

Jak skutecznie testować dokładność odbiorników GNSS?

Precyzyjna selekcja

Teoretycznie wszystkie geodezyjne odbiorniki satelitarne dostępne na rynku oferują zbliżoną do siebie dokładność pomiaru. Czy w takim razie w ogóle nie ma sensu zwracać uwagi na ten parametr?

Jerzy Królikowski

Precyzyjny odbiornik GNSS kosztuje nawet kilkanaście razy więcej niż sprzęt amatorski. A skoro dokładność jest w geodezji kluczowa, wydawać by się mogło, że zakup tego typu produktu poprzedzać powinny wyczerpujące testy dokładnościowe. Rozmowy z dystrybutorami pokazują jednak, że w praktyce bywa różnie. Czasem klient podejmuje decyzję o zakupie po kilku minutach zabawy z instrumentem, a innym razem organizuje potencjalnym kandydatom „ścieżkę zdrowia”. Ten drugi przypadek częściej dotyczy oczywiście odbiorników droższych marek. Ale czy warto poświęcać długie godziny, a może nawet dni na takie wyczerpujące testowanie, skoro specyfikacje geodezyjnych odbiorników GNSS są bardzo podobne? Zapytaliśmy o to naukowców zajmujących się nawigacją satelitarną oraz dystrybutorów sprzętu pomiarowego.

• Dokładność, czyli precyzja, czyli wydajność?

Pewne jest to, że sama lektura broszur producentów niewiele nam powie o dokładności poszczególnych modeli. Żeby nie być gołosłownym: z dorocznego zestawienia sprzętu GNSS, jakie publikujemy w bezpłatnym niezbędniku NAWI, wynika, że błąd pomiaru RTK/RTN w odbiornikach dostępnych na polskim rynku wynosi od 5 do 10 mm w poziomie plus błąd związany z odległością od stacji referencyjnej. Z tego powinien płynąć prosty wniosek, że wszystkie te instrumenty z nawiązką spełniają wymagania dokładnościowe dla geodezyjnych pomiarów sytuacyjno-wysokościowych.

Ale uważna lektura broszur poszczególnych producentów rodzi kilka pytań. Wszak dokładność pomiaru można wyra-

zić za pomocą wielu różnych wskaźników (choćby błędu maksymalnego, średniego czy odchylenia standardowego), a w prospektach na ogół podawany jest tylko jeden. Ale który? Część producentów jasno określa, że chodzi o parametr RMSE (*Root Mean Square Error* – średnią kwadratową błędów), ale inni zgrabnie przemilczają tę kwestię. Dodatkowe zamieszanie wprowadza stosowana terminologia. U jednego producenta mowa jest o dokładności, u innego o precyzji, a jeszcze inni używają mglistego pojęcia „wydajności pozycjonowania” (*positioning performance*).

Nasi rozmówcy są zgodni: to, co jest prezentowane w owych broszurach, to precyzja. Jak powinien wiedzieć każdy geodeta, jest ona czym innym niż dokładność [więcej w ramce na kolejnej stronie – red.]. Zdarzają się przecież przypadki, gdy możemy mierzyć z wysoką precyzją, ale niską dokładnością, no i oczywiście na odwrót. To kolejny argument za tym, że samodzielne przetestowanie dokładności ma spore znaczenie.

Tomasz Zieliński z firmy Geotronics Dystrybucja oraz Katarzyna Adamus z firmy Leica Geosystems zgodnie uczulają ponadto, by z dużą ostrożnością podchodzić do analizy zamieszczonego w broszurach wskaźnika RMS, bo prezentuje on precyzję z określonym poziomem ufności. Zasadniczo to 68%, ale u niektórych producentów wygląda to inaczej. – W przypadku metodyki przyjętej w Leica Geosystems mamy prawdopodobieństwo 39,3%, że odchylenie obliczonej pozycji względem rzeczywistej pozycji 2D będzie mniejsze niż RMS. Do tego warto wiedzieć, że w specyficznych warunkach odbioru sygnałów satelitarnych wartość RMS może dążyć do zera, raportując zbyt optymistyczne wartości względem rzeczywistej dokładności – mówi Adamus. Dlatego w sprzęcie Leica stosowany jest parametr CQ (Coordinates Quality). – Po-

dobnie jak RMS wartość CQ również bazuje na odchyleniu standardowym, jednak uwzględnia dodatkowe założenia empiryczne. Wskaźnik ten gwarantuje prawdopodobieństwo na poziomie 2/3, że obliczona pozycja odbiega od prawdziwej pozycji o mniej niż wartość CQ – podkreśla przedstawicielka Leica Geosystems.

Dociekliwy geodeta chciałby też wiedzieć, jaka była metodyka wyznaczenia precyzji. Czy badano ją w idealnych warunkach, tuż przy stacji referencyjnej, a może wśród drzew i wysokiej zabudowy? Dr Marcin Szolucha z Wojskowej Akademii Technicznej nie ma wątpliwości, że producenci stosują tę pierwszą strategię. I część z nich nawet to otwarcie przyznaje, choć w większości broszur nie znajdziemy na ten temat słowa. Mamy zatem kolejny powód, by przetestować odbiornik na własną rękę. Tylko jak to zrobić, by skutecznie wychwycić różnice między produktami dostępnymi na rynku?

• Pomysły na testowanie

Prof. Jan Kapłon z Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu nie owija w bawełnę. Jego zdaniem wcale nie ma potrzeby sprawdzania dokładności. – Wiem, że może zabrzmieć to kontrowersyjnie, ale obecnie nawet odbiorniki niskokosztowe osiągają dokładności pozwalające na prowadzenie pomiarów sytuacyjno-wysokościowych. Praktycznie każdy sprzęt GNSS klasy geodezyjnej, z którym miałem do czynienia w czasie mojej 25-letniej przygody z GNSS, potrafił pozycjonować w czasie rzeczywistym (RTK/RTN) z dokładnościami wpisującymi się w obecnie obowiązujące przepisy. A skoro wszystkie polskie sieci GBAS (ASG-EUPOS, Leica SmartNet, VRSNet, TPI NETpro, NadowskiNet, RtkNet) gwarantują dokładność 3 cm w poziomie i 5 cm w pionie, to nie oczekiwałbym żadnych rozbieżności wynikających z różnic czysto sprzętowych – podkreśla



naukowiec. – Gdybym miał na siłę cokolwiek testować, to sprawdziłbym zdolność do powtarzalnego wyznaczenia tego samego punktu. Wykonałbym serię niezależnych pomiarów RTN (z reinicjalizacją odbiornika pomiędzy pomiarami) i sprawdził, czy rozrzut wyników spełnia zadeklarowane dokładności danej sieci GBAS, czyli 3 i 5 cm – tłumaczy prof. Kapłon.

– Niestety, trudno wskazać jeden uniwersalny sposób testowania odbiorników – rozkłada ręce dr Marcin Szołucha. Radzi jednak, by pamiętać o różnicach między dokładnością a precyzją pomiaru. To o tyle istotne, że geodeci lubią testować odbiorniki wśród gęstej zabudowy czy pod drzewami. A w takich warunkach często zdarza się, że otrzymujemy wysoką precyzję, ale niską dokładność. A dokładność oczywiście najlepiej sprawdzać na punktach osnowy, choć w takim przypadku koniecznie trzeba brać pod uwagę, że jakość współrzędnych niektórych punktów może pozostawiać wiele do życzenia.

Sceptycznie do testowania dokładności podchodzi również Artur Malczewski z firmy TPI. – Zadając sobie pytanie o dokładność odbiorników GNSS, trzeba mieć świadomość, co naprawdę chcemy sprawdzić. Stabilność środka fazowego anteny? Algorytm wyznaczenia pozycji z sygnałów GNSS i radzenia sobie z ich zakłóceniami? Implementację poprawek korekcyjnych? A może jeszcze dokładności IMU? – pyta. – Biorąc pod uwagę, ile czynników wpływa na finalne określenie pozycji XYZ grota tyczki, analizowanie ich z punktu widzenia użytkownika nie do końca ma sens – ocenia przedstawiciel TPI. Jeśli już jednak chcemy taki test wykonać, Artur Malczewski radzi albo pomiar na sprawdzonym punkcie osnowy, albo porównanie współrzędnych jednego punktu mierzonych po każdorazowych reinicjalizacjach. – Różnice nie powinny być większe od dokładności deklarowanej przez producenta – zaznacza.

Z kolei Tomasz Zieliński z firmy Geotronics Dystrybucja sugeruje, by w testach połączyć pomiar satelitarny i tachimetryczny, wykorzystując tyczkę z zamontowanym odbiornikiem GNSS i przyzmatem. W ten sposób możemy precyzyjnie porównać, jak dany odbiornik radzi sobie zarówno przy pełnej widoczności nieba, jak i przy wysokim budynku bądź pod gęstym listowiem. Ale można też prościej. – Mając na uwadze, że różni producenci odmiennie podchodzą do wartości wiarygodności inicjalizacji (w odbiornikach Trimble jest to zawsze 99,9%, bez możliwości ingerencji w ten parametr z poziomu użytkownika), czasami wystarczy pokusić

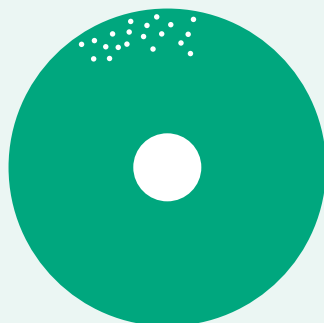
Precyzja a dokładność

OCENA WYNIKU POMIARU

- **Precyzja:** stopień wzajemnej bliskości pomiarów tej samej wielkości. Precyzja pomiaru jest obarczona wpływem tylko błędów przypadkowych.
- **Dokładność:** stopień zbliżenia pomiarów do wielkości prawdziwej. Dokładność pomiaru jest obarczona zarówno błędami przypadkowymi, jak i systematycznymi.
- **Niepewność:** wielkość przedziału, wewnątrz którego mieszczą się błędy pomiarowe.



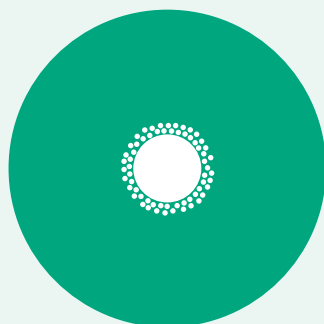
pomiary precyzyjne, ale niedokładne



pomiary nieprecyzyjne i niedokładne



pomiary nieprecyzyjne, ale dokładne



pomiary precyzyjne i dokładne

MIARY PRECYZJI

- błąd przeciętny,
- błąd prawdopodobny,
- błąd średni (estymator odchylenia standardowego).

Błąd średni m jest definiowany jako pierwiastek kwadratowy średniej arytmetycznej sumy kwadratów błędów.

- prawdopodobieństwo wystąpienia przypadkowego błędu w przedziale $-m < \epsilon < m$ jest równe 0,683, w przedziale $-2m < \epsilon < 2m$ wynosi 0,954, natomiast w przedziale $-3m < \epsilon < 3m$ jest równe 0,997.

- W praktyce przedział $3m$ jest przyjmowany jako granica występowania błędów i uważa się, że obserwacje obciążone błędami przekraczającymi te granice powinny być odrzucone jako błędne.

Źródło: prof. Adam Łyszkowicz, Wykład 2 „Podstawowe wiadomości z teorii błędów”

się o pomiar przy nowej inicjalizacji. Jeśli wyniki będą zbieżne, możemy być spokojniejsi. Przy czym nie chodzi o to, aby co chwilę weryfikować swoje pomiary, bo to najzwyklejsza strata czasu. A ten jest przecież bezcenny – podkreśla przedstawiciel Geotronics Dystrybucja.

Do testowania odbiorników można też podejść fachowo, wykorzystując międzynarodową normę ISO 17123-8. Zakłada ona wykonywanie serii pomiarów na dwóch punktach, których wzajemna odległość wynosi od 2 do 20 metrów i została precyzyjnie określona inną techniką (np. tachymetrycznie). Następnie sprawdzamy, jaka jest różnica między

odległością wzorcową a tą wyznaczoną odbiornikiem GNSS. Atutem takiej metodyki jest to, że pozwala ona rzetelnie porównać konkurencyjne instrumenty. Ale z drugiej strony wymaga sporej cierpliwości. Wprawdzie w wersji uproszczonej cała procedura zajmuje 25 minut, ale w pełnej już ponad 3 godziny.

Z rozmów z dystrybutorami wynika, że niektórzy potencjalni klienci lubią testować kilka odbiorników jednocześnie. To pomyśl o tyle dobry, że wynikowa dokładność pomiaru w dużej mierze zależy od chwilowych i lokalnych warunków pomiarowych – okolicznych budynków czy drzew, aktualnego rozmieszczenia

satelitów na niebie czy warunków w atmosferze. Problemem mogą się natomiast okazać kwestie logistyczne – umówienie choćby dwóch dystrybutorów w tym samym miejscu i czasie. Dr Marcin Szolucha zauważa jednak, że przy wykorzystaniu satelitów ze wszystkich czterech konstelacji GNSS przeprowadzenie testu wszystkich odbiorników w jednym momencie nie jest konieczne. Taki pomiar porównawczy z pewnością należy natomiast wykonać w tej samej lokalizacji.

● Co kryje czarna skrzynka?

Pomocą w porównywaniu odbiorników GNSS mogą być także artykuły naukowe – zarówno polskie, jak i zagraniczne. Nie dość, że podejmują one ten temat całkiem chętnie, to często analizują go z bardzo specjalistycznych perspektyw, np. zakłócania (patrz: GEODEA 2/2022). Tu jednak napotykamy problem, który opisaliśmy choćby przy porównywaniu oprogramowania do przetwarzania zdjęć z dronów (GEODETA 6/2021). W przypadku obu tych kategorii produktów mamy bowiem do czynienia z rozwiązaniami typu „czarna skrzynka”. Znamy zatem dane na wejściu i wyjściu, ale zupełnie nie wiemy, co dzieje się z nimi wewnątrz sprzętu/oprogramowania. Efekt jest często taki, że w jednych warunkach odbiornik marki X wypadnie jako najlepszy, a w innym teście uplasuje się w ogonie stawki. Tylko czy zawinił odbiornik, a może antena, stacja referencyjna czy zewnętrzne zakłócanie? Tego już nie dojdziemy.

I właśnie w tych „technologiach czarnej skrzynki” poszczególni producenci upatrują swojej przewagi nad konkurencją. Na przykład Tomasz Zieliński z firmy Geotronics Dystrybucja zwraca uwagę na flagowe rozwiązanie Trimble'a, czyli ProPoint. – Aby odbiornik mierzył zarówno precyzyjnie, jak i dokładnie, a do tego radził sobie w trudnych warunkach, potrzebne są odpowiednie algorytmy filtrujące-rozwiązujące. Dzięki ProPoint tak się właśnie dzieje – zapewnia. Wskazuje też na zaprezentowaną jeszcze w 2012 roku technologię HD-GNSS, która w odbiornikach Trimble'a zniosła podział na rozwiązania fix i float. Z jednej strony zapewnia ona szybsze rozpoczęcie precyzyjnego i dokładnego pomiaru oraz uniemożliwia „złapanie błędnego fiksa”. Z drugiej strony to użytkownik, a nie algorytm decyduje tu, czy aktualna dokładność jest dla niego wystarczająca – w gorszych warunkach pomiarowych odbiornik nie przechodzi bowiem w typowe rozwiązanie float blokujące możliwość pomiaru.

– Czasami instrumenty słabiej radzą sobie z pomiarem w trudnych warunkach, np. w pobliżu wysokich budynków czy

drzew – mówi z kolei Artur Malczewski z TPI. – W takiej sytuacji niektóre z nich nie pozwalają na wykonanie pomiaru. Z punktu widzenia użytkownika jest to jednoznaczne: nie mamy wyników. Za to druga grupa instrumentów pozwala na wykonanie pomiaru w takich warunkach. Ale wtedy możemy otrzymać wyniki o bardzo niskiej pewności, co jest dla nas katastrofą, której najczęściej nie jesteśmy świadomi. Pojawia się zatem pytanie: czy lepiej mieć odbiornik, który mierzy wszędzie, czy taki, który daje nam pewne pomiary? Naszym zdaniem odpowiedź jest tylko jedna. Jeśli uzyskujemy wynik, to musi on być prawidłowy. Jedynie czas pomiaru może (ale nie musi) być nieco dłuższy. Tak właśnie jest w przypadku produktów marki Topcon – zapewnia przedstawiciel TPI.

Katarzyna Adamus z firmy Leica Geosystems zwraca natomiast uwagę na technologię SmartCheck+ działającą we wszystkich precyzyjnych odbiornikach GNSS tej marki. – Na bieżąco, „w tle”, kontroluje ona wyznaczenie nieoznaczności. Gwarantuje to bezkonkurencyjną wiarygodność wyznaczania pozycji na poziomie 99,99%. Dzięki temu użytkownik ma pewność, że parametry dokładnościowe wyświetlane podczas pomiaru na ekranie kontrolera i zawarte w raporcie pomiarowym są wartościami rzeczywiście odzwierciedlającymi warunki pomiaru – zapewnia.

Oczywiście tego typu unikatowych technologii poszczególnych producentów jest więcej. Nie chodzi nam tu jednak o ich wyliczenie. Naszym celem jest jedynie pokazanie, że przy wyborze odbiornika warto pamiętać również o tym aspekcie. Dobrze zatem w materiałach producentów poczytać o ich technologiach. Można wtedy sprawdzić, na ile marketingowe zapewnienia mają rzeczywiste przełożenie na pracę w terenie.

• Łączność, głępcze!

Zdaniem dr. Marcina Szołucha, testując odbiorniki GNSS, trzeba zwrócić uwagę na jakość transmisji korekt. – Przyjmuje się, że opóźnienie w ich przesyłaniu nie powinno być większe niż 2 sekundy. Dłuższy czas może mieć negatywny wpływ na wynikową dokładność pomiaru – podkreśla naukowiec z WAT.

Wagę łączności podkreśla też prof. Jan Kapłon. – Użytkuję odbiorniki RTN w mieście i bardzo często mam problemy ze zrywaniem połączenia GSM/LTE w trakcie pomiaru. Wybieram zatem zwykle te odbiorniki, gdzie problem ten występuje rzadziej – wyjaśnia badacz z UPWr.

Dr Marcin Szołucha radzi, by szczególnie uwagę zwrócić na obsługę przez in-

strument różnych metod techniki RTN. Najpopularniejsza to VRS, ale oprócz niej są także FKP i MAC. I nie chodzi tu o prowadzenie dyskusji o wyższości jednej nad drugą, ale po prostu o możliwość wyboru najmniej obciążonego w danej chwili strumienia korekt. To samo dotyczy zresztą formatu poprawek. Najpopularniejszy to RTCM, ale np. w ASG-EU-POS można korzystać również z CMR.

Jak dodaje naukowiec z WAT, jeśli chodzi o jakość transmisji, istotnym przełomem może okazać się wdrażanie telefonii 5G. Sęk w tym, że w pierwszej kolejności jest ona uruchamiana w miastach, a na jej dostępność na obszarach odludnych, gdzie przecież geodeci też pracują, trzeba będzie zapewne poczekać.

• Nie tylko dokładność

Kryteria wyboru odbiornika można mnożyć. Łatwo porównywalnym parametrem jest choćby liczba kanałów. Oczywiście, im więcej, tym lepiej. Ale dr Marcin Szołucha zaleca ostrożność. Zdarza się bowiem, że odbiornik dysponuje imponującą liczbą kanałów (rekordziści mają ich już ponad tysiąc), ale de facto śledzi niewiele sygnałów. Dlatego i o tym aspekcie dobrze pamiętać. Warto też sprawdzić, czy odbiornik będzie w stanie śledzić sygnały, które dopiero mają być wdrażane, choćby GLONASS L3 czy Galileo E6b. Szczególnie istotny jest ten ostatni, bo zapewni dostęp do bezpłatnej usługi Galileo wysokiej dokładności (HAS), której uruchomienie ma nastąpić jeszcze w tym roku.

Zdaniem naukowca WAT liczy się także jakość anteny satelitarnej, choć ta jest istotna bardziej przy pomiarach statycznych niż RTK/RTN. Do listy istotnych – choć często niedocenianych – kryteriów wyboru odbiornika dodaje ponadto dobrej jakości obudowę oraz akumulatory odporne na wpływ czasu.

Temat rzeka zasługujący na odrębny artykuł to oprogramowanie odbiornika. – Warto sprawdzić możliwość wpasowania jego funkcji w ciąg produkcyjny firmy. To nie kwestie dokładności, a ergonomii użytkownika mają teraz największe znaczenie – podkreśla prof. Jan Kapłon.

Nic więc dziwnego, że dr Marcin Szołucha podkreśla znaczenie interfejsu użytkownika. – Musi być prosty w rutynowej obsłudze, ale jednocześnie powinien zapewniać możliwość wyświetlenia bardziej szczegółowych danych, np. o opóźnieniu korekt czy wykorzystywanych sygnałach i systemach. Zdarza się bowiem, że choć używamy korekt 4-systemowych, to z nieznanymi przyczyn instrument korzysta np. tylko z systemów GPS i GLONASS, co może mieć wpływ na wynikową dokładność pomiaru – wyjaśnia.

Katarzyna Adamus z firmy Leica Geosystems radzi z kolei, by przed zakupem zwracać uwagę na „wartości dodane”, jakie może oferować odbiornik. – W przypadku naszego sprzętu to np. unikatowa jednostka IMU, technologia wizualnego pozycjonowania w odbiorniku GS18 I (GEODETA 10/2020) czy możliwości integracji z tachimetrami elektronicznymi – podkreśla.

• Dajmy sobie czas

Jak widać z powyższych rozważań, rzetelne i wyczerpujące przetestowanie interesujących geodetów odbiorników GNSS może przyprawić o zawrót głowy. Dlatego do tego wyzwania należy podejść spokojnie, dzieląc je na etapy. W pierwszym przeanalizować specyfikację produktów dostępnych na polskim rynku, w czym pomoże dostępny bezpłatnie na Geoforum.pl niezbędny NAWI. Warto także przejrzeć strony internetowe producentów sprzętu, nie ograniczając się tylko do broszur. Dobrze sięgnąć do tzw. *white papers*, czyli opisów poszczególnych rozwiązań technologicznych. Ich zaletą jest to, że z reguły więcej w nich rzetelnej wiedzy niż w innych materiałach.

Mając wstępnie wyselekcjonowane odbiorniki, w drugim kroku warto sprawdzić, co sądzą o nich użytkownicy: wygooglować nazwę sprzętu, zadać pytanie na geodezyjnych forach, porozmawiać z konkurencją. Na tym etapie warto się dowiedzieć przede wszystkim o wytrzymałości sprzętu na wpływ czasu – coś, czego nie sprawdzimy przecież podczas krótkiego testu.

Dopiero po takim przygotowaniu spokojnie można przejść do kroku trzeciego, czyli testów terenowych. Jak je wykonać? Mamy nadzieję, że w niniejszym artykule podaliśmy kilka konstruktywnych propozycji. Ważne jednak, by nie żałować na tę czynność czasu. Jeśli standardowe 1–2 godziny ze sprzedawcą to za mało, nic nie stoi na przeszkodzie, by odbiornik wypożyczyć na kilka dni – taką możliwość oferuje dziś większość dystrybutorów. Dobrze wówczas zabrać instrument na teren swojej pracy i sprawdzić, jak radzi sobie podczas realizacji codziennych obowiązków. To, co dla danego geodety może być typowe, dla wybranego odbiornika – już niekoniecznie.

Choć cały proces selekcji może potrwać nawet kilka tygodni, to z pewnością warto poświęcić mu odpowiednio dużo czasu. Przecież dobry odbiornik GNSS nie tylko sporo kosztuje, ale ma być przez lata gwarantem naszej rzetelnej i dokładnej pracy.

Jerzy Królikowski