz użytkowników stanowiących trzeci segment systemu (ASG-EUPOS, 2010).

8.3.1. Stacje referencyjne

Aktualnie segment ten składa się z 84 stacji z modułem GPS, 14 stacji z modułem GPS/GLONASS oraz 22 stacji zagranicznych. Krajowe stacje referencyjne w większości zlokalizowane są na budynkach administracji publicznej szczebla wojewódzkiego i powiatowego, placówkach badawczych i budynkach oświaty. Stacje założono zgodnie ze standardem EUPOS. Położenie stacji referencyjnych na obszarze Polski pokazuje rycina 8.



Ryc. 8. Stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS (Jaworski, 2009b)

8.3.2. Segment zarządzania

Główną funkcją Centrum Zarządzającego jest wyliczanie i udostępnianie danych dla poszczególnych usług świadczonych przez system ASG-EUPOS. Na podstawie obserwacji przekazywanych do Centrum wyliczane są automatycznie poprawki RTK/DGNSS, które następnie zostają udostępnione dla użytkowników systemu. Bezpośrednio z Centrum Zarządzającego użytkownik może pobrać pliki obserwacyjne z poszczególnych stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS lub przesłać własne pliki obserwacyjne w celu uzyskania precyzyjnej pozycji mierzonych punktów. Poza powyższym Centrum Zarządzające pełni funkcję konserwacji państwowego układu odniesienia. Cotygodniowe wyliczenie współrzędnych stacji referencyjnych pozwala na bieżącą kontrolę stałości stacji, które definiują ten układ.

8.3.3. Usługi systemu ASG-EUPOS

System ASG-EUPOS umożliwia użytkownikom korzystanie ze wszystkich opisanych w punkcie 2 niniejszego opracowania metod pomiarów różnicowych, oferując następujące usługi (Zdunek, 2009) :

- POZGEO – usługa polegająca na automatycznym obliczeniu pozycji z pomiarów statycznych GNSS wykonanych przez użytkownika i przesłanych do Centrum Zarządzania w postaci plików obserwacyjnych w formacie RINEX. Do czasu wyposażenia wszystkich stacji w odbiorniki GNSS wykorzystywany jest tylko system GPS. Jednorazowo możliwe jest wyznaczenie pozycji tylko jednego punktu. Nie przewiduje się rozwiązania sieciowego. Obserwacje mogą być wykonane zarówno odbiornikami dwuczęstotliwościowymi z deklarowanym błędem średnim pozycji $\pm 0,01$ m jak i jednoczęstotliwościowymi z błędem $\pm 0,1$ m.;
- POZGEO D – usługa pobierania obserwacji satelitarnych GNSS w formacie RINEX z wybranych przez użytkownika stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS. Użytkownik może pobrać zarówno dane obserwacyjne jak i efemerydalne, a także współrzędne stacji. Dokładność wyznaczenia pozycji zależy od jakości odbiornika i oprogramowania użytkownika. Błąd średni może osiągnąć kilka milimetrów;
- NAWGEO – usługa czasu rzeczywistego, udostępniająca poprawki RTK, umożliwiające wyznaczenie współrzędnych płaskich z błędem średnim nie większym niż 0,03 m oraz wysokości z błędem średnim nie większym niż 0,05 m przy wykorzystaniu odbiornika L1/L2 RTK. Oferowane są poprawki VRS (z wirtualnej stacji) oraz powierzchniowe FKP i MAC. Można też pobrać poprawki z pojedynczej stacji. Poprawki generowane są w formacie RTCM w wersjach 2.3 i 3.1. Użytkownik może wybrać rodzaj poprawek. Dla poprawek VRS, FKP i MAC konieczna jest dwustronna łączność użytkownik – Centrum Zarządzania dla automatycznego przesyłania swojej pozycji w formacie NMEA i odebrania poprawek w formacie RTCM przesyłanych protokołem NTRIP;

- KODGIS – usługa czasu rzeczywistego udostępniająca poprawki DGNSS, umożliwiające wyznaczenie współrzędnych z błędem średnim nie większym niż 0,25 m przy korzystaniu z odbiornika dwuczęstotliwościowego L1/L2 oraz nie większym niż 1,5 m przy wykorzystaniu odbiornika tylko z L1. Wykorzystywane są tylko poprawki z obserwacji kodowych;
- NAWGIS – usługa udostępniająca w czasie rzeczywistym dane korekcyjne w formacie RTCM v.2.1 z wybranej stacji referencyjnej, pozwalające, w zależności od zastosowanego sprzętu GNSS, prowadzić pomiary i nawigację z dokładnościami wskazań położenia lepszymi niż $\pm 3,0$ m. Odbiór danych korekcyjnych odbywa się za pośrednictwem systemu GPRS/Internet, z wykorzystaniem modemu GPRS z protokołem NTRIP. Odbiór poprawek DGNSS w tej usłudze nie wymaga dwukierunkowej komunikacji z Centrum Zarządzającym.

8.4. Użytkownicy systemu ASG-EUPOS

Zgodnie z nazwą systemu promującą jego wielofunkcyjność możliwe jest wykorzystanie systemu przez różne służby publiczne choć zawsze priorytetem będzie zastosowanie systemu w pracach geodezyjnych. Dzięki ciągłej dostępności na obszarze całej Polski oferowanych usług użytkownik, który zdecyduje się na korzystanie z systemu ASG-EUPOS dysponuje możliwością precyzyjnego określenia swojej pozycji niezależnie od miejsca i czasu. Na stronie internetowej ASG-EUPOS w zakładce potencjalne zastosowania wymieniono aż 16 grup branżowych, w których system może znaleźć bądź już znalazł zastosowanie: bezpieczeństwo, budownictwo przemysłowe, geodezja i geodynamika, komunikacja drogowa, nawigacja morska, śródlądowa i powietrzna, hydrografia i hydrologia, energetyka, obronność, ochrona środowiska, zarządzanie kryzysowe, ochrona zdrowia, rolnictwo i leśnictwo, rurociągi, sport i turystyka, systemy informacji przestrzennej, telekomunikacja. W każdej z tych grup można wydzielić po kilka możliwych zastosowań. Przykładowo w grupie bezpieczeństwo można znaleźć zastosowanie systemu do: zarządzania flotą pojazdów policji, do automatycznej lokalizacji pojazdów, do dokumentacji miejsc przestępstwa, do ewidencji i dokumentacji wypadków czy też do monitoringu skazanych.

Przykładem wykorzystania systemu stacji permanentnych jest współpraca geodetów wojewódzkich Mazowsza i Małopolski z dyrekcją Pogotowia Rantunkowego i zbudowanie systemu monitoringu i ekonomicznego zarządzania taborem karetek pogotowia.

Wykorzystanie usług ASG-EUPOS wymaga uzyskania od właściciela systemu (GUGiK) hasła i loginu do systemu. W chwili obecnej system jest bezpłatny. Po zakończeniu pełnej modernizacji i kalibracji z podstawowymi osnowami geodezyjnymi w kraju, przewiduje się wprowadzenia odpłatności za korzystanie z systemu.

8.5. Literatura

- Cisak J., Kryński J., Sękowski M., 2008, *Opracowanie założeń do testowania serwisów czasurzeczywistego oraz post-processingu dla systemu ASG-EUPOS*, Ekspertyza wykonana na zlecenie GUGiK.
- Jaworski L., 2009a, *Satelitarne techniki pomiarowe część 1a: wprowadzenie do pomiarów satelitarnych*, Materiały szkoleniowe GUGiK, www.asgeupos.pl
- Jaworski L., 2009b, *Satelitarne Techniki Pomiarowe, Wielofunkcyjny System Precyzyjnego Pozycjonowania Satelitarnego ASG-EUPOS*, Materiały szkoleniowe GUGiK, www.asgeupos.pl
- Ryczywolski M., 2009, *Wielofunkcyjny System Precyzyjnego Pozycjonowania Satelitarnego ASG-EUPOS*, Prezentacja na Zebraniu Oddziału Warszawskiego SGP w Obserwatorium Borowa Góra w marcu 2009 r., Archiwum IGiK.
- Zdunek R., 2009, *Wykorzystanie systemu ASG-EUPOS do wykonania prac geodezyjnych i kartograficznych*, Materiały szkoleniowe GUGiK, www.asgeupos.pl
- ASG-EUPOS, (2010) Opis Systemu ASG-EUPOS <http://www.asgeupos.pl>
- EUPOS, 2010, EUPOS – General Information, February 2011, <http://www.eupos.org/>
- EUREF Permanent Network, EPN, 2010, <http://www.epncb.oma.be>