

Warszawa, dnia 8.05.2018 r.

prof. dr hab. inż. Janusz Bogusz

Wojskowa Akademia Techniczna

Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji

RECENZJA

rozprawy habilitacyjnej pt. „Analiza źródeł błędów w precyzyjnym pozycjonowaniu techniką GNSS Precise Point Positioning i nowe sposoby ich redukcji” oraz osiągnięć naukowych dr. inż. Tomasza Hadasia

Podstawą formalną wykonania niniejszej recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu prof. dr. hab. inż. Bernarda Kontnego nr IDDD0000.4002.69.2018 z dnia 28.03.2018 r.

Na rozprawę habilitacyjną dr. inż. Tomasza Hadasia składa się cykl 5 prac opublikowanych w latach 2017-2018, wszystkie z nich to publikacje w języku angielskim w wydawnictwach o zasięgu międzynarodowym indeksowanych w Journal Citation Reports (JCR), należących do grupy wiodących w światowej geodezji. W cyklu nie ma prac indywidualnych, w dwóch artykułach rozprawy dr Hadaś jest pierwszym autorem, reszta to prace z udziałem kilku autorów, przy wkładzie Habilitanta (według załączonych deklaracji) od 20% do 75%. Indeks Hirscha Habilitanta według Web of Science Core Collection wynosi $h=4$ przy 80 cytowaniach zewnętrznych. Do rozprawy dołączona jest obszerna dokumentacja, w tym autoreferat będący przeglądem całokształtu aktywności naukowej i dydaktycznej Habilitanta oraz przewodnik po publikacjach stanowiących rozprawę habilitacyjną.

Dr inż. Tomasz Hadaś obronił pracę inżynierską na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, następnie magisterską na tymże samym Wydziale, na specjalności Geoinformatyka, napisaną pod kierunkiem prof. Jarosława Bosego. W 2011 roku rozpoczął pracę jako asystent, potem został zatrudniony na etacie adiunkta naukowo-dydaktycznego po tym jak w roku 2015 Rada WIKŚiG UPWr nadała mu stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie „geodezja i kartografia” na podstawie rozprawy doktorskiej pt. „Doskonalenie metod precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego GNSS w czasie rzeczywistym”.

Główne obszary działalności naukowej dr. inż. Tomasza Hadasia mieszczą się w zakresie badań związanych z problematyką pozycjonowania z wykorzystaniem nawigacyjnych systemów satelitarnych. Posiada doświadczenie w prowadzeniu badań, uczestniczył w realizacji 4 naukowych projektów międzynarodowych (w tym 1 jako kierownik z ramienia UPWr) oraz 6 krajowych (w tym 1 jako kierownik). Pozostały (poza cyklem) dorobek publikacyjny Habilitanta obejmuje 50 pozycji po doktoracie, z czego jednak większość (39) to opublikowane abstrakty w materiałach konferencyjnych oraz niepublikowane ekspertyzy i raporty. Dorobek naukowy to również 95 wystąpień na konferencjach (prezentacje ustne i posterowe), w tym 19 wygłoszonych osobiście w większości w języku angielskim. Na oryginalne osiągnięcia naukowo-technologiczne składają się: oprogramowanie GNSS-WARP do pozycjonowania techniką PPP (autorstwo) oraz serwis internetowy HORION-PL (współautorstwo) dotyczący jonosferycznych poprawek wyższych rzędów.

Jeśli chodzi o osiągnięcia organizacyjne to dr inż. Tomasz Hadaś brał udział w organizacji dwóch liczących się konferencji międzynarodowych, które miały miejsce we Wrocławiu, prowadził również sesję G06-2 „Geodetic remote sensing” na międzynarodowej konferencji naukowej IAG-IASPEI w Kobe. Na podkreślenie zasługuje również odbycie 4 zagranicznych staży naukowych, członkostwo w służbie IGS (ang. International GNSS Service), jak również wykonane recenzje dla pism JCR oraz wniosku projektowego. Za działalność naukową otrzymał 6 krajowych nagród. Pełni funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim oraz opiekował się naukowcem z Kanady w ramach STSM (ang. Short-Term Scientific Missions) akcji COST (ang. European Cooperation in Science and Technology).

Na dorobek dydaktyczny obejmujący lata 2011-2018 składają się zajęcia ze studentami prowadzone na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu z takich przedmiotów jak: geodezyjne pomiary szczegółowe, systemy GNSS w pomiarach geodezyjnych, rachunek wyrównawczy, satelitarne techniki pomiarowe, systemy i układy odniesień przestrzennych, układy odniesienia i osnowy geodezyjne czy geodezyjne układy odniesienia. Był opiekunem rocznika studentów, promotorem 8 prac dyplomowych, recenzentem oraz członkiem komisji egzaminacyjnych.



Zakłócenia wprowadzane przez atmosferę (troposfera i jonosfera) należą do głównych elementów powodujących degradację dokładności wyznaczenia pozycji za pomocą nawigacyjnych systemów satelitarnych. Trudność modelowania troposfery polega na nieznanym aktualnego rozkładu pary wodnej w atmosferze, kluczowego do oszacowania części mokrej opóźnienia troposferycznego (ZWD – Zenith Wet Delay). Jednakże odwracając zagadnienie, ZTD (ang. Zenith Total Delay) wyznaczone z GNSS (ang. Global Navigation Satellite System) może stanowić źródło informacji na temat troposfery, które po odpowiednim zasymilowaniu mogą wspomagać numeryczne modele prognoz pogody (NWPM – Numerical Weather Prediction Models). Zagadnienie jeszcze bardziej komplikuje się, gdy informację na temat stanu troposfery chcemy uzyskać dla precyzyjnego pozycjonowania w czasie rzeczywistym. Ponadto w metodzie pozycjonowania absolutnego (PPP – Precise Point Positioning) jakość orbit i zegarów satelitów różnych systemów nawigacyjnych odgrywa rolę kluczową. Tą właśnie problematyką zajął się Habilitant w swoich badaniach.

Pierwszy artykuł [1], który wchodzi w skład cyklu publikacyjnego, dotyczy problematyki modelowania stochastycznego. Jest to praca wieloautorska z zasadniczym wkładem Habilitanta, którego koncepcja powstała w trakcie jego stażu na Uniwersytecie w Luksemburgu w ramach STSM akcji COST ES 1206 „GNSS4SWEC – Advanced Global Navigation Satellite Systems tropospheric products for monitoring severe weather events and climate”. W badaniach zdefiniowany został model stochastyczny błędzenia przypadkowego jako optymalny do opisu zmian części mokrej opóźnienia troposferycznego w postaci procesu dynamicznego, w przeciwieństwie do poprzednich tego typu rozwiązań, bazujących na niezmiennych w czasie parametrach szumowych. Wykorzystany do tego celu został fakt dostępności produktów czasu rzeczywistego z GNSS, które z kolei otworzyły nowy rozdział w meteorologii (ang. Near-Real Time GNSS Meteorology). Prace badawcze zostały przeprowadzone na podstawie dwóch dostępnych modeli numerycznych prognoz pogody: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) oraz National Centre for Environmental Prediction (NCEP) Global Forecast System (GFS). Opracowanie obserwacji GNSS wykonano w napisanym przez Habilitanta oprogramowaniu GNSS-WARP. Autor zaproponował modyfikację jednowymiarowego procesu Markowa o dynamicznie wyznaczone parametry błędzenia przypadkowego. Wyniki zostały zaprezentowane w globalnej siatce geodezyjnej oraz na wykresach zmienności RWPN (ang. Random Walk Process Noise), jednakże w publikacji nie zamieszczono wykresu widmowej gęstości mocy, który tak naprawdę mógłby podkreślić istotność zastosowania szumu w postaci błędzenia przypadkowego. Najnowsze badania mówią raczej o szumie autoregresyjnym i jego kombinacji z szumem białym. Należy zaakcentować również, iż metoda ta wymaga znajomości stochastycznego modelu a-priori w celu modelowania w czasie prawie-rzeczywistym.

Kolejna praca Habilitanta [2] dotyczy problemu wykorzystania numerycznych modeli prognoz pogody dla opisu stanu troposfery. Jest to praca wieloautorska, w której Habilitant jest drugim autorem z 35% wkładem. W publikacji autorzy przeanalizowali wpływ różnych modeli troposferycznych oraz funkcji odwzorowujących (ang. Mapping Functions) na dokładność wyznaczenia pozycji oraz czas uzyskania zbieżności rozwiązań w metodzie pozycjonowania absolutnego. Nowum zaproponowanym w tej pracy jest wprowadzenie dodatkowego równania do układu równań obserwacyjnych powodujące nałożenie warunku na estymowaną wartość opóźnienia troposferycznego metodą śledzenia promieni (ang. Ray-Tracing). Do badań autorzy użyli techniki pozycjonowania absolutnego, która w dniu dzisiejszym wydaje się być najbardziej przyszłościową jeśli chodzi o dokładności geodezyjne, a mającą tę przewagę nad pomiarami kinematycznymi (np. RTK – Real-Time Kinematics), iż niemalże nie wymaga wspomagania przez naziemne stacje referencyjne. Jednakże konieczne jest precyzyjne modelowanie wielu elementów (zegary, orbity satelitów, atmosfera), z których troposfera jest najtrudniejsza do opisu z uwagi na dużą dynamikę zmian. Zdając sobie sprawę z ograniczeń przestrzennych dostępnych numerycznych modeli prognoz pogody autorzy wykorzystali wysokorozdzielczy model predykcyjny bazujący na WRF (ang. Weather Research and Forecasting) generowany na Uniwersytecie Wrocławskim. Opracowania obserwacji nawigacyjnych GNSS również dokonano w napisanym przez Habilitanta oprogramowaniu GNSS-WARP w trybie statycznym i kinematycznym (dwa rodzaje). Artykuł kończy się rekomendacją najlepszego rozwiązania modelowania troposfery dla metody PPP w czasie rzeczywistym (ang. Real-Time PPP). Moje wątpliwości dotyczą weryfikacji rozwiązań statycznych przeprowadzonej na bazie współrzędnych 14 stacji EPN (ang. EUREF Permanent GNSS Network) znajdujących się na terenie Polski, na potrzeby której jako wielkości prawdziwe przyjęto oficjalne współrzędne z rozwiązań tygodniowych. Uważam, że wy tłumaczenie potencjalnych różnic pomiędzy rozwiązaniami może prowadzić do błędnych wniosków, ponieważ współrzędne referencyjne pochodzą z rozwiązania sieciowego i poddane zostały wcześniejszej kumulacji. Z tego powodu zbieżność (ale również rozbieżność) wyników jest ciężka do interpretacji, co zresztą widać na rys. 6 (str. 1348) omawianego artykułu. Dużo lepszym sposobem weryfikacji użyteczności stosowanych algorytmów jest czas zbieżności w metodzie kinematycznej przedstawiony na końcu artykułu, aczkolwiek autorzy nie wytłumaczyli znacznej (do 60 minut, rys. 10) różnicy pomiędzy poszczególnymi stacjami.



Publikacja nr [3] omawianego cyklu jest wynikiem pracy Habilitanta w projekcie Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA – European Space Agency) nad modelowaniem jonosferycznych poprawek wyższego rzędu (HOIT – Higher Order Ionospheric Terms). Z uwagi na fakt, iż zarówno orbity, jak i zegary satelitów GNSS są czułe na wpływ poprawek drugiego i trzeciego rzędu zagadnienie to jest niezwykle istotne dla precyzyjnego pozycjonowania metodą PPP. W ramach projektu, poza badaniami czysto poznawczymi, powstał również serwis modelowania i usuwania jonosferycznych poprawek wyższego rzędu z obserwacji pozycjonowania względnego działający zarówno w wersji polskiej, jak i angielskiej na stronie firmy Leica, partnera projektu. Na podkreślenie zasługuje jego aktualność, gdyż uwzględnia już obserwacje wykonane nie tylko w pracujących od kilku lat systemach GPS i GLONASS, ale również Galileo i BeiDou. W artykule autorzy przedstawili nie tylko metodykę, ale również sposób walidacji wyników pracy serwisu na podstawie rzeczywistych obserwacji GNSS z różnych części świata i różnych sieci, nie tylko globalnej (IGS), ale również lokalnych, włączając w to polski system ASG-EUPOS. W opisywanej metodzie istotna jest konieczność wykorzystania istniejącego modelu jonosfery (w pracy był to GIM – Global Ionosphere Maps), zabrakło mi dyskusji nad różnicami w poszczególnych modelach (np. JPL, CODE itp.). W ostatnim etapie badań wyznaczono wpływ poprawek jonosferycznych wyższych rzędów na wyznaczone orbity i zegary GPS+GLONASS oraz wybrane parametry orientacji Ziemi (ERP – Earth Rotation Parameters). Wszystkie te elementy są niezwykle istotne w technice pozycjonowania absolutnego, w artykule testowano zarówno wersję statyczną, jak i kinematyczną z użyciem oprogramowania GNSS-WARP. Różnice w wyznaczonych wartościach zenitalnego opóźnienia troposferycznego (ZTD) okazały się być nieistotne. Pomimo, iż nie zauważono istotnych różnic dla pozycjonowania metodą RTK, konieczność wprowadzania tego typu korekcji do precyzyjnych pomiarów geodezyjnych jest niepodważalna.


Publikacja [4] jest opracowaniem naukowym z mniejszościowym udziałem Habilitanta na temat oceny jakościowej orbit i zegarów satelitów GNSS udostępnianych przez CNES (fr. Centre National d'Études Spatiales) w kontekście pomiarów w czasie rzeczywistym. Ocenę jakości wykonano w porównaniu do produktów projektu MGEX (ang. Multi-GNSS Experiment) oraz za pomocą zmodyfikowanej wersji wariacji Allana (MDEV – Modified Allan Deviation). W publikacji pokazano sposoby wyznaczenia parametru IOD (ang. Issue of Data), który nadawany jest w depeszy nawigacyjnej systemów GPS i Galileo w przeciwieństwie do GLONASS i BeiDou. Przetestowano również dostępność produktów, element istotny w kontekście pozycjonowania w czasie rzeczywistym. Autorzy zwrócili uwagę na nieciągłości w orbitach (trzy główne kierunki: radial, along-track, cross-track) wynikające z wpasowania łuków w szeregi czasowe zmian pozycji satelitów sięgające nawet do 6 m dla satelitów geostacjonarnych systemu BeiDou.



W kolejnym etapie badań wykonano walidację orbit z wykorzystaniem techniki SLR (ang. Satellite Laser Ranging), z uwagi na fakt, iż satelity nawigacyjne (aczkolwiek z wyjątkiem większości GPS) posiadają retroreflektory. W ramach wyników pokazano redukcję błędu wyznaczenia pozycji za pomocą kinematycznej metody PPP w przedziale od 7% do 36% w zależności od dodatkowego systemu nawigacji satelitarnej włączanego do rozwiązania GPS, przy dużo mniejszej redukcji dla pozycjonowania statycznego PPP. Poprawa ta wynika jednak tylko z lepszej geometrii w pozycjonowaniu wielosystemowym w stosunku do systemu pojedynczego.

Publikacja [5] również jest opracowaniem naukowym z mniejszościowym udziałem Habilitanta i dotyczy rozwiązania problemu porównania różnych systemów GNSS za pomocą wprowadzenia wag do obserwacji. Wynika to z faktu, iż każdy z systemów ma inny układ odniesienia, odmienną skalę czasu oraz konstelację satelitów. Zaproponowany sposób wagowania oparty został na bazie współczynnika SISRE (ang. Signal-In-Space Range Error), a poprawa jakości rozwiązań z 12 globalnie rozmieszczonych stacji IGS widoczna była zarówno w powtarzalności współrzędnych z rozwiązań dobowych, błędzie ich wyznaczenia (na bazie niewyjaśnionego w pracy pojęcia „formal error” oraz powtarzalności), jak i czasie zbieżności rozwiązania. Analizę oparto na modelu stochastycznym (lub raczej szumie białym o odpowiednio modyfikowanych parametrach) i podejściu empirycznym, a zaproponowana metoda skalowania modelu optymalnego dla GPS wydaje się być odpowiednia, aczkolwiek wraz z rozwojem nawigacyjnych systemów satelitarnych powinna ewoluować, gdyż bazuje na tym, iż dokładność pozycjonowania za pomocą GPS jest jeszcze dużo lepsza od dokładności pozycjonowania za pomocą innych, pojedynczo użytych, systemów.

Podsumowując, pomimo kilku krytycznych uwag zamieszczonych w recenzji oceniam, że dr inż. Tomasz Hadaś ma znaczący dorobek naukowy, a wyniki zaprezentowane w rozprawie habilitacyjnej stanowią istotny wkład do rozwoju badań nad pozycjonowaniem w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem nawigacyjnych systemów satelitarnych oraz do nauki w ogólności z uwagi na publikacje w liczących się pismach o zasięgu światowym. Habilitant jest pierwszym autorem tylko w dwóch artykułach na pięć składających się na cykl, a w dwóch kolejnych jest drugim autorem, aczkolwiek uważam, że mankament ten jest rekompensowany przez rangę pism, w których publikuje (i dużą w związku z tym liczbę cytowań zewnętrznych), zakres realizowanej współpracy międzynarodowej oraz osiągnięcia technologiczne.



Strona 6

W związku z powyższym stwierdzam, że spełnione są prawne (ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami) oraz rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. 2016, poz. 1586, tom 1)) i zwyczajowe wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego i przedkładam wniosek o dopuszczenie dr. inż. Tomasza Hadasia do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.



Janusz Bogusz