

## **Recenzja**

Rozprawy doktorskiej **mgr inż. Adriana Kaczmarka** pt.:

### **Detekcja sygnałów geofizycznych w szeregach czasowych współrzędnych stacji permanentnych GNSS**

Rozprawa doktorska mgr inż. Adriana Kaczmarka dotyczy problematyki zdefiniowania, wyboru i przetestowania optymalnych metod identyfikacji sygnałów geofizycznych w szeregach czasowych współrzędnych stacji GNSS. Autor wskazuje te problemy badawcze jako główne do rozwiązania w trakcie badań. Cel rozprawy doktorskiej definiuje jako: detekcja sygnałów geofizycznych (zakłócających) w szeregach czasowych współrzędnych stacji permanentnych GNSS o charakterze globalnym oraz analiza korelacji deformacji wyznaczonych z dostępnej kompilacji modeli deformacji geofizycznych ze współrzędnymi stacji GNSS. W swoich badaniach Autor stara się najpierw zweryfikować dostępne modele deformacji skorupy ziemskiej. W dalszej części testuje autorską metodę identyfikacji składowych okresowych pod nazwą iLSE (iteracyjna metoda estymacji metodą najmniejszych kwadratów). Ponadto przeprowadza analizę rodzaju szumu występującego w danych pomiarowych oraz analizuje rozkład przestrzenny deformacji skorupy ziemskiej wyznaczonych z modeli geofizycznych i ich wpływ na zmiany współrzędnych.

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z cyklu trzech artykułów spójnych tematycznie. Autor określa swój udział odpowiednio na 80%, 90% i 100%. Przedstawiona do oceny dokumentacja, oprócz wskazanych trzech artykułów zawiera: spis treści, streszczenie w języku polskim i angielskim, skróty i akronimy, wprowadzenie, cele i zakres pracy, metodologię, wnioski, plan dalszych badań, opis pozostałego dorobku i najważniejszych osiągnięć naukowych oraz bibliografię.

Rozdział „wprowadzenie” stanowi krótkie omówienie znaczenia i możliwości użycia szeregów czasowych współrzędnych stacji permanentnych GNSS w zadaniach geodynamicznych. Autor wylicza składowe sygnału jakie można wyodrębnić w szeregach czasowych. Wskazuje przyczyny występowania sygnałów rocznych i półrocznych oraz wpływ szumu pomiarowego na dokładność wyznaczenia prędkości stacji GNSS. Omawia krótko podział sygnałów na globalne i lokalne.

W rozdziale „zakres pracy” wymienia etapy realizacji pracy oraz wskazuje trzy główne geofizyczne modele deformacji, których wpływ analizował w trakcie badań.

W rozdziale „metodologia” Autor wskazuje na główne zadania badawcze jakie zrealizował w rozprawie doktorskiej. W swoich badaniach wykorzystał analizy falkowe, współczynniki falkowej transformaty odwrotnej CWT, wskaźniki widmowe, funkcję koherencji, funkcje

korelacji oraz funkcję korelacji krzyżowej. Autor wszystkie algorytmy zaimplementował w środowisku Matlab.

Rozdział „streszczenie rozprawy doktorskiej” stanowi przegląd i opis badań zawartych w trzech artykułach stanowiących główny przedmiot rozprawy doktorskiej. Rozdział ten składa się z czterech podrozdziałów. W podrozdziale 4.1 autor udowadnia związek naukowy wskazanych wcześniej artykułów. Autor wskazuje, że na podstawie przeprowadzonej analizy współczynnika korelacji pomiędzy współrzędnymi w szeregu czasowym, a sumą modeli deformacji NTAL+NTOL+HYDRO dla składowej pionowej, nie był on bliski jedności. W związku z tym, Autor zdefiniował kolejny cel badawczy. Dotyczy on poszukiwania odpowiedzi na pytanie czy sposób modelowania sygnału wpływa na ostateczny wynik analizy szumu. Z badań przeprowadzonych przez Autora wynika, że sposób modelowania nie wpływa na ostateczny wynik identyfikacji szumu pomiarowego. Związek z badaniami przeprowadzonymi w publikacji nr 3 jest słabo wyjaśniony. Celem tych badań jest ocena wpływu deformacji powierzchni skorupy ziemskiej. W wyniku przeprowadzonych badań Autor wysnuł wniosek że znaczący wpływ na zmiany współrzędnych dla składowej pionowej mają obciążenia atmosferyczne.

*Podrozdział 4.2 jest opisem treści zawartych w publikacji „Estimates of seasonal signals in GNSS time series and environmental loading models with iterative Last-Squares Estimation (iLSE) approach”* Autor wskazuje tutaj wybrane zastosowanie szeregów czasowych współrzędnych wyznaczonych na stacjach GNSS. Przedstawia, że w tych szeregach wyróżnić można trend liniowy i nieliniowy, sygnały sezonowe, nieciągłości i szumy pomiarowe. Jako główny cel artykułu autor podaje: identyfikację sygnałów okresowych w szeregach czasowych współrzędnych oraz określenie współczynnika korelacji pomiędzy zmianami współrzędnych, a deformacjami powierzchni skorupy ziemskiej wyznaczonymi dostępnymi modelami geofizycznymi. Doktorant przedstawia, jakie dane użył w badaniach oraz uzasadnia ten wybór. Omawia modele deformacji powierzchni skorupy ziemskiej oraz uzasadnia wybór jednego reprezentatywnego modelu, który w pracy doktorskiej oznaczony jest jako SUM. Model ten ma rozdzielczość  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ . Do analiz używa dobowych szeregów czasowych współrzędnych ze stacji GNSS rozmieszczonych w różnych częściach świata. Analizę składowych okresowych Autor przeprowadził z wykorzystaniem funkcji FFT i metody iLSE. Podczas analiz oblicza także przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałami współrzędnych, a sygnałem modelu SUM. Stosuje tu funkcję korelacji krzyżowej. Uzasadnia także wybór składowej rocznej. W rezultacie Autor wykazał, że w szeregach czasowych współrzędnych horyzontalnych i wysokościowych występujący okres roczny i półroczny nie jest jednoznacznie określony z użyciem funkcji FFT, natomiast użycie autorskiej metody iLSE uwidoczniało jednoznacznie występowanie okresu rocznego zarówno w szeregach czasowych współrzędnych jak i modelu SUM.

Występowanie okresu rocznego potwierdził przeprowadzając analizę falkową sygnałów. Dodatkowe badania wykazały, że składowa roczna nie jest stała w czasie dla całego szeregu czasowego współrzędnych horyzontalnych. W dalszej części pracy Autor skupia się na analizie korelacji pomiędzy modelowanymi sygnałami SUM, a współrzędnymi wysokościowymi w przyjętych do badań szeregach czasowych. Główny wniosek z badań opisanych w publikacji nr 1 Autor przedstawia jako wskazanie, że na zmiany współrzędnych wysokościowych

w przyjętych szeregach czasowych ślinie oddziałują deformacje skorupy ziemskiej, a dla obszarów o dużym wpływie zmian hydrologicznych modele deformacji nie są dokładne.

*Podrozdział 4.3* jest opisem treści zawartych w publikacji „*Identification of the Noise Model in the Time Series of GNSS Stations Coordinates Using Wavelet Analysis*”. Pomimo, że nie wynika to z początkowej fazy opisu w tym podrozdziale Autor podkreśla znaczenie szumu pomiarowego i jego wpływ na sygnały geodynamiczne i geofizyczne w szeregach czasowych współrzędnych. Jako główny cel badań doktorant wskazał badanie zależności pomiędzy sposobem modelowania sygnału, a szumem pomiarowym występującym w szeregach czasowych współrzędnych stacji GNSS. Do analiz wykorzystał klasyczną metodę LSE oraz falkową transformatę odwrotną CWT (Continuous Wavelet Transform), natomiast do określenia rodzaju szumu: współczynnik  $\kappa$  analizy „Spectral Index”. Do analizy doktorant konsekwentnie wybrał stacje GNSS rozmieszczone w różnych częściach świata. Jako kryterium doboru skali wybrał współczynnik RMS. Na tej podstawie zdefiniował zakres skal odpowiedzialny za rekonstrukcję sygnału. W kolejnym kroku przeanalizował szum występujący w residuach współrzędnych (pomiędzy sygnałem wejściowym, a sygnałem zrekonstruowanym oraz pomiędzy sygnałem wejściowym, a sygnałem modelowanym metodą LSE). W efekcie autor otrzymał informację że w obu przypadkach w szeregach czasowych występuje szum kolorowy. Współczynnik  $\kappa$  jest odpowiednio z przedziałów  $(-0.7 \div -1.9; -0.8 \div -2.0)$ . Autor zdefiniował wniosek główny, że „*metoda estymacji nie ma wpływu na wynik identyfikacji rodzaju szumu występującego w danych pomiarowych*”.

*Podrozdział 4.4* jest opisem treści zawartych w publikacji „*Influence of geophysical signals on coordinate variations GNSS permanent stations in Central Europe*” Jest to jednoautorska publikacja doktoranta. W tym artykule porusza On tematykę zależności zmiany współrzędnych na stacjach GNSS od globalnych procesów geofizycznych. W artykule skupia się na wyznaczeniu współczynnika korelacji pomiędzy deformacjami skorupy ziemskiej dla stacji GNSS, a deformacjami wyznaczonymi w węzłach siatki modelu deformacji. Głównym celem artykułu jest zbadanie, „*czy zasięg deformacji skorupy ziemskiej wyznaczony z modeli geofizycznych ma charakter lokalny (ograniczony powierzchniowo) czy bardziej globalny (o szerokim zasięgu)*”.

Do analiz przyjął modele NTAL – niepływowe deformacje atmosferyczne, NTOL – niepływowe deformacje oceaniczne, HYDRO – deformacje hydrologiczne oraz wcześniej użyty model SUM. Jako stację centralną przyjął stację WROC. Analiza współczynnika korelacji, przeprowadzona przez Doktoranta, potwierdziła globalny charakter deformacji powierzchni skorupy ziemskiej wyznaczanych modelami geofizycznymi. Przeprowadzając analizę korelacji pomiędzy współrzędnymi stacji GNSS wykazał wpływ globalnych modeli deformacji na zmianę współrzędnych wysokościowych. Autor wykazał, że największym źródłem zmian współrzędnych wysokościowych jest deformacja NTAL. Doktorant po obliczeniu współczynnika koherencji pomiędzy współrzędnymi stacji GNSS stwierdza „*że każda stacja rejestruje swoje, indywidualne składowe okresowe*” oraz że „*bardzo istotny wpływ na zmiany współrzędnych stacji pomiarowych mają czynniki lokalne*”

W rozdziale 5 Autor zawarł podsumowanie wszystkich artykułów oraz wskazał najważniejsze wnioski wyciągnięte na podstawie przeprowadzonych badań naukowych. Wnioski te zostały przytoczone we wcześniejszych akapitach.

Po zapoznaniu się z całością rozprawy doktorskiej należy stwierdzić, że przeprowadzone badania są spójne tematycznie, poruszane kwestie dotyczą zagadnień geodynamicznych i są ściśle związane z dyscypliną Inżynieria lądowa i transport.

W przedstawionej do oceny rozprawie doktorskiej można napotkać swego rodzaju niekonsekwencje. Dotyczą one przede wszystkim stosowanego nazewnictwa, przeskokach myślowych i chaotycznym opisie niektórych kwestii rozprawy. Jako główny mankament pracy recenzent wskazuje brak zdefiniowanej jasno tezy pracy, pomimo, że wynika ona pośrednio zarówno z tematu rozprawy doktorskiej jak i szczegółowego celu pracy. Recenzent chciałby, aby doktorant przedstawił tezę badawczą oraz ustosunkował się do jej treści.

Oprócz powyższych jest szereg uwag szczegółowych. Są one zarówno pozytywne jak i negatywne. W dyskusji recenzent chciałby otrzymać odpowiedzi na pytania podkreślone linią.

*Uwagi ogólne na minus.* W skrótach i akronimach brak jest wyjaśnień w języku polskim. Brak jest rozwinięcia skrótów w tekście lub w wykazie skrótów np. GRACE. Co to znaczy, że sygnały lokalne mają losowy charakter? Cele i opisy ze streszczenia nie zawsze pokrywają się z tymi z celu pracy. Doktorant myli sygnały geofizyczne z modelami deformacji. Np. „*dla potrzeb identyfikacji sygnałów geofizycznych w szeregach czasowych współrzędnych wybrano trzy główne sygnały geofizyczne.*”? W metodologii prezentuje już częściowo otrzymane wyniki „*Dodatkowo rekonstrukcja sygnału uwidoczniała inne składowe okresowe...*”

Cel naukowy rozprawy jest przedstawiany w różnych miejscach z różnym rozwinięciem, strona 8 „Streszczenie rozprawy doktorskiej”, strona 6 „Cel i zakres pracy”, strona 1 „Streszczenie”. W streszczeniach występuje zapis „dostępny model” lub „modele deformacji skorupy ziemskiej”. Raz Autor pisze modele deformacji skorupy ziemskiej, a drugi raz modele deformacji geofizycznych. Modele deformacji geofizycznych są pojęciem szerszym. Na stronie nr 8 zdanie jest nieprecyzyjne „*Publikacja 1 przedstawia analizy współczynnika korelacji pomiędzy współrzędnymi, a deformacjami SUM dla składowej Up oraz prezentuje, że dla składowych horyzontalnych występuje przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałami.*” Czy składowa to jest to samo co współrzędne? Jak duże jest to przesunięcie fazowe? Według recenzenta postawione pytanie „czy uwzględnienie jednej lub wielu składowych okresowych w trakcie modelowania sygnału usunie wszystkie niepożądane sygnały i będzie to wpływać na rezultat analizy szumu na stronie nr 8 podrozdział 4.1 „powiązanie tematyczne poszczególnych publikacji” powinno raczej brzmieć: w jakim stopniu usunięcie składowych sezonowych wpływa na jakość modelowania i czy istnieją inne składowe sezonowe poza rocznymi i półrocznymi. Czy uwzględnienie jednej lub wielu składowych okresowych w trakcie modelowania sygnału usunie wszystkie niepożądane sygnały i będzie to wpływać na rezultat analizy szumu? Można doszukać się tu pewnej niekonsekwencji. Zważywszy, że jako wyniki (strona nr 9) autor pisze „*Analizy potwierdziły, że sposób modelowania sygnału nie wpływa na ostateczny wynik identyfikacji szumu pomiarowego.*” Doktorant powinien jasno określić czy identyfikuje czy analizuje w celu identyfikacji?

*Uwagi ogólne na plus.* Autor wszystkie algorytmy zaimplementował w środowisku Matlab dodatkowo stworzył własne skrypty (np. rekonstrukcja sygnału). Świadczy to o jego dodatkowych bardzo przydatnych umiejętnościach. Przeprowadzone badania prezentowane w artykułach są spójne. Dokonał wnikliwej analizy literatury. Wykorzystał aktualną literaturę i najbardziej adekwatną do celu rozprawy doktorskiej, obejmuje ona 26 pozycji głównie autorów zagranicznych.

#### *Pytania i uwagi szczegółowe do publikacji nr 1*

Na stronie nr 9 Autor pisze, że „szeregi czasowe są podstawą m.in...” a dalej pisze „W danych pomiarowych...”. Co według doktoranta jest szeregiem pomiarowym?. Co według Autora oznacza sygnał współrzędnych - Strona nr 10. Autor pisze, że przyjął do analizy składowe roczne, a wyniki otrzymał dla składowych rocznych i półrocznych. Wymaga wyjaśnienia. Wyjaśnić pojęcie „składowa horyzontalna.” Autor używa zamiennie” składowa, współrzędne, sygnał, okres. Przeprowadzone badania wykonano właściwie, ale sposób opisu i planowania badań uwidacznia etap przygotowawczy doktoranta do prac badawczych.

#### *Pytania i uwagi szczegółowe do publikacji nr 2*

Czy doktorant na pewno modelował sygnały GNSS? Czym różni się szum kolorowy od kolorowego charakteru szumu? Strona 12. Czy doktorant mógłby nakreślić przyczynę (oczywiście według doktoranta) dlaczego stacje LAMA i WROC mają tak duży RMS? – fig 4 oraz stacja WROC duży współczynnik kappa fig 6 i 7? Autor stosuje inne oznaczenia modelu w opisie rozprawy, a inne w artykule?

#### *Pytania i uwagi szczegółowe do publikacji nr 3*

Co to jest „globalny zasięg deformacji”? strona 14. Co to jest „sygnał współrzędnych stacji” strona 14.

Biorąc pod uwagę stronę edytorską w opisie rozprawy można było dodać rysunki, szczególnie te do których odnosiły się opisy lub też wskazać odnośniki. Z pewnością opis publikacji byłby bardziej przyjazny.

*Podsumowując, przedstawiona do recenzji praca doktorska zawiera zdefiniowane cele naukowe, elementy eksperymentów, przeglądu literatury oraz wnioski naukowe. Pomimo sporadycznych niekonsekwencji doktorant wykazał się warsztatem naukowym, co też potwierdza jego udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach,, na których wygłosił 7 referatów i 4 postery oraz publikacja nie wchodząca do cyklu doktorskiego posiadająca IF. Współorganizował konferencje międzynarodowe, a także brał udział jako wykonawca w dwóch projektach naukowych.*

*Tym samym stwierdzam, że recenzowana przez mnie rozprawa doktorska mgr inż. Adriana Kaczmarka, przygotowana pod opieką promotora prof. dr hab. inż. Bernarda Kontnego spełnia warunki określone w art 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016 r. poz. 882) i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.*

Kamil Kowalczyk