

System monitorowania sieci polskich stacji referencyjnych GPS, cz. III –  
 artykuł recenzowany

# ANALIZA WYNIKÓW

System monitorowania POL\_EPN jest tylko jednym z możliwych rozwiązań pozwalających na szybką detekcję błędów na stacjach referencyjnych. Jego zaletą jest pełna kompatybilność przyjętej strategii z tą stosowaną w europejskiej sieci kontynentalnej EPN.

MARIUSZ FIGURSKI

Przednie części cyklu wprowadziły nas w zagadnienia związane z organizacją sieci stacji referencyjnych. Przedstawiłem metody opracowania danych satelitarnych, które wykorzystano w systemie monitorowania stacji referencyjnych POL\_EPN. Dowiedzieliśmy się, co należy uczynić, aby uzyskać wiarygodne współrzędne. W tej części analizowane będą zagadnienia interpretacji uzyskanych wyników: dokładność

i zakres zmian współrzędnych stacji referencyjnych w długim okresie oraz wpływ na to zmiany układów współrzędnych. Czy obecnie można mówić o statycznym układzie odniesienia w geodezji? Pytanie to jest aktualne, ponieważ prace nad niniejszym artykułem zbiegły się z wprowadzeniem nowego, globalnego układu odniesienia ITRF2005, co znalazło swoje odzwierciedlenie w tekście. Ponieważ poruszam problemy związane z zagadnieniami dokładności opracowań pomiarów GNSS, dlatego na wstępie podaję kilka podstawowych definicji.

## ● PRECYZJA I DOKŁADNOŚĆ POMIARU

Interpretacja wyników i ich błędów w geodezji satelitarnej ma inny charakter aniżeli w geodezji „klasycznej”. Dotyczy ona m.in. pojęć dokładności i precyzji wyznaczanych parametrów, którymi są także współrzędne stacji.

Ogólnie można je zdefiniować następująco (Hofmann-Wellenhof i in., 1997):

● **Precyzja** to miara wzajemnej bliskości powtarzanych pomiarów tej samej wielkości w identycznych warunkach. Na precyzję mają wpływ tylko błędy przypadkowe.

● **Dokładność** to miara bliskości pomiarów do wartości prawdziwej. Na dokładność mają wpływ zarówno błędy przypadkowe, jak i systematyczne.

W przypadku pomiarów GPS identyczność warunków dotyczy danej sesji pomiarowej. Musimy jednak pamiętać, że zwiększanie długości sesji wpływa na jednorodność warunków obserwacji. Dokładność współrzędnych GPS określa, jak bardzo wyniki obliczeń są zbliżone do ich wartości prawdziwych (których nie znamy, chyba że przyjmujemy wartości katalogowe). W przeciwnym razie z reguły określana jest wartość średnia i odchylenie standardowe z kilku lub kilkunastu sesji pomiarowych. Analizę dokładności współrzędnych można przeprowadzić, wykorzystując dwa kryteria:

**STRESZCZENIE:** W artykule przedstawione zostały ogólne podstawy teoretyczne interpretacji wyników opracowania obserwacji GNSS z sieci stacji referencyjnych. Szczególną uwagę zwrócono na kwestię precyzji i dokładności współrzędnych wyznaczanych technikami satelitarnymi GNSS. Analiza wyników uzyskanych w ciągu rocznego okresu pracy systemu POL\_EPN pozwoliła wyznaczyć błędy współrzędnych dla polskich stacji referencyjnych. Kształtują się one na poziomie kilku milimetrów. Dokonano analizy wpływu różnych eferemid precyzyjnych na dokładność wyznaczanych współrzędnych w systemie POL\_EPN. Pokazano również zalety ciągłego monitorowania stacji referencyjnych do identyfikacji błędów obserwacyjnych. Zweryfikowano strategie obliczeniowe stosowane w opracowaniach obserwacji GNSS przed i po 1400. tygodniu GPS.

**ABSTRACT:** In this article the general theoretical basics of interpretation of results of GNSS observations' adjustment from networks of reference stations were presented. The special attention was paid to precision of the coordinates determined from GNSS satellite techniques. Acquired analyses results during the one year of work time of POL\_EPN system allowed us to mark errors of Polish reference stations' coordinates. They are at the level of several millimetres. Influence of different precise ephemeris on POL\_EPN stations' coordinates precision was determined. It was also shown the advantages of permanent monitoring on reference stations to observational errors identification. The computation strategies uses in GNSS data adjustment before and after 1400 GPS week were verified as well.

● **odchylenia standardowe** współrzędnych (błędy średnie) uzyskane z macierzy kowariancji rozwiązania;

● **powtarzalność  $P$**  wyznaczanych współrzędnych.

Dobową powtarzalność współrzędnych wyznacza się z zależności (Blewitt, 1989):

$$P = \sqrt{\frac{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(R_i - R_m)^2}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}}}$$

gdzie:  $n$  – liczba sesji pomiarowych (w przypadku obserwacji dobowych jest to liczba dób pomiarowych),  $R_i$  – wyznaczone wartości współrzędnych,  $\sigma_i$  – błąd średni współrzędnych z opracowania obserwacji,  $R_m$  – średnia wartość współrzędnych z  $n$  dni pomiarowych danej stacji.

Rozważając kwestie dokładności i precyzji pomiarów GNSS, w literaturze przedmiotu, szczególnie w polskojęzycznych opracowaniach z zakresu wykorzystania technik satelitarnych, stykałem się ze sformułowaniem, że w eksperymentach pomiarowych RTK otrzymano błąd wyznaczenia na poziomie 1 mm, natomiast kilkakrotnie powtórzone pomiary mają rozrzut na poziomie kilku centymetrów. Z czego to wynika i gdzie leży przyczyna takiego stanu rzeczy?

Otóż, wykonując opracowanie numeryczne obserwacji GNSS, każdy operator zarówno prostego, jak i bardzo zaawansowanego programu zetknął się z problemem oceny wyników. W przypadku pomiarów bezpośrednich służy do tego błąd średni. Natomiast pomiary GNSS trzeba traktować jako pseudoobserwacje uzyskane za pośrednictwem odbiornika GNSS, które są danymi wejściowymi programów obliczeniowych. Dopiero w takim kontekście można rozważać kwestię dokładności. Można by np. powiedzieć, że w pomiarach RTK nie ma wydzielonego modułu oprogramowania. Jednak takie stwierdzenie byłoby niesłuszne, ponieważ programy generujące poprawki różnicowe i powierzchniowe odgrywają tę właśnie rolę. Przedstawiona interpretacja dokładności oraz precyzji pomiarów i opracowań GNSS może być wykorzystana do każdego rodzaju obserwacji: od tych najdokładniejszych (będących domeną stacji referencyjnych) do nawigacyjnych.

## ● SUBIEKTYWNE KROKI OPRACOWANIA

Warto też wiedzieć, że na dokładność opracowań GNSS mają wpływ również czynniki subiektywne. Większość stosowanych obecnie opracowań dopuszcza działania (interakcje) zależne przede wszystkim od wiedzy osoby wykonującej analizę. Na ten fakt zwracałem uwagę w II części cyklu, podkreślając rolę zmian modeli i parametrów brzegowych stosowanych w obliczeniach. Do działań subiektywnych należy zaliczyć również wybór kryterium najlepszego dopasowania modeli i danych. Większość statystycznych analiz danych GNSS prowadzi się, wykorzystując metodę najmniejszych kwadratów. Jak wiadomo, jest ona optymalna i daje najbardziej wiarygodne estymatory, o ile pomiary mają rozkład normalny (gaussowski) i nie ma wśród nich pomiarów odstających. Obserwacje GNSS, podobnie jak np. VLBI, w sposób oczywisty nie spełniają tych warunków (Dach i in., 2007). Popularność metody najmniejszych kwadratów wynika z łatwości użycia, czego dowodem jest jej częste wykorzystywanie w programach obróbki danych GNSS. Na ten problem zwracał już uwagę K. Borkowski (1993) w artykule dotyczącym opracowań obserwacji VLBI, które przytaczam w odniesieniu do opracowań GNSS.

Do subiektywnych kroków opracowania zaliczyć również można konstrukcję modelu stochastycznego – metody wagiowania pomiarów. Analizując wstępne wyniki opracowań GNSS, można zauważyć, że rozrzuty wokół otrzymanych rozwiązań (np. Bernese 5.0, Gamit 10.3) są kilkunastokrotnie większe niż oceny błędów pomiarów, co może wskazywać na istnienie błędów systematycznych (Dach i in., 2007). Objawia się to znacznie większą od jedności wartością parametru:

$$\frac{\chi^2}{N}$$

gdzie:  $\chi^2$  – wyznaczona na podstawie poprawek obserwacji wartość zmiennej losowej,  $N$  – liczba stopni swobody, tj. liczba pomiarów zmniejszona o liczbę estymowanych parametrów.

Wyjściem z tej sytuacji jest zmiana wagi pomiarów. Nowe wagi oblicza się w procesie iteracyjnym tak, by na każdej bazie sieci  $\chi^2$  było bliskie  $N$  (praktycznie początkową wariancję koryguje się o pewną stałą charakterystyczną dla danej bazy).

Skorygowane wariancje informują nas o dokładności pomiaru poszczególnych parametrów (wartości są zwykle przeszacowane). Dlatego w każdym opracowaniu powinna być podana metodyka prowadzenia obliczeń, co jest głęboko uzasadnione wobec istnienia subiektywnych kroków analizy.

Ostatnio coraz częściej używa się jako rozwiązania alternatywnego estymacji parametrów z wykorzystaniem metody filtracji Kalmana w celu uwzględnienia stochastycznego charakteru dopasowywanych parametrów (tych, które zmieniają się w czasie obserwacji). Odnosi się to głównie do parametrów atmosfery i zegarów, a w metodach RTK ten sposób liczenia w wielu przypadkach jest jedynym rozwiązaniem, aby estymować parametry w czasie rzeczywistym.

## ● STARE I NOWE MODELE I STRATEGIE

Ponieważ zbiór wyników uzyskany dla wszystkich stacji jest bardzo obszerny, ograniczę się tylko do ciekawszych przypadków wybranych z całego okresu objętego badaniami. Po pierwsze, chciałbym odnieść się do kwestii precyzji pomiarów, którą rozważałem już poprzednio. W II części cyklu artykułów podane zostały współrzędne monitorowanych stacji referencyjnych w Polsce. Wartości błędów średnich współrzędnych dla wszystkich stacji w całym okresie badań wyznaczone niezależnie z każdej sesji pomiarowej osiągają od 0,1 do 0,5 mm dla składowych płaskich i blisko 1 mm dla wysokości. Należy podkreślić, że podane wartości błędów średnich uzyskane wprost z opracowania pokazują precyzję opracowania, ale nie mówią nic o dokładności. Do określenia dokładności współrzędnych wykorzystamy drugie z przedstawionych kryteriów oceny bazujące na badaniu ich powtarzalności w kolejnych sesjach pomiarowych.

Z uwagi na redefinicję układu ITRF w 2006 roku i wprowadzoną nową strategię obliczeniową zgodną z EPN, analiza dokładności została wykonana w dwóch wariantach. Pierwszy wariant zakładał wykorzystanie strategii obliczeniowej, która obowiązywała do 1400. tygodnia GPS. Natomiast drugi – dotyczył strategii opisanej w poprzedniej części cyklu, zalecanej dla nowej realizacji układu ITRF (ITRF2005). Przypomnę, czym różnią się te strategie. Stara zakładała wykorzystanie modeli względnych i danych satelitów od 10° nad horyzontem. Nowa natomiast zakłada wykorzystanie modeli



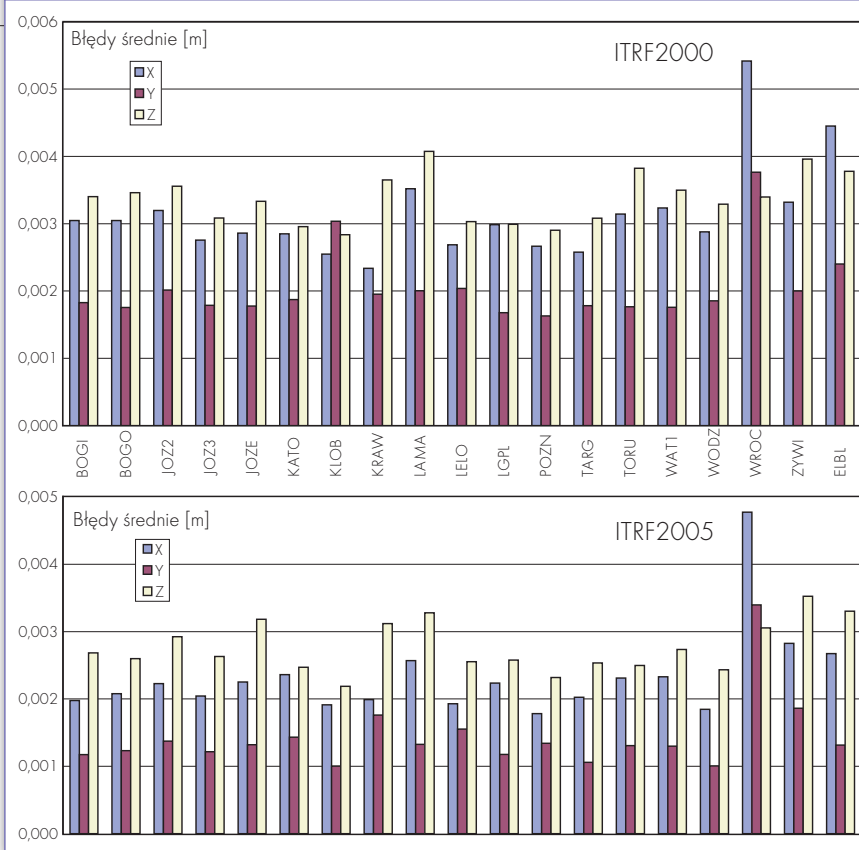
absolutnych anten oraz danych satelitów od 3° nad horyzontem. Oczywiście nie są to wszystkie zmiany w nowej strategii obliczeniowej, ale te są przyczyną problemów z zachowaniem ciągłości zmian współrzędnych.

Dzięki obniżeniu minimalnej wysokości śledzenia satelitów liczba obserwacji wzrasta o blisko 20%, ale jednocześnie znacznie mocniej zaczyna wpływać refrakcja troposferyczna i jonosferyczna. Z tego powodu należy poszukiwać nowych, doskonalszych modeli opisujących refrakcję. W prezentowanych obliczeniach wykorzystano nowy model refrakcji troposferycznej GMF opracowany na podstawie numerycznych modeli pogody (Boehm i in., 2006). W porównaniu z ogólnie stosowanym modelem Niella zwiększa on powtarzalność współrzędnych wyników w przypadku włączenia do opracowania satelitów poruszających się nisko nad horyzontem.

Aby pokazać skuteczność nowych modeli i strategii obliczeniowych, przeprowadzono dwa niezależne cykle obliczeniowe obserwacji wykonanych na stacjach referencyjnych od maja do listopada 2006 r., czyli w okresie poprzedzającym wprowadzenie zarówno tych modeli i strategii, jak i i układu ITRF2005. Na rysunku 1 pokazane są błędy średnie współrzędnych geocentrycznych w układzie ITRF2000 wyznaczone z ich powtarzalności w kolejnych sesjach dobowych. Obserwacje w tym przypadku zostały opracowane zgodnie ze starą strategią obliczeniową zakładającą wykorzystanie modeli względnych anten. Natomiast rysunek 2 pokazuje błędy średnie współrzędnych geocentrycznych z tego samego okresu, ale wyznaczone w układzie ITRF2005 dla nowej strategii obliczeniowej.

Analizując błędy średnie prezentowanych rozwiązań, łatwo zauważymy, że dyspersja (rozrzut rozwiązań) w przypadku nowej strategii jest mniejsza, i to dla wszystkich składowych geocentrycznych, co potwierdza postawioną tezę o lepszym dopasowaniu obserwacji i modeli w procesie opracowania. Jeśli jednak porównamy wyznaczone błędy średnie (dokładność) z błędami opracowania kolejnych sesji pomiarowych (precyzja), które są na poziomie 0,1 mm, to zauważymy, że są one dziesięciokrotnie większe. Uzyskany wynik jest potwierdzeniem postawionej wcześniej tezy o nieusuniętych błędach systematycznych w obliczeniach i wskazuje na potrzebę prowadzenia dalszych

**RYŚ. 1, 2. BŁĘDY ŚREDNIE WSPÓŁRZĘDNYCH GEOCENTRYCZNYCH W UKŁADZIE ITRF2000 I ITRF2005**



badań nad tymi błędami w obserwacjach GNSS. Dzięki wprowadzeniu nowej, lepiej zdefiniowanej wersji układu ITRF oraz nowych modeli i strategii obliczeniowej zmniejszyły się błędy średnie współrzędnych, a wartości współrzędnych w systemie ETRS'89 dwóch prezentowanych strategii (uzyskane zgodnie z algorytmem opisanym w II części cyklu), różnią się na niektórych stacjach nawet o 1,5 cm, co wyraźnie widać na rysunku 3.

● **SKUTKI WPROWADZENIA MODELI ABSOLUTNYCH ANTEN GPS**

Efekt taki nie był obserwowany w poprzednich redefinicjach układu ITRF. Głównym powodem różnic współrzędnych przy przejściu z układu ITRF2000 do ITRF2005 jest bowiem inny sposób modelowania zmian położenia centrum fazowego anten. Redefinicja układu ITRF i wprowadzenie nowych modeli mają w tym przypadku drugorzędne znaczenie. Taka teza może być postawiona nawet na podstawie analizy wykresu 3. Na stacjach w Józefosławiu, Toruniu i WAT wykorzystywane są podobne typy anten firmy Trimble (odpowiednio: 4000SE/ST L1/L2, COMPACT GP L1/L2 i MicroCentered L1/L2 w GP). Pozostałe stacje wyposażone są w anteny z modułami Dorne Margolin wielu firm i tam różnice są największe. Model względny

zakładał bezbłądność charakterystyki anteny z modułem Dorne Margolin, natomiast modele absolutne wykonywane są dla konkretnych typów anten. Stąd wynikają większe różnice współrzędnych dla anten Dorne Margolin, co w konsekwencji prowadzi do zaburzenia ciągłości ich zmian. Powstaje więc pytanie, w jaki sposób tę ciągłość zachować?

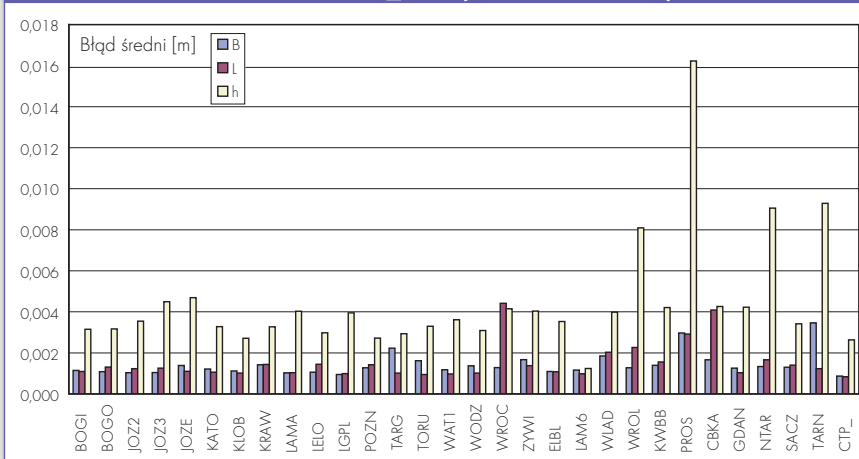
Zaproponować można dwa rozwiązania. Pierwsze zakłada wyznaczenie wartości przesunięcia między współrzędnymi wyznaczonymi z modelami względnymi i absolutnymi. Drugie rozwiązanie przewiduje wykonanie ponownego opracowania danych archiwalnych zgodnie z nową strategią i nowymi modelami absolutnymi anten. Jedno i drugie rozwiązanie ma swoje wady i zalety. Główną wadą pierwszego rozwiązania jest problem z oszacowaniem błędów wynikającego ze zmiany modeli anten, w drugim – problem czasochłonności obliczeń. Drugie rozwiązanie zostało zrealizowane w sieci IGS w 2005 roku oraz w prezentowanym systemie POL\_EPN, podobne przedsięwzięcie planowane jest w najbliższym czasie dla sieci EPN (Steigenberger i in., 2006).

Na rysunkach 1 i 2 przedstawione są błędy dla części stacji referencyjnych, które były włączone do systemu POL\_EPN przed listopadem 2006. Z początkiem 2007 roku włączono kolejne stacje, w tym z województwa małopolskiego.

**RYS. 3. RÓŻNICE WSPÓŁRZĘDNYCH GEOCENTRYCZNYCH W SYSTEMIE ETRS'89, REALIZACJA ETRF2000 I ETRF2005**



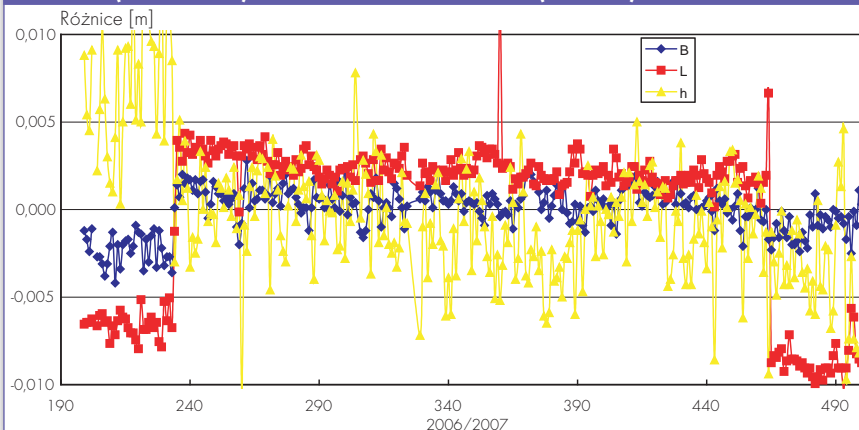
**RYS. 4. BŁĘDY ŚREDNIE WSPÓŁRZĘDNYCH ELIPSOIDALNYCH W SYSTEMIE ODNIESIENIA ETRS89 STACJI REFERENCYJNYCH LICZONYCH W SYSTEMIE POL\_EPN (11.2006-5.2007)**



Dostęp do tych danych uzyskaliśmy już po redefinicji układu ITRF. Rysunek 4 prezentuje błędy średnie uwzględniające stacje małopolskie, na ogół porównywalne z pozostałymi stacjami opracowywanymi w systemie POL\_EPN. Odstają od nich jedynie stacje PROS, NTAR, TARN, na których zauważalny jest wzrost błę-

du w składowej wysokościowej. Podobny efekt występuje na stacji WROL i WROC. W celu wyjaśnienia tego zjawiska prześledźmy dokładniej, jak zmieniały się ich współrzędne w badanym interwale czasu. Rysunek 5 pokazuje zmiany współrzędnych stacji Wrocław (WROC) od 18 lipca 2006 r. do 26 maja 2007 r.

**RYS. 5. ZMIANY WSPÓŁRZĘDNYCH ELIPSOIDALNYCH W SYSTEMIE ETRS89 (ETRF2005) NA STACJI WROCŁAW (WROC) 18.07.06-26.05.07**



## • INNE PRZYCZYNY ZMIAN WSPÓŁRZĘDNYCH

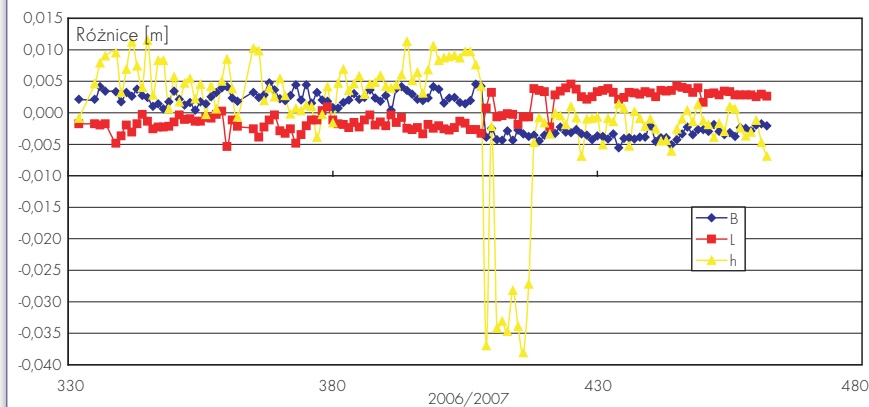
Przykład stacji WROC pokazuje problemy, z jakimi możemy mieć do czynienia w czasie eksploatacji stacji referencyjnej. Analizując wykres, zauważamy dwa momenty, kiedy wystąpiło zaburzenie zmian współrzędnych. 21 sierpnia 2006 r. na rysunku widoczne są zmiany współrzędnych dla wszystkich składowych elipsoidalnych dochodzące do 1 cm. Przyczyną było uruchomienie w bezpośrednim sąsiedztwie stacji przekaźnikowej telefonii komórkowej. Drugie zaburzenie ciągłości wystąpiło w kwietniu 2007 r., a powodem była zmiana odbiornika i anteny. Wymieniono antenę firmy Ashtech (ASH701941.1 SNOW) na antenę firmy Leica (LEIAT504GG LEIS). Mimo że obydwie anteny wyposażone są w moduł Dorne Margolin, to współrzędne stacji uległy zmianie. Antena Leiki jest technologicznie lepsza i bardziej odporna na zakłócenia elektromagnetyczne, co wiadać z przebiegu zmian współrzędnych na rysunku 5. Uruchomienie nowej anteny pozwoliło uzyskać podobne współrzędne horyzontalne, jakie były wyznaczane przed uruchomieniem przekaźnika telefonii komórkowej, ale pozostała różnica w składowej pionowej.

Następnym przykładem analizy stabilności współrzędnych stacji referencyjnych jest stacja Proszowice wchodząca w skład Małopolskiego Systemu Pozycjonowania Satelitarnego (MSPS). Wszystkie stacje w Małopolsce są wyposażone w odbiorniki firmy Trimble z antenami Zephyr Geodetic. Rysunek 6 prezentuje zmiany współrzędnych geodezyjnych w systemie ETRS89 stacji Proszowice. Zmiany współrzędnych horyzontalnych (szerokość i długość geodezyjna) charakteryzują się niewielką dyspersją, porównywalną do pozostałych stacji opracowywanych w systemie POL\_EPN. Natomiast wysokość charakteryzuje się rozrzutem wokół wartości średniej prawie dwukrotnie większym od składowych horyzontalnych. Dodatkowo w niektórych okresach wysokość zmienia się nawet o kilka centymetrów! Z uwagi na brak informacji o sposobie instalacji anteny w Proszowicach oraz zainstalowanych w pobliżu urządzeń będących źródłem zakłóceń elektromagnetycznych, trudno powiedzieć, co jest przyczyną tych zmian.

Dwa kolejne ciekawe przypadki to stacje w Nowym Targu i Tarnowie. Na rysunkach 7 i 8 pokazano zmiany ich współrzędnych geocentrycznych w systemie ETRF89. W obydwu przypadkach widocz-



**RYS. 6. ZMIANY WSPÓŁRZĘDNYCH ELIPSoidalNYCH W SYSTEMIE ETRS89 (ETRF2005) NA STACJI PROSZOWICE (PROS) 28.11.06-9.05.07**



tych stacji można zaobserwować pojedyncze rozwiązania, które przekraczają kilkakrotnie poziom wyznaczonych błędów średnich. Dodatkowo obserwowana jest wyraźna okresowość miesięczna zmian współrzędnych. Na obecnym etapie badań nie można jednoznacznie określić przyczyn. Wskazane jest przeprowadzenie dodatkowych badań i analiz, szczególnie uwzględniających lokalne modele pływowe litosfery. Biorąc powyższe pod uwagę, w kontekście pomiarów GNSS można mówić tylko o quasistatycznym układzie odniesienia i tak należy traktować europejski system ETRS'89.

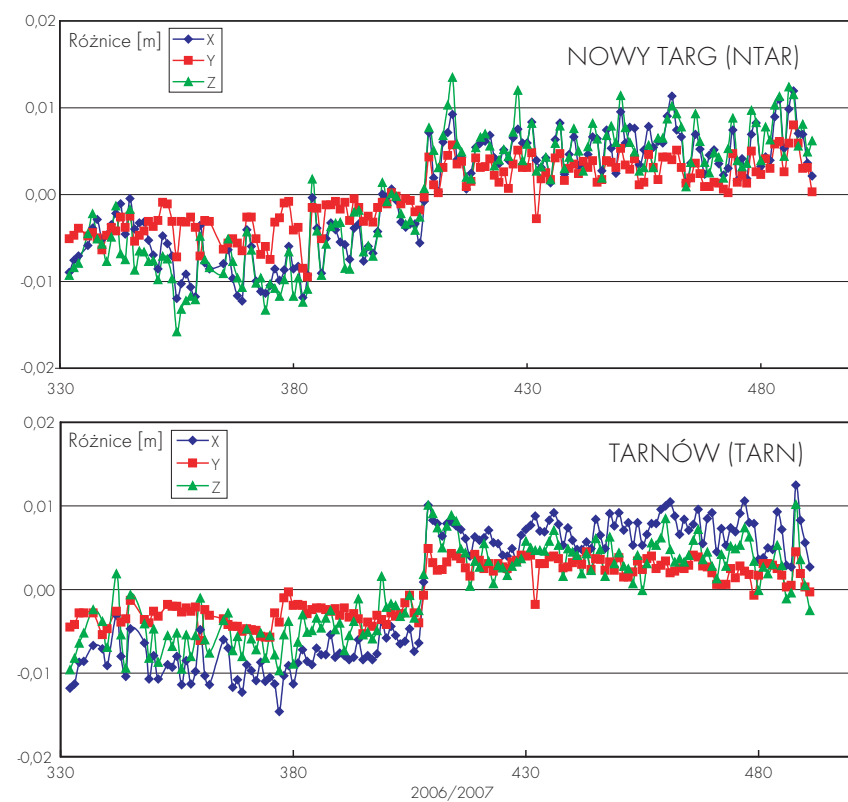
Na zakończenie chciałbym jeszcze odnieść się do współrzędnych stacji referen-

ny jest podobny charakter zmian współrzędnych geocentrycznych o dużej dyspersji, co jest odzwierciedlone na wykresie błędów średnich (rys. 4). Zmiany współrzędnych tych stacji są zaskakująco podobne pomimo kilkudziesięciokilometrowej odległości pomiędzy nimi. Sytuacja taka nie jest obserwowana na stacji w Nowym Sączu, która leży pomiędzy stacjami w Nowym Targu i Tarnowie. Niepokojące są zmiany wysokości elipsoidalnych obserwowane na tych stacjach, co wyraźnie widać na rysunku 9. W okresie tylko kilku miesięcy wysokość zmieniła się o blisko 2 cm! Źródłem tych zmian może być sama lokalizacja i sposób instalacji anteny na wybranych budynkach użyteczności publicznej. Najbardziej zagadkowa jest zmiana w współrzędnych zarejestrowana 26 lutego 2007 r., którą można utożsamiać ze zmianą anteny, ale jest to tylko niesprawdzone przypuszczenie. Tak czy inaczej, na opisanych stacjach występują największe zmiany współrzędnych spośród analizowanych stacji referencyjnych w Polsce, co z punktu widzenia ich geodezyjnego wykorzystania jest bardzo niepokojące.

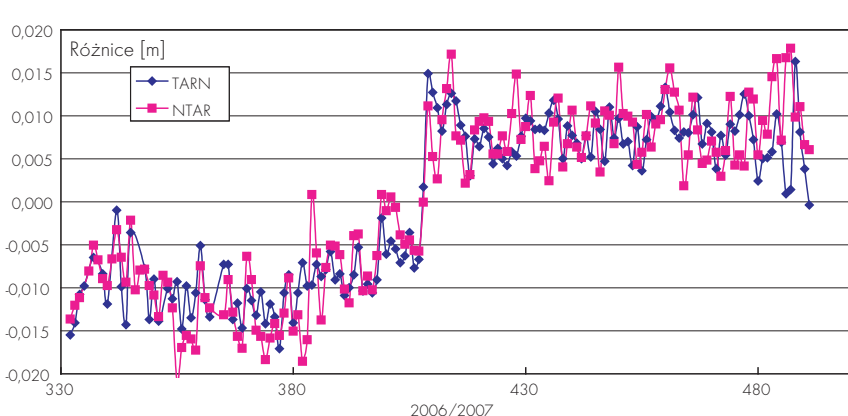
● **POTRZEBA DALSZYCH BADAŃ**

Przykładami poprawnego działania są stacje referencyjne w Józefosławiu i Wojskowej Akademii Technicznej, których zmiany współrzędnych są zobrazowane na rysunkach 10 i 11. Antena GPS w Józefosławiu jest zamontowana na specjalnym postumencie betonowym trwale związanym z gruntem, a w WAT na dachu budynku na specjalnej kratownicy trwale związanej ze ścianą nośną budynku. Wybór miejsca instalacji anteny na stacji WAT1 został poprzedzony badaniami dynamicznymi, które pozwoliły wybrać najbardziej stabilny punkt konstrukcyjny budynku. Pomimo dobrej stabilizacji

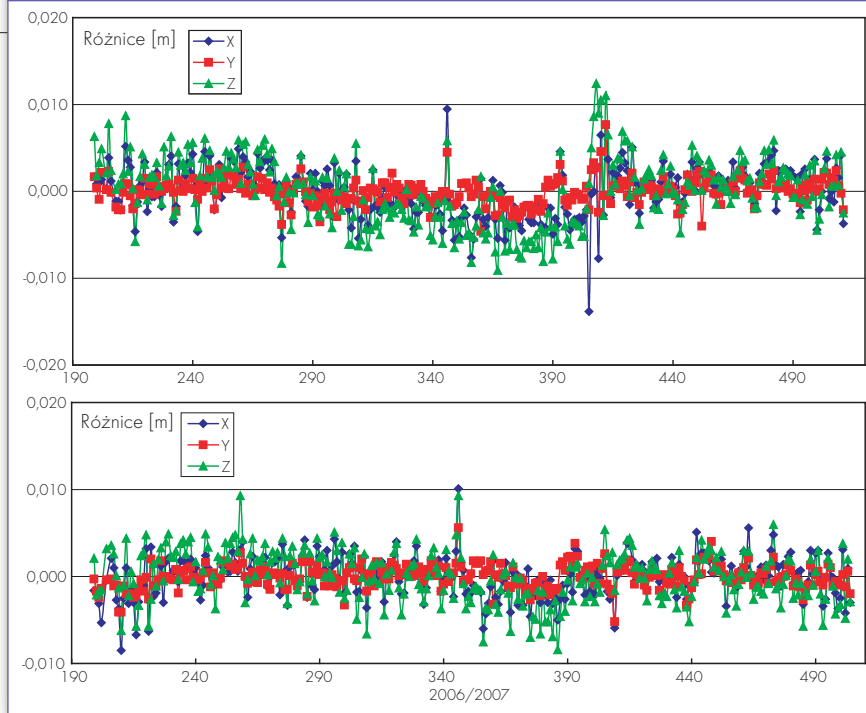
**RYS. 7, 8. ZMIANY WSPÓŁRZĘDNYCH GEOCENTRYCZNYCH W ETRS89 (ETRF2005): NOWY TARG (NTAR) I TARNÓW (TARN)**



**RYS. 9. ZMIANY WYSOKOŚCI ELIPSoidalNEJ (ETRF2005) NA STACJI TARNÓW I NOWY TARG**



RYS. 10, 11. ZMIANY WSPÓŁRZĘDNYCH GEOCENTRYCZNYCH W SYSTEMIE ETRS89 (ETRF2005) JÓZEFOSŁAW (JOZE) I WAT (WAT1)



cyjnych opublikowanych w załączniku do zarządzenia głównego geodety kraju nr 20 z 18 listopada 2005 r., a opracowanych w ASG-PL. Na rysunku 12 przedstawiono różnice współrzędnych z opracowania w systemie POL\_EPN zgodnie z nową strategią obliczeniową i tych z ASG-PL. W celu lepszego ukazania różnic współrzędne elipsoidalne zostały przeliczone do układu 1992. Ich wartości na ogół nie przekraczają 1 cm. Znacznie większe różnice występują dla wysokości elipsoidalnej. Dochodzą one nawet do 2 cm i nie mają charakteru przesunięcia systematycznego, z czego można wnioskować o niejednorodności rozwiązania z ASG-PL.

● SYSTEM MONITOROWANIA POL\_EPN I CO Z NIEGO WYNIKA

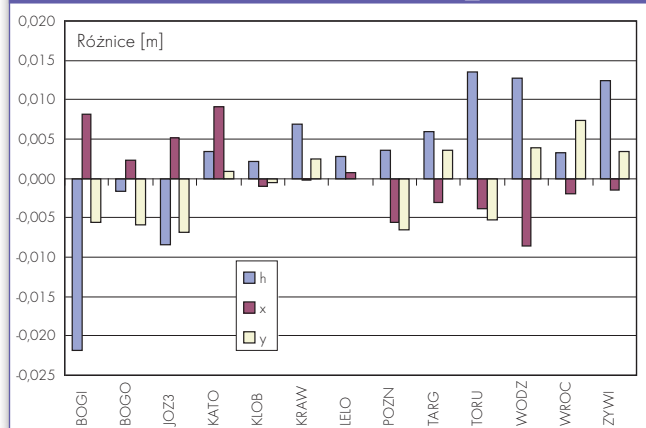
W pracy analizowane były głównie rozwiązania z pierwszego poziomu monitorowania, który wykorzystuje efemerydy precyzyjne IGS *final* dostępne kilka dni po zakończeniu obserwacji. Równoległe system pracuje na drugim poziomie mo-

onitorowania, o czym pisałem w I części cyklu, z wykorzystaniem efemeryd precyzyjnych IGS *rapid* i *ultra rapid*. Błędy średnie współrzędnych wyznaczane w poziomie drugim są tylko około 10% gorsze od błędów uzyskiwanych z poziomu pierwszego monitorowania. Wobec tego w praktyce geodezyjnej można wykorzystywać zamiennie wszystkie typy efemeryd precyzyjnych lub monitorować stacje referencyjne i weryfikować ich obserwacje.

Przestawiona problematyka analizy obserwacji rejestrowanych na stacjach referencyjnych nie wyczerpuje tematu. Opisując różne zagadnienia związane bezpośrednio lub pośrednio z opracowaniem obserwacji i monitorowaniem zmian współrzędnych, chciałem zwrócić uwagę, że stacje referencyjne poza wieloma zaletami mają też swoje wady. System monitorowania POL\_EPN jest tylko jednym z możliwych rozwiązań, które pozwala na szybkie wykrycie błędów, jednak nie pozwala na ich eliminację. Za-

letą przedstawionego rozwiązania jest pełna kompatybilność przyjętej strategii z tą stosowaną w europejskiej sieci kontynentalnej EPN. Gwarantuje ono jednolite opracowanie wszystkich obserwacji i możliwość porównywania współrzędnych

RYS. 12. RÓŻNICE WSPÓŁRZĘDNYCH 13 STACJI OPRACOWANYCH W SYSTEMIE POL\_EPN I ASG-PL



z rozwiązaniami EPN, oczywiście tylko dla tych stacji, które są opracowywane w EPN i POL\_EPN. Różnice te wahają się w przedziale od 0,5 do 1 cm, co wskazuje na poprawność przyjętego rozwiązania w systemie POL\_EPN.

Przeprowadzona analiza zmian współrzędnych wykazała różne zaburzenia w ich ciągłości. Mają one charakter aperiodyczny, a ich przyczyny na ogół nie są znane. Zaburzenia te mogą być źródłem błędów w pomiarach czasu rzeczywistego, np. RTK, co należy brać pod uwagę, wykonując pomiary GNSS z wykorzystaniem sieci stacji referencyjnych.

DR HAB. INŻ. MARIUSZ FIGURSKI,  
prof. WAT, prodziekan ds. naukowych  
Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji  
Wojskowej Akademii Technicznej  
im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie  
Recenzent: PROF. IRENEUSZ WINNICKI,  
dziedkan WILiG WAT w Warszawie

Opracowanie powstało w ramach prac statutowych  
Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji WAT

**Podziękowania**  
Na zakończenie cyklu trzech artykułów poruszających problematykę monitorowania stacji referencyjnych w Polsce chciałbym podziękować wszystkim moim kolegom z zespołu Geomatyki Stosowanej Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji WAT, którzy pracowali przy budowie systemu i analizie wyników. Chciałbym podziękować również wszystkim właścicielom stacji referencyjnych w Polsce za bezpłatne udostępnienie obserwacji, bez których nie byłoby możliwe wykonanie przedstawionych analiz. W szczególności składam podziękowania prezesom: GUGiK, OPEGIEKA Sp. z o.o. w Elblągu, Zarządu Geofizyka Toruń Sp. z o.o., Zarządu BOT KWB Bełchatów S.A. oraz ZGiKM GEOPOZ (Pion Geodezji i Informacji Przestrzennej) z Poznania.  
**Literatura:**  
•Boehm J., Niell A., Tregoning P., Schuh H. (2006): Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data, *Geophysical Research Letters*, Vol. 33;  
•Borkowski M. K., 1993: Radiowa interferometria wielkobazowa (VLBI), Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu;  
•Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M., (eds.) (1996): Bernese GPS Software Version 5.0, Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland, September 2007;  
•Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. (1997): *Global Positioning System Theory and Practice*. Springer-Verlag Wien, New York;  
•Steigenberger P., Romero I. Fang P. (2006): *Reprocessing Issues, Standardization, New models*, IGS Workshop, 28.04.2006.

**SPROSTOWANIE**

W I części cyklu artykułów o monitorowaniu sieci stacji referencyjnych (GEODETA 6/2007) wkraść się błąd w dacie uruchomienia stacji permanentnej Czerski Trade Polska (CTP\_) w Warszawie. Zaczęła ona działać w 2005 r., a nie w 2007, jak podałem. Zainteresowanych przepraszam.

Autor