

ASG-EUPOS W TERENACH PRZYGRANICZNYCH

Krzysztof Krzeszowski, Jarosław Bosy

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Uruchomienie przez GUGiK z początkiem czerwca 2008 r. wielofunkcyjnego systemu precyzyjnego pozycjonowania na obszarze Polski ASG-EUPOS dało możliwość wykonania prac geodezyjnych na obszarze całego kraju. System ASG-EUPOS został zrealizowany w ramach europejskiego projektu EUPOS. Jednym z założeń projektu EUPOS jest stosowanie ujednoczonych standardów technicznych w systemach wszystkich krajów członkowskich. Ma to zapewnić jednorodne pozycjonowanie na całym obszarze działania systemu EUPOS, także w terenach przygranicznych, gdzie poleganie jedynie na stacjach referencyjnych pojedynczego kraju skutkowałoby pogorszeniem jakości wyznaczeń. Jednakże wykonywanie pomiarów w terenach, gdzie do wyznaczenia pozycji oprócz krajowych stacji referencyjnych niezbędne jest też korzystanie ze stacji zagranicznych, budzi pewne obawy co do rzetelności wyznaczeń, jak również integracji systemu ASG-EUPOS i systemów zagranicznych z krajową osnową geodezyjną. W pracy opisane zostały systemy GBAS, a w szczególności założenia ogólne i standardy techniczne europejskiego systemu EUPOS oraz szczegółowe opisy jego polskiej i czeskiej realizacji, odpowiednio systemu ASG-EUPOS i systemu CZEPOS. Opracowana została koncepcja przeprowadzenia badań w zakresie weryfikacji działania serwisów systemu ASG-EUPOS w terenach przygranicznych. W myśl tej koncepcji wykonane zostały prace pomiarowe na obszarze o charakterystyce badanego problemu. Na ich podstawie przeprowadzona została analiza dokładności pozycjonowania z wykorzystaniem poszczególnych serwisów systemu ASG-EUPOS i zagranicznych stacji referencyjnych względem danych katalogowych. Dodatkowo przeprowadzona została praktyczna weryfikacja zaleceń zawartych w projekcie wytycznych technicznych G-1.12.

Słowa kluczowe: GBAS, GNSS, ASG-EUPOS, EUPOS, CZEPOS

WSTĘP

Precyzyjne pozycjonowanie GNSS (Global Navigation Satellite System) opiera się aktualnie na systemach GBAS (Ground Based Augmentation System). Systemy GBAS są to systemy naziemnych stacji referencyjnych GNSS pozwalających na pozycjonowanie metodą DGNS i RTK GNSS z dokładnością odpowiednio 1–3 m i 1–3 cm. Stacje

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Adres do korespondencji – Corresponding author: Jarosław Bosy, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, e-mail: jaroslaw.bosy@up.wroc.pl

referencyjne GBAS pełnią rolę źródła danych referencyjnych o zasięgu lokalnym. Usługi pozycjonowania DGNSS i RTK GNSS systemów GBAS, polegające na przesłaniu danych referencyjnych są realizowane za pośrednictwem naziemnych mediów głównie mobilnego Internetu. W grupie systemów GBAS mieszczą się sieci globalne jak IGS (International GNSS Service: igsb.jpl.nasa.gov), kontynentalne (regionalne) – EPN (EUREF Permanent Network: www.epncb.oma.be), i krajowe – SAPOS (www.sapos.de), CZEPOS (czepos.cuzk.cz).

W dniu 2 czerwca 2008 r. Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK) uruchomił operacyjnie w Polsce system GBAS: Wielofunkcyjny system precyzyjnego pozycjonowania na obszarze Polski ASG-EUPOS (www.asgeupos.pl). System ASG-EUPOS jest systemem GBAS pozwalającym na precyzyjne pozycjonowanie zarówno w czasie rzeczywistym, jak i w postprocessingu. Został on zrealizowany w ramach projektu EUPOS (European Position Determination System) [Bosa i in. 2008].

Jednym z założeń projektu EUPOS, którego polską realizacją jest system ASG-EUPOS, jest stosowanie ujednoczonych standardów technicznych w systemach wszystkich krajów członkowskich. Ma to zapewnić jednorodne pozycjonowanie na całym obszarze działania systemu EUPOS, także w terenach przygranicznych, gdzie poleganie jedynie na stacjach referencyjnych pojedynczego kraju skutkowałoby pogorszeniem jakości wyznaczeń (EUPOS: www.eupos.org).

Serwis NAWGEO precyzyjnego pozycjonowania RTK GNSS w czasie rzeczywistym (dokładność centymetrowa) systemu ASG-EUPOS bazuje na rozwiązaniu sieciowym, które w terenach przygranicznych może być realizowane, opierając się na stacjach polskich i państw sąsiadujących. Alternatywnym sposobem pozycjonowania w tym serwisie jest wykorzystywanie tylko jednej stacji referencyjnej. Dokładność pozycjonowania jest jednak wtedy zależna od odległości od stacji referencyjnej. W pracy przedstawiona została koncepcja wykonania badań w zakresie weryfikacji działania serwisów systemu ASG-EUPOS w terenach przygranicznych. W myśl tej koncepcji przeprowadzono prace pomiarowe na obszarze o charakterystyce badanego problemu. Na ich podstawie przeprowadzona została analiza dokładności pozycjonowania z wykorzystaniem poszczególnych serwisów systemu ASG-EUPOS i zagranicznych stacji referencyjnych względem danych katalogowych. Dodatkowo wykonano praktyczną weryfikację zaleceń zawartych w projekcie wytycznych technicznych G-1.12.

METODYKA BADAŃ I CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAWCZEGO

Prace badawcze miały na celu weryfikację działania serwisów systemu ASG-EUPOS na terenach przygranicznych na tle ich wykorzystania w przeprowadzanych tam pracach geodezyjnych. Wychodząc z tego założenia, zasadnym było odstępianie od analizowania działania serwisów NAWGIS i KODGIS, które ze względów dokładnościowych nie znajdują większego zastosowania w pomiarach geodezyjnych. W związku z powyższym, do weryfikacji serwisów czasu rzeczywistego wzięty został jedynie serwis NAWGEO.

Weryfikacja działania serwisu NAWGEO polegała na określeniu dokładności pozycjonowania na punktach o znanych współrzędnych i wysokościach z wykorzystaniem poprawek powierzchniowych, opierając się na stacjach polskich i zagranicznych, wzglę-

dem dokładności przy wykorzystaniu poprawek z pojedynczej stacji polskiej oraz w stosunku do założeń dokładnościowych serwisu. Prace pomiarowe, poprzedzające weryfikację działania serwisu NAWGEO systemu ASG-EUPOS w terenach przygranicznych, obejmowały:

- pomiary testowe w terenie przygranicznym z wykorzystaniem poprawki NAWGEO z pojedynczej stacji w formacie RTCM 3.1.,
- pomiary testowe w terenie przygranicznym z wykorzystaniem poprawek sieciowych serwisu NAWGEO (RTCM 3.1 MAC, RTCM 2.3 FKP, RTCM 3.1 VRS, RTCM 2.3 VRS).

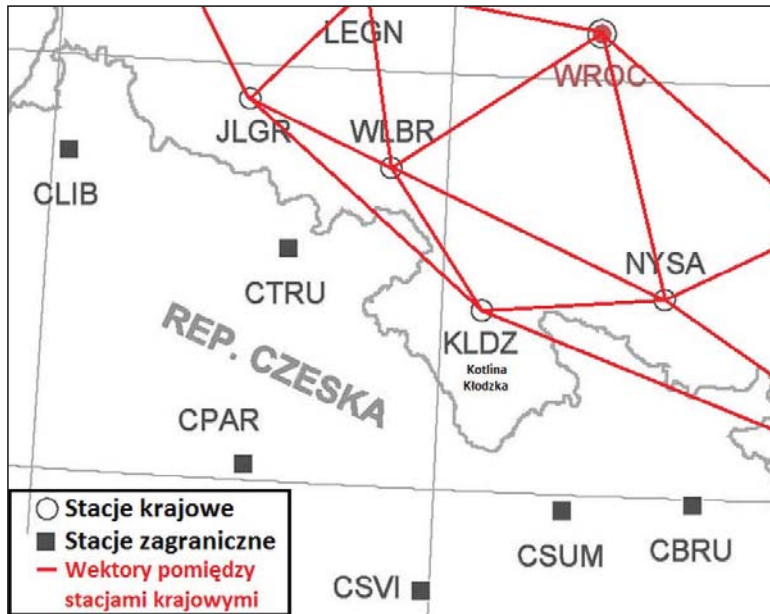
Pomiary metodą RTK na punktach testowych, z wykorzystaniem każdej z poprawek serwisu NAWGEO, wykonane zostały zgodnie z zaleceniami zawartymi w Wytycznych Technicznych G-1.12 odnośnie do pomiarów na punktach osnowy pomiarowej, a mianowicie: dwa niezależne (po powtórnej inicjalizacji odbiornika) 30-sekundowe wyznaczenia na pojedynczym punkcie. Do pomiarów wybrane zostały punkty, na których nie występowały czynniki środowiskowe wpływające na pogorszenie pomiarów GNSS. Natomiast przy wykonywaniu pomiarów wzięto pod uwagę także czynniki zapewniające odpowiednie warunki do wykonywania pomiarów satelitarnych (min. 5 satelitów, maska elewacji – 10° , PDOP < 6.0).

Ponadto, zastosowano także następujące warunki wykonywania pomiarów:

- dla reperów, na których nie było możliwe przeprowadzenie pomiarów satelitarnych, ich wysokości przeniesione zostały metodą niwelacji technicznej w najbliższe miejsca o wystarczająco odkrytym horyzoncie;
- do przeprowadzenia pomiarów wykorzystane zostały dwuczęstotliwościowe odbiorniki GPS i GNSS;
- wybrane punkty testowe znajdowały się w pobliżu granicy Polski wewnątrz trójkąta, którego wierzchołkami są jedna stacja polska oraz dwie stacje zagraniczne, co pozwala na korzystanie z poprawek powierzchniowych wygenerowanych w nawiązaniu do tych właśnie stacji;
- wybrane punkty testowe znajdowały się w pobliżu granicy Polski w odległości od wybranej stacji polskiej większej niż zalecane w wytycznych G-1.12. 5 km, jednak nie większej niż 70 km;
- pomiar na każdym punkcie wykonany został innym odbiornikiem.

Prace pomiarowe przeprowadzone zostały na terenie Kotliny Kłodzkiej – najdalej na południe wysuniętego obszaru Dolnego Śląska, bezpośrednio sąsiadującego z Republiką Czeską.

Na wybór miejsca wykonania prac pomiarowych miał wpływ fakt, iż ze względu na obecne rozmieszczenie polskich stacji referencyjnych (rys. 1) – niemalże na całym obszarze Kotliny Kłodzkiej do wykonywania pomiarów GPS przy użyciu systemu ASG-EUPOS i poprawek powierzchniowych niezbędne jest korzystanie (oprócz polskiej stacji) z czeskich stacji referencyjnych, aby uniknąć zjawiska ekstrapolacji współrzędnych (w przypadku korzystania tylko ze stacji polskich). W związku z powyższym, obszar ten pozwala na praktyczną realizację problematyki badań, gwarantując przy tym pełną wiarygodność zebranych danych pomiarowych.



Rys. 1. Rozmieszczenie stacji referencyjnych wokół Kotliny Kłodzkiej
 Fig. 1. Distribution of reference stations around the Kłodzko Valley

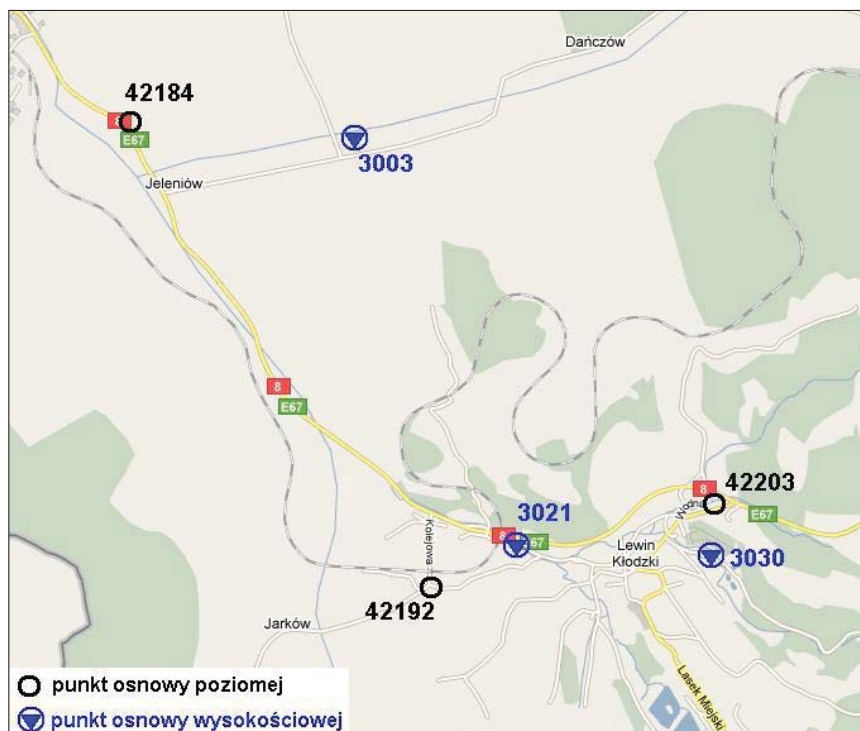
POMIARY TESTOWE I ANALIZA WYNIKÓW

Jako miejsce przeprowadzenia pomiarów testowych wybrane zostały okolice Lewina Kłodzkiego znajdującego się na obszarze Kotliny Kłodzkiej w bliskim sąsiedztwie granicy polsko-czeskiej (rys. 2).

Aby zapewnić możliwość przeprowadzenia rzetelnej weryfikacji poprawności wyznaczeń pozycji, pomiary testowe wykonane zostały na punktach państwowej osnowy geodezyjnej, znajdujących się w pobliżu granicy polsko-czeskiej, z uwzględnieniem wcześniej przyjętych założeń dotyczących warunków technicznych wykonywania pomiarów. W związku z powyższym, do przeprowadzenia testów dokładności wyznaczeń współrzędnych X,Y wybrane zostały 3 punkty osnowy poziomej III klasy, zaś do przeprowadzenia testów dokładności wyznaczeń wysokości wybrane zostały 3 repery III klasy, do których stabilizacji nie było zastrzeżeń. Wybrane punkty osnowy poziomej stanowiły zastabilizowane w gruncie słupy betonowe z rurką, natomiast wybrane repery umiejscowione były na ścianach budynków oraz na filarze wiaduktu kolejowego.

Do realizacji pomiarów satelitarnych na punktach testowych wykorzystane zostały 3 precyzyjne, dwuczęstotliwościowe odbiorniki GNSS:

- odbiornik Trimble R6 z kontrolerem Trimble TSC2,
- odbiornik Trimble R6 z możliwością odbierania, oprócz sygnału GPS, także sygnał GLONASS oraz kontroler Trimble TSC2,
- zestaw Leica Viva RTK Rover z anteną GS15.



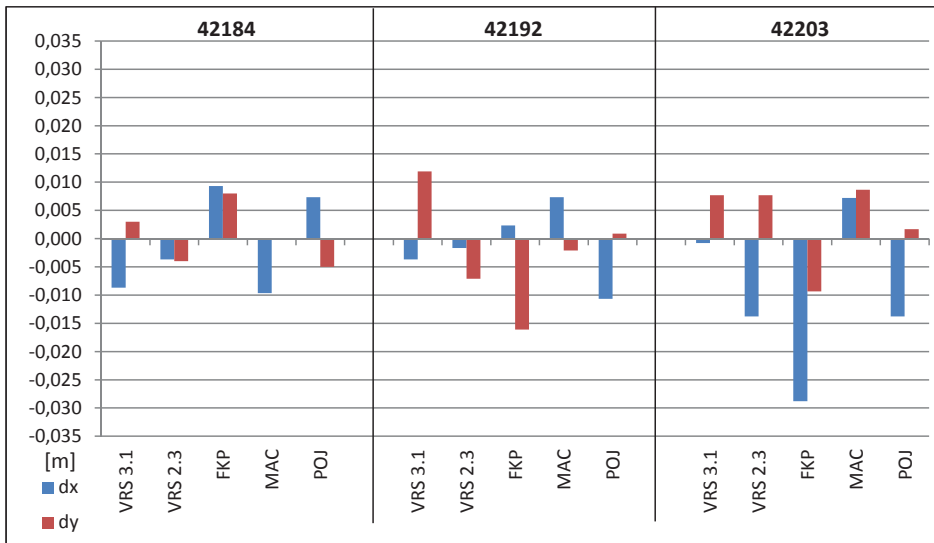
Rys. 2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych

Fig. 2. Distribution of control points

Wysokości reperów przeniesione zostały bezpośrednio na zastabilizowane w twardej podłożu gwoździami metalowymi punkty o wystarczająco do pomiarów satelitarnych odkrytym horyzoncie. Przeniesienia wysokości dokonano za pomocą niwelatora kodowego Leica SPRINTER 150M, charakteryzującego się błędem średnim podwójnej niwelacji $\pm 1,5\text{mm/km}$.

Na każdym punkcie testowym, dla każdego rodzaju poprawki, wykonane zostały dwa niezależne (po ponownej inicjalizacji odbiornika), 30-sekundowe pomiary, których wyniki zostały uśrednione zgodnie z zasadą, iż powinny pochodzić one z dwóch niezależnych wyznaczeń. Każda para pomiarów została skontrolowana pod względem powtarzalności wyznaczeń, których różnice, według projektu wytycznych G-1.12, nie powinny przekroczyć $d_x, d_y \leq 0,06\text{ m}$, oraz $d_h \leq 0,09\text{ m}$ (rys. 3). W związku z tym, z dalszych rozważań wyłączony został pomiar na punkcie 3003 z wykorzystaniem poprawki FKP, gdyż różnica między dwoma niezależnymi pomiarami na tym punkcie znacznie przekroczyła wartość dopuszczalną. Ponadto przy każdym pomiarze skontrolowane zostały warunki pomiarowe w celu wychwycenia ewentualnych nieprawidłowości.

Uśrednione współrzędne z pomiarów na punktach osnowy poziomej porównane zostały z ich współrzędnymi katalogowymi.

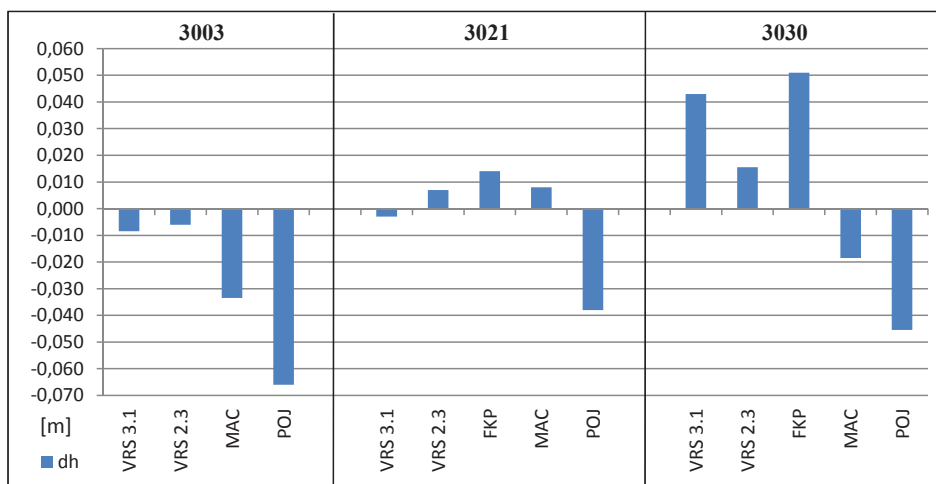


Rys. 3. Różnice współrzędnych z poszczególnych rozwiązań względem ich wartości katalogowych

Fig. 3. The differences between horizontal coordinate components from individual solutions and their catalog values

Największą różnicę współrzędnych względem wartości średniej pomiarów RTK uzyskano przy pomiarze punktu 42203 z wykorzystaniem poprawki FKP, gdzie składowa X wyniosła 2,9 cm. Prawdopodobnie powodem tak dużego, prawie 2-krotnego odstępstwa od wyznaczeń z wykorzystaniem pozostałych poprawek był fakt, że podczas obu, niezależnych pomiarów na punkcie 42203 z wykorzystaniem poprawki FKP dane obserwacyjne rejestrowane były z zaledwie 5 satelitów, podczas gdy przy pozostałych pomiarach na wszystkich punktach wykorzystywano między 6 a 9 satelitów. Aby poprawić dokładność wyznaczeń w tak mniej korzystnych warunkach pomiarowych, należałoby nieco wydłużyć czas pomiaru. Różnice współrzędnych przy pozostałych pomiarach czasu rzeczywistego prawie nie przekroczyły 1,5 cm. Jednakże, zarówno przy pomiarze punktu 42203 z wykorzystaniem poprawki FKP, jak i przy pozostałych pomiarach, różnice te nie przekroczyły deklarowanej przez serwis NAWGEO dokładności (± 3 cm współrzędnych płaskich) 4.

Pochodzące z pomiarów na punktach wysokościowych wysokości elipsoidalne przeliczone zostały na wysokości normalne z zastosowaniem modelu geoidy Geoida niwelacyjna 2001 na podstawie współrzędnych X,Y wyznaczonych podczas pomiaru przez odbiornik. Uzyskane w ten sposób wysokości porównane zostały z wysokościami uzyskanymi z niwelacji.



Rys. 4 Różnice wysokości z pomiarów względem wysokości katalogowych

Fig. 4. The differences between heights from individual measurements and their catalog values

Różnice wysokości normalnych uzyskanych z pomiarów RTK na punktach pomiarowych z wykorzystaniem poprawek powierzchniowych w większości przypadków nie przekroczyły deklarowanej przez serwis NAWGEO dokładności wynoszącej w przypadku pomiarów wysokościowych 5 cm. Wyjątkiem – rezultat pomiaru punktu 3030 z wykorzystaniem poprawki FKP, gdzie różnica ta nieznacznie przekroczyła tę wartość. Różnice uzyskane podczas pomiaru z wykorzystaniem poprawek z pojedynczej stacji, przy pomiarze na dwóch punktach, znacznie odbiegały od rezultatów uzyskanych z wykorzystaniem poprawek powierzchniowych, a przy pomiarze punktu 3003 znacznie przekroczyła deklarowaną w serwisie dokładność. Jednocześnie wyniki pomiarów z wykorzystaniem poprawek właśnie z pojedynczej stacji najbardziej odbiegały od pozostałych rezultatów pomiarów. Jednakże, biorąc pod uwagę następujące fakty:

- pomiar punktu 3030 z wykorzystaniem poprawki FKP charakteryzował się mało korzystnymi warunkami pomiarowymi (pomiar względem jedynie 5-satelitów; PDOP w granicach 4.0–4.1), co należałoby uwzględnić poprzez wydłużenie czasu pomiaru;
- błąd pomiaru z wykorzystaniem poprawek z pojedynczej stacji referencyjnej rośnie wraz ze wzrostem odległości od stacji, która nie powinna przekraczać 5 km, przy czym odległość miejsca pomiaru od wybranej stacji referencyjnej wynosiła ok. 25 km;
- modelowanie geoidy na terenach górzystych, czym charakteryzowało się miejsce wykonywania pomiarów, ze względu na duże zróżnicowanie przebiegu quasi-geoidy jest mniej dokładne niż na obszarach nizinnych, co przy obliczeniu wysokości normalnych z wykorzystaniem modelu Geoida Niwelacyjna 2001 mogło wpłynąć na pogorszenie rezultatów –

należy stwierdzić, iż podobnie jak przy pomiarach poziomych – przy wyznaczeniu wysokości za pomocą wszystkich badanych metod (z wyjątkiem pomiaru względem pojedynczej stacji) uzyskuje się bardzo zbliżone rezultaty, z deklarowaną przez właściciela

systemu ASG-EUPOS dokładnością, niezależnie czy wyznaczane są one względem pojedynczej polskiej, czy powierzchniowo polskich i czeskich stacji referencyjnych.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone pomiary i analizy potwierdziły spełnienie jednego z głównych założeń projektu EUPOS, według którego stosowanie ujednoczonych standardów wymiany danych pomiędzy poszczególnymi realizacjami systemu EUPOS zapewnia jednorodne pozycjonowanie na całym obszarze działania systemu. Niezależnie od rodzaju stosowanej poprawki powierzchniowej serwisu NAWGEO oraz wariantu wyrównania danych z pomiarów statycznych uzyskano zbliżone rezultaty z dokładnością deklarowaną przez właściciela systemu ASG-EUPOS w odniesieniu do poszczególnych serwisów. Jedynie przy zastosowaniu przy pomiarach RTK poprawki z pojedynczej polskiej stacji referencyjnej zaobserwowano znaczne pogorszenie jakości wyznaczeń wysokościowych. Jednakże dokładności uzyskane z wykorzystaniem tej poprawki przy wyznaczeniach poziomych praktycznie nie odbiegały od rezultatów uzyskanych z wykorzystaniem poprawek sieciowych, mimo około 5-krotnego przekroczenia zalecanej przy tego rodzaju poprawce w wytycznych technicznych G-1.12 maksymalnej odległości od stacji referencyjnej wynoszącej 5 km.

Warunkiem wykonywania pomiarów satelitarnych w terenach przygranicznych z wykorzystaniem zalecanych w wytycznych technicznych G-1.12 poprawek powierzchniowych systemu ASG-EUPOS jest bezpośrednie sąsiedztwo z krajem posiadającym własną realizację projektu EUPOS i z którym prowadzona jest współpraca w zakresie wymiany danych z przygranicznych stacji referencyjnych. Na obszarach przygranicznych sąsiadujących z pozostałymi krajami lub na terenach nadmorskich korzystanie z poprawek sieciowych z przyczyn technicznych jest niemożliwe. Jednakże z przeprowadzonych badań wynika, iż dla wyznaczeń poziomych zwiększenie maksymalnej dopuszczalnej odległości od stacji referencyjnej, zalecanej w wytycznych G-1.12 w przypadku korzystania z poprawki z pojedynczej stacji do 25–30 km, znacznie zwiększyłoby zakres działania systemu ASG-EUPOS na tych obszarach, bez straty jakości oferowanych usług. Fakt ten może stanowić podstawę do modyfikacji projektu wytycznych technicznych G-1.12.

PIŚMIENNICTWO

- Bosy J., Graszka W., Leończyk M., 2008. Aktywna Sieć Geodezyjna EUPOS jako element składowy państwowego systemu odniesień przestrzennych. *Przegląd Geodezyjny* 12/2008, 10–16.
- EUPOS – Guidelines For Cross-Border Data Exchange [Online] http://www.eupos.org/images/eupos_files/guideline%20for%20cross%20border%20data%20exchange.pdf
- EUPOS – Technical Standards [Online] http://www.eupos.org/images/eupos_files/eupos%20technical%20standards%20isc-r13_2.pdf
- EUPOS – Terms of Reference [Online] http://www.eupos.org/images/eupos_files/eupos%20tor%20isc-r12_4.update20100526.pdf
- Kadaj R., Świętoń T., 2009. Postprocessing po polsku. NAWI nr 19 (dodatek do GEODETY nr 166) MARZEC 2009 http://www.geoforum.pl/documents/site_catalog_text/0_166_N_s32_33_z_0905131546.pdf

Wytyczne techniczne G-1.12. Pomiary satelitarne oparte na systemie precyzyjnego pozycjonowania ASG-EUPOS (Projekt z dnia 1.03.2008 r. z poprawkami) http://www.gugik.gov.pl/gugik/dw_files/981_wytyczne_g_1_12_21_04_2008_1.pdf

Zalecenia techniczne. Pomiary satelitarne GNSS oparte na systemie stacji referencyjnych ASG-EUPOS. http://www.asgeupos.pl/webpg/graph/standards/Zalecenia_ASG_EUPOS_20110207.pdf

Projekt nowelizacji rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz. U. Nr 70, poz. 821) (Stan z dnia: 2008.01.10) http://www.gugik.gov.pl/gugik/dw_files/891_rrm_10_01_2008_1.pdf

ASG-EUPOS SERVICES IN BORDER AREAS

Abstract. Activating by GUGiK at the beginning of June 2008 multifunction system for precise positioning over the area of Poland, gave possibility for conducting geodesic work in the whole territory of the country. ASG-EUPOS system has been conducted within the EUPOS project. One of the assumptions of EUPOS project is usage of unified technical standards in the systems of all the member countries. It is done to ensure unified positioning over the whole coverage area of EUPOS system, also in the border areas where relying only on the reference stations of one country would result in decrease of the positioning accuracy. However doing measurements in the areas where for designating position, except from using national reference stations, usage of foreign stations is necessary raises concerns regarding reliability of positioning as well as integrating ASG-EUPOS and foreign systems with national geodesic warp. In this work the description of GBAS system has been done with particular interest in general assumptions and technical standards of European EUPOS system, together with its detailed Polish and Czech implementation, ASG-EUPOS and CZEPOS respectively. The concept of research verifying the operability of the ASG-EUPOS in the border areas was done. Following this concept measurement work was done in the area with the characteristic features of problem. Based on it the analysis of positioning precision with usage of ASG-EUPOS and foreign reference station was done against catalogue data. What is more the practical verification of recommendations included in project of technical guidelines G-1.12 was done.

Key words: GBAS, GNSS, ASG-EUPOS, EUPOS, CZEPOS

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 30.03.2011

For citation – Do cytowania: Krzeszowski K., Bosa J., 2011. ASG-EUPOS w terenach przygranicznych. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.* 10(1), 33–42.