



Dotychczasowe efekty modernizacji ASG-EUPOS oraz plany rozwoju tej sieci

Nowe systemy i dodatkowe stacje

Od niedawna ASG-EUPOS oferuje 4-systemowe korekty RTK i RTN. Administratorzy tej sieci wyjaśniają, jak z nowych korekt korzystać oraz jakie oferują one zalety. Przedstawiają też wyniki testów i ujawniają plany dalszego rozwoju.

Patryk Kowalewski

Dominik Piętka

Jarosław Somla

Szymon Wajda

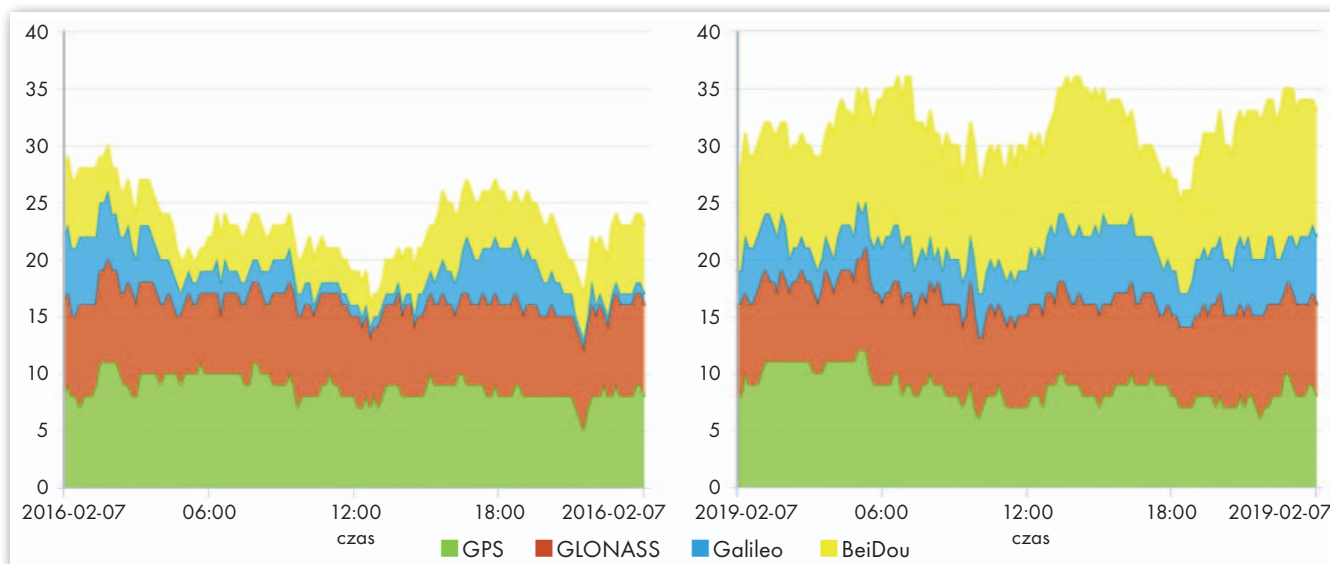
Zbudowany przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii z udziałem funduszy europejskich „Wielofunkcyjny System Precyzyjnego Pozycjonowania Satelitarnego ASG-EUPOS” został oficjalnie udostępniony użytkownikom 2 czerw-

ca 2008 roku. Można śmiało stwierdzić, że od tego momentu satelitarne techniki wyznaczania pozycji w czasie rzeczywistym zrewolucjonizowały metodykę wykonywania prac geodezyjnych w naszym kraju, a liczba użytkowników tego systemu rośnie błyskawicznie. Ruchome odbiorniki GNSS (tzw. rovery) stały się jednym z popularniejszych narzędzi pomiarowych wśród geodetów. W efekcie wyznaczanie pozycji technikami satelitarnymi z wykorzystaniem strumieni danych korekcyjnych udostępnianych przez naziemne systemy stacji referencyjnych (nie tylko ASG-EUPOS) stosowane jest

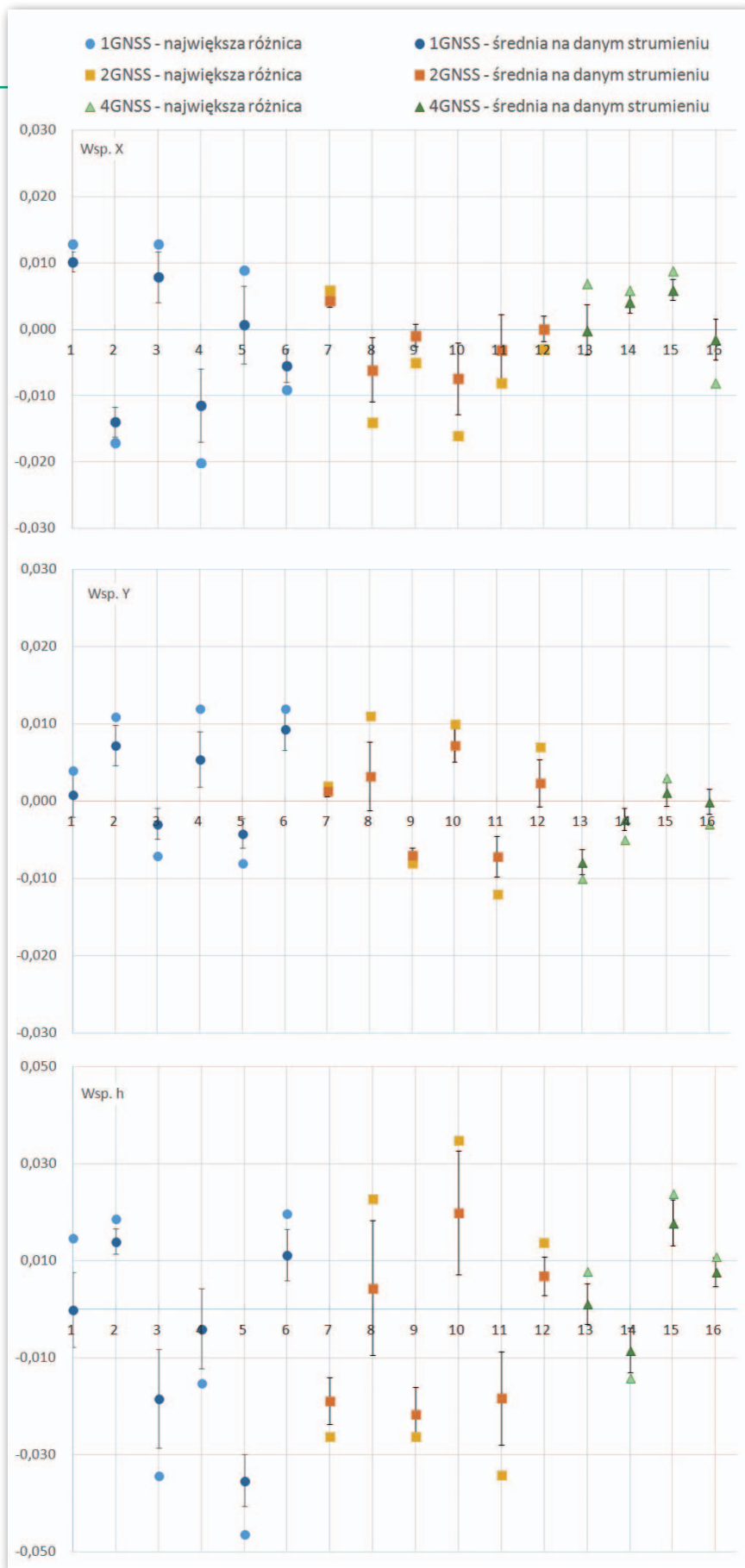
powszechnie wszędzie tam, gdzie przepisy dopuszczają pomiar z dokładnością do pojedynczych centymetrów.

Zapotrzebowanie na precyzyjne wyznaczanie pozycji w czasie rzeczywistym wykroczyło zresztą poza geodezję i kartografię. Usługi ASG-EUPOS wykorzystywane są również w precyzyjnym rolnictwie i w systemach zdalnego sterowania maszynami budowlanymi. Pojawiają się też pierwsze zastosowania w nawigacji dronów oraz pojazdów autonomicznych.

W 2018 roku z usług ASG-EUPOS skorzystało ponad 7 tysięcy użytkowników.



rys.1. Liczba śledzonych satelitów nad Warszawą 7 lutego w roku 2016 (z lewej) i 2019 (z prawej) dla maski 10°



Rys. 2. Odchylenia uzyskane dla współrzędnych X, Y i h podczas testów pomiarowych serwisów ASG-EUPOS z użyciem różnej liczby systemów (dane w metrach)

Każdego dnia łączy się z nimi blisko 3 tysiące użytkowników, a liczba równoległych połączeń w godzinach szczytu sięga tysiąca. Te statystyki świadczą o ogromnym zainteresowaniu ASG-EU-

POS i stawiają system GUGiK w roli lidera na polskim rynku precyzyjnego pozycjonowania technikami satelitalnymi. Niniejszy artykuł przedstawia aktualny stan ASG-EUPOS, tj. po zakończeniu

oznaczenie	sesja	nazwa strumienia
1	1	NAWGEO_VRS_2_3
2	2	NAWGEO_VRS_2_3
3	1	NAWGEO_VRS_3_1
4	2	NAWGEO_VRS_3_1
5	1	NAWGEO_VRS_CMV
6	2	NAWGEO_VRS_CMV
7	1	RTN_FKP_3_1
8	2	RTN_FKP_3_1
9	1	RTN_MAC_3_1
10	2	RTN_MAC_3_1
11	1	RTN_VRS_3_1
12	2	RTN_VRS_3_1
13	1	RTN4G_VRS_CMVx
14	2	RTN4G_VRS_CMVx
15	1	RTN4G_VRS_RTCM32
16	2	RTN4G_VRS_RTCM32

prac modernizacyjnych prowadzonych na przestrzeni lat 2014-2018, których celem było rozszerzenie serwisów o systemy GLONASS, Galileo oraz BeiDou. Omówiono także perspektywę dalszych działań rozwojowych zaplanowanych na najbliższe lata.

• Efekty modernizacji

Na etapie budowy ASG-EUPOS jedynym w pełni operacyjnym systemem nawigacji satelitarnej był amerykański NAVSTAR-GPS. Z tego powodu większość stacji referencyjnych została wyposażona w infrastrukturę umożliwiającą śledzenie tylko tego systemu i jedynie stacje włączone do ogólnoeuropejskiej sieci EPN odbierały dodatkowo GLONASS.

W 2011 roku wdrożono oprogramowanie, które otworzyło drogę do dalszego rozwoju sieciowych danych korekcyjnych ASG-EUPOS. Jego nowa wersja pozwoliła na zoptymalizowanie pracy systemu, ponieważ umożliwiła stworzenie swego rodzaju klastra, do którego włączone zostały serwery obliczeniowe. Zmodyfikowane podejście do organizacji przepływu danych między elementami składowymi oprogramowania poprawiło rozłożenie modułów, co spowodowało równomierne obciążenie serwerów i stabilniejszą pracę całego oprogramowania.

W międzyczasie Unia Europejska zintensyfikowała prace nad uruchomieniem europejskiego systemu nawigacji satelitarnej Galileo. Po uporaniu się z licznymi problemami technicznymi i organizacyjnymi w 2014 r. (a więc z kilkuletnim opóźnieniem) rozpoczęto umieszczanie na orbicie satelitów Galileo fazy operacyjnej (FOC – Full Operational Capability). W ciągu kolejnych 2 lat można było zaobserwować bardzo dynamiczny rozwój tego systemu. Pod koniec 2016 roku, gdy na orbitach znajdowało się 18 satelitów (z czego 11 w pełni operacyjnych), Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) ogłosiła oficjalną inicjalizację serwisów

Galileo. Oznaczało to operacyjną gotowość naziemnej i kosmicznej infrastruktury tego systemu do świadczenia usług pozycjonowania.

Osiągnięcie ogólnoswiatowej dostępności systemu wymaga uzupełnienia segmentu kosmicznego o dodatkowe satelity, co jest planowane na rok 2020. Niemniej jednak obecne rozmieszczenie na orbitach 22 aparatów Galileo powinno umożliwić ciągłą dostępność usług wyznaczania pozycji na obszarze całej Europy. Nie bez znaczenia pozostaje to, że chiński system nawigacji BeiDou również bardzo szybko się rozwija i w ciągu kilku lat dorównał liczbą satelitów Galileo.

Analizując dynamiczny postęp w nawigacji satelitarnej, w 2015 r. GUGiK podjął decyzję o sukcesywnej modernizacji sprzętu na stacjach referencyjnych ASG-EUPOS i instalacji odbiorników umożliwiających śledzenie sygnałów z czterech systemów GNSS. Zdecydowano się na ten krok, mimo że Galileo i BeiDou były wówczas w fazie budowy i nie było jeszcze możliwości pełnego wdrożenia dodatkowych funkcji związanych z tymi systemami. Wymiana stacji była planowana w taki sposób, aby powiększać obszary, na których generowane były sieciowe dane korekcyjne z GPS i GLONASS. Ostatecznie w 2017 roku już wszystkie stacje włączone do ASG-EUPOS były wyposażone w sprzęt śledzący co najmniej GPS i GLONASS, czyli zasięgiem dwusystemowych sieciowych danych korekcyjnych objęty został teren całego kraju.

W 2018 roku GUGiK udzielił zamówienia, w ramach którego Leica Geosystems Sp. z o.o. zmodernizowała 58 stacji, instalując na nich najnowsze odbiorniki Leica GR30. Umożliwiają one śledzenie 4 systemów oraz obsługują sygnały najnowszych satelitów GPS (blok IIIA) i GLONASS (blok M).

W IV kwartale 2018 roku zrealizowano również zamówienie publiczne na rozbudowę dotychczas pracującego oprogramowania Trimble Pivot Platform o nowe opcje umożliwiające generowanie sieciowych danych korekcyjnych dla Galileo i BeiDou (powierzono to zadanie firmie Geotronics Dystrybucja). Dostarczony moduł oprogramowania jest niezależny od dotychczas zainstalowanych modułów odpowiedzialnych za obliczenia danych do serwisów dostępnych przed modernizacją, a więc użytkownicy mogą kontynuować pracę bez zmiany ustawień odbiorników.

Należy wspomnieć, że na obecnym etapie nie ma zestandaryzowanego formatu transmisji korekt dla danych z czterech systemów GNSS. Opublikowany standard RTCM 10403.3 uwzględnia w da-

nych korekcyjnych z pojedynczych stacji wiadomości wielosystemowe MSM, jednak nie ma zdefiniowanego takiego formatu dla danych sieciowych (VRS, FKP, MAC). W związku z tym producenci oprogramowania stosują własne rozwiązania, a zestandaryzowane formaty zostaną zaimplementowane w momencie ich opublikowania. Wdrożony w ASG-EUPOS moduł do obliczeń wielosystemowych sieciowych danych korekcyjnych wykorzystuje parametry orbit i korekt zegarów satelitów wyliczone przez producenta oprogramowania na podstawie własnych stacji referencyjnych rozmieszczonych na całym świecie. Stosowanie takich rozwiązań jest konieczne, ponieważ niezależne organizacje zajmujące się monitorowaniem systemów GNSS, takie jak IGS (International GNSS Service), nie publikują obecnie pełnych danych dla Galileo i BeiDou (parametrów orbit czy korekt zegarów).

• Nowe strumienie, nowe możliwości

Dla użytkowników posiadających odbiorniki śledzące oprócz GPS i GLONASS także Galileo i BeiDou utworzono i udostępniono w ASG-EUPOS nowe strumienie z wielosystemowymi danymi korekcyjnymi. Korzystanie z nich nie wymaga dokupienia żadnej dodatkowej licencji.

Użytkownicy posiadający licencję na sieciowe dane korekcyjne RTN mogą łączyć się z nowymi strumieniami w formatach RTCM 10403.2 MSM5 oraz CMRx o nazwach RTN4G_VRS_RTCM32 oraz RTN4G_VRS_CMRx. Są one dostępne na portach 8080 oraz 2101.

Dla użytkowników korzystających z pojedynczych stacji referencyjnych uruchomiono nowy port 8086, przez który dostępne są strumienie ze wszystkich stacji ASG-EUPOS z terenu Polski w standardzie RTCM 10403.2 MSM5. Zawierają one dane korekcyjne z systemów GNSS, jakie w danym momencie śledzi dana stacja referencyjna. Zachowano dotychczasowe nazewnictwo strumieni: XXXX_RTCM_3_2 (XXXX jest czteroznakowym kodem stacji referencyjnej). Po zakończeniu modernizacji pozostałych stacji pracujących w ASG-EUPOS, ale nienależących do GUGiK, wszystkie powinny już transmitować dane korekcyjne dla 4 systemów GNSS.

Dla wygody użytkowników na porcie 8086 udostępniony został również strumień RTK4G_MULTI_RTCM32 automatycznie wybierający najbliższą stację referencyjną. Po połączeniu z tym strumieniem i wysłaniu przybliżonej pozycji użytkownik otrzymuje dane korekcyjne w formacie RTCM 10403.2 MSM5 z najbliższej działającej stacji ASG-EUPOS.

• Wyniki testów

W celu weryfikacji spójności wyznaczania współrzędnych przeprowadzono terenowe pomiary testowe z wykorzystaniem dotychczasowych oraz nowo udostępnionych serwisów. W jednym z takich testów pomiary wykonano na punkcie sytuacyjnym w okolicach Łodzi. Zrealizowano je w dwóch sesjach. W każdej testowano 8 strumieni udostępniających zarówno korekty jedno- (GPS), dwu- (GPS + GLONASS), jak i czterosystemowe (GPS + GLONASS + Galileo + BeiDou). Na każdym strumieniu wykonano pomiar 10 pikiet o 10-sekundowym interwale obserwacji jednohercowych. Jako współrzędne odniesienia przyjęto średnią ze wszystkich pomiarów na tym punkcie.

Na rys. 2 przedstawiono średnią wartość w danej sesji na danym strumieniu, odchylenie standardowe oraz największą rozbieżność uzyskaną z pojedynczej pikiety w stosunku do przyjętych współrzędnych odniesienia. Wyniki otrzymane zarówno na tym, jak i innych punktach testowych świadczą o spójności uzyskiwanych współrzędnych. Można zauważyć niewielki spadek odchyłeń występujący na strumieniach wykorzystujących większą liczbę systemów GNSS.

Największą korzyścią ze stosowania nowych strumieni ASG-EUPOS jest zwiększona liczba satelitów dostępnych do pomiaru dająca możliwość pracy w miejscach, gdzie występują przeszkody terenowe zakłócające odbiór sygnałów (np. w pobliżu zabudowań lub zadrzewień).

Należy podkreślić, że sprzęt i oprogramowanie wdrożone w ASG-EUPOS przygotowane są również do korzystania z nowych częstotliwości wprowadzanych w kolejnych generacjach satelitów GPS (sygnały L2C i L5) oraz GLONASS (L3, CDMA). Nowoczesne odbiorniki ruchome uwzględniające zmodernizowane sygnały mogą osiągnąć nieznaczny wzrost precyzji pomiarów RTN/RTK oraz przyspieszony czas inicjalizacji odbiornika, który wynika z wykorzystania sygnałów satelitarnych transmitowanych na trzech częstotliwościach (L1, L2, L3/L5).

• Dokończenie wymiany urządzeń na stacjach referencyjnych

W 2019 roku GUGiK realizuje dalsze prace modernizacyjne mające na celu pełne wdrożenie czterech systemów satelitarnych we wszystkich segmentach ASG-EUPOS. W pierwszej kolejności zaplanowano wymianę sprzętu GNSS na stacjach: BPDFL (Biała Podlaska), CCHN (Ciechanów), GRUD (Grudziądz), ILAW (Iława), KROS (Krosno), MIMA (Mińsk Mazowiecki), NODW (Nowy Dwór Mazo-



Rys. 3. Stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS po modernizacji

wiecki), PRZM (Przemysł), SIPC (Sierpc), SOCH (Sochaczew), TORU (Toruń), WOD1 (Wodzisław Śląski). Realizacja tego zadania zakończy proces modernizacji sprzętu GNSS na stacjach należących do GUGiK (rys. 3).

W lutym br. nastąpiła już wymiana odbiorników na wspomnianych stacjach, co przy dotychczas pracujących antenach GNSS pozwoliło na rozszerzenie listy śledzonych systemów o Galileo. Udostępnienie odbioru sygnałów BeiDou będzie możliwe po zainstalowaniu nowych anten GNSS, co nastąpi po ustąpieniu warunków zimowych utrudniających prowadzenie prac na wysokości.

Nowe anteny jako pierwsze w sieci będą miały wykonaną indywidualną kalibrację na podstawie obserwacji z czterech systemów satelitarnych (dotychczas kalibracja obejmowała tylko GPS i GLONASS). Zasadniczy wpływ na termin zakończenia tego zadania ma niewielka liczba laboratoriów na świecie, które wykonują wyznaczanie modelu indywidualnego anteny GNSS już z wykorzystaniem systemów GPS, GLONASS, Galileo oraz BeiDou.

• Modernizacja POZGEO

Na II połowę 2019 r. zaplanowano modernizację serwisu POZGEO przeznaczonego do automatycznych obliczeń obserwacji satelitarnych. Głównymi zaletami nowego modułu obliczeniowego będą: wykorzystanie obserwacji z czterech systemów satelitarnych oraz nowoczesne algorytmy obliczeniowe uwzględniające kinematyczne i statyczne metody pomiarów. Pozwoli to na zwiększenie dokładności pomiaru oraz wyznaczenie precyzyjnej pozycji w trudniejszych warunkach pomiarowych. Równocześnie planowana rozbudowa umożliwi udostępnianie użytkownikom obserwacji GNSS w formacie RINEX 3.03, który uwzględni dane wielosystemowe.

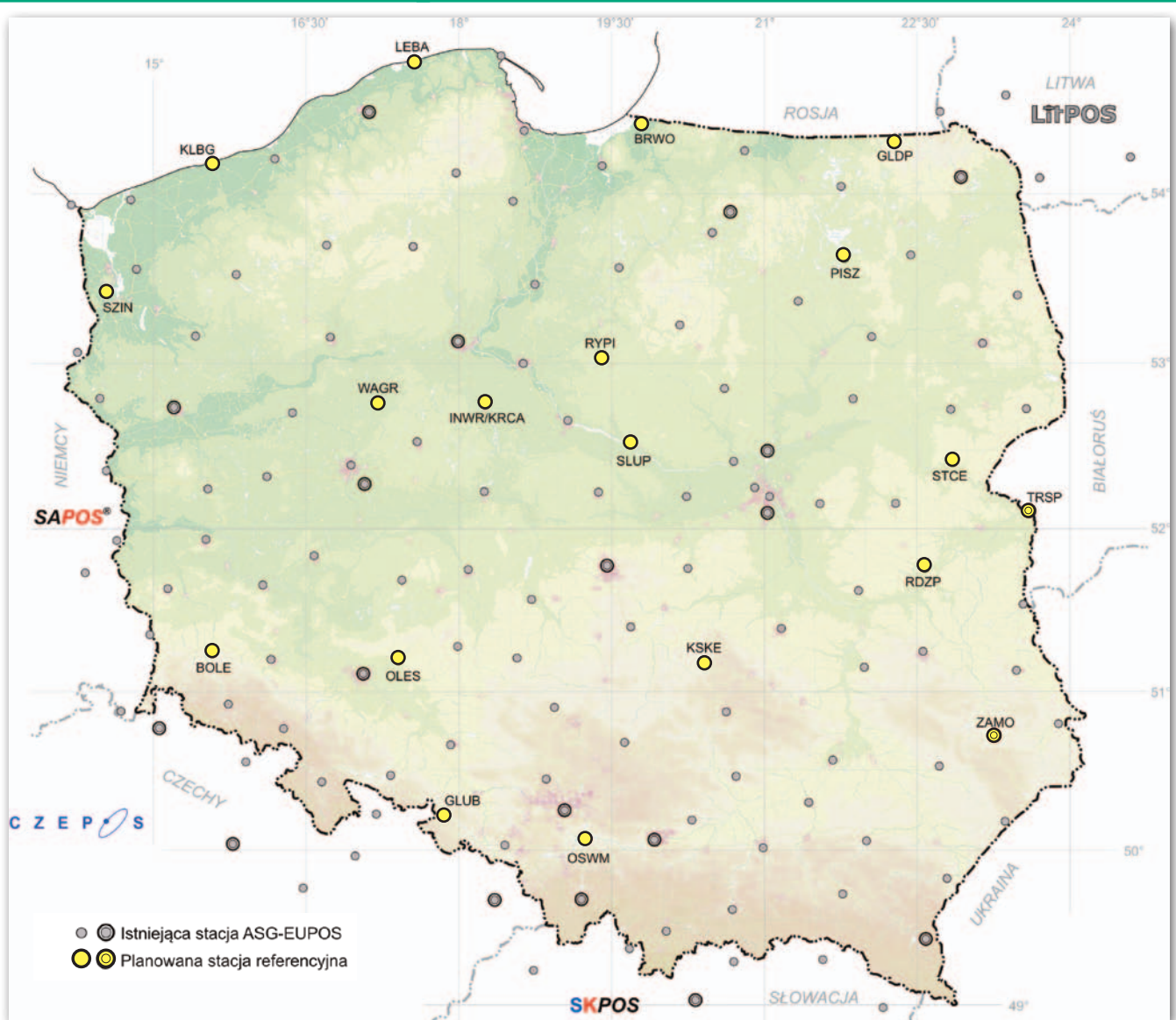
• Wkrótce więcej stacji

W ubiegłym roku realizowano umowę dotyczącą wykonania projektu zagęszczenia sieci stacji referencyjnych. W ramach prac wybrano dla nich 19 nowych lokalizacji: Bolesławiec, Braniewo, Głubczyce, Gołdap, Kołobrzeg, Końskie, Kruszwica lub Inowrocław, Wicko

k. Łeby, Oświęcim, Pisz, Słupno k. Płocka, Radzyń Podlaski, Osiek k. Rypina, Siemiatycze, Szczecin, Terespol, Trzebnica, Wągrowiec oraz Zamość (rys. 4). Stacje w Zamościu oraz w Terespolu zaplanowano pod kątem włączenia do sieci fundamentalnej poziomej osnowy geodezyjnej oraz z perspektywą włączenia do europejskiej sieci stacji referencyjnych EPN (*European Permanent Network*).

Stacje te będą umieszczane na budynkach będących we władaniu organów administracji publicznej. Ze względu na stabilność budowli wybierane były obiekty starsze niż 5 lat i nie wyższe niż 4 piętra. Dla każdej stacji zostaną zastabilizowane 2 naziemne punkty ekscentryczne, które będą włączone do podstawowej osnowy geodezyjnej oraz grawimetrycznej.

W przyszłości planowana jest ścisła integracja układu odniesienia wysokości ze stacjami ASG-EUPOS realizowana poprzez naziemne punkty ekscentryczne. Nawiązanie ekscentrów stacji do podstawowej osnowy wysokościowej pozwoli również na wykorzystanie ni-



Rys. 4. Planowane stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS

welacji satelitarnej do wyznaczenia wysokości normalnych dla anten stacji referencyjnych. Na dalszym etapie prac GUGiK przystąpi do założenia nowych stacji wraz z punktami ekscentrycznymi, a następnie do geodezyjnego wyrównania powiększonej sieci.

• Na światowym poziomie

Opisane w artykule prace mają zapewnić utrzymanie funkcjonowania systemu ASG-EUPOS na najwyższym poziomie oraz dostosowanie świadczonych usług do światowych standardów. Jak ważną rolę we współczesnej polskiej geodezji odgrywa ASG-EUPOS, dowiedli sami użytkownicy, którzy w plebiscycie miesięcznika *GEODETA* (7/2015) za wydarzenie mające największy wpływ na geodezję w ciągu ostatnich 20 lat uznali właśnie wdrożenie ASG-EUPOS (48% głosów). Mając to na uwadze, GUGiK podejmuje dalsze kroki, aby nie stracić zaufania, jakim obdarzyli ten system głosujący, oraz zapewnić użytkowni-

kom dostęp do usług uwzględniających najnowsze osiągnięcia technologiczne w dziedzinie GNSS. Temu ma właśnie służyć realizowana obecnie modernizacja, która powinna pozytywnie wpłynąć na poprawę jakości i niezawodności oferowanych serwisów.

Należy również podkreślić, że poza udostępnianiem usług wspomaganie pomiarów satelitarnych zarówno w czasie rzeczywistym, jak i w postprocessingu ASG-EUPOS pełni kluczową rolę w realizacji państwowego systemu odniesień przestrzennych. Stacje te przenoszą na teren Polski oraz realizują obowiązujący geodezyjny układ odniesienia PL-ETRF2000. Zadania, jakie stawiają przed tym systemem zapisy rozporządzenia Rady Ministrów z 15 października 2012 roku *ws. państwowego systemu odniesień przestrzennych* oraz rozporządzenia ministra administracji i cyfryzacji z 14 lutego 2012 r. *ws. osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych*, świadczą o roli, jaką ASG-EUPOS

odgrywa we współczesnej geodezji. Sieć ta tworzy innowacyjną aktywną osnowę geodezyjną, która stanowić będzie podstawę do projektowania, a następnie utrzymania nowoczesnej, wielofunkcyjnej osnowy geodezyjnej adekwatnej do dzisiejszych potrzeb gospodarczych.

Powyższe wymagania stawiane zarówno przez przepisy prawa, jak i użytkownikom usług utwierdzają w przekonaniu o słuszności podjętych decyzji związanych z budową systemu oraz motywują do podejmowania dalszych działań w celu zapewnienia pełnej funkcjonalności i dalszego rozwoju ASG-EUPOS.

**Patryk Kowalewski, Dominik Piętko,
Jarosław Somla, Szymon Wajda**
GUGiK

Autorzy składają podziękowania dla Wiesława Graszki – wieloletniego pracownika GUGiK, za owocną współpracę i przekazaną wiedzę oraz za ponadprzeciętne zaangażowanie w budowę i utrzymanie systemu ASG-EUPOS