

Pomiary GNSS-RTK na długich wektorach

Daleko i dokładnie

Jednym z podstawowych mankamentów pomiarów RTK jest wymóg pracy w niewielkiej odległości od stacji referencyjnej. Jeśli wierzyć producentom sprzętu, w ostatnich latach dokonał się w tym zakresie spory postęp. Czy rzeczywiście?

Jerzy Królikowski

Zalecenia techniczne wydane w 2011 r. przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii mówią jasno: korzystając z pojedynczej stacji referencyjnej, należy mierzyć w odległości nie większej niż 30 km od niej. A przy pomiarach szczegółów I grupy dokładnościowej ten dystans nie powinien przekraczać 15 km. Choć oczywiście zalecenia te nie są i nigdy nie były obowiązującymi przepisami prawa, podczas weryfikacji prac geodezyjnych część PODGiK-ów wymaga ich przestrzegania.

Z drugiej strony geodeci słyszą zapewnienia dystrybutorów odbiorników GNSS, że ich sprzęt świetnie radzi sobie na znacznie dłuższych wektorach. Często padają odległości 70 czy 80 km, choć niektórzy licytują nawet do 100 km. Producenci sprzętu są w tej kwestii bardziej powściągliwi i rzadko kiedy podają dopuszczalną długość wektora. W informacjach prasowych ogólnikowo chwalą się jednak, że dokonują wyraźnych postępów w tej dziedzinie.

Ktoś może zauważyć, że w warunkach polskich praca na długich wektorach to wydumany problem. Biorąc przecież pod uwagę gęstą sieć stacji ASG-EUPOS oraz to, że oferuje ona korekty sieciowe RTN (tj. wyznaczone nie z jednej, ale kilku sąsiednich stacji), mamy mało miejsc, gdzie można przekroczyć limity ze wspomnianych zaleceń GUGiK. Przynajmniej kilka argumentów przemawia jednak za tym, że i polskich użytkowników może kusić praca na dłuższych wektorach. Po pierwsze, korekty RTK są w ASG-EUPOS tańsze niż RTN. Po drugie, część dystrybutorów sprzętu satelitarnego oferuje włas-

ne strumienie korekt, które udostępniają klientom na preferencyjnych warunkach (czasem nawet za darmo). Niektóre z tych rozwiązań to albo sieci pokrywające tylko część kraju, albo wręcz pojedyncze stacje. Po trzecie, jak sygnalizują dystrybutorzy, w ostatnich latach geodeci coraz chętniej inwestują we własne stacje referencyjne. Przyjmuje się, że pojedyncza instalacja pokrywa mniej więcej jeden powiat. Gdyby jednak jej zasięg znacznie zwiększyć, przed wykonawcą otwierałyby się nowe rynki (lub pojawiały oszczędności

na opłatach za korekty, gdy pracuje poza swoim powiatem).

Można też dorzucić argument, że wprawdzie w Polsce mamy mnóstwo stacji, ale poza granicami naszego kraju często nie jest już tak różowo. Podczas „prac eksportowych” owe 30 km stają się zatem niekiedy poważnym ograniczeniem. Na marginesie warto dodać, że sporo prac naukowych na temat pomiarów na długich wektorach jest realizowanych w regionach, które z różnych względów trudno objąć gęstą siecią stacji, np. w wyspiarskiej Indonezji.



Od lewej: Stonex S800 i Stonex S900

Fot. Jerzy Królikowski

Różnice między współrzędnymi i odległościami referencyjnymi a pomierzonymi na wektorach o różnej długości [cm]

Stonex S900

stacja ref.	inicjalizacja	ΔX	ΔY	ΔP	ΔH	Δd (1)	Δd (2)	Δd (3)
Warszawa (CBK PAN)	1.	-0,3	-0,2	0,3	-0,5	0,3	0,2	0,2
	2.	-0,2	-0,8	0,8	0,6			
Józefostaw	1.	-0,6	-2,0	2,0	-0,3	0,3	0,6	0,0
	2.	-1,7	-2,0	2,6	-0,5			
Nowy Dwór Mazowiecki	1.	-2,5	-2,6	3,6	-0,8	-0,7	-0,2	-0,3
	2.	-2,6	-2,5	3,6	-0,3			
Sochaczew	1.	-1,3	-1,8	2,2	0,4	0,0	-0,2	-1,0
	2.	-1,4	-2,2	2,6	1,0			
Kutno	1.	-2,4	-1,3	2,7	1,1	-0,2	0,6	0,4
	2.	-2,5	-1,8	3,0	0,0			
Konin	1.	-1,6	-1,9	2,4	0,5	0,6	-0,1	0,6
	2.	-3,5	-2,0	4,0	3,1			
Poznań	1.	-2,2	-1,1	2,4	0,5	-0,2	-0,5	-0,4
	2.	-2,3	-1,0	2,5	-0,5			
VRS	1.	-0,6	-0,3	0,6	0,6	0,1	0,3	-0,8

Stonex S800

stacja ref.	inicjalizacja	ΔX	ΔY	ΔP	ΔH	Δd (1)	Δd (2)	Δd (3)
Warszawa (CBK PAN)	1.	-0,1	0,1	0,1	-0,2	-1,0	0,0	0,1
	2.	-0,2	0,5	0,6	-0,2			
Józefostaw	1.	-2,1	-1,8	2,7	0,1	-0,2	-0,4	-0,1
	2.	-0,7	-1,2	1,3	-2,1			
Nowy Dwór Mazowiecki	1.	-1,5	-3,0	3,3	3,0	-1,5	-2,3	-3,5
	2.	-5,4	-2,2	5,8	-3,3			
Sochaczew	1.	-1,5	-1,4	2,0	-1,5	0,6	0,3	-0,4
	2.	-3,0	-1,6	3,4	-0,9			
Kutno	1.	-1,3	1,8	2,2	3,7	-2,5	-1,4	5,9
	2.	3,2	5,6	6,5	-3,5			
Konin	1.	8,6	2,9	9,1	18,0	0,1	0,7	3,3
	2.	4,1	6,6	7,8	12,3			
Poznań	1.	brak rozwiązania				brak rozwiązania		
	2.	brak rozwiązania						
VRS	1.	-0,1	0,1	0,1	0,5	0,2	0,1	0,0
	2.	0,2	-0,4	0,4	0,4			

• Łyk teorii

Od razu spróbujmy udzielić odpowiedzi na najbardziej nurtujące pytanie: na jak długim wektorze można bezpiecznie mierzyć przy użyciu najnowszych odbiorników GNSS? Jak wyjaśnia dr Grzegorz Nykiel z Katedry Geodezji Politechniki Gdańskiej, ani odpowiedzialni producenci sprzętu, ani naukowcy nie podadzą żadnych konkretnych wartości. Po prostu zależy to od zbyt wielu różnych czynników. Jednym z najważniejszych są aktualne warunki atmosferyczne, szczególnie w jonosferze – poważną przeszkodą w pomiarach na dłuższych wektorach jest np. burza geomagnetyczna, ale i mniej znaczące zjawiska mogą wyraźnie obniżyć dokładność pomiaru (choćby front atmosferyczny).

Wraz z wydłużaniem wektora problemem staje się również to, że układ satelitów obserwowany przez odbiornik ruchomy i stację referencyjną staje się inny,

co powoduje problem ze śledzeniem tych samych aparatów. – Biorąc jednak pod uwagę coraz większą liczbę dostępnych satelitów, nie jest to już tak istotne jak jeszcze parę lat temu – zastrzega dr Grzegorz Nykiel. Dodaje, że utrudnieniem w pomiarach na długim wektorze są także niekorzystne lokalne warunki pomiarowe, np. drzewa czy zabudowa. Duże znaczenie mają parametry odbiornika ruchomego – im więcej może śledzić systemów, częstotliwości i satelitów oraz im większą ma moc obliczeniową, tym lepiej. W praktyce kluczowe znaczenie mają też algorytmy zaimplementowane przez producenta, które z różną skutecznością pozwalają eliminować wpływ opóźnień atmosferycznego i poprawianie wyznaczać całkowite wartości nieoznaczonej fazy (czyli złapać „fixa” w trudnych warunkach obserwacji). Oczywiście szczegóły tych algorytmów są tajemnicą każdego producenta.

Nie bez znaczenia jest także źródło korekt. – Choćby nasz odbiornik śledził wszystkie dostępne systemy i kanały nawigacyjne, na niewiele się to zda, jeśli nie obsługuje ich również stacja referencyjna – zauważa naukowiec z PG.

• Sprawdźmy sami

Gęsta sieć stacji ASG-EUPOS zapewnia świetne warunki do testowania pomiarów na wektorach o różnej długości. Postanowiliśmy samodzielnie wykonać taki eksperyment, a pomogła nam w tym firma Czerski Trade Polska – dystrybutor sprzętu pomiarowego marki Stonex. Początkowo chcieliśmy wykorzystać tylko jeden odbiornik, zachęcono nas jednak do poszerzenia zakresu testu, udostępniając modele Stonex S800 i S900. – Pierwszy dysponuje płytą odbiorczą NovAtela i przeznaczony jest przede wszystkim do pomiarów w trybie VRS. Dlatego spodziewam się, że na bardzo długich wektorach w ogóle nie będzie „łapał fixa”. S900 to z kolei sprzęt wyższej klasy, wyposażony w płytę Trimble’a. Nieraz łączyliśmy się nim w Warszawie z odległymi stacjami, choćby w dolnośląskiej Oleśnicy, i mimo sporej odległości mierzył całkiem niezłe – zapowiada jeszcze przed testem Tomasz Czerski z firmy Czerski Trade Polska, zastrzegając, że w codziennej pracy takie pomiary są oczywiście niezalecane.

W naszym eksperymencie sprawdziliśmy, jak oba odbiorniki radzą sobie z pomiarem RTK do 7 stacji referencyjnych zlokalizowanych w:

- Warszawie (CBKA, 4 km od stanowiska),
- Józefostawiu (JOZ2, 13 km),
- Nowym Dworze Mazowieckim (NODW, 32 km),
- Sochaczewie (SOCH, 52 km),
- Kutnie (KUTN, 111 km),
- Koninie (KONI, 188 km),
- Poznaniu (POZN, 279 km).

Najpierw wyznaczyliśmy współrzędne punktu referencyjnego. Obliczyliśmy je jako średnią arytmetyczną z 5 niezależnych pomiarów:

- RTK wykonanych S800 i S900 w nawiązaniu do stacji CBKA,
- RTN wykonanych S800 i S900 w odpowiednio dwóch i jednej inicjalizacji.

Wszystkie pomiary wykonaliśmy w 5 epokach z zastosowaniem bipodu w celu wyeliminowania błędu poziomo-wania. Różnice między uśrednianymi współrzędnymi nie przekraczały kilku milimetrów.

Następnie pomierzyliśmy współrzędne na punkcie referencyjnym dwoma odbiornikami i z wykorzystaniem korekt z 7 stacji. Wykonaliśmy także pomiar techniką VRS. Dokładne wyniki prezen-

tujemy w tabeli obok oraz na wykresach 1 i 2 (bez VRS). Porównaliśmy również długości trzech dwumetrowych odcinków – wyliczone ze współrzędnych wyznaczonych satelitarnie z pomierzonymi miarką (patrz tabela oraz wykres 3 – bez VRS). Podobnie jak poprzednio: użyliśmy dwóch odbiorników i korekt z 7 stacji.

Dodajmy, że wszystkie pomiary wykonaliśmy przy bardzo dobrej widoczności horyzontu, z dala od zabudowy oraz zadrzewień, aby do minimum ograniczyć ryzyko błędów związanych z efektem wielodrożności czy niekorzystną geometrią satelitów.

• Długi wektor nie taki straszny

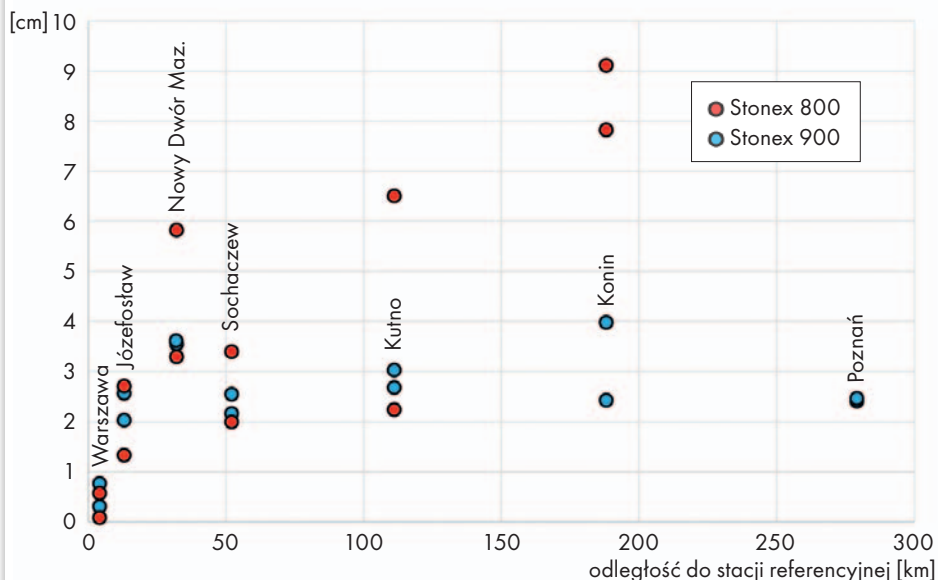
Nim przejdziemy do omówienia wyników, podkreślmy, że nie należy wyciągać na ich podstawie daleko idących wniosków. Po pierwsze, na polskim rynku dostępna jest blisko setka odbiorników RTK, a my sprawdziliśmy tylko dwa, do tego nowe modele. Z pewnością sprzęt, który został już wycofany ze sprzedaży, rzuciłby sobie zupełnie inaczej. Po drugie, pomiary trwały około 2 godzin – na podstawie analizy wyników można domniemywać, że warunki propagacji sygnału w atmosferze zmieniły się w tym czasie nieznacznie i były generalnie pozytywne. Przy mniej korzystnych warunkach test przebiegłby zapewne inaczej. Po trzecie, na prezentowane wyniki wpływ miała nie tylko odległość do stacji referencyjnej. Potwierdza to praca z korektami z Nowego Dworu Mazowieckiego, które konsekwentnie dawały gorsze wyniki.

Mimo tych uwag z naszego eksperymentu płynię kilka ciekawych spostrzeżeń. Ponad wszelką wątpliwość można powiedzieć, że jeśli chodzi o pracę na długich wektorach, wybór odbiornika ma duże znaczenie. W naszym teście, zgodnie z oczekiwaniami, zdecydowanie lepiej radził sobie model S900. Odczuliśmy to zresztą, jeszcze zanim przeanalizowaliśmy wyniki. W przypadku S800 już przy korzystaniu ze stacji w Kutnie odnotowaliśmy zdecydowanie dłuższy czas inicjalizacji. Po połączeniu z Koninem na „fiksa” czekaliśmy ponad minutę, a gdy się doczekaliśmy, odbiornik przestrzegł nas przed błędem pomiaru przekraczającym decymetr. Uzyskanie „fiksa” na podstawie korekt ze stacji w Poznaniu – mimo kilkuminutowego oczekiwania – nie powiodło się.

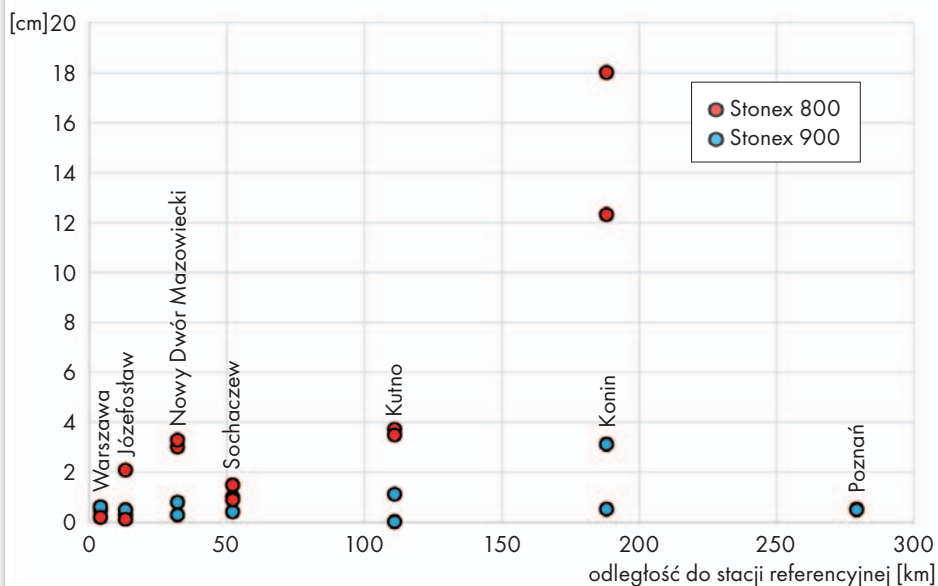
Pomiary z wykorzystaniem S900 poszły zdecydowanie sprawniej. Łapanie fiksa na podstawie korekt z Konina czy Poznania trwało wprawdzie nieco dłużej niż dla krótszych wektorów, ale nie przekraczało kilkunastu sekund.

Różnice między odbiornikami widać także w analizie otrzymanych współ-

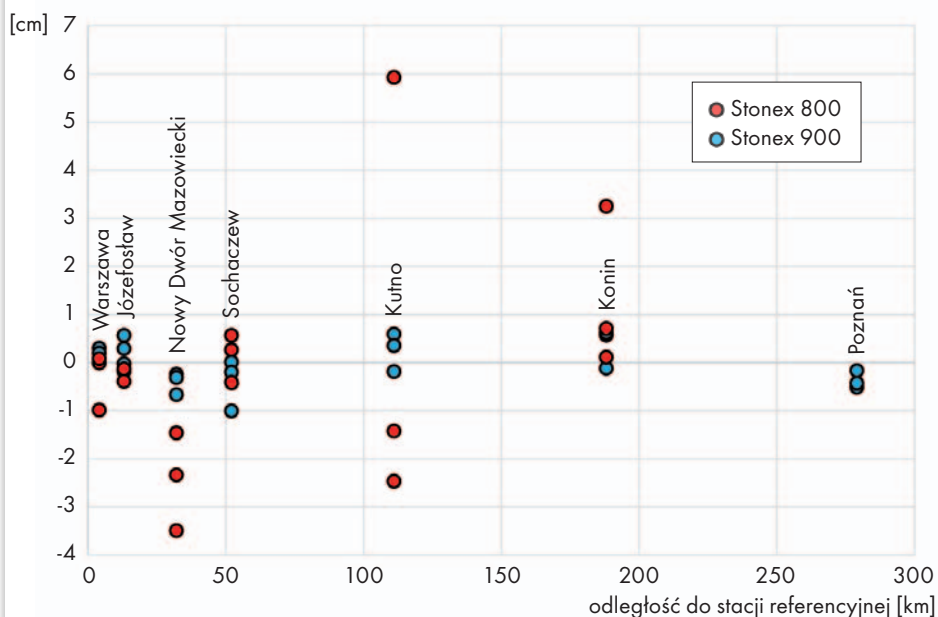
1. Odległości poziome punktów pomierzonych od punktu referencyjnego



2. Odległości pionowe punktów pomierzonych od punktu referencyjnego



3. Różnice między odległościami referencyjnymi a pomierzonymi



rzędnych. Generalnie, biorąc pod uwagę deklarowaną dokładność ASG-EUPOS (3 cm dla X, Y i 5 cm dla Z) oraz wspomniane zalecenie 30 cm, rezultaty testu pozytywnie nas zaskoczyły. W przypadku S900 różnice pomierzonych współrzędnych X, Y względem punktu referencyjnego w żadnym przypadku nie przekroczyły 5 cm (a tyle wynosi wymagana dokładność pomiaru szczegółów I grupy). Jeszcze lepiej wypadły wyniki dla współrzędnej Z – różnice nie przekraczały 4 cm.

W przypadku S800 różnica dla X, Y przekroczyła 5 cm już w pomiarze na podstavie korekt z Nowego Dworu Mazowieckiego. Jak jednak wspomnieliśmy, może to być związane z funkcjonowaniem samej stacji, bo korekty z dalszego Sochaczewa znów dały wynik poniżej 5 cm. Jeszcze dalej różnice robią się już spore – dotyczy to szczególnie współrzędnej Z, dla której sięgają blisko 20 cm.

Ciekawie prezentują się wyniki pomiarów odcinków referencyjnych. Biorąc pod uwagę, że mierzyliśmy je na tym samym „fiksie” w krótkim czasie, można by się spodziewać, że nawet przy bardzo długim wektorze różnice względem pomiaru miarką nie powinny być znaczące. W przypadku S900 faktycznie tak było – wartości te nie przekroczyły bowiem 1 centymetra. Dla S800 na dłuższych wektorach różnice okazały się jednak znacznie większe, w skrajnym przypadku osiągając blisko 6 cm. Dobitnie pokazuje to, że na długich wektorach praca niektórymi instrumentami obciążona jest naprawdę sporym ryzykiem błędów.

Przypomnijmy jednak, że S800 przeznaczony jest głównie do pomiarów RTN. Przy użyciu tej techniki sprzęt ten radził sobie bardzo dobrze, zapewniając nieznaczne różnice względem pomiarów referencyjnych – zarówno jeśli chodzi o współrzędne, jak i długości odcinków.

• Kontrola przede wszystkim

Nasz krótki test potwierdza to, co zaznaczył na wstępie dr Grzegorz Nykiel – trudno podać jedną konkretną bezpieczną odległość do stacji referencyjnej. Mierząc na długich wektorach, z pewnością trzeba być świadomym tego, jak radzi sobie w takich warunkach konkretny model odbiornika. Nie można kierować się w tym zakresie tylko specyfikacją sprzętu. Zauważmy bowiem, że testowane przez nas modele mają bardzo podobne kluczowe parametry (takie jak liczba kanałów czy śledzone sygnały). Dr Grzegorz Nykiel radzi, by ze szczególną rezerwą podchodzić do deklarowanej przez producenta dokładności pomiaru. – Często tak naprawdę to nie dokładność, ale pre-

cyzja, do tego podana jako RMSE, czyli z prawdopodobieństwem 68,2%. Niekiedy producent zastrzega, że wartość dotyczy wektorów krótszych niż 30 km. Innym razem powołuje się na normy ISO, które przeciętnemu użytkownikowi niewiele mówią – wyjaśnia. Jeśli chcemy zatem realizować tego typu pomiary, powinniśmy przeprowadzić własne testy.

Gdy upewnimy się, że dysponujemy sprzętem wysokiej klasy, można zaryzykować stwierdzenie, iż wspomniany limit 30 km wymuszany przez niektóre POD-GiK-i mocno ogranicza potencjał dostępnych technologii. Warto w tym miejscu przypomnieć postulat od lat powtarzany przez wielu przedsiębiorców geodezyjnych – skoro geodeta ma odpowiednie wykształcenie i uprawnienia, to on powinien decydować o doborze metod pomiarowych. Rola przepisów powinna się natomiast ograniczać jedynie do określenia wymogów dokładnościowych.

Niezależnie od tego, jak świetnym sprzętem dysponujemy, pomiar na długim wektorze z wykorzystaniem tylko jednej stacji referencyjnej zawsze będzie wiązał się z podwyższonym ryzykiem popełnienia błędu. – Nawiazanie pomiarów tylko do jednej stacji nie daje żadnej kontroli wyników. To niby jest oczywiste, ale nie wszyscy o tym pamiętają, tym bardziej że odbiornik pokazuje precyzję pomiaru, a nie dokładność – podkreśla Grzegorz Nykiel. Zatem jeśli przed użyciem metody RTN powstrzymuje nas tylko wyższa cena korekt, dobrze się zastanowić, czy jednak nie lepiej trochę dopłacić za spokój ducha.

Jeśli jednak świadomie decydujemy się na ryzyko pracy na długim wektorze, niezbędna jest uważna kontrola uzyskiwanych rezultatów. Tę wymusza zresztą prawo, konkretnie rozporządzenie ws. standardów geodezyjnych. Przypomnijmy: § 12 wymaga wykonania pomiaru kontrolnego na co najmniej dwóch punktach poziomej osnowy geodezyjnej, zlokalizowanych w odległości nie większej niż 5 km od punktów będących przedmiotem pomiaru. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, by zakres tej kontroli dobrowolnie rozszerzyć. Zdaniem dr. Grzegorza Nykiela dobrym pomysłem jest ponowny pomiar punktów po kilku godzinach, gdy zmieni się układ satelitów i warunki atmosferyczne. Jeśli nie mamy na to czasu, warto choćby wykonać ponowny pomiar punktu po reinicjalizacji. Dobrze także wydłużyć czas trwania pomiaru ze standardowych 3-5 epok np. do 10. Ze względu na wpływ jonosfery mniejsze prawdopodobieństwo błędu uzyskamy także, pracując w nocy – podpowiada Grzegorz Nykiel.

Skoro o jonosferze mowa, warto śledzić tzw. prognozy kosmiczne. Naukowiec z Politechniki Gdańskiej zastrzega jednak, by podchodzić do nich z rezerwą. Po pierwsze, każda prognoza ma to do siebie, że nie zawsze się sprawdza. Po drugie, tego typu produkty przygotowywane są w kiepskiej rozdzielczości przestrzennej, mogą zatem nie uwzględniać zjawisk o niewielkim zasięgu. Z pewnością pomocne mogą się natomiast okazać ogólne informacje o aktywności Słońca, publikowane np. na stronie NOAA Space Weather Prediction Center. Jeśli zapowiedziana jest np. burza geomagnetyczna, należałoby rozważyć przełożenie pomiaru – sugeruje dr Grzegorz Nykiel.

Zdaniem Tomasza Czerskiego podczas pomiarów warto także na bieżąco śledzić wskazania odbiornika. Nieoczekiwany spadek szacowanej precyzji, wskaźnika PDOP czy liczby śledzonych satelitów powinien wzbudzić nasze podejrzenia.

• U progu ery długich wektorów?

Czy jest szansa na szybki postęp w technologiach GNSS, który sprawi, że pomiar RTK na bardzo długich wektorach staną się dokładniejsze, a przede wszystkim znacznie pewniejsze? Dr Grzegorz Nykiel jest sceptyczny. Jak zauważa, badania naukowe w tym zakresie były popularne raczej 10-20 lat temu i nawet przyniosły konkretne sukcesy. Równolegle zaczęto jednak interesować się korektami sieciowymi i dziś to one są powszechnie uważane za lepsze rozwiązanie. – Nie bez przyczyny operatorzy krajowych sieci inwestują w gęstą infrastrukturę stacji referencyjnych – zwraca uwagę.

Dodaje, że dziś naukowcy i biznes znacznie więcej uwagi poświęcają technice PPP-RTK (szerzej pisaliśmy o niej w GEODECIE 12/2017). W jej przypadku rzadka sieć stacji referencyjnych pozwala mierzyć na całym świecie z dokładnością dorównującą metodzie RTK. Wyzwaniem wciąż pozostaje relatywnie długi czas tzw. konwergencji (czyli mówiąc prościej, inicjalizacji precyzyjnego pomiaru). Na ogół trzeba na to czekać od kilkunastu do nawet kilkudziesięciu minut, ale i tu dokonuje się spory postęp. Na przykład dla niektórych regionów świata (w tym Polski) firma Trimble skróciła to oczekiwanie do raptem minuty. Zatem nawet jeśli w zakresie pomiarów RTK na długich wektorach nie ma co liczyć na znaczącą poprawę osiągnięć, innowacje w innych polach technologii GNSS stopniowo znoszą związane z tym ograniczenia. Warto zatem uważnie śledzić nowości technologiczne, a przede wszystkim wnikliwie je analizować i samodzielnie testować.

Jerzy Królikowski