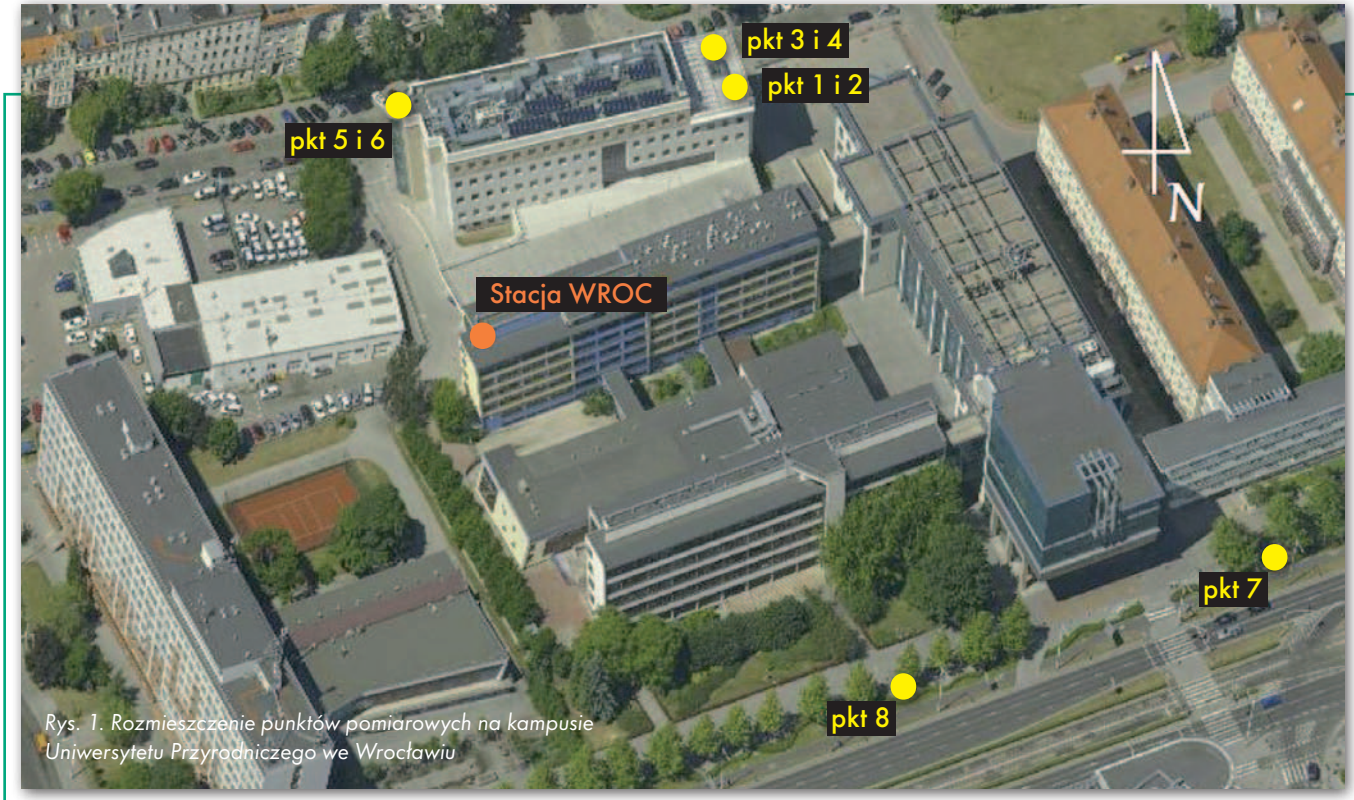


Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na kampusie Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu

Testy pozycjonowania smartfonem do celów geodezyjnych

Czy to już możliwe?



Surowe dane GNSS pozyskane przez urządzenia wyposażone w system operacyjny Android można od jakiegoś czasu opracowywać analogicznie do tych pochodzących z profesjonalnych odbiorników satelitarnych. Czy pozwoli to wykorzystywać smartfony w pomiarach geodezyjnych?

Natalia Wielgocka
Tomasz Hadaś

Z precyzyjnego pozycjonowania GNSS geodeci korzystają obecnie bardzo często i chętnie. Satelitarne techniki pozwalają uzyskać wysokie dokładności wyznaczanej pozycji po opracowaniu zebranych danych w postprocessingu bądź, jak w przypadku metod RTK czy RTN, bezpośrednio w czasie rzeczywistym.

Usługi lokalizacyjne w urządzeniach mobilnych, takich jak smartfony czy tablety, również bazują na technikach satelitarnych. Urządzenie podaje pozycję, którą chipset GNSS samodzielnie wyznaczył za pomocą wbudowanych algorytmów. Użytkownik otrzymuje jednak pozycję z dokładnością kilku metrów, która do celów geodezyjnych jest zbyt niska. W maju 2017 r. nastąpił przełom w tego typu pozycjonowaniu. Firma Google ogłosiła, że urządzenia wyposażone w system Android 7.0 i nowsze, poza samodzielnym wyznaczaniem pozycji, umożliwią dostęp do surowych danych GNSS, w tym do obserwacji fazowych. Stwarza to możliwość samodzielnego opracowania danych w postprocessingu, a więc zastosowania dodatkowych korekt i modeli, które powinny pozwolić wyznaczyć pozycję z dużo większą dokładnością i precyzją.

Niestety, w większości przypadków urządzenia mobilne są wyposażone w odbiorniki jednoczęstotliwościowe, przez co trudniej wyeliminować opóźnienie jonosferyczne sygnału będące jednym z głównych źródeł błędów w pozycjonowaniu absolutnym. Co więcej, w pomiarach wykonywanych za pomocą smartfonów występuje dodatkowo problem związany z cyklem roboczym telefonu, tzw. *duty cycle*. Polega on na ciągłych i naprzemiennych zmianach okresów, w których śledzenie satelitów jest włączone i wyłączone. Dzięki temu urządzenie oszczędza energię. Konsekwencją jest jednak nieprzewidywalne wprowadzanie przeskoków do obserwacji fazowych, co może utrudniać uzyskiwanie rozwiązań typu fix.

Ostatnio na rynku zaczęły pojawiać się urządzenia, które – jak deklarują ich producenci – są w stanie śledzić dwie częstotliwości sygnałów z satelitów. Jednym z pierwszych takich urządzeń mobilnych jest smartfon Xiaomi Mi8, który posłużył do opisanych w tym artykule testów. Telefon zadebiutował na polskim rynku w sierpniu 2018 r. Wyposażony jest w system operacyjny Android 8.1 z nakładką MIUI. Surowe obserwacje GNSS rejestrowane są chipsetem Broadcom BCM47755, który umożliwia śledzenie na dwóch częstotliwościach sygnałów satelitów: GPS (L1/L5), Galileo (E1/E5a) i QZSS (L1/L5), a tylko na jednej częstotliwości dla GLONASS (G1) i BeiDou (B1).

Eksperyment pomiarowy

W terenie zamarkowano 8 punktów pomiarowych o współrzędnych referencyjnych przyjętych z pomiaru RTK profesjonalnym odbiornikiem geodezyjnym. Punkty rozmieszczono w taki sposób, aby symulowały różne warunki pomiarów: 6 na dachu budynku Geo-Info-Hydro Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (odsłonięty horyzont), a 2 na chodniku w okolicy placu Grunwaldzkiego, gdzie horyzont przesłaniają okoliczne gmachy (rys. 1). Pomiary wykonano 26 i 27 lutego br.

Eksperyment pomiarowy składał się z trzech etapów:

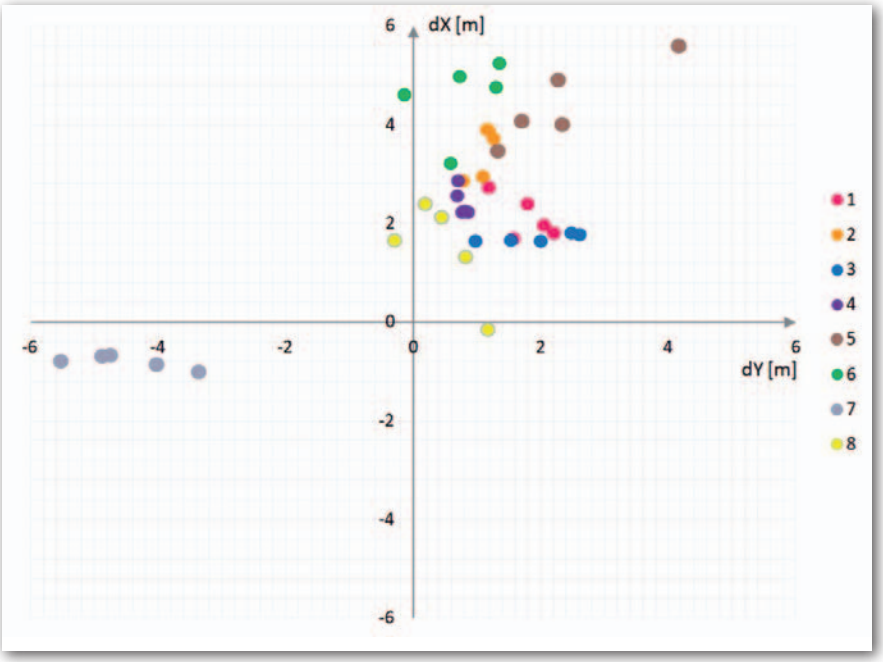
- I – pozycjonowanie autonomiczne z wykorzystaniem współrzędnych wyznaczonych przez chipset GNSS urządzenia,
- II – pozycjonowanie szybkie statyczne z opracowaniem obserwacji w trybie postprocessingu,
- III – klasyczne pozycjonowanie statyczne (długookresowe) z postprocessingiem obserwacji.

Do pomiarów wykorzystano smartfon Xiaomi Mi8, a w etapie III – dodatkowo Huawei P10.

Pozycjonowanie autonomiczne

W pierwszym etapie pomiar wykonano za pomocą aplikacji geoGPS (geogps.eu), która podaje użytkownikowi współrzędne punktów wyznaczone przez chipset GNSS urządzenia, z możliwością transformacji do wybranego układu współrzędnych. Na każdym z punktów pomiarowych wykonano serię pięciu niezależnych pomiarów z użyciem aplikacji, a ich wyniki porównano z wartościami referencyjnymi (rys. 2 i tab. 1). Dla składowych poziomych różnice nie przekraczały 6 m, a dla wysokości – 7 m. Dla siedmiu punktów pomiarowych (1-6 i 8) wyznaczone współrzędne były przesunięte w kierunku północno-wschodnim, co wynika z podstawowych błędów pozycjonowania absolutnego (tj. opóźnienia jonosferycznego sygnału oraz wykorzystania orbit nawigacyjnych). Dla punktu pomiarowego nr 7 współrzędne były przesunięte w kierunku południowo-zachodnim. Różnica ta powstała wskutek znacznego przesłonięcia horyzontu przez pobliskie budynki i drzewo, co powodowało zmianę geometrii wykorzystywanych satelitów.

Wykonane pomiary i analizy pokazują, że współrzędne wyznaczane bezpośrednio przez chipset GNSS i aplikację geoGPS na podstawie danych lokalizacyjnych zebranych przez smartfon Xiaomi Mi 8 mają niską dokładność. Chipset wyznacza pozycje absolutne, nie w sposób różnicowy, przez co nie jest w stanie ograniczyć wpływu błędów propagacji sygnału. Widoczne są duże różnice względem współrzędnych referencyjnych, a także pomiędzy pojedynczymi pomiarami na danym punkcie. Pomiary takie mogą więc zostać wykorzystane jedynie do zgrubnego określania pozycji.



Rys. 2. Pozycjonowanie autonomiczne – różnice współrzędnych pomierzonych punktów

Tab. 1. Porównanie wyników pomiarów z aplikacji geoGPS ze współrzędnymi referencyjnym (układ PL-2000/18, wysokości normalne PL-KRON86-NH)

Nr punktu	Współrzędne referencyjne			Średnie różnice współrzędnych z 5 serii pomiarowych aplikacją geoGPS		
	X [m]	Y [m]	H [m]	dX [m]	dY[m]	dH [m]
1	5664722,79	6434374,11	136,26	2,13	1,75	6,86
2	5664726,01	6434375,28	136,27	3,47	1,09	5,29
3	5664735,52	6434372,57	136,26	1,72	1,92	3,85
4	5664737,35	6434367,03	136,23	2,43	0,76	1,93
5	5664720,87	6434308,28	139,40	4,41	2,36	3,30
6	5664718,15	6434308,27	139,36	4,57	0,77	5,94
7	5664627,19	6434482,46	116,82	-0,80	-4,51	0,10
8	5664596,37	6434410,47	116,87	1,48	0,46	-5,68
Średnia ogółem:				2,43	0,58	2,70



Rys. 3. Krótki pomiar statyczny na punkcie nr 8

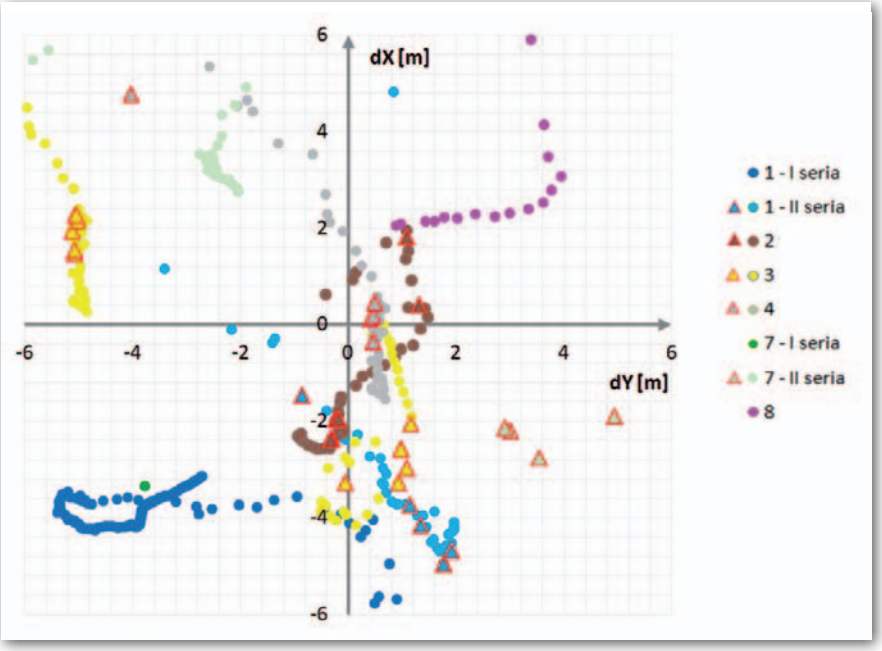
Pomiar szybki statyczny – pozyskane dane

Drugi etap polegał na samodzielnym opracowaniu surowych obserwacji kodowych i fazowych w trybie postprocessingu. W tym celu wykonano dwuminutowe pomiary na tych samych punktach (10 niezależnych serii w jednosekundowym interwale rejestracji). Obserwacje zapisano w formacie RINEX 3.03, wykorzystując aplikację Geo++ Rinex Logger (play.google.com/store/apps/details?id=de.geopp.rinexlogger&hl=pl). Obserwacje opracowano w darmowym oprogramowaniu RTKLib (www.rtklib.com), wyznaczając współrzędne punktów w trybie statycznym w nawiązaniu do stacji WROC systemu ASG-EUPOS. Do obliczeń wykorzystano obserwacje kodowe i fazowe, efemerydy precyzyjne, model opóźnienia troposferycznego Saastamoinena oraz model opóźnienia jonosferycznego pochodzący z depesz nawigacyjnych. Pozycje punktów wyznaczono dwukrotnie: raz dla obserwacji pozyskanych dla jednej częstotliwości, drugi raz – dla obserwacji zarejestrowanych na dwóch częstotliwościach.

Jedynie dla 10% z 80 wykonanych pomiarów udało się zarejestrować wystarczającą liczbę obserwacji kodowych i fazowych. Dla 40% pomiarów urządzenie zarejestrowało niedostateczną liczbę obserwacji (z mniej niż 5 satelitów). Dla połowy z wykonanych sesji pomiarowych nie zarejestrowano obserwacji fazowych, których brak wyklucza możliwość wyznaczenia precyzyjnej pozycji w trybie szybkim statycznym. Zarejestrowane w plikach RINEX obserwacje kodowe mogłyby posłużyć do obliczeń różnicowych w trybie DGNSS bądź do wyznaczenia pozycji absolutnej, jednak w tym drugim przypadku współrzędne mają kilkumetrową dokładność, co zademonstrowano wcześniej.

Pomiar szybki statyczny – opracowanie

Dalszym analizom poddano jedynie te współrzędne, które udało się wyznaczyć dzięki obserwacjom kodowym i fazowym (rys. 4 i tab. 2). Jako ostateczne wyniki dla każdej z 8 sesji pomiarowych przyjmowano ostatnie rozwiązanie ty-



Rys. 4. Pomiar szybki statyczny – różnice wszystkich wyznaczonych pozycji względem referencyjnych (trójkąty – rozwiązania fix, kropki – float)

Tab. 2. Porównanie współrzędnych wyznaczonych w postprocessingu (pomiar szybki statyczny) ze współrzędnymi referencyjnymi (układ PL 2000/18, wysokości normalne PL-KRON86-NH)

Nr punktu	Współrzędne referencyjne			Średnie różnice współrzędnych			Liczba uzyskanych rozwiązań
	X [m]	Y [m]	H [m]	dX [m]	dY[m]	dH [m]	
1	5664722,79	6434374,11	136,26	-4,04	-0,48	8,17	2
2	5664726,01	6434375,28	136,27	-2,35	-0,30	3,84	1
3	5664735,52	6434372,57	136,26	-0,19	0,44	0,34	1
4	5664737,35	6434367,03	136,23	0,47	0,47	3,48	1
5	5664720,87	6434308,28	139,40	–	–	–	0
6	5664718,15	6434308,27	139,36	–	–	–	0
7	5664627,19	6434482,46	116,82	-1,71	-2,91	1,13	2
8	5664596,37	6434410,47	116,87	3,99	2,13	16,51	1

pu fix, jakie udało się uzyskać. W przypadku braku rozwiązań typu fix przyjęto ostatnie rozwiązanie typu float.

Dla dwóch punktów pomiarowych (5 i 6) nie udało się wyznaczyć żadnej pozycji. Dla pozostałych uzyskano jedno bądź dwa rozwiązania. Co ciekawe, wyniki okazały się identyczne dla obliczeń z wykorzystaniem jednej i dwóch częstotliwości. Po analizie zawartości poszczególnych plików RINEX zauważono, że dla satelitów Galileo zarejestrowane zostały jedynie obserwacje na częstotliwości E5a. Z kolei obserwacje z systemu GPS rejestrowane były z dwóch częstotliwości (L1/L5), przy czym jedynie satelity nowych generacji (blok IIF i blok III, aktualnie odpowiednio 12 i 0 aktywnych) mogą transmitować obserwacje na częstotliwości L5. W poszczególnych epokach obserwowano maksymalnie 3 satelity GPS transmitujące na dwóch częstotliwościach. Niewielka liczba obserwacji dwuczęstotliwościowych ogranicza ich wpływ na wynik końcowy. Co więcej, obserwacje dwuczęstotliwościowe przydają się zwłaszcza wtedy, gdy stacja referencyjna znajduje się daleko od miejsca pomiaru. Wtedy dzięki kombinacji liniowej obserwacji możliwe jest całkowite wyeliminowanie wpływu jonosfery. W przypadku realizowanego eksperymentu stacja referencyjna WROC znajdowała się blisko punktów pomiarowych (około 60 m) i opóźnienie jonosferyczne udało się z powodzeniem wyeliminować w jednoczęstotliwościowych pomiarach różnicowych.

Różnice dla składowej X wahają się między 20 cm a 4 m. Nieco mniejsze obserwujemy dla składowej Y. Dla punktów 1-4, czyli tych, dla których horyzont nie jest znacznie przesłonięty, to maksymalnie 0,5 m, dla dwóch pozostałych (zlokalizowanych na chodniku) różnice te przekraczają 2 m. Podobnie jak w przypadku aplikacji geoGPS, najmniej dokładnie wyznaczana jest wysokość. Jedynie dla punktu 3 i 7 różnice oscylują wokół 1 m, dla pozostałych od 3 aż do 16 m.

Pozycje punktu wyznaczone w każdej epoce pomiarowej z podziałem na serię pomiaru oraz typ rozwiązania przedstawia rys. 4. Stwierdzono, że rozwiązań typu fix jest znacznie mniej niż typu float. Stanowią one około 10% wszystkich uzyskanych. Rozwiązań typu fix nie udało się osiągnąć dla I serii pomiarów na punkcie 1 i 7 oraz dla serii na punkcie 8. Wyniki wyraźnie odstające dokładnością od pozostałych zostały wyznaczone w początkowych epokach pomiarowych. Dłuższy czas pomiaru poprawiał precyzję wyznaczenia współrzędnych, a więc większą powtarzalność (spójność) wyznaczanej pozycji. Mimo to rozbieżności między wartościami są nadal rzędu 1-2 m.

Podobnie zachowują się składowe wysokościowe. Różnice między wysokościami wyznaczonymi i referencyjnymi początkowo są większe (sięgają nawet 20 m) i z czasem się stabilizują. Mimo to jedynie dla punktów 2, 3 i 4 różnice te nie przekraczają 5 metrów.

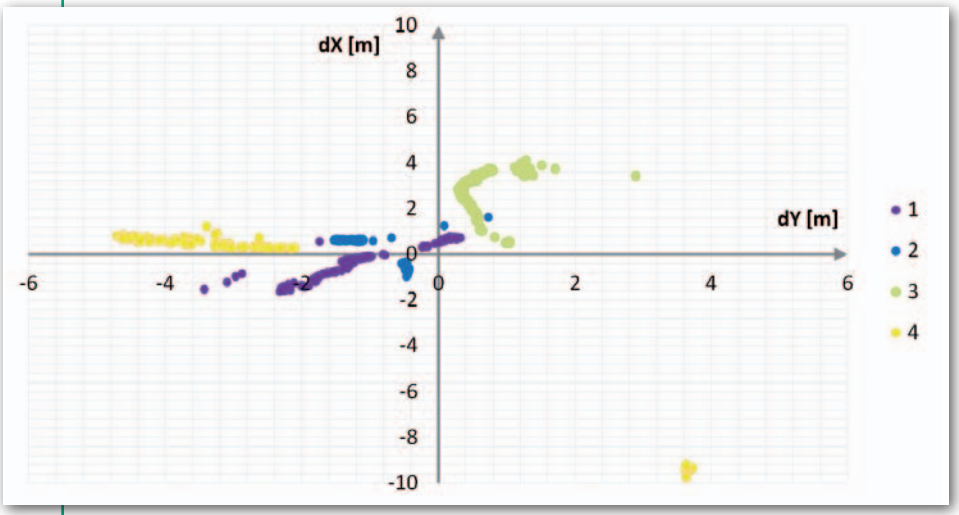
Pomiar statyczny

Trzeci etap eksperymentu polegał na wykonaniu 4-godzinnego pomiaru statycznego na punkcie nr 5. Telefon umieszczono w uchwycie samochodowym, który przytwierdzono do zamontowanej na statywie spodarki, dzięki czemu urządzenie zostało spoziomowane i scentrowane nad punktem. Nieznane jest dokładne położenie centrum fazowego anteny w smartfonie, lecz biorąc pod uwagę jego wymiary i dokładność wcześniejszych pomiarów, informacja ta nie jest kluczowa. Z tego względu jako punkt odniesienia przyjęto środek telefonu. Rejestrację pomiarów wykonano również z użyciem aplikacji Geo++ Rinex Logger. Po kontroli zawartości pliku RINEX zauważono, że nie zostały zarejestrowane żadne obserwacje fazowe, co uniemożliwia precyzyjne opracowanie danych. Ponadto liczba satelitów, z których rejestrowane były obserwacje, spadała wraz z czasem pomiaru. W początkowych epokach rejestrowano obserwacje z 14 satelitów (w tym 5 Galileo, 9 GPS), aby pod koniec pomiaru uzyskiwać obserwacje jedynie z dwóch satelitów GPS. Może to wynikać ze wzrostu temperatury urządzenia, chociaż smartfon, zgodnie ze specyfikacją, powinien śledzić sygnał w całym okresie pomiaru. Ponadto nie zarejestrowano ani jednej obserwacji z systemu GLONASS czy BeiDou.

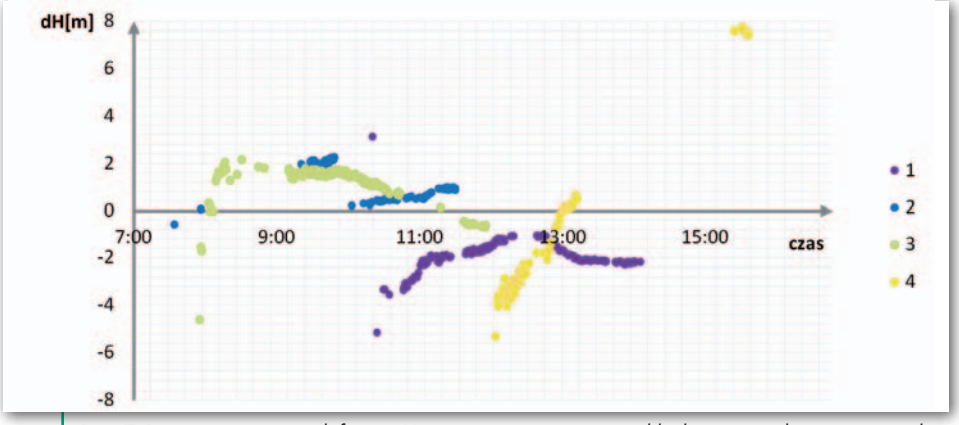
Z tego powodu kolejne 4 sesje pomiarowe (na tym samym punkcie) zrealizowano za pomocą smartfonu Huawei P10, wyposażonego w jednoczęstotliwościowy chipset BroadcomBCM4774. Tym



Rys. 5. Pomiar statyczny smartfonem Xiaomi Mi 8 na punkcie nr 5



Rys. 6. Pomiar statyczny telefonem Huawei – różnice wartości składowych poziomych względem referencyjnych



Rys. 7. Pomiar statyczny telefonem Huawei – zróżnicowanie składowej wysokościowej względem referencyjnych

razem udało się zarejestrować wystarczająco liczne obserwacje fazowe dla systemów GPS (L1), GLONASS (L1), Galileo (E1) i BeiDou (B2). Liczba śledzonych satelitów była jednak wciąż znacznie (30-50%) mniejsza niż na pobliskiej stacji WROC.

Pozyskane obserwacje opracowano analogicznie jak w etapie II. Do dalszych analiz użyto jedynie rozwiązania typu fix. W tym przypadku w obliczeniach wykorzystano obserwacje kodowe i fazowe, efemerydy precyzyjne, model opóźnienia troposferycznego Saastamoinena oraz model opóźnienia jonosferycznego z plików IONEX. Wyznaczone pozycje porównano z wartościami uzyskanymi z pomiaru statycznego wykonanego profesjonalnym odbiornikiem geodezyjnym (rys. 6 i 7).

Wykluczając obserwacje odstające, dla składowej północnej uzyskano różnice od 30 cm do 1 m, a wschodniej – od 50 cm do 5 m. Dużo lepiej została wyznaczona wysokość. Różnice sięgają maksymalnie 4 m.

Mimo że Huawei P10 dysponuje odbiornikiem jednoczęstotliwościowym, udało się, wykorzystując te same narzędzia, zebrać dane lepszej jakości niż za pomocą Xiaomi Mi8. Wszystkie zapisy z pomiarów udało się opracować. Nie są to jednak zadowalające dokładności. Dane są mało stabilne i mało dokładne. W pomiarach statycznych bardzo trudno uzyskać dokładność lepszą niż 0,5 m, a co za tym idzie, technologia ta nie nadaje się nawet dla pomiarów szczegółów sytuacyjnych III grupy dokładnościowej.

Jeszcze nie czas

Dynamiczny rozwój urządzeń mobilnych w ostatnich latach związany był także z miniaturyzacją i udoskonalaniem odbiorników GNSS. Najnowsze urządzenia potrafią śledzić sygnał z wielu konstelacji satelitarnych, a w 2018 roku na rynek trafiły smartfony wyposażone w odbiorniki dwuczęstotliwościowe. Naprzeciw oczekiwaniom użytkowników wyszedł Google, który w kolejnych wersjach systemu Android umożliwił dostęp nie tylko do pozycji wyznaczonej przez odbiornik, ale także do surowych danych GNSS, pozwalających odtworzyć obserwacje kodowe i fazowe.

W teorii możliwe jest więc samodzielne opracowanie dwuczęstotliwościowych, kodowych i fazowych obserwacji GNSS, aby uzyskać pozycję znacznie dokładniejszą od tej podawanej bezpośrednio przez urządzenie. W praktyce napotkaliśmy wiele problemów, które skutecznie to uniemożliwiły. Przede wszystkim barierą jest niewielka liczba obserwacji dobrej jakości (szczególnie obserwacji fazowych), które można dalej opracować. Niestety, nie udało się jednoznacznie stwierdzić, czy wynika to z właściwości chipsetu GNSS, oprogramowania telefonu czy aplikacji do zapisywania plików.

Zaobserwowano, że urządzenia (lub oprogramowanie) nie rejestrują sygnałów ze wszystkich widocznych satelitów, a w przypadku Xiaomi Mi8 liczba obserwacji spadała wraz z czasem pomiaru. Ponadto rejestracja obserwacji dwuczęstotliwościowych okazała się raczej chwytem promującym smartfon Xiaomi. Dla systemu Galileo zarejestrowano tylko obserwacje na częstotliwości E5a. Dla systemu GPS udało się, co prawda, zarejestrować obserwacje L1 i L5, ale liczba satelitów GPS, które aktualnie transmitują te częstotliwości, jest niewystarczająca, aby uzyskać pełne rozwiązanie dwuczęstotliwościowe.

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów stwierdzamy, że obserwacje GNSS pozyskane urządzeniem mobilnym obecnie nie pozwalają wykonać pomiarów, które mogłyby mieć szersze zastosowanie w geodezji. Współrzędne podawane bezpośrednio przez telefon mają dokładność kilkumetrową. Czterogodzinny pomiar statyczny, który opracowano w nawiązaniu do stacji referencyjnej znajdującej się niemalże w bezpośrednim sąsiedztwie pomiaru, nie pozwolił na uzyskanie decymetrowej dokładności.

Tematyka precyzyjnego pozycjonowania GNSS z wykorzystaniem urządzeń mobilnych stała się bardzo aktualnym problemem badawczym w skali światowej (na corocznej konferencji Instytutu Nawigacji w Miami poświęcono mu kilkadziesiąt prezentacji). Należy więc oczekiwać, że współpraca społeczności GNSS, w tym producentów miniaturowych odbiorników i anten, producentów urządzeń mobilnych, a także rozwój systemu Android przyczynią się wkrótce do znacznej poprawy jakości obserwacji GNSS. Czas pokaże, czy uda się uzyskać dokładności, które są wymagane w pracach geodezyjnych.

Natalia Wielgocka, dr hab. Tomasz Hadaś
Instytut Geodezji i Geoinformatyki
Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu