

Do czego nadaje się „genetycznie zmodyfikowana” ASG-PL – część II

BARDZIEJ AKTYWNA

Kontynuując temat oceny możliwości i funkcjonalności śląskiej ASG-PL oraz przywołując wcześniejsze doświadczenia i wnioski związane ze statycznymi metodami satelitarnych wyznaczeń współrzędnych, przyjrzyjmy się bliżej kinematycznym technikom realizacji pomiarów geodezyjnych, w których stacje referencyjne sieci ASG-PL oferują całkowicie nową jakość.

MACIEJ FILIPEK

Główny podział w dziedzinie wykorzystania satelitarnych systemów GNSS – w szczególności GPS – związany jest z rozróżnieniem dwóch technologii geodezyjnych wyznaczeń współrzędnych, a mianowicie opartych na pomiarach statycznych oraz kinematycznych. Znajduje to odbicie w schemacie funkcjonowania sieci stacji permanentnych ASG-PL wspomaganego systemem VRS (rys. 1). Wyznaczenia statyczne (lewa strona schematu) zostały omówione w pierwszej części artykułu [GEODETA 11/2006]. Prawa strona schematu daje przegląd możliwości, jakie sieć ASG-PL uzyskała z chwilą testowego uruchomienia systemu Trimble VRS. Zanim jednak omówimy testy wyznaczeń kinematycznych RTK/DGPS, powiedzmy słów kilka o samej technologii pomiarów RTK. Występują bowiem pewne różnice w sposobie realizacji pomiarów metodą – umownie nazwijmy ją – „tradycyjną” (znaną już i powszechnie stosowaną) a technikami wykorzystującymi permanentne stacje referencyjne oraz zaawansowane oprogramowanie sterujące. Różnice te są o tyle istotne, że stanowią o znaczącym skoku w technologii GPS.

• RTK – „TRADYCJA” I NOWOCZESNOŚĆ

Metoda kinematycznego wyznaczania współrzędnych w technice RTK (Real Time Kinematic – pomiary w czasie rzeczywistym) polega na wykorzystaniu pomiarów fazowych w trybie różnicowym. „Tradycyjny” zestaw pomiarowy to minimum dwa geodezyjne odbiorniki GPS, z których jeden (stacja bazowa – referencyjna) usytuowany jest nieruchomo (statycznie), najczęściej na punkcie o znanych współrzędnych, a drugi (lub kolejne) porusza się po nowo wyznaczanych punktach. Każdy odbiornik ruchomy (rover) wyposażony jest w jednostkę kontrolną, w której na podstawie zebranych danych oraz danych otrzymanych ze stacji bazowej wyznaczana jest w czasie rzeczywistym pozycja (wektor przestrzenny – współrzędne) tego odbiornika względem stacji referencyjnej. Elementem niezbędnym zestawu RTK jest moduł komunikacji. Modemy radiowe zainstalowane na stacji bazowej i ruchomej zapewniają ich wzajemną łączność. Jednak parametry techniczne modemów (głównie moc) oraz sposób propagacji fal radiowych uzależniony od konfiguracji terenu ograniczają obszar realizacji „tradycyjnej” metody RTK do kilku – w wyjątkowych okolicznościach – kilkunastu kilometrów. Moduł komuni-

kacji jest więc najsłabszym ogniwem całej technologii.

W przypadku technologii pomiarów RTK z wykorzystaniem permanentnych stacji referencyjnych analogowa radiowa transmisja danych okazała się zawodna ze względu na dochodzące do kilkudziesięciu kilometrów odległości pomiędzy stacjami. Na szczęście szybki rozwój telefonii komórkowej i wprowadzenie nowego standardu cyfrowej, bezprzewodowej transmisji danych GSM/GPRS umożliwiły dystrybucję poprawek w trybie RTK ze stacji permanentnych w dowolne miejsca, gdzie tylko operator GSM z usługą transmisji danych mógł dotrzeć. Zniknęły tym samym dotychczasowe ograniczenia, a technologia RTK weszła w nową fazę rozwoju.

Drugim bardzo istotnym czynnikiem postępu jest sposób realizacji nawiązania, a w konsekwencji dokładność pozyskiwanych współrzędnych. W przypadku pomiarów RTK wykonywanych z wykorzystaniem danych z permanentnych stacji referencyjnych ASG-PL kwestia dokładności i wiarygodności realizowanych wyznaczeń współrzędnych wygląda zdecydowanie korzystniej niż w przypadku pomiarów „tradycyjnych”. Po pierwsze, lokalizacja stacji permanentnych zapewnia pełny dostęp do danych z satelitów



TECHNOLOGIA RTK W SIECI ASG-PL UMOŻLIWIA WYKONYWANIE POMIARÓW

- za pomocą jednego dwuczłonowościowego odbiornika GPS;
- w czasie kilkunastu sekund obserwacji na punkcie;
- bez względu na porę roku i warunki atmosferyczne z wykorzystaniem danych korekcyjnych przez 24 h na dobę, 7 dni w tygodniu, 365 dni w roku;
- w niemal każdych warunkach terenowych w obszarze funkcjonowania sieci;
- nieograniczonej liczbie użytkowników równocześnie;
- z dokładnością i wiarygodnością na poziomie pojedynczych centymetrów.

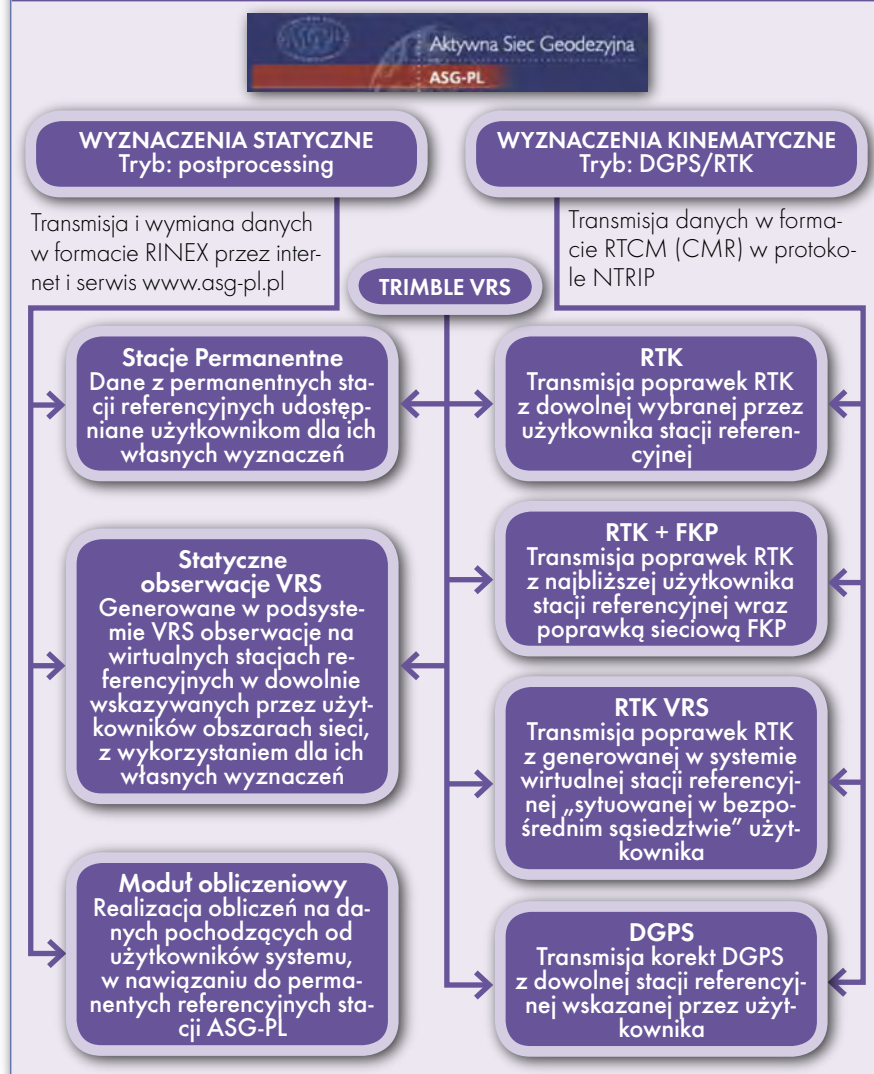
będących powyżej 5° nad horyzontem, tym samym dane korekcyjne przesyłane do odbiorników ruchomych pracujących w trybie RTK są najpełniejsze, a dokładność realizowanych wyznaczeń najwyższa. Po drugie, punkty odniesienia stacji referencyjnych sieci ASG-PL są osnową geodezyjną i są równoważne pod względem dokładności poziomej osnowie I klasy (zarządzenie GKG z 18 listopada 2005 r.), a poprzez związane ciąglymi obserwacjami

z siecią europejską EPN – można je uznać za najdokładniejszą i najbardziej wiarygodną (aktywną) osnowę geodezyjną.

Wspomnieć należy także o czysto praktycznym aspekcie realizacji geodezyjnych pomiarów RTK. Przy zastosowaniu tradycyjnego podejścia wymagają one równoczesnego użycia minimum dwóch odbiorników GPS, a tylko jeden z nich (rover) wykorzystywany jest w pomiarach nowych punktów, bo drugi tylko je wspomaga. Stacja bazowa instalowana w terenie generuje realne koszty i często stanowi dla wykonawcy źródło problemów technicznych i organizacyjnych. Poczynając od konieczności instalacji stanowiska i zapewniania obsługi (choćby zdalnej) oraz ochrony (na miejscu), po problemy techniczne, związane np. z pracą radiomodemów i potrzebą instalacji dodatkowych masztów antenowych czy z zapewnieniem zasilania.

Do realizacji pomiarów techniką RTK w sieci ASG-PL wystarczy jeden odbiornik ruchomy, co ma fundamentalne znaczenie ekonomiczne (cena zakupu pojedynczego odbiornika z zaawansowanym kontrolerem nie przekracza 60% wartości zakupu zestawu dla „tradycyjnych” pomiarów RTK). Znikają także problemy związane z rozmieszczeniem własnych stacji bazowych.

RYS. 1. OBSERWACJE GPS NA STACJACH PERMANENTNYCH: ICH GROMADZENIE, PRZETWARZANIE I UDOSTĘPNIANIE



● TECHNOLOGIA VRS W SIECI ASG-PL

Technologia kinematycznych pomiarów w trybie RTK/DGPS realizowana z wykorzystaniem sieci stacji permanentnych nazywana jest ogólnie „sieciowym RTK” (RTK Network Solutions). W systemie ASG-PL opiera się ona na czterech współpracujących elementach usytuowanych w trzech segmentach (rys. 2). Najważniejszym elementem nowej technologii jest oprogramowanie sterujące – system Trimble VRS, który został testowo uruchomiony w sieci ASG-PL w sierpniu 2004 r.

Segment I – stacje permanentne sieci ASG-PL i oprogramowanie Trimble VRS. Z chwilą uruchomienia systemu VRS stacje permanentne śląskiej ASG-PL

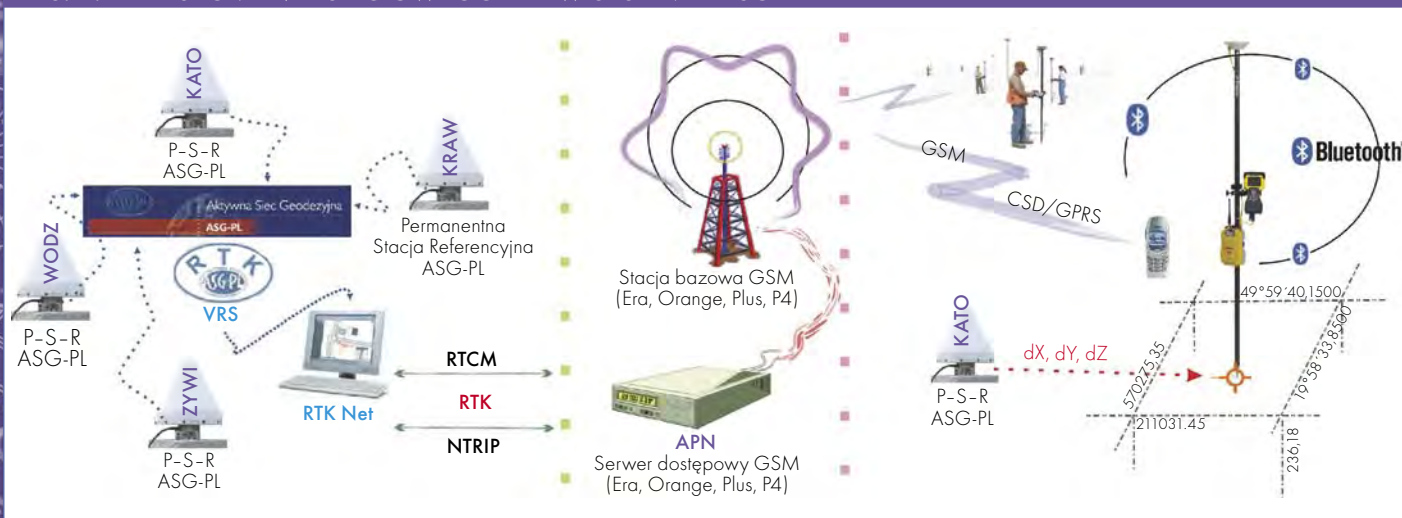
mitując poprawki RTK wraz z korektą sieciową FKP. Wzrasta tym samym jakość wyznaczeń realizowanych w „sieciowym RTK”. Osiągalne są dokładności do 2 cm (współrzędne X, Y) i 3 cm (Z), jeśli tylko odległość do wykorzystywanych stacji permanentnych nie przekracza 35 km. Dane dla pomiarów kinematycznych RTK/DGPS udostępniane są użytkownikom zgodnie z zadeklarowanym przez nich formatem, kanałem transmisji i sposobem realizacji pomiarów. Dane pobierane są z systemu VRS poprzez internet za pośrednictwem dedykowanych casterów, z wykorzystaniem protokołu Ntrip, w formacie RTCM (CMR).

Segment II – transmisja danych w sieciach telefonii komórkowej GSM. Bezprzewodowa cyfrowa transmisja danych

jej ponownej inicjalizacji. Niestabilność transmisji GPRS wynika z lawinowo przyrastającej liczby klientów bezprzewodowej transmisji łączących się z internetem poprzez publiczne punkty dostępowe (APN). Dzierżawa dedykowanych serwerów dostępowych (branżowych, dla geodezji), mogących jednocześnie obsługiwać określoną liczbę połączeń przy pełnej stabilności transmisji, wyeliminowałaby tę „słabość” sieciowego RTK.

Segment III – użytkownik. Segment użytkownika to głównie geodeci wyposażeni w pojedynczy geodezyjny dwuczłonowy odbiornik GPS oraz kontroler zapewniający możliwość podłączenia telefonu komórkowego poprzez dedykowane porty (łączność z internetem i systemem VRS). Nowe konstrukcje

RYC. 2. TRZY SEGMENTY SIECIOWEGO RTK W SYSTEMIE ASG-PL



oraz stacja w Krakowie (KRAW) przesyłają w czasie rzeczywistym do Centrum Zarządzającego w Katowicach wszystkie permanentne obserwacje GPS jako dane źródłowe dla oprogramowania VRS. Oprogramowanie to (GPS Base, GPS Net, RTK Net) obsługuje i monitoruje stacje w sieci, gromadzi i archiwizuje, a w dalszej kolejności udostępnia obserwacje GPS ze stacji permanentnych i wirtualnych dla wyznaczeń statycznych [patrz GEODETA 11/2006]. Oprogramowanie systemu tworzy również i udostępnia raporty o błędach jonosferycznych i troposferycznych. Pozwala to budować w systemie pewną „świadomość” co do przewidywanego ich wpływu na jakość realizowanych wyznaczeń zarówno statycznych, jak i kinematycznych RTK. Dzięki tej „świadomości” system VRS (RTK Net) uwzględnia je, generując wirtualne stacje referencyjne czy też trans-

GSM/GPRS umożliwia komunikację między segmentem I i III (użytkownika). W skład segmentu II wchodzi:

- publiczne serwery dostępowe (APN) operatorów telefonii komórkowej GSM realizujące połączenia z internetem i wewnętrzną infrastrukturą operatora,

- sieć przekaźników GSM zapewniająca łączność bezprzewodową do 99% użytkowników na 85-90% powierzchni kraju.

Na obszarze funkcjonowania ASG-PL usługa GPRS dostępna jest na 100% powierzchni, a lokalne problemy z jej funkcjonowaniem wynikały z niedostatecznie rozbudowanej infrastruktury operatorów poza obszarami miejskimi (koniec 2005 r.) oraz z samego charakteru transmisji danych. W pakietowej transmisji GPRS występować mogą chwilowe przerwy w transferze danych, które w technologii RTK powodują, niestety, konieczność

odbiorników GPS i kontrolerów standardowo przygotowane są do pracy w trybie sieciowego RTK, zapewniając przy tym niespotykany dotąd komfort pracy poprzez:

- integrację anteny, odbiornika GPS, modemu komunikacji oraz zasilania w jednej zwartej, odpornej na warunki zewnętrzne obudowie,

- przygotowane do pracy w najtrudniejszych warunkach terenowych kontrolery, wyposażone w dotykowe ekrany, wielofunkcyjne oprogramowanie sterujące oraz możliwość bezprzewodowej komunikacji (Bluetooth) z odbiornikiem, telefonem GSM i innymi urządzeniami peryferyjnymi.

● JAK DZIAŁA SYSTEM VRS W SIECI ASG-PL

Użytkownik – geodeta podczas pomiaru w obszarze sieci ASG-PL łączy

się z poziomu kontrolera przez telefon GSM z internetem, a dalej z systemem VRS na serwerach w Centrum Zarządzania ASG-PL w Katowicach. Z chwilą uzyskania połączenia na kontrolerze wyświetla się lista zestawionych w systemie serwisów:

- z poprawkami RTK z każdej z pojedynczych stacji sieci ASG-PL i stacji KRAW,

- z poprawkami RTK wraz z korektą sieciową FKP,

- z poprawkami RTK z generowanej w systemie i dedykowanej użytkownikowi wirtualnej stacji referencyjnej,

- z korektami DGPS z każdej z pojedynczych stacji sieci ASG-PL i stacji KRAW.

Po wybraniu przez użytkownika któregoś z dostępnych serwisów system VRS – RTK Net rozpoczyna transmisję odpowiednich danych. W chwili, gdy oprogramowanie kontrolera otrzyma również obserwacje satelitarne z własnego odbiornika GPS, rozpoczyna się proces inicjalizacji trybu RTK. Warunkiem koniecznym poprawnej inicjalizacji jest zebranie obserwacji z odbiornika ruchomego, stacji referencyjnej i systemu VRS z minimum 5 tych samych satelitów (im więcej, tym lepiej). Najszybszą inicjalizację zapewnia metoda OTF (On The Fly) – „inicjalizacja w ruchu”. Już po kilkunastu sekundach jej realizacji odbiornik ruchomy automatycznie przechodzi w tryb pomiaru RTK, uzyskując centymetrową dokładność wyznaczania współrzędnych.

RTK – z pojedynczej stacji referencyjnej. W I wariantcie pomiarów RTK, jakie wykonano w ramach testów, wyznaczenia współrzędnych zrealizowano w nawiązaniu do pojedynczej stacji referencyjnej (rys. 2). Na punktach testowych sieci POLREF wtórne wyznaczenia ich współrzędnych realizowano, wykorzystując poprawki RTK ze stacji: KATowice, KRAkóW, ZYWłec i WODZisław. Rola systemu VRS sprowadza się do redystrybucji pozyskiwanych danych z fizycznych stacji permanentnych (bez ich „poprawiania”). W tym wariantcie system VRS nie otrzymuje od użytkownika informacji o jego przybliżonej pozycji, dlatego udostępnia pełną listę permanentnych stacji referencyjnych. Wybierając stację, użytkownik powinien wskazać tę najbliższą miejsca pomiarów, ponieważ dokładność sieciowej metody RTK realizowanej bez korekt powierzchniowych spada gwałtownie wraz ze wzrostem odległości.

RTK + FKP – z pojedynczej stacji referencyjnej z sieciową korektą powierzch-

niową FKP. W II wariantcie pomiarów RTK wykorzystywane są sieciowe korekty powierzchniowe FKP (niem. Flächen-Korrektur-Parameter). Użytkownik po połączeniu się z serwerami VRS i wybraniu trybu RTK + FKP, dostępnego tylko dla zarejestrowanych użytkowników, podaje login i hasło. Z chwilą pozytywnego zweryfikowania użytkownika w systemie, następuje identyfikacja jego zgrubnego położenia, a następnie VRS dobiera najbliższą fizyczną stację referencyjną, z której przekazywane będą poprawki RTK wraz z korektami. Korekty sieciowe FKP (geometryczne i jonosferyczne) wyznaczone są na podstawie danych z najbliższych stacji referencyjnych i wykorzystywane przez oprogramowanie odbiornika do poprawiania wyznaczanych pozycji. Rozpoczęcie właściwego pomiaru w trybie RTK + FKP musi być poprzedzone procesem inicjalizacji trybu RTK (najczęściej metodą OTF).

Podstawowe zalety wykorzystania korekt powierzchniowych:

- system samoczynnie dobiera dla użytkownika optymalną (najbliższą) stację referencyjną, zatem błędy wynikające z rozwiązań długich wektorów są najmniejsze,

- wzrasta dokładność i wiarygodność wyznaczeń współrzędnych, a także szybkość procesu inicjalizacji trybu RTK zarówno przy rozpoczynaniu pomiaru, jak i po chwilowych utratach łączności z satelitami.

VRS RTK – wirtualne stacje referencyjne. Opracowany i opatentowany przez firmę Trimble sposób generowania obserwacji satelitarnych GPS na wirtualnych stacjach referencyjnych VRS stanowi istotę pomiaru w III wariantcie. Podobnie jak w przypadku statycznych wyznaczeń współrzędnych w postprocessingu [opis w GEODECIE 11/2006], również dla wyznaczeń kinematycznych stacje wirtualne generowane są na podstawie danych z fizycznych stacji permanentnych. Pod uwagę brane są obserwacje pochodzące z minimum trzech położonych najbliższej użytkownika fizycznych stacji referencyjnych.

Podobnie jak w wariantcie RTK + FKP, użytkownik po nawiązaniu połączenia z serwerami VRS dokonuje wyboru trybu VRS RTK z listy dostępnych serwisów, a następnie podaje swój login i hasło. Oprogramowanie użytkownika w pierwszym kroku wysyła do serwera systemu przybliżoną pozycję odbiornika ruchomego w formacie NMEA GGA (dokładność 5-10 m). Oprogramowanie sys-

temowe RTK Net analizuje pozycję użytkownika w sieci i wysyła korekty DGPS do jej dokładniejszego wyznaczenia (na poziomie 1 m). Na podstawie ponownie przesłanej i potwierdzonej pozycji użytkownika oprogramowanie systemu dobiera właściwe stacje permanentne do generowania stacji wirtualnej przeznaczonej specjalnie dla niego i „usytuowanej” w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Z chwilą otrzymania poprawek VRS RTK ze stacji wirtualnej oprogramowanie kontrolera rozpoczyna proces inicjalizacji trybu pomiarowego RTK (najczęściej OTF), a po jego zakończeniu dysponujemy już narzędziem do precyzyjnego (dokładność centymetrowa) i szybkiego wyznaczania pozycji w czasie rzeczywistym.

Niewątpliwe zalety, jakie do kinematycznych pomiarów GPS wnosi technologia wirtualnych stacji referencyjnych:

- dane – „obserwacje” ze stacji wirtualnej – przekazywane do użytkownika rozpoznawane są przez oprogramowanie kontrolera jako typowe poprawki RTK, jakby pochodziły z fizycznej stacji referencyjnej,

- w procesie tworzenia obserwacji wirtualnych uwzględniane są korekty efemeryd satelitów GPS oraz błędy jonosfery i troposfery interpolowane dla konkretnego obszaru i niejako dedykowane dla konkretnego użytkownika,

- wysoka jakość danych ze stacji VRS wynika z faktu, iż generowane są one z wykorzystaniem maksymalnej dostępnej na stacjach referencyjnych liczby satelitów wyłącznie o najwyższej wiarygodności sygnału,

- technologia VRS jest w pełni sieciowa, otwarta i addytywna – monitorując wszystkie stacje w sieci, może niemal natychmiast reagować na niestabilność pracy którejkolwiek z nich, zastępując ją inną, przez co system utrzymuje stałą, bardzo wysoką niezawodność pracy oraz poziom ufności,

- technika RTK + FKP zapewnia centymetrowe dokładności wyłącznie wewnątrz obszaru sieci stacji referencyjnych, natomiast stacje wirtualne mogą być generowane również na zewnątrz, jeśli tylko odległość do stacji permanentnej nie przekracza 35 km,

- technologia VRS, umieszczając stację wirtualną w bezpośredniej bliskości danego użytkownika, zapewnić może najwyższą dokładność realizowanych wyznaczeń przez cały czas „podążania i przestawiania” stacji wirtualnej w ślad za przemieszczającym się użytkownikiem.

WYNIKI I BŁĘDY WYZNACZEŃ Z TESTOWYCH POMIARÓW STATYCZNYCH I KINEMATYCZNYCH NA PUNKCIE POLREF 1509

Oznaczenie punktu	Współrzędne układ 1992			Błędy wyznaczeń			Odchylenia standardowe			Różnice względem punktu odniesienia			Błędy położenia	
	X	Y	h [*]	σ_X	σ_Y	σ_h	s_x	s_y	s_h	ΔX	ΔY	Δh	$m_{p,2D}$	$m_{p,3D}$
Punkt odniesienia														
1509_POLREF	248213,771	528758,887	437,890											
Wyznaczenia statyczne														
1509_BERN_ASG	248213,7770	528758,8630	437,8830	0,0020	0,0010	0,0020				-0,006	0,024	0,007	0,025	0,026
1509_TTC_ASG	248213,7951	528758,8599	437,8480	0,0040	0,0037	0,0050				-0,024	0,027	0,042	0,036	0,055
1509_TTC_VRS	248213,7990	528758,8690	437,8430	0,0005	0,0005	0,0005				-0,028	0,018	0,047	0,033	0,058
Wyznaczenia kinematyczne RTK (**)														
1509_9_ZA_VRS	248213,8021	528758,8701	437,8432	0,0019	0,0015	0,0025	0,0054	0,0035	0,0103	-0,031	0,017	0,047	0,035	0,059
1509_8_ZA_FKP	248213,7981	528758,8706	437,8738	0,0034	0,0026	0,0044	0,0087	0,0037	0,0125	-0,027	0,016	0,016	0,032	0,036
1509_7_ZA_KATO	248213,7962	528758,8679	437,8353	0,0032	0,0028	0,0041	0,0047	0,0068	0,0161	-0,025	0,019	0,055	0,032	0,063
1509_7_ZA_KRAW	248213,7934	528758,8704	437,8590	0,0030	0,0023	0,0040	0,0080	0,0048	0,0183	-0,022	0,017	0,031	0,028	0,042
1509_7_ZA_ZYWI	248213,7785	528758,8675	437,8431	0,0036	0,0029	0,0048	0,0096	0,0049	0,0175	-0,008	0,020	0,047	0,021	0,051
Wyznaczenia kinematyczne DGPS (**)														
1509_10_ZA_KATO	248213,5151	528759,0090	437,7023				0,0836	0,0925	0,0818	0,256	-0,122	0,188	0,283	0,340
1509_10_ZA_KRAW	248213,6185	528758,6465	437,4091				0,1006	0,1268	0,1169	0,153	0,241	0,481	0,285	0,559

^{*}) wysokości elipsoidalne z uwzględnieniem 1,563 m – pionowej wysokości anteny (ARP) nad punktem ^{**}) wartości średnie

DGPS – precyzyjna nawigacja. Wariant IV realizacji wyznaczeń kinematycznych w sieci ASG z wykorzystaniem systemu VRS to określanie położenia w czasie rzeczywistym na podstawie korekt DGPS. Mogą one pochodzić bezpośrednio z systemu VRS bądź z dowolnej stacji referencyjnej w sieci. Ten sposób pomiaru nie zapewnia wprawdzie dokładności geodezyjnych, tylko decymetrowe (GIS-owe), ale może okazać się przydatny, gdy na obszarze sieci nie udaje się uruchomienie trybu RTK, bądź w ogóle poza siecią (70-300 km od fizycznych stacji referencyjnych). Dodatkowo wskazane jest uśrednianie pozycji, gdyż pojedyncze wyznaczenie DGPS obarczone jest dużym błędem i niską wiarygodnością. Sposób uruchomienia trybu DGPS w systemie VRS jest bardzo podobny do opisanego we wcześniejszych wariantach, z tym, że z chwilą otrzymania korekt DGPS odbiornik automatycznie rozpoczyna wyznaczenia w trybie DGPS bez potrzeby inicjalizacji.

Najważniejsze, że realizacja wyznaczeń techniką DGPS możliwa jest:

- w prawie każdym odbiorniku sygnałów satelitarnych, nawet w najprostszym, pracującym jedynie na kodzie C/A,
- na obszarze do 300 km od stacji referencyjnych GNSS,
- w rozwiązaniu sieciowym z wykorzystaniem systemu VRS – DGPS Net, co

pozwała znacząco podnieść dokładność i wiarygodność wyznaczeń poprzez modelowanie i eliminację błędów systemu GPS i środowiska.

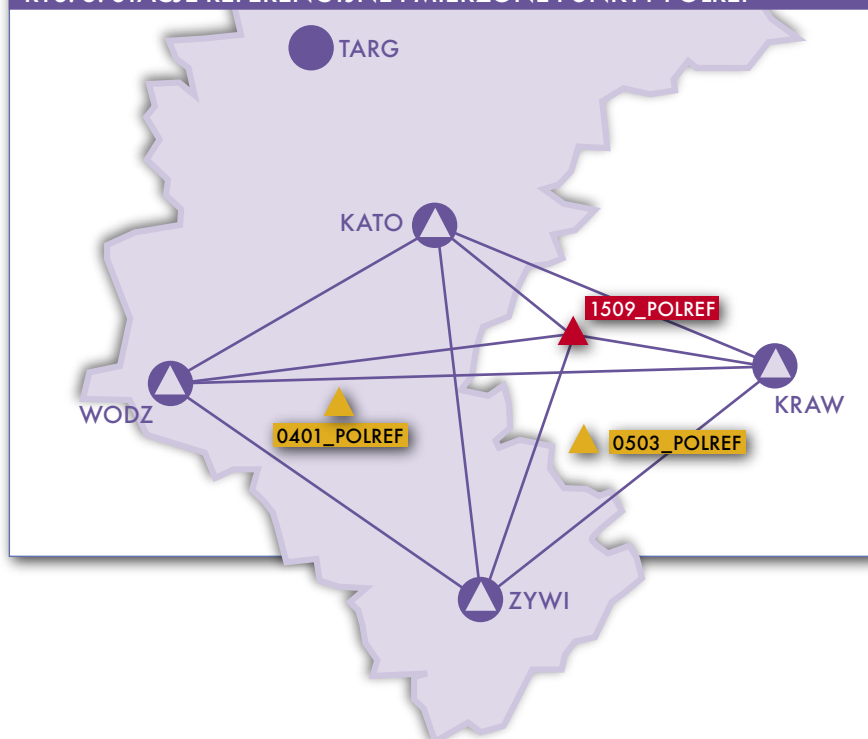
● WYZNACZENIA TESTOWE RTK/DGPS

W I części artykułu, w której przedstawiono rezultaty testów z pomiarów statycznych GPS, zawarto opis założeń dla całej procedury testowej (w tym i części kinematycznej). Przypomnijmy tylko, że wyznaczenia testowe zrealizowano na trzech punktach sieci POLREF

(rys. 3) na podstawie danych z czterech stacji referencyjnych, z wykorzystaniem tego samego sprzętu (Trimble R8 z kontrolerem ACU), który raz rozstawiony na punkcie nie zmieniał swego położenia przez cały (około 7-godzinny) czas testu. Podobnie jak w I części opis procedury testowej i uzyskane wyniki (z racji swej objętości) zostaną przedstawione jedynie dla „najsłabszego” punktu sieci POLREF 1509 Zagórze.

Obserwacje satelitarne GPS w całej procedurze testowej zrealizowano w trzech etapach.

RYŚ. 3. STACJE REFERENCYJNE I MIERZONE PUNKTY POLREF



Etap I – obejmował serię kinematycznych pomiarów czterema różnymi technikami w czasie rzeczywistym:

- DGPS – 16 pojedynczych, kolejnych, 20-sekundowych wyznaczeń z wykorzystaniem korekt ze stacji KATOWICE oraz kolejnych 16 – z korektami ze stacji KRAKÓW.

- RTK z pojedynczych stacji – 16 pojedynczych, 20-sekundowych wyznaczeń (20 epok pomiarowych), gdzie każde z 4 wyznaczeń poprzedzała reinicjalizacja trybu RTK w procedurze OTF; poprawki otrzymywano kolejno ze stacji: KATOWICE (wektory długości 31 219,6 m), KRAKÓW (37 286,7 m) oraz ZYWIĘC (48 136,8 m).

- RTK + FKP – 16 pojedynczych, 20-sekundowych wyznaczeń zrealizowanych z czterema kolejnymi reinicjalizacjami OTF; poprawki RTK i korekty sieciowe FKP ze stacji KATOWICE.

- VRS RTK – 16 wyznaczeń w 20-sekundowych pomiarach z kolejnymi reinicjalizacjami OTF po każdym cztery wyznaczeniach zrealizowano na podstawie danych z wirtualnej stacji referencyjnej.

Etap II – stanowiła 2,5-godzinna statyczna sesja obserwacyjna, której opis i wyniki wyznaczeń współrzędnych zamieszczono w części I artykułu.

Etap III – obejmował drugą serię pomiarów kinematycznych, realizowanych jak w etapie I.

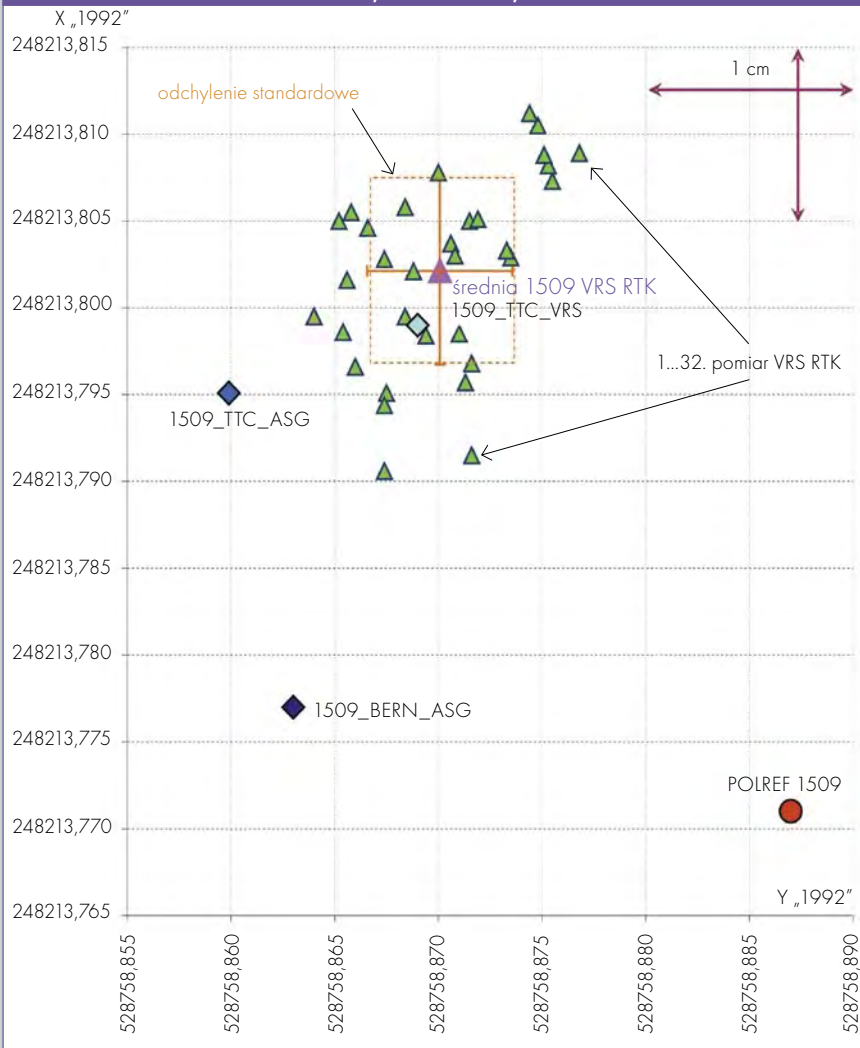
Łącznie w obu seriach pomiarów kinematycznych czasu rzeczywistego RTK/DGPS zgromadzono po 32 wyznaczenia współrzędnych dla każdej z czterech technik pomiarowych i w nawiązaniu do różnych stacji referencyjnych, co daje łącznie liczbę 224 wyznaczeń. Następnie wykonano analizy statystyczne dla każdego z bloków (po 32 wyznaczenia), oddzielnie dla każdej techniki pomiarowej i stacji nawiązania. Wyniki wyznaczeń kinematycznych (wartości średnie) na punkcie odniesienia POLREF 1505 Zagórze wraz z ich charakterystyką jakościową przedstawiono w tabeli na stronie obok (łącznie z wynikami wyznaczeń statycznych i współrzędnymi katalogowymi).

● WYNIKI

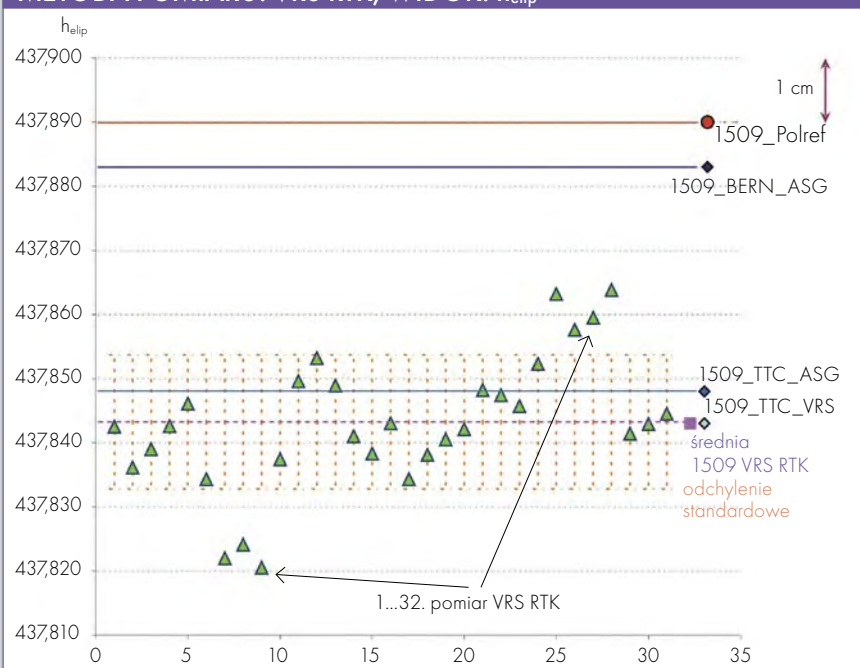
Oceniając dokładność kinematycznych technik pomiarowych na podstawie średnich wartości błędów wyznaczeń oraz odchyłań standardowych, stwierdzić można, iż:

- technika RTK zapewnia dokładność realizacji współrzędnych płaskich z błę-

RYS. 4. ROZRZUT WYNIKÓW POMIARÓW NA PUNKCIE POLREF 1509 METODA POMIARU: VRS RTK, WIDOK: X, Y



RYS. 5. ROZRZUT WYNIKÓW POMIARÓW NA PUNKCIE POLREF 1509 METODA POMIARU: VRS RTK, WIDOK: h_{elip}



dem nieprzekraczającym 1 cm oraz wysokości z błędem mniejszym niż 2 cm.

- technika DGPS (w której nie są wyznaczone wektory i nie ma tym samym możliwości oceny ich dokładności) bazując na odchyleniach standardowych, zapewnia dokładność trójwymiarową w przedziale 0,1-0,15 m (odbiornik geodezyjny w korzystnych warunkach).

Znacznie ważniejsza od dokładności wydaje się jednak analiza wiarygodności tych wyznaczeń, bo w niej kryje się przewaga technik satelitarnych nad technikami klasycznymi. W testach wiarygodność wyznaczeń kinematycznych oceniono względem punktu POLREF 1509. Różnice pomiędzy poszczególnymi średnimi z wyznaczeń kinematycznymi RTK a współrzędnymi katalogowymi sięgają 3 cm na płaszczyźnie i ponad 5 cm dla wysokości, tym samym błędy położenia punktu wyznaczanego techniką RTK wynoszą maksymalnie 3,5 cm w 2D oraz 6 cm w 3D. Dla kinematycznych wyznaczeń w trybie DGPS błędy położenia wynoszą maksymalnie odpowiednio: 0,3 m i 0,6 m. Pamiętać jednak należy, że powyższe błędy nie są wprost wynikiem lepszej czy gorszej dokładności samego pomiaru, ale zawierają również w sobie wspomnianą już (widoczną szczególnie w trybie RTK) niedokładność wyznaczeń współrzędnych stacji referencyjnych stanowiących nawiązanie oraz niższej wiarygodności samych współrzędnych punktu odniesienia POLREF 1509. Potwierdza to również analiza wyznaczeń kinematycznych na tle wyznaczeń statycznych, dając jednocześnie podstawę do stwierdzenia, że sieciowe pomiary kinematyczne RTK trwające kilka, kilkanaście sekund, których rezultaty otrzymujemy bezpośrednio w terenie, pod względem dokładności i wiarygodności nie ustępują w sposób wyraźny pomiarom statycznym i w wielu zagadnieniach geodezyjnych mogą być realizowane zamiennie.

Ponieważ zestawione w tabeli wartości średnie nie oddają w pełni obrazu jakości wyznaczeń technikami RTK, przyjrzyjmy się bliżej jednej z nich – VRS RTK. Wyniki pojedynczych wyznaczeń przedstawiono na rys. 4 i 5 w formie rozrzutu wokół wartości średniej i na tle współrzędnych realizowanych w pomiarach statycznych oraz względem punktu odniesienia POLREF 1509. Maksymalny rozrzut w grupie 32 pomiarów zrealizowanych w dwóch seriach w odstępach 2,5 godziny (zmiana konstelacji satelitów), wyniósł po współrzędnej X – 2,2 cm, Y – 1,3 cm oraz h – 4,2 cm.

● 3 x AKTYWNA

Przedstawiony opis możliwości i funkcjonalności systemu stacji permanentnych śląskiej ASG-PL w realizacji wyznaczeń współrzędnych geodezyjnych przynajmniej w części daje odpowiedź na pytanie: do czego nadaje się ASG-PL. A załączone wyniki własnych badań i testów realizowanych w sieci ASG i systemie VRS (z racji swej obszerności przedstawione jedynie we fragmentach) możliwości te potwierdzają. Aby odpowiedź była pełna, wyjaśnić należy jeszcze, co tak naprawdę kryje się za słowem „aktywna”.

Po pierwsze, aktywna, bo zdolna do realizacji zadań, jakie stoją przed osnową nowego typu:

- funkcjonuje w sposób permanentny 24 godziny na dobę 7 dni w tygodniu, 365 dni w roku,

- umożliwia realizację wyznaczeń statycznych (na trzy sposoby) oraz kinematycznych (w czterech wariantach) dopasowując się do możliwości użytkowników zarówno jeśli chodzi o sprzęt, jak i ich umiejętności.

- poprzez ciągły monitoring i autokalibrację oraz powiązanie z europejskim systemem stacji permanentnych EPN zapewnia w sposób najdokładniejszy i najbardziej wiarygodny, realizację systemu odniesień przestrzennych, przejmując funkcję osnowy podstawowej,

- poprzez wysoki standard i jakość udostępnianych danych, wymusza pewną standaryzację realizacji zadań geodezyjnych, tworząc przy tym jednolity ustrój geodezyjny,

- zapewnia każdemu odbiornikowi GPS osiągnięcie pełni jego technicznych i funkcjonalnych możliwości.

Po drugie, aktywna, bo w danej chwili system jako całość lub też jego poszczególne elementy funkcjonują, realizując konkretne zadania. Przerwy w funkcjonowaniu systemu i jego modernizacje są bądź to wynikiem realizowanych testów, bądź nieukończonych jego budowy. W zakresie, jaki opisano w artykule, system funkcjonował od sierpnia 2004 roku i związany był ściśle z testowo uruchomionym systemem Trimble VRS. Przedstawione pomiary testowe zrealizowano w lutym 2006 roku, w marcu system VRS został już wyłączony, a od czerwca nieaktywna była funkcja obliczeniowa. Do końca 2006 roku jedyną aktywną funkcją systemu ASG-PL było gromadzenie i udostępnianie obserwacji statycznych ze stacji permanentnych. Jednak w październiku ub.r. uruchomiono Mało-

polski System Pozycjonowania Satelitarnego, który dysponując pięcioma stacjami permanentnymi (w tym trzema nowymi lokalizacjami) i oprogramowaniem Trimble VRS, udostępnia poprawki dla wyznaczeń kinematycznych RTK/DGPS oraz obserwacje ze stacji permanentnych i wirtualnych dla wyznaczeń statycznych na obszarze Małopolski. Dzięki porozumieniu pomiędzy województwem małopolskim, województwem śląskim oraz GGK do MSPS włączone zostały śląskie stacje permanentne ASG-PL. Początek roku przyniósł także przywrócenie aktywności modułu obliczeniowego ASG-PL, który funkcją postprocessingu objął również stacje permanentne MSPS. Zatem opisana w obu częściach artykułu funkcjonalność sieci ASG dzięki MSPS obejmuje obecnie Śląsk i Małopolskę i można mówić o aktywności wszystkich funkcji permanentnych stacji referencyjnych sieci geodezyjnej.

Co więcej, śląska ASG-PL i MSPS stają się początkiem budowy wielofunkcyjnego systemu precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego ASG/EUPOS, którego 86 stacji referencyjnych obejmie zasięgiem cały kraj. Doświadczenia (te złe i te dobre) zdobyte z siecią ASG-PL i testowym funkcjonowaniem systemu VRS oraz w szczególności budowa MSPS pozwolą z końcem roku sfinalizować tworzenie ASG/EUPOS i uruchomienie sieci, która będzie aktywna w każdym obszarze i wymiarze jej planowanego funkcjonowania.

Po trzecie, aktywna, bo rzeczywistą miarą aktywności systemu ASG może być stopień jego wykorzystania przez użytkowników, mierzony liczbą pobranych danych, odwiedzin na stronach serwisu, zarejestrowanych użytkowników czy wreszcie liczbą zgłoszonych i wykonanych prac geodezyjnych. Jedynie użytkownicy stanowić mogą o aktywności i rozwoju systemu, a praktyka geodezyjna dać może pełną odpowiedź na pytanie, do czego ASG się nadaje.

Aktywna sieć geodezyjna ASG-PL ma potencjał i możliwości do realizacji każdego zadania geodezyjnego, w którym satelitarne pomiary GPS mogą być wykorzystane.

MACIEJ FILIPEK

Autor dziękuje firmie Trimble Ltd. i jej autoryzowanemu dystrybutorowi Geotronics Polska Sp. z o.o. za udostępnienie sprzętu i oprogramowania wykorzystanego do realizacji testów.