

Do czego nadaje się „genetycznie zmodyfikowana” śląska ASG-PL

NAPRAWDĘ AKTYWNA?

Seria artykułów na łamach *GEODETY* (12/2005, 1/2006, 2/2006, 3/2006), których tematem była Aktywna Sieć Geodezyjna, nie doczekała się kontynuacji, a postawione tam ważne pytania dotyczące możliwości geodezyjnego wykorzystania ASG-PL – pozostawały dotąd bez odpowiedzi.

MACIEJ FILIPEK

Obraz śląskiej ASG-PL wyłaniający się ze wspomnianych artykułów wskazuje na niemal całkowity brak możliwości realizacji zadań, dla których sieć została zbudowana, wynikający jakoby w znacznej mierze z jej „genetycznego zmodyfikowania”. Nie wspomniano przy tym, że dzięki tej zmianie system stacji permanentnych stał się (co prawda tylko testowo) w pełni operacyjny zarówno w pomiarach statycznych, jak i w trybie kinematycznych pomiarów czasu rzeczywistego – RTK.

Do połowy roku pobrałem ponad 3 GB danych ze stacji referencyjnych, zrealizowałem ponad 80 obliczeń w module obliczeniowym ASG oraz pozyskałem blisko 40 MB danych w transmisji GSM/GPRS dla wyznaczeń w trybie RTK. Jako użytkownik systemu ASG-PL o – jak się wydaje – ponadprzeciętnej aktywności mogę stwierdzić, że Aktywna Sieć Geodezyjna ma potencjał do realizacji każdego geodezyjnego zadania, w którym satelitarne pomiary GPS mogą być wykorzystane. I aby obronić powyższe, może nazbyt śmiało stwierdzenie, ale głównie, by przedstawić rzeczywiste możliwości sieci, opracowałem i wykonałem testy. Testy te – oprócz weryfikacji dostępności i możliwości za-

stosowania różnych technik pomiarów satelitarnych – pozwoliły na ocenę dokładności i wiarygodności wyznaczenia współrzędnych.

• TRZY ELEMENTY ASG-PL

Pierwotne i podstawowe funkcje stacji permanentnych na całym świecie to:

- realizacja obserwacji GNSS (Globalnych Nawigacyjnych Systemów Satelitarnych) – obecnie systemu GPS, a w przyszłości GLONASS i Galileo,
- gromadzenie i archiwizacja wykonanych obserwacji,
- udostępnianie zgromadzonych danych różnym grupom użytkowników.

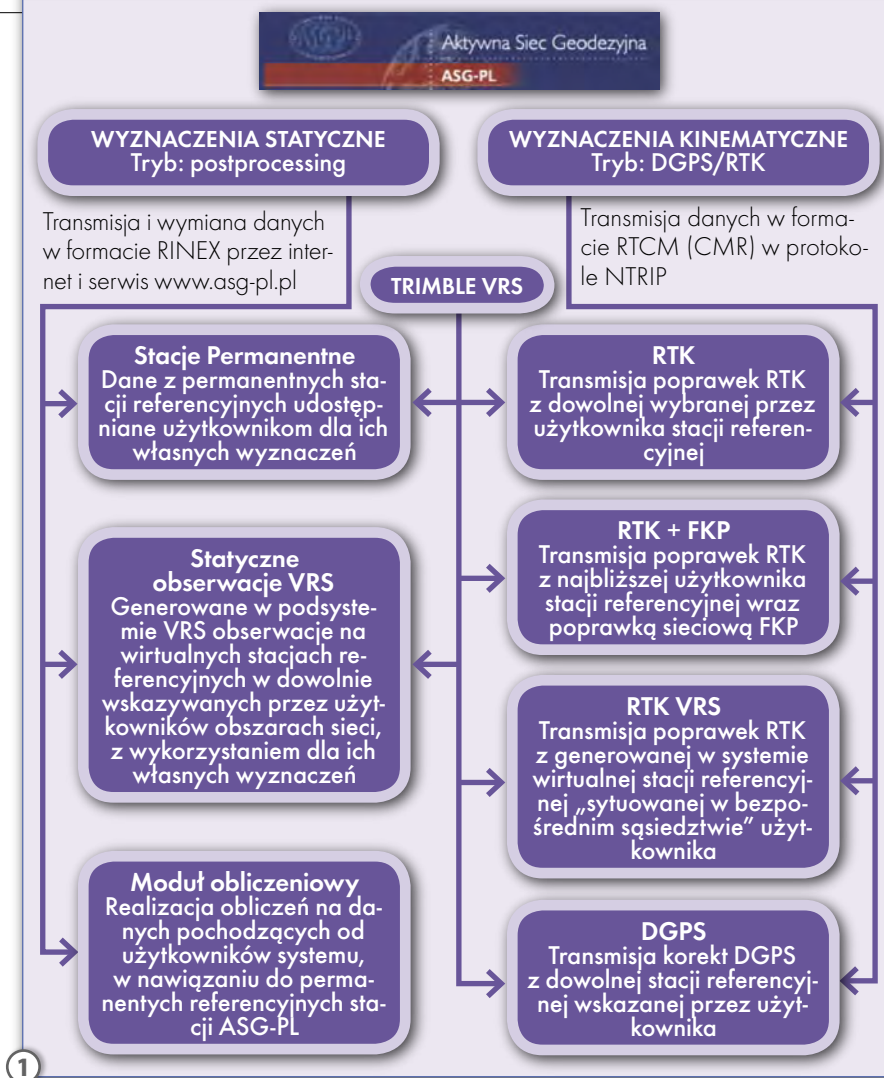
Wykorzystanie stacji permanentnych w latach 90. ograniczało się do rozwiązywania zadań z zakresu geodezji wyższej i geodynamiki, a dopiero ostatnio zaczęto je traktować jako nowy rodzaj osnowy geodezyjnej. ASG-PL realizuje funkcje sieci stacji permanentnych niemal od początku swojego działania w 2002 roku, umożliwiając dla wyznaczeń statycznych pozyskanie obserwacji ze stacji własnych i stowarzyszonych, a poprzez ciągłe pomiary i związanie ze stacjami systemu europejskiego (EPN) – realizację precyzyjnego systemu odniesień przestrzennych na obszarze swego działania.

Dodatkowo w ramach ASG-PL uruchomiono niezależny moduł obliczeniowy,

który na podstawie gromadzonych w systemie obserwacji ze stacji referencyjnych oraz danych pochodzących z pomiarów własnych użytkowników wykonuje obliczenia obserwacji statycznych (postprocessing), wyznaczając precyzyjne współrzędne na punktach użytkowników.

Trzecim elementem ASG-PL, który uruchomiono testowo w sierpniu 2004 r., jest system VRS (Virtual Reference Stations), zasadniczo odpowiedzialny za dystrybucję poprawek DGPS/RTK w trybie pomiarów kinematycznych, ale wykorzystywany również w wyznaczeniach statycznych. System VRS-RTK bazuje na źródłowych danych pochodzących bezpośrednio ze stacji permanentnych (transmisja w czasie rzeczywistym) na obszarze Śląska i części Małopolski (stacja KRAW). Następnie w zależności od przyjętego przez użytkownika: formatu, kanału transmisji i sposobu realizacji własnych pomiarów system dystrybuuje: korekty DGPS, poprawki w trybie RTK z dowolnej stacji referencyjnej, poprawki w trybie RTK + FKP z pojedynczej stacji wraz z korektą sieciową, poprawki RTK VRS z wirtualnej stacji referencyjnej. Funkcje użytkowe VRS obejmują również niezależną od głównego systemu ASG archiwizację źródłowych danych obserwacyjnych oraz niezależny kanał dystrybucji danych ze stacji permanentnych dla

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



1 pomiarów statycznych, jak również generowanych w systemie statycznych wirtualnych stacji referencyjnych.

Oprogramowanie VRS tworzy i udostępnia raporty o najistotniejszych błędach na poszczególnych stacjach lub w całej sieci oraz o stopniu aktywności środowiska i jego wpływie na dokładność wyznaczeń, w rozbiciu na każdą ze składowych: długość, szerokość i wysokość elipsoidalną. Dzięki tej swoistej „świadomości” co do przewidywanych błędów w wyznaczanych wielkościach (poprawkach jonosferycznych i troposferycznych oraz składowych wektorów) system VRS uwzględnia je w procesie generowania danych obserwacyjnych na stacjach wirtualnych, podnosząc jakość wyznaczeń zarówno kinematycznych, jak i statycznych. Główny podział w obszarze wykorzystania systemu ASG wspomaganego przez system VRS sprowadza się bowiem do zasadniczego rozróżnienia technologii wykorzystujących GNSS, a więc techniki pomiarów statycznych i kinematycznych (rys. 1).

● JAK PRZEPROWADZONO PROCEDURĘ TESTOWĄ

Zanim omówione zostaną techniki pomiarów wykonywanych z wykorzystaniem ASG-PL, wyjaśnić należy założenia wstępne całej procedury testowej:

- Prace zrealizowano w ramach badań własnych związanych z nowoczesnymi technikami pomiarów geodezyjnych i ich adaptacją do celów praktycznych oraz dydaktycznych.

- W obszarze zainteresowania znalazły się permanentne stacje referencyjne systemu ASG-PL: Katowice (KATO), Kraków (KRAW), Żywiec (ZYWI), Wodzisław (WODZ) oraz punkty sieci POLREF: Zagórze (1509), Wieprz (0503) i Radostowice (0401), których współrzędne wtórnie określono z wykorzystaniem ASG-PL.

- By przedstawić wszystkie możliwości systemu ASG, wykorzystano jeden dwuczłonowy odbiornik geodezyjny odbiornik R8 firmy Trimble z opcją bezprzewodowej komunikacji Bluetooth z kontrolerem TCU i telefonem GSM niezbędnym przy pracy w trybie RTK.

- Procedury testowe przeprowadzono na trzech punktach sieci POLREF w trzech kolejnych dniach roku (048, 049, 050) według jednakowego schematu: gromadzenia obserwacji statycznych, pracy programów obliczeniowych, pozyskania współrzędnych w trybie pomiarów kinematycznych oraz analiz dokładności i wiarygodności wyznaczeń.

- Wyniki obliczeń i analiz (współrzędne punktów testowych) przedstawiono w układzie współrzędnych płaskich 1992 z wysokościami elipsoidalnymi, pomijając przejście do systemu wysokości normalnych (ortometrycznych) ze względu na rozbieżność wyników w zależności od przyjętego modelu geoidy.

- Z uwagi na obszerność zgromadzonego materiału w dalszej części opracowania ograniczono się do przedstawienia pełnej procedury testowej jedynie dla punktu POLREF 1509 Zagórze, dla którego wtórnie uzyskane współrzędne najbardziej odbiegają od katalogowych współrzędnych odniesienia – w myśl zasady, że „technologia jest dobra na tyle, na ile dobre są jej najgorsze wyniki”.

● ZAŁOŻENIA POMIARÓW STATYCZNYCH

Obserwacje satelitarne na punkcie POLREF 1509 zrealizowano w trzech etapach. Etapy pierwszy i trzeci obejmowały serię wyznaczeń w trybie kinematycznym dla anteny GPS ustawionej nieruchomo (statycznie) nad punktem (będą one tematem kolejnej publikacji na łamach GEODETY). W tym numerze zajmujemy się etapem środkowym obejmującym pomiar statyczny przeprowadzony według poniższych założeń:

- zintegrowaną z odbiornikiem antenę GPS umieszczono na spodarce, centralnie nad punktem, na wysokości 1,563 m (wyznaczonej niwelatorem technicznym) od głowicy znaku do ARP – punktu referencyjnego anteny;

- przyjęto 5-sekundowy interwał zapisu danych satelitarnych, zgodny z interwałem rejestracji danych na stacjach permanentnych ASG-PL;

- wykorzystano „zastaną” konstelację satelitów – czyli dostępną w okresie pomiaru, bez wcześniejszego planowania sesji pomiarowej;

- statyczne obserwacje satelitarne zrealizowano 19 lutego 2006 r. (50. dzień roku) pomiędzy 12:46:45 a 15:30:20 GMT, zapisując 1964 epoki pomiarowe, dane z 15 satelitów GPS (min. 8, maks. 12), współczynnik PDOP 1,4-2,5.

CECHY FUNKCJONALNE WYZNACZEŃ WSPÓŁRZĘDNYCH W NAWIĄZANIU DO PERMANENTNYCH STACJI REFERENCYJNYCH ASG-PL

- Dostęp do precyzyjnej osnowy (obserwacji na stacjach permanentnych) 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu, 365 dni w roku – z maksymalnie dwugodzinnym opóźnieniem.
- Możliwość wykorzystania kilku stacji referencyjnych do nawiązania własnych pomiarów podnosząca jakość i wiarygodność realizowanych wyznaczeń.
- Ciągły monitoring stacji permanentnych, dzięki czemu ich sieć stanowi najdokładniejszą, bo aktywną osnowę geodezyjną, której jakość i wiarygodność przenosi się na wszystkie zagadnienia geodezyjne realizowane z jej wykorzystaniem.
- Wzrost jakości, a przede wszystkim efektywności realizowanych wyznaczeń wynikający z możliwości pominięcia nawiązań do klasycznych osnow.
- Dostępność pomiarów satelitarnych – nawet pojedynczy geodezyjny odbiornik we współpracy z systemem ASG-PL osiąga pełnię swoich możliwości.

Pozyskane statyczne obserwacje satelitarne poddano następnie procesowi obliczenia 3 sposobami, wykorzystując:

- nawiązanie do permanentnych stacji referencyjnych ASG-PL,
- nawiązanie do statycznych wirtualnych stacji referencyjnych sVRS,
- moduł obliczeniowy systemu ASG-PL.

● PERMANENTNE STACJE REFERENCYJNE

W testach posłużono się oprogramowaniem do obliczeń obserwacji satelitarnych Trimble Total Control. Wprowadzono do niego dane pozyskane w trakcie pomiaru testowego na punkcie odniesienia POL-REF 1509 (wyznaczanym wtórnie) oraz dane obserwacyjne z permanentnych stacji referencyjnych systemu ASG-PL. Dane dla każdej stacji nawiązania (Katowice, Kraków, Żywiec i Wodzisław) pobrano oddzielnie za pośrednictwem serwisu www.asg-pl.pl, w plikach godzinnych pomiędzy 12:00 i 16:00, w formacie RINEX wraz z plikami nawigacyjnymi. Następnie sprawdzono poprawność zidentyfikowanych przez program typów anten na stacjach referencyjnych i punkcie wyznaczanym (parametry kalibracji anten zgodne ze standardem NGS [www.ngs.noaa.gov]) oraz ich wysokości w trakcie pomiaru. Poprawny wybór anten zapewnia właściwe

określenie rzeczywistego centrum fazowego każdej z nich, a tym samym decyduje o precyzji realizowanych wyznaczeń współrzędnych. Wybierając 5-sekundowy wspólny interwał danych, 10-stopniowy kąt „obcięcia” horyzontu oraz klasyczny model troposfery Hopfielda, wykonano obliczenia – postprocessing linii bazowych do punktu 1509_TTC_ASG w nawiązaniu do czterech stacji referencyjnych ASG. W kolejnym etapie wyrównano obliczone wektory, przyjmując za bezbłędne współrzędne referencyjne stacji permanentnych i wyznaczając tym samym ostateczne współrzędne punktu testowego. Rezultaty obliczeń i wyrównania przedstawia lewa część okna programu TTC (rys. 2). Uzyskane współrzędne oraz błędy wyznaczeń zestawiono w tabeli 1 (na s. 27). Stanowią one będą odniesienie dla wyników uzyskanych zarówno w kolejnych wyznaczeniach w trybie postprocessingu, jak i w kinematycznych trybach RTK/DGPS.

● WIRTUALNE STACJE REFERENCYJNE VRS

Drugim sposobem realizacji wyznaczeń współrzędnych punktów przez użytkowników systemu ASG-PL jest wy-

korzystanie nawiązania do wirtualnych stacji referencyjnych. Stacje wirtualne generowane są w oprogramowaniu VRS na podstawie danych z fizycznych stacji systemu ASG (na obszarze ich działania), z dodatkowo uwzględnionymi wpływami atmosfery.

Pozyskanie danych – statycznych obserwacji na stacjach wirtualnych. Za pośrednictwem internetowej strony www.asg-pl.pl, w podsystemie VRS, w oknie *Generowanie danych wirtualnych* użytkownik wprowadza współrzędne miejsca, gdzie „stać” ma wirtualna stacja referencyjna przeznaczona dla jego wyznaczeń. Współrzędne te w dalszej procedurze obliczeniowej będą stanowić nawiązanie zarówno w obliczeniach linii bazowych, jak i wyrównaniu wektorów. Następnie użytkownik określa przedział czasu, z jakiego dane mają pochodzić (dzień, miesiąc, rok, czas rozpoczęcia i długość trwania sesji), zgodny z okresem, w jakim realizował własne pomiary na punkcie. Podać należy również, w jakim interwale rejestracji mają być przygotowane dane oraz czy dołączony ma być plik z danymi nawigacyjnymi. Na podstawie powyższych parametrów system VRS generuje obserwacje

CECHY FUNKCJONALNE WYZNACZEŃ WSPÓŁRZĘDNYCH REALIZOWANYCH Z WYKORZYSTANIEM STATYCZNYCH WIRTUALNYCH STACJI REFERENCYJNYCH

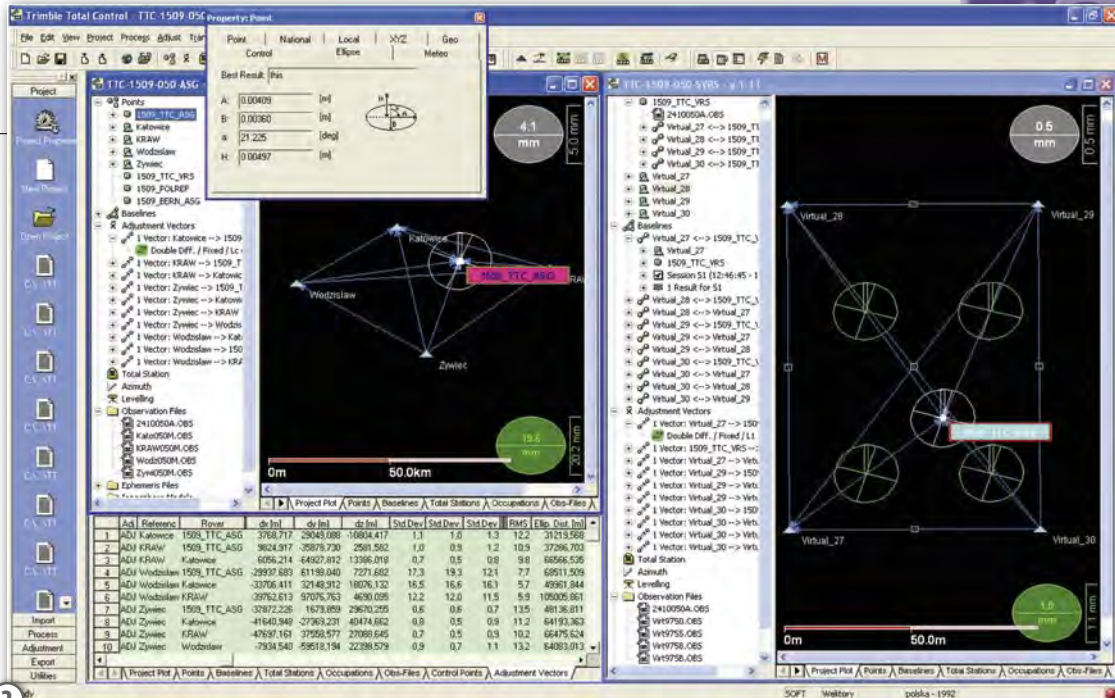
- Podstawowymi zaletami systemu VRS w zakresie dystrybucji danych statycznych są:
 - przejrzysty i intuicyjny interfejs użytkownika, w którym podaje się informacje niezbędne do przygotowania przez system pliku z konkretnymi danymi;
 - zamawiane pliki przygotowywane są szybko i przesyłane po skompresowaniu, co jest szczególnie ważne dla użytkowników nieposiadających szybkich łącz internetowych, a zwłaszcza korzystających w terenie z bezprzewodowego dostępu do internetu (dobowy plik RINEX ze stacji KATO pobrany bezpośrednio przez system ASG ma rozmiar ok. 12 MB, natomiast skompresowany przez system VRS – ok. 1 MB);
 - zdefiniowanie profilu użytkownika w menedżerze zadań umożliwia pobieranie danych niemal „hurtowo” z kilku stacji równocześnie i cyklicznie;
 - wszystkie funkcje związane z zamawianiem, przygotowaniem i pobieraniem danych w systemie VRS są dostępne zarówno dla fizycznych stacji permanentnych, jak i wirtualnych.
- Dowolnie zestawiane układy stacji wirtualnych pozwalają na sprowadzenie punktów nawiązania w bezpośrednie sąsiedztwo realizowanych pomiarów oraz zmianę skali realizowanych wyznaczeń (wektory nawiązania do fizycznych stacji referencyjnych: KATO, KRAW, ZYWI, WODZ miały długości 31,2 km, 37,3 km, 48,1 km oraz 68,1 km, natomiast w układzie stacji wirtualnych 60-120 metrów).
- Wykorzystanie wirtualnych stacji referencyjnych VRS pozwala na precyzyjne wyznaczenia współrzędnych punktów na podstawie tylko jednej częstotliwości L1 systemu GPS, przez co możliwe staje się wykorzystanie:
 - mniej zaawansowanych, a więc bardziej dostępnych (tańszych) programów, które, bazując na częstotliwości L1, nie realizują skomplikowanych algorytmów obliczeniowych oraz modelowania wpływu środowiska (zwłaszcza jonosfery – z rozwiązania Lc);
 - mniej skomplikowanych i bardziej dostępnych jednoczęstotliwościowych geodezyjnych odbiorników GPS, które – w połączeniu z technologią sVRS – odznaczają się znacznie wyższą od nominalnej „sprawnością”.

dla stacji wirtualnej i po chwili informuje użytkownika o możliwości pobrania skompresowanego pliku w formacie RINEX.

Decydując o lokalizacji i liczbie stacji wirtualnych, użytkownik winien kierować się potrzebą ich poprawnego geometrycznego rozmieszczenia względem punktów mierzonych, tak by rozkład błędów był możliwie równomierny, a tym samym jakością realizowanych wyznaczeń najwyższą. Wyznaczając precyzyjne współrzędne punktu 1509_TTC_VRS, wirtualne

stacje referencyjne „rozmieszczono” tak, by utworzyły oczko siatki o wymiarach 5" x 5" (99,38 m x 154,50 m), wewnątrz którego znajdował się ten punkt. Dane na stacjach wirtualnych pochodzą z 19 lutego 2006 r. (50. dzień roku) z czasu pomiędzy 12:30 a 15:30 GMT, a wygenerowane zostały w systemie VRS 20 lutego 2006 r. o godzinie 20:57. Tak „zbudowany” układ wirtualnych stacji referencyjnych poddano pełnemu procesowi obliczeniowemu w programie Trimble Total Control.

Proces obliczeniowy. Ustawienia parametrów pracy programu obliczeniowego TTC były identyczne jak w pierwszej części testu. Postprocessing linii bazowych oraz wyrównanie wektorów zrealizowano dwuetapowo. W pierwszym etapie trzy z czterech wirtualnych stacji referencyjnych przyjęto jako stanowiące nawiązanie, a wyznaczano współrzędne punktu 1509 oraz czwartej stacji referencyjnej. Następnie poddano kontroli nowe współrzędne, ewentualne błędy oraz przemieszczenia na czwartej ze stacji. Brak jakichkolwiek zmian współrzędnych na wirtualnie wyznaczonej czwartej stacji świadczy o bardzo wysokiej wewnętrznej spójności wyznaczeń wirtualnych stacji referencyjnych. Dlatego w drugim etapie obliczeń współrzędne wszystkich czterech stacji referencyjnych przyjęto jako bezbłędne i stanowiące nawiązanie dla ostatecznego obliczenia i wyrównania wektorów do punktu 1509_TTC_VRS. Wyniki – współrzędne i ich błędności – zestawiono w tabeli 1.



Profesjonalny sprzęt i oprogramowanie oraz procedury pomiarowe i obliczeniowe zastosowane w testach nie ujawniły zasadniczych różnic pomiędzy wynikami uzyskanymi z wykorzystaniem technologii VRS (po raz pierwszy realizowanej w warunkach polskich) a sprawdzonymi metodami wyznaczeń statycznych. Wysoka zgodność współrzędnych uzyskanych z systemu VRS z ich katalogowymi wartościami na punktach sieci POLREF potwierdziła wysoką bezwzględną precyzję i wiarygodność wyznaczeń.

Wykorzystanie zaawansowanego programu obliczeniowego, oprócz gwarancji wysokiej jakości i pewności uzyskanych wyników, pozwoliło na głębszą analizę samego procesu obliczeniowego oraz uchwycenie istotnych różnic w dojściu do końcowych wyników w wyznaczeniach opartych na fizycznych i wirtualnych stacjach referencyjnych. Wyznaczając wektory, program TTC nie ogranicza się do najczęściej stosowanych kryteriów, zgodnie z którymi dla krótkich linii bazowych proces obliczeniowy realizowany jest na częstotliwości L1, natomiast dla linii długich (ponad 20 km) – na L1 i L2. Każda z linii bazowych jest wyznaczana na L1, L2 i ich kombinacjach Lw, Ln i Lc. Następnie na podstawie analizy jakości poszczególnych wyznaczeń wybierane jest najlepsze rozwiązanie:

- w procedurze obliczeniowej, gdzie realizowano nawiązania do fizycznych stacji permanentnych ASG odległych ponad 30 km od wyznaczanego punktu, najlepsze wyniki uzyskano dla wektorów z rozwiązań Ln (L1+L2) oraz Lc (z eliminacją wpływu jonosfery);

- w drugiej procedurze obliczeniowej, w której nawiązaniem były wirtualne stacje referencyjne VRS oddalone

66-120 metrów od wyznaczanego punktu, najlepsze rozwiązania wektorów uzyskano na częstotliwości L1.

Technologia VRS – dokonująca rewolucji w kinematycznych technikach pomiarów DGPS/RTK – również w statycznych metodach wyznaczania pozycji zmienić może filozofię ich realizacji. Dzięki temu geodeta, korzystając tylko z jednego jednoczęstotliwościowego odbiornika satelitarnego GPS oraz ASG-PL, posiada narzędzie i technologię pozyskiwania precyzyjnych współrzędnych punktów.

● MODUŁ OBLICZENIOWY

W ramach pionierskiej w warunkach polskich budowy śląskiej części systemu stacji permanentnych, zrealizowano jeszcze bardziej pionierskie przedsięwzięcie, a mianowicie stworzono system obliczeniowy, który na podstawie danych z własnych stacji referencyjnych i obserwacji GPS użytkowników realizowałby dla tych ostatnich precyzyjne wyznaczenia współrzędnych. Zadanie o tyle karkołomne, że z jednej strony system powinien akceptować dane z najprostszych odbiorników jednoczęstotliwościowych, dodatkowo realizowane różnymi technikami statycznymi, czasem w bardzo krótkich sesjach obserwacyjnych, natomiast z drugiej strony podołać musiał wysoko postawionym kryteriom, jeśli chodzi o dokładność wyznaczanych współrzędnych. Określenie wysokości z błędem nieprzekraczającym 2 cm możliwe jest wówczas, gdy zastosowany zostanie sprzęt i technika pomiarowa zapewniająca wyznaczenie współrzędnych płaskich z błędem nie większym niż 1,5 cm.

Zbudowany w efekcie system obliczeniowy nie spełnił wszystkich ocze-

CECHY FUNKCJONALNE WYZNACZEŃ WSPÓŁRZĘDNYCH REALIZOWANYCH Z WYKORZYSTANIEM MODUŁU OBLICZENIOWEGO ASG-PLKA 3

- Dostęp użytkowników do modułu obliczeniowego 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu, 365 dni w roku (z wyjątkiem okresów modernizacji i konserwacji systemu).
- Szybkość w realizacji obliczeń – już w dwie godziny po zakończeniu własnych pomiarów użytkownik może wykonać obliczenia w systemie ASG.
- Moduł obliczeniowy – realizujący wyznaczenia wyłącznie pojedynczych punktów – stał się dostępny dla tych użytkowników, którzy dysponują jednym urządzeniem odbiornikiem GPS, często najprostszym – pracującym na jednej częstotliwości L1.
- Użytkownicy korzystający z modułu obliczeniowego systemu ASG-PL nie muszą być specjalistami w dziedzinie pomiarów satelitarnych (ważne jest poprawne zredizowanie obserwacji na punktach pomiarowych), nie muszą też znać programów do obliczeń – postprocessingu obserwacji GPS – byle tylko, znając zasady ich funkcjonowania, właściwie interpretowali i wykorzystywali wyniki.
- Obszerne raporty wyręczają użytkowników z konieczności przeliczeń i transformacji pomiędzy układami.
- Powszechne wykorzystanie modułu obliczeniowego pozwoli wprowadzić jednolity ustrój geodezyjny w zakresie nowo wyznaczanych osnów poziomych, co zapewni ich jednorodność pod względem dokładności i wiarygodności.

kiwań, gdyż są one nazbyt wygórowane i przewyższają możliwości technologiczne, jakimi obecnie dysponujemy, zresztą nie tylko my. Kraje będące na zdecydowanie wyższym poziomie wykorzystania technologii GPS nie posiadają otwartych systemów obliczeniowych, więc albo takie systemy uznają za niepotrzebne, albo też trudne czy wręcz niemożliwe do powszechnego zastosowania (wyjątki – Australia, Szwecja i... Polska – potwierdzają jedynie ogólnosiwiatową tendencję). Dlatego też system obliczeniowy ASG-PL traktowany powinien być jako rozwiązanie, nad którym należy pracować i go udoskonalać, albo też zrezygnować z planów jego powszechnego wykorzystania, przestając na zadaniach, jakie miał pierwotnie realizować, a więc monitoringu oraz wewnętrznej i zewnętrznej kontroli stacji permanentnych.

Użytkownik korzystający z tej funkcji systemu nie musi znać mniej lub bardziej zaawansowanych procedur obliczeniowych, a w szczególności posiadać oprogramowania do postprocessingu. Wystarczy dostęp do programu do konwersji obserwacji GPS (zapisywanych w formacie własnym producenta odbiornika) do uniwersalnego formatu wymiany danych satelitarnych RINEX (wersja 2.1), jedynego akceptowanego przez moduł obliczeniowy ASG-PL. Wykorzysta można przy tym darmowe konwertery udostępnione na stronach systemu ASG.

Aby ocenić funkcjonalność i jakość wyznaczeń współrzędnych realizowanych za pośrednictwem systemu obliczeniowego ASG-PL, wykonano testy. Ponownie wykorzystano pliki obserwacji użytkownika pozyskane z pomiarów na punkcie POLREF 1509. W tym przypadku w programie TTC sprawdzono jedynie informacje pod kątem ich zgodności z danymi opisowymi zawartymi w dzienniku obserwacji (z terenu), w szczególności chodzi o poprawność wyboru typu anteny i jej wysokość nad punktem. Następnie plik został wyeksportowany i zapisany w formacie RINEX v.2.1, a przekonwertowane dane za pośrednictwem strony www.asg-pl.pl wprowadzono do części zastrzeżonej systemu obliczeniowego ASG-PL (dostępnej dla zarejestrowanych użytkowników po wprowadzeniu loginu i hasła, przyznawanych z chwilą zgłoszenia prac geodezyjnych).

Ogólnie rzecz biorąc, możliwe są dwie formy wprowadzania danych: nieskontrolowanych oraz skontrolowanych.

Wykorzystując formularz dla wprowadzania danych nieskontrolowanych, należy podać:

- identyfikator – oznaczenie punktu,
- pionową wysokość, na jakiej umieszczona była antena na punkcie, z zaznaczeniem, czy jest to wysokość do centrum fazowego anteny czy do ARP – miejsca montowania anteny,
- nazwę producenta i typ anteny wykorzystanej w pomiarze – wybór z listy zdefiniowanych anten (zgodnie ze standardem NGS).
- ścieżkę do katalogu, w którym znajduje się źródłowy plik z danymi obserwacyjnymi w formacie RINEX.

System obliczeniowy ASG-PL bada następnie poprawność dostarczonego pliku zarówno pod kątem danych opisowych zawartych w nagłówkach pliku RINEX, jak i danych obserwacyjnych.

W drugim sposobie wprowadzania danych kontrola należy do użytkownika, który jednorazowo pobiera ze stron ASG-PL plik Kontrola RINEX i posługując się nim:

- podaje ścieżkę dostępu do pliku źródłowego danych RINEX,
- wprowadza oznaczenie – identyfikator punktu,
- weryfikuje pionową wysokość anteny mierzoną do podstawy (ARP),
- z dostępnej listy wybiera producenta i typ użytej anteny,
- uruchamia proces kontroli.

Jeśli plik źródłowy nie został poprawnie przygotowany, program generuje raport o błędach wskazujący na ich rodzaj i ewentualne sposoby ich eliminacji. W przypadku pozytywnego wyniku kontroli tworzony jest nowy plik RINEX z oznaczeniem ASG w rozszerzeniu, do którego dopisywane są informacje dodatkowe niezbędne do automatycznego przeprowadzenia obliczeń w systemie ASG-PL. Plik ten należy następnie wysłać za pośrednictwem serwisu www.asg-pl.pl, posługując się przy tym procedurą wprowadzania skontrolowanych danych. Przyjęcie plików użytkownika potwierdzone jest przez system obliczeniowy informacją o statusie wprowadzonych danych.

Program obliczeniowy Bernese na podstawie wstępnych przybliżonych współrzędnych punktu dobiera w sposób dynamiczny trzy stacje referencyjne (w teście były to KATO, KRAW i ZYWI), które stanowią nawiązanie w procesie obliczenia i wyrównania oraz – dodatkowo wykorzystując zaawansowane algorytmy – modeluje poprawki jonosferyczne i troposferyczne dla zapewnienia wysokiej precyzji realizowanych obliczeń. Po upływie około pół godziny można pobrać ze stron ASG plik raportu z obliczeń w trybie postprocessingu.

Raport ten zawiera dane opisowe i identyfikacyjne oraz wyniki obliczeń w układzie EUREF 89 na elipsoidzie GRS-80 (WGS-84) we współrzędnych kartezjańskich X, Y, Z oraz geodezyjnych B, L, h z wysokością elipsoidalną oraz normalną (obliczoną na podstawie wartości N – odstęp elipsoidy od quasi-geoidy) oraz z przeliczonymi współrzędnymi płaskimi w układach 1992 i 2000, a także przetransformowanymi współrzędnymi w układzie 1965 we właściwej i sąsiedniej strefie odwzorowawczej oraz oznaczeniami arkuszy map dla każdego układu. Realizacja raportów w formie pliku tekstowego, jakkolwiek nie odpowiada

TABELA 1. WYNIKI I BŁĘDY WYZNACZEŃ Z TESTOWYCH POMIARÓW STATYCZNYCH NA PUNKTACH SIECI POLREF JAKO PUNKTACH ODNIESIENIA

Oznaczenie punktu	Współrzędne układ 1992			Błędy wyznaczeń			Różnice względem punktu odniesienia			Błędy położenia	
	X	Y	h*	σ_X	σ_Y	σ_h	ΔX	ΔY	Δh	$m_p 2D$	$m_p 3D$
Polref_1509	248213,771	528758,887	437,890	-	-	-	-	-	-	-	-
1509_TTC_ASG	248213,795	528758,859	437,848	0,0040	0,0037	0,0050	-0,024	0,027	0,042	0,036	0,055
1509_TTC_VRS	248213,799	528758,869	437,843	0,0005	0,0005	0,0005	-0,028	0,018	0,047	0,033	0,058
1509_BERN_ASG	248213,777	528758,863	437,883	0,0020	0,0010	0,0020	-0,006	0,024	0,007	0,025	0,026
Polref_0401	236538,224	491801,082	333,495	-	-	-	-	-	-	-	-
0401_TTC_ASG	236538,241	491801,073	333,474	0,0044	0,0039	0,0057	-0,017	0,009	0,021	0,020	0,029
0401_TTC_VRS	236538,243	491801,081	333,468	0,0047	0,0047	0,0047	-0,019	0,002	0,027	0,019	0,033
0401_BERN_ASG	236538,225	491801,076	333,483	0,0030	0,0010	0,0040	-0,001	0,006	0,012	0,006	0,013
Polref_0503	222937,609	523496,929	389,372	-	-	-	-	-	-	-	-
0503_TTC_ASG	222937,619	523496,920	389,318	0,0074	0,0067	0,0092	-0,009	0,009	0,054	0,013	0,056
0503_TTC_VRS	222937,611	523496,930	389,342	0,0001	0,0001	0,0001	-0,002	0,001	0,030	0,002	0,030
0503_BERN_ASG	222937,602	523496,920	389,357	0,0050	0,0020	0,0050	-0,007	0,009	0,015	0,011	0,019

* wysokości elipsoidalne odniesione do ARP

może obecnym standardom elektronicznej wymiany danych, to w zakresie treści wydaje się dostarczać niemal wszystko, czego użytkownik potrzebuje, wyęczając go przy tym z konieczności przeliczeń i transformacji pomiędzy układami. A w przyszłości dodanie zwrotu „Dokument sporządzony elektronicznie nie wymaga stempla i podpisu” – ułatwiłoby jego formalny obieg.

● WYNIKI: BŁĘDY PONIŻEJ 1 CENTYMETRA

Analizę wyników uzyskanych z trzech niezależnych obliczeń danych, pozyskanych w jednej wspólnej procedurze pomiarowej, przeprowadzono w dwóch kierunkach: pod kątem dokładności oraz powtarzalności i niezawodności realizowanych wyznaczeń.

Zakładając, iż pomiar zrealizowano na nowo wyznaczanym punkcie, ocena jakości uzyskanych współrzędnych dokonana może być wyłącznie na podstawie błędów wyznaczeń. I tak każda z metod obliczeniowych zapewniła uzyskanie wyników z błędami poniżej 1 cm zarówno dla współrzędnych płaskich, jak i dla wysokości. Proces obliczeniowy został przeprowadzony poprawnie, nie wystąpiły bowiem błędy wynikające z:

- niewystarczającej jakości danych w plikach obserwacyjnych zarówno w sesji na punkcie pomiarowym, jak i ze stacji referencyjnych;
- niewłaściwego wyznaczenia centrów fazowych anten (poprzez ich złą identyfikację w programach obliczeniowych);
- niewłaściwej lub niewystarczającej eliminacji wpływów środowiska – różnej w każdej z trzech metod obliczeń.

Z kolei w odniesieniu do Instrukcji Technicznej G-2 [GUGiK, 2001]:

- uzyskane błędy wyznaczeń kwalifikują zarówno sposób pozyskania danych, jak i metody przeprowadzonych obliczeń do zastosowań w wyznaczeniach współrzędnych punktów z dokładnościami odpowiadającymi osnowom szczegółowym II_s klasy, gdzie błąd położenia punktu $m_p \leq 0,03$ m;

- średnie błędy wyznaczenia wysokości, osiągając wartość m_h poniżej 20 mm (dokładność lokalna), odpowiadają wymaganiom instrukcji względem wysokościowej osnowy szczegółowej IV klasy.

Analiza uzyskanych wyników pod kątem ich wiarygodności i powtarzalności jest możliwa dzięki temu, iż pomiary testowe zrealizowano na punktach sieci POLREF, co pozwoliło na ich odniesienie do pierwotnych katalogowych wartości (osnowa podstawowa I_s klasy zrealizowana technikami satelitarnymi – Kampania POLREF 1994). Wcześniejsze wyznaczenia zrealizowane na niemal wszystkich punktach sieci POLREF położonych w obszarze ASG-PL (Śląska i Małopolski) oraz wyniki zestawione w tabeli 1 prowadzą do kolejnych wniosków:

- oprócz wcześniej wskazanej wysokiej dokładności wyznaczeń, uzyskano również wysoką ich powtarzalność, tym samym każda z przedstawionych metod obliczeń uznana może być za realizującą wyznaczenia precyzyjne.
- niezależnie od przyjętej metody pozyskania danych i realizacji obliczeń wyniki wyznaczeń w układzie bezwzględny nie są gorsze niż 2 cm we współrzędnych płaskich oraz 3 cm w przestrzeni trójwymiarowej.

● DLACZEGO POLREF 1509 ODSTAJE OD RESZTY?

Jednak analiza wyników procedury testowej w oderwaniu od wcześniejszych badań wskazuje na mniejszą ich wiarygodność na niektórych punktach sieci POLREF. Szczególnie należy przyjrzeć się wynikom na punkcie POLREF 1509, na którym uzyskano największe błędy położenia wtórnie wyznaczanego punktu (blisko 4 cm we współrzędnych płaskich oraz 6 cm w przestrzeni trójwymiarowej). Jakkolwiek dla większości zastosowań ogólnogospodarczych taka wiarygodność jest akceptowalna, to skłania do poszukiwań przyczyn jej zmiany w zależności od zastosowanej metody obliczeń i obszaru realizacji pomiarów. Analiza zamieszczonych wyników oraz wcześniejsze badania realizowane na punktach sieci POLREF z wykorzystaniem systemu ASG-PL prowadzą do dwóch spostrzeżeń niezwykle istotnych przy ocenie wiarygodności wyznaczeń.

Po pierwsze, w systemie ASG-PL funkcjonują dwa zestawy współrzędnych stacji referencyjnych. Zgodnie z zarządzeniem nr 20 głównego geodety kraju z 18 listopada 2005 r. punkty odniesienia stacji referencyjnych (centra fazowe anten) sieci ASG-PL są osnową geodezyjną w rozumieniu przepisów ustawy *Prawo geodezyjne i kartograficzne* i są równoważne pod względem dokładności geodezyjnej osnowie poziomej I klasy. Załącznikiem nr 2 do zarządzenia jest wykaz współrzędnych stacji referencyjnych sieci ASG-PL i te współrzędne stacji KATO, KRAW, ZYWI, WODZ przyjęto jako bezbłędne nawiązanie w obliczeniach i wyrównaniach w pierwszej części te-

TABELA 2. WSPÓŁRZĘDNE STACJI REFERENCYJNYCH ASG-PL BIORĄCYCH UDZIAŁ W TESTACH (UKŁAD 1992)

Stacja referencyjna	Moduł obliczeniowy (program Bernese)			Katalog (załącznik zarządzenia GGK)			Różnice		
	X	Y	h*	X	Y	h*	ΔX	ΔY	Δh
KATOWICE	265120,706	502539,394	332,931	265120,730	502539,396	332,903	-0,024	-0,002	0,028
KRAKÓW	244725,690	565856,919	267,165	244725,707	565856,921	267,138	-0,017	-0,002	0,027
WODZIŚLAW	237126,681	461198,655	298,851	237126,693	461198,653	298,819	-0,012	0,002	0,032
ZYWLEC	202164,759	514851,116	412,838	202164,772	514851,116	412,803	-0,013	0,000	0,035

*] wysokości elipsoidalne

stów – w postprocessingu realizowanym przez użytkownika w jego własnym oprogramowaniu z wykorzystaniem danych z permanentnych stacji referencyjnych. Także w drugiej części testów – obliczeniach własnych użytkownika z nawiązaniem do statycznych wirtualnych stacji referencyjnych sVRS – współrzędnymi fizycznych stacji referencyjnych (zapisanymi w systemie VRS) były wartości podane w zarządzeniu i na ich podstawie system wygenerował dane dla statycznych obserwacji na stacjach wirtualnych.

Natomiast moduł obliczeniowy systemu ASG-PL wykorzystuje inne współrzędne stacji referencyjnych. Program Bernese wyznacza je w sposób autonomiczny w procesie ciągłego monitoringu stacji permanentnych ASG w nawiązaniu do stacji permanentnych sieci europejskiej (EPN) i stacji stowarzyszonych. W tabeli 2 zestawiono współrzędne stacji referencyjnych biorących udział w realizacji testów wraz z różnicami pomiędzy współrzędnymi funkcjonującymi w module obliczeniowym a współrzędnymi katalogowymi. Ponieważ autorowi nie udało się dotrzeć do opracowania, na podstawie którego sporządzono wykaz współrzędnych stacji referencyjnych (załącznik zarządzenia), nie podejmuje się ich oceny, zwracając jedynie uwagę na występujące rozbieżności

Wracając zatem do analizy wyników procedury testowej i oceniając wiarygodność wyznaczeń w pierwszej i drugiej części (gdzie obliczenia oparte były na katalogowych współrzędnych stacji referencyjnych) oraz części trzeciej (gdzie moduł obliczeniowy korzystał z własnych wyznaczeń współrzędnych stacji referencyjnych), można wnioskować, że różna ich wiarygodność względem punktów sieci POLREF jest efektem różnic we współrzędnych punktów nawiązania – stacji referencyjnych. Potwierdzeniem tego są wielkości różnic zestawionych w tabeli 2, których wpływ łatwo można odnaleźć w wynikach wyznaczeń testowych.

Po drugie, w wyznaczeniach testowych współrzędne punktów odniesienia (sie-

ci POLREF) potraktowano jako bezbłędne. W rzeczywistości, mimo iż stanowią podstawową osnowę dla wyznaczeń satelitarnych, zostały wyznaczone z błędami ($< 0,020$ m) względem punktów nawiązania sieci EUREF. Dlatego analizując wiarygodność wyznaczeń w przeprowadzonych testach, szczególnie w module obliczeniowym, który pośrednio realizuje nawiązania wprost do sieci EUREF poprzez stacje EPN, pamiętać należy o tym, że wiarygodność wszelkich wyznaczeń zależy od jakości nawiązania.

Jednak daleko większy wpływ na ocenę wiarygodności punktów odniesienia ma fakt, iż od kampanii POLREF minęło już 12 lat i punkty w różny sposób oparły się upływowi czasu, wykazując mniejszą lub większą stabilność. Punkt 1509 jest przykładem, na którym najwyraźniej widać wpływ niejednoznacznego określenia współrzędnych stacji referencyjnych oraz prawdopodobne (zaobserwowane już we wcześniejszych badaniach) przemieszczenie samego punktu ponad 2 cm w kierunku wschodnim.

Dla porządku wspomnieć należy o wpływie „czynnika ludzkiego” na jakość realizacji pomiarów satelitarnych, tym bardziej że jest on zazwyczaj niekorzystny. Zarówno w przypadku przeprowadzonych testów, jak i w statycznych pomiarach satelitarnych w ogólności, wpływ obserwatora na jakość prowadzonych pomiarów jest mocno ograniczony i sprowadza się w praktyce do konieczności poprawnego usytuowania anteny centralnie i poziomo nad punktem, dzięki czemu wyznaczenia współrzędnych realizowane technikami satelitarnymi osiągają niespotykaną dotychczas jakość i wiarygodność.

● JEST DOBRZE, ALE MOŻE BYĆ JESZCZE LEPIEJ

System ASG-PL osiągnął pełną zdolność operacyjną do realizacji zadań, dla których został zbudowany, przede wszystkim gospodarczych, ale i naukowo-badawczych. Myślę, że ten podstawowy wniosek potwierdzony został wy-

nikami przeprowadzonych testów. Do zadań gospodarczych wykorzystywane będą przede wszystkim wyznaczenia statyczne, które mogą być realizowane na trzy sposoby dostępne dla użytkowników w zależności od stopnia ich zaawansowania zarówno jeśli chodzi o sprzęt, jak i posiadane umiejętności w zakresie geodezji satelitarnej. Ponieważ nieustannie trzeba poszukiwać lepszych rozwiązań i doskonalić te istniejące (poprzez eliminację błędów, których ASG-PL ciągle jeszcze ma sporo) – są to potencjalne pola działań naukowo-badawczych. Poddawanie systemu okresowym modyfikacjom i nadążanie za postępem technologicznym stanowić ma istotę Sieci Geodezyjnej Aktywnej (a nie pasywnej – jak czasem bywa to postrzegana). Wszystkie modyfikacje i udoskonalenia ASG-PL mogą i powinny być realizowane w tle jej pełnego „produkcyjnego” wykorzystania, które w zakresie opisanym w testach możliwe było już w końcu 2004 roku. Wtedy to system poddany został najistotniejszej „genetycznej modyfikacji” (uruchomienie podsystemu VRS), dzięki której przeszedł na znacznie wyższy poziom technologicznego i funkcjonalnego rozwoju.

Niestety, obecnie nie wszystkie opisane w tym artykule możliwości ASG dostępne są dla użytkownika. O tym, dlaczego tak się dzieje, a także o nowych możliwościach, jakie wnosi do geodezji kinematyczny pomiar w trybie RTK z wykorzystaniem poprawek z permanentnych stacji referencyjnych, będzie można przeczytać w drugiej części artykułu. Wnioski płynące z całościowej analizy wyznaczeń statycznych i kinematycznych przyczynią się do odpowiedzi na pytanie: Do czego nadaje się genetycznie zmodyfikowana ASG-PL?

MACIEJ FILIPEK

jest pracownikiem Katedry Geodezji AR w Krakowie

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