

Recenzja rozprawy habilitacyjnej oraz dorobku naukowego
dr inż. Marka Trojanowicza
Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji,
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Tytuł rozprawy: „**Nowa metoda lokalnego modelowania quasi-geoidy wykorzystująca geofizyczną technikę inwersji danych grawimetrycznych (metoda GGI)**”

Tytuł rozprawy w wersji anglojęzycznej: „**New method of local quasigeoid modelling using geophysical gravity data inversion technique (the GGI method)**”.

Autor rozprawy: **dr inż. Marek Trojanowicz**

Forma rozprawy: **5 artykułów Autora wraz z Autoreferatem**

I. Ocena merytoryczna rozprawy habilitacyjnej

Rozprawę habilitacyjną stanowi cykl 5 publikacji, których tematyka mieści się w ramach zagadnienia pn. „Nowa metoda lokalnego modelowania quasi-geoidy wykorzystująca geofizyczną technikę inwersji danych grawimetrycznych (metoda GGI)”:

- a) **Trojanowicz M.** (2007) Local modelling of quasi-geoid heights on the strength of the unreduced gravity and GPS/leveling data, with the simultaneous estimation of topographic masses density distribution. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Vol. 10 (4) #35, topic Geodesy and Cartography* [B; 6 pkt]
- b) **Trojanowicz M.** (2012a) Local modelling of quasigeoid heights with the use of the gravity inverse method - case study for the area of Poland. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 9 No. 1 (165), Prague, Czech Republic 2012, pp. 5-18 URL: http://www.irsm.cas.cz/abstracts/AGG/01_12/1_Trojanowicz.pdf [IF 0.530; A; 20 pkt]
- c) **Trojanowicz M.** (2012b) Local quasigeoid modelling using gravity data inversion technique - analysis of fixed coefficients of density model weighting matrix *Acta 2 Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 9 No. 3 (167), Prague, Czech Republic 2012, pp. 269-281 URL: http://www.irsm.cas.cz/abstracts/AGG/03_12/3.Trojanowicz.pdf [IF 0.530; A; 20 pkt]
- d) **Trojanowicz M.** (2015a) Estimation of optimal quantitative parameters of selected input data used in local quasigeoid modelling by the GGI method, *Journal of Spatial Science*, 60:1, 167-178, DOI: 10.1080/14498596.2014.924442 [IF 0.588; A; 20 pkt]
- e) **Trojanowicz M.** (2015b) Assessment of the accuracy of local quasigeoid modelling using the GGI method: case study for the area of Poland. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 59: 1-xxx, DOI: 10.1007/s11200-014-0527-9 (Online First Articles) [IF 0.806; A; 20 pkt]

Artykuły te zostały opublikowane w języku angielskim, w latach 2007-2015, z dość długą przerwą pomiędzy pierwszym z artykułów (2007), a kolejnym (2012). Przedłożone publikacje tematycznie zawierają się w zakresie dyscypliny „geodezja i kartografia”, stanowią monograficzny cykl poświęcony rozwiązaniu określonego zagadnienia naukowego. Habilitant jest jedynym autorem wszystkich pięciu publikacji cyklu. Pierwsza z publikacji została zamieszczona w piśmie z listy ministerialnej „B”, cztery kolejne publikacje cyklu należą do listy ministerialnej „A”, znane są w światowym obiegu informacji dotyczących geodezji i mają swój tzw. „impact factor”, w zakresie od 0.530 do 0.806, w roku opublikowania.

W artykule (a) wprowadzono metodę inwersji danych grawimetrycznych (geophysical gravity inversion, GGI), podano założenia tej metody, pokazano związki między obserwacjami (różnice wysokości normalnych i elipsoidalnych oraz dane grawimetryczne w postaci anomalii lub zaburzeń grawimetrycznych), na tej podstawie wyprowadzono model funkcjonalny do metody najmniejszych kwadratów, w którym niewiadomymi są gęstości przyjętych objętości oraz współczynniki wielomianu niskiego stopnia (5 wartości), opisującego zbiorczy wpływ mas spoza obszaru objętego modelem. W ramach formułowania modelu stochastycznego do metody NK, przeprowadzono rozważania dotyczące macierzy wag obserwacji oraz macierzy W_τ , dającej dodatkowe warunki nałożone na rozkład gęstości, co zapewnia odpowiednie sterowanie procesem rozwiązania zagadnienia odwrotnego. Uzyskany model został przetestowany na obszarze Dolnego Śląska, o bokach około 155 na 142 km. Wykorzystano prawie 8000 wartości pomiarów grawimetrycznych oraz 26 punktów ze znanymi wysokościami normalnymi i elipsoidalnymi. Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono analizę dokładności uzyskanego modelu quasi-geoidy i rozkładu gęstości na terenie objętym badaniami. Uzyskano potwierdzenie słuszności przyjętej metody i jej założeń.

Artykuł (b) poprzedzono bardzo ciekawym wstępem, w którym skrótowo omówiono teorię rozwiązywania zagadnień odwrotnych, różnice między geofizycznym i geodezyjnym rozumieniem inwersji danych grawimetrycznych oraz pokazano historyczny rozwój modeli quasi-geoidy na terenie Polski i ich dokładności. W artykule tym Autor przeprowadził dalsze rozważania dotyczące postaci macierzy W_τ , a następnie przyjął i potwierdził jej postać ostateczną. Badania testowe przeprowadzono na 3 różnych obszarach, leżących na terenie Polski: centralna część Dolnego Śląska, cały Dolny Śląsk oraz obszar całej centralnej Polski, około 117 tys. km². Przetestowano 3 uzyskane modele quasi-geoidy, potwierdzając ich wysoką dokładność. Jako pewną wadę przyjętej metody Autor podał konieczność wykorzystania w tej metodzie punktów o znanej anomalii wysokości i spadek uzyskanych dokładności modeli wraz ze zmniejszoną gęstością tych punktów na modelowanym obszarze.

W artykule (c) przeprowadzono dalsze analizy dotyczące macierzy W_τ . Wykorzystując postać tej macierzy podaną w poprzedniej publikacji, prowadzono badania zmierzające do ustalenia optymalnych wartości trzech stałych, występujących w założonych funkcjach rozkładów gęstości. Badano wpływ różnych wartości tych współczynników na wyniki, w zależności od dodatkowych czynników, takich jak wielkość przyjętych stref o stałej gęstości, wykorzystanie lub nie globalnych modeli EGM do obliczeń z wykorzystaniem techniki *remove-compute-restore*. Podano optymalne wartości tych współczynników w zależności od ww. warunków, do wykorzystania w dalszych pracach. Obszarem testowym do tych badań był ponownie obszar Dolnego Śląska.

W artykułach (d) i (e) wykorzystano już w pełni sformułowaną metodę GGI do dalszego jej testowania. W publikacji (d) skupiono się na analizie wpływu rozległości modelu NMT, rozległości objętości pomiędzy powierzchnią geoidy a powierzchnią Mohorovicicia, wielkości obszaru objętego pomiarami grawimetrycznymi w stosunku do obszaru modelowania quasi-geoidy oraz gęstości danych grawimetrycznych, a także wykorzystania lub nie wybranych modeli EGM (na podstawie EGM96 oraz EGM2008).

Ostatni z artykułów cyklu zawiera analizę i omówienie uzyskanego modelu quasi-geoidy na obszarze Polski. Model ten został obliczony poprzez wykorzystanie uprzednio opracowanej metody i wniosków płynących z jej testowania. Dodatkowo, w artykule tym opisano następujące badania, przeprowadzone z wykorzystaniem precyzyjnych (dokładność oceniona na ± 1 cm) danych GNSS/niwelacja oraz powierzchniowych pomiarów grawimetrycznych: oszacowanie dokładności modelu regionalnego uzyskanego z wykorzystaniem wybranych modeli globalnych, w tym badanie także wpływu przyjętej rozdzielczości modelu globalnego,

oraz oszacowanie wpływu dokładności danych wejściowych na dokładność uzyskanego modelu. Głównym wnioskiem płynącym z przeprowadzonych analiz jest możliwość uzyskania modelu quasi-geoidy na terenie Polski z wysoką dokładnością (± 1.2 cm) na podstawie dostępnych danych i z wykorzystaniem opracowanej metody. Kolejne wnioski uzyskane w tym artykule zawierają wymogi dokładnościowe dla danych różnic wysokości GNSS/niwelacja (nie gorzej niż ± 2 cm), jak też dla danych grawimetrycznych (± 1.3 mGal). Potwierdzono także możliwość wykorzystania w omawianej metodzie tylko niskich harmonik rozwinięcia potencjału w modelach globalnych, takich jak EGM2008.

Wszystkie te prace zostały streszczone przez Habilitanta w 11-stostronicowym autoreferacie.

Osiągnięcia Autora w ramach przedstawionego cyklu publikacji – podsumowanie

- a) Bardzo ciekawa tematyka badań, wymagająca głębokiej znajomości zaawansowanych zagadnień geodezji fizycznej i geofizyki
- b) Wykonanie obliczeń na tak obszernym materiale wymagało ogromnego nakładu pracy, systematyczności, bardzo dobrych narzędzi obliczeniowych oraz przygotowania własnych programów obliczeniowych
- c) Za najważniejsze osiągnięcie należy uznać opracowanie nowej, zaawansowanej metody uzyskiwania regionalnego modelu geoidy (quasi-geoidy), innej niż dotychczasowo wykorzystywane; otwiera to możliwości wykonywania ciekawych porównań
- d) Prawidłowa implementacja tej metody, przeprowadzone testy i obliczenia na rzeczywistych danych
- e) Duża liczba różnorodnych analiz, z jednej strony uszczegółwiających opracowaną metodę, a z drugiej – potwierdzających jej prawidłowość i potencjalne możliwości dokładnościowe
- f) Wkład w teorię GGI poprzez opracowanie ostatecznej postaci macierzy W_τ oraz podanie wartości występujących w niej stałych parametrów, w zależności od warunków prowadzonych obliczeń
- g) Uzyskanie dokładnego modelu quasi-geoidy na obszarze Polski oraz dla obszaru Dolnego Śląska
- h) Uzyskanie rozkładów gęstości mas, jako rozwiązania problemu inwersji danych grawimetrycznych
- i) Określenie wymogów dokładnościowych danych wejściowych oraz wielkości obszaru, na którym muszą być one dostępne, jak też gęstości punktów, dla których dostępne są obserwacje (grawimetryczne i GNSS/niwelacja)
- j) Sformułowanie wskazówek dotyczących wielkości bloków, dla których założenie o stałej gęstości nadal daje dobre wyniki modelu oraz koniecznej rozdzielczości NMT przyjmowanej do obliczeń
- k) Klarownie przygotowany autoreferat, zgodny z treścią artykułów cyklu, z bardzo dobrym podsumowaniem zalet opracowanej metody i wskazaniem możliwości wykorzystania tej metody dla danych wejściowych (pomiarowych) innego typu niż te wykorzystane przez Habilitanta
- l) Wskazanie w artykułach dalszych horyzontów badawczych z zastosowaniem opracowanej metody
- m) Wskazanie w artykułach także ograniczeń metody oraz wyprowadzonych wniosków

Uwagi i wątpliwości - podsumowanie

- a) Metodologia sprawdzania dokładności uzyskanych modeli regionalnej/lokalnej quasi-geoidy – Autor opiera się na metodzie Leave-One-Out (LOO, nazwa zaczerpnięta z artykułu (e)) w większości przypadków, tylko w jednym z wariantów obliczeniowych w artykule (e) punkty testowe są zbiorem rozdzielnym względem punktów GNSS/niwelacja branych do wyznaczenia modelu (do wyznaczania modelu wykorzystano punkty POLREF'1995, a jako testowe – punkty ASG'2011); punkty pozostawione do porównań w LOO należą do tego samego zbioru, co punkty wykorzystane w obliczeniach, i jako takie były wyznaczane tymi samymi metodami, dlatego zapewne są jakoś skorelowane; warto byłoby do prowadzonych testów wykorzystać niezależne modele polskiej quasi-geoidy, jak np. omawiany na Seminarium w Józefosławiu model GDQM-PL15 (lub jego poprzednią wersję GDQM-PL13). O punktach POLREF'95 wiadomo, że mają dokładność wyznaczenia anomalii wysokości rzędu 3-4 cm, dlatego uzyskano gorsze wyniki porównania. Ogólnie wiadomo, że zagadnienie określenia dokładności uzyskanego modelu nie jest proste.
- b) Moim zdaniem za mało czasu i miejsca poświęcono danym grawimetrycznym, na podstawie których wykonywano obliczenia za pomocą omawianej metody. Kandydat nie analizuje jakości pozyskanych danych grawimetrycznych, a wiadomo, że zwykle występują kłopoty z jednorodnością i dokładnością tych danych. Nie podaje w jakiej postaci je uzyskuje. W artykule (a) Autor, wprowadzając swoją metodę, pisze że „the main purpose of this elaboration is suggesting the method for quasi-geoid determination that minimizes problems connected with introducing corrections to the input data. This method eliminates such problems because the input data is not reduced. The suggested solution is based on a disturbing potential model which includes the model of topographical masses density distribution”. Dobrze byłoby opisać dokładniej w jednym z artykułów cyklu sposób uzyskiwania zaburzeń grawimetrycznych na podstawie grawimetrycznych danych wejściowych.
- c) Dodatkowo też wyrażam wątpliwość co do wprowadzonego układu kartezjańskiego, w którym nie uwzględnia się krzywizny Ziemi, co może dla obszaru całej Polski wprowadzić niedokładności uzyskanego modelu. Autor powinien był te wpływy przeanalizować. Robi to w artykule (a):

„To estimate an error of the approximation, we have to assume that vectors \mathbf{g} and $\boldsymbol{\gamma}$ are directed to the centre of the sphere with radius $R=6371\text{ km}$. For the point situated in the distance of 100 km from the origin of the coordinate system and with the gravity disturbance of 50 mGal , the length of projection of the disturbance on the Z-axis will amount 49.994 mGal . So, the approximation error is lower than the precision of the gravity measurement and, for a limited area, can be neglected”.

Jednakże przy większej powierzchni modelowanego terenu, jak np. cała Polska (jak w artykule (e)) zamiast ok. 1 stopnia trzeba będzie uwzględnić kilka stopni. A dodatkowo, nastąpi wpływ innych jeszcze efektów, których Habilitant nie analizuje, a mianowicie:

- Bloki, przyjęte jako prostopadłościenne, a leżące dalej od przyjętego początku układu, będą przekrzywione, żadna z krawędzi nie będzie równoległa do osi wprowadzonego układu
- W całkach typu:

$$t_k = G \sum_{i=1}^{m_k} \left(\int_{z_{1i}}^{z_{2i}} \int_{y_{1i}}^{y_{2i}} \int_{x_{1i}}^{x_{2i}} \frac{1}{\sqrt{(x_i - X_P)^2 + (y_i - Y_P)^2 + (z_i - Z_P)^2}} dx_i dy_i dz_i \right)$$

$$r_j = G \int_{z_{1j}}^{z_{2j}} \int_{y_{1j}}^{y_{2j}} \int_{x_{1j}}^{x_{2j}} \frac{1}{\sqrt{(x_j - X_P)^2 + (y_j - Y_P)^2 + (z_j - Z_P)^2}} dx_j dy_j dz_j$$

wystąpią zmiany granic całkowania, a same całkowanie nie będzie się odbywało wzdłuż linii zmieniającej się tylko jednej współrzędnej, przy dwóch pozostałych stałych. Być może nie wniesie to znaczących błędów, ale powinno to być zostało przeanalizowane, lub wskazana literatura, gdzie takie analizy zostały przeprowadzone, na obszarze rzędu wielkości obszaru Polski.

- Bloki o jednolitej gęstości, wykorzystane do całkowania, nie są prostopadłościanami, np. zwężają się do dołu
- d) Szkoda, że Autor nigdzie nie podał konkretnej liczby równań obserwacyjnych i parametrów, jakie były używane w różnych wariantach wykonanych obliczeń
- e) Bardzo ciekawe jest jednoczesne rozwiązywanie problemu odwrotnego, czyli wyznaczanie gęstości rozkładu mas na modelowanym terenie. Jednakże jeśli chodzi o wyniki i porównania, to w przypadku uzyskiwanych gęstości Habilitant nie zamieszcza zbyt wielu wyników, najwięcej materiału mamy w artykule (a), dotycząc one jeszcze nie do końca rozpracowanej metody (macierz W_*) i tylko obszaru Dolnego Śląska, podczas gdy interesujące byłyby też wyniki uzyskane później, na obszarze całej Polski.
- f) Tak ważny temat, interesujący z punktu widzenia podstaw geodezji, wraz z opracowaną nową metodą wyznaczania modeli regionalnej geoidy lub quasi-geoidy, powinien znaleźć odzwierciedlenie w jeszcze bardziej znanych i prestiżowych czasopiśmie, przede wszystkim w Journal of Geodesy – szkoda, że (jeszcze) ich nie ma.

Wnioski końcowe dotyczące rozprawy habilitacyjnej

Powyższe uwagi krytyczne nie umniejszają mojej oceny merytorycznej recenzowanej rozprawy, ocena ta jest wysoka. Podsumowując stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa habilitacyjna porusza bardzo ważną i aktualną tematykę, która daje perspektywy prowadzenia ciekawych i ważnych, z punktu widzenia praktyki, badań przez jeszcze długie lata. Próby rozwiązywania problemu, który postawił sobie Habilitant, wymagają zaawansowanych wiadomości z geodezji fizycznej oraz umiejętności prowadzenia obliczeń na dużych zbiorach danych. Uzyskane modele quasi-geoidy na różnych obszarach Polski powinny być dalej badane i testowane, wraz z uzyskanymi rozkładami gęstości mas. Wyrażam pozytywną ocenę przedstawionej mi do recenzji rozprawy habilitacyjnej, złożonej z cyklu 5 artykułów wymienionych na stronie pierwszej niniejszej recenzji.

Ocena dorobku naukowego Habilitanta

Dr Marek Trojanowicz jest aktualnie zatrudniony na stanowisku adiunkta na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, od roku 1996. Artykuły cyklu były publikowane w latach 2007, 2012 i 2015. Jak już wspomniano, cztery z nich należą do listy ministerialnej „A”, jeden do listy „B”.

Wszystkie związane są z zagadnieniem problemu wyznaczania regionalnych modeli quasi-geoidy na obszarze Polski, za pomocą rozwiązania problemu odwrotnego. Inne kierunki badań zrealizowanych przez Habilitanta dotyczą:

- a) Modelowania gęstości mas toograficznych, jest to tematyka powiązana z tematem cyklu habilitacyjnego (2 artykuły),
- b) Interpolacji wysokości quasi-geoidy z wykorzystaniem metod całkowych modelowania quasi-geoidy (2 artykuły)
- c) Budowy jednolitego systemu odniesienia grawimetrycznego polskich stacji permanentnych GNSS i poligonów geodynamicznych (3 artykuły)
- d) Analiz dokładności globalnych modeli geopotencjału (2 artykuły)

Wyniki badań powyższych zagadnień zostały zamieszczone w 9 artykułach, wymienionych i krótko omówionych w autoreferacie, których Habilitant jest autorem lub współautorem. Większość z nich została opublikowana w *Acta Scientiarum Polonorum, Geodesia et Descriptio Terrarum* (lista „B”, aktualnie 8 punktów). Liczba wszystkich publikacji wymienionych w opisie dorobku wynosi 16. Habilitant wymienia w swoim dorobku 10 wystąpień konferencyjnych, na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Uczestniczył on w 3 grantach KBN lub MNiSW jako wykonawca. Jako formalną ocenę dorobku Habilitanta można podać, że sumaryczny *impact factor* według listy Journal Citation Reports (JCR), wynosi 2.454, liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science wyniosła 4, a indeks Hirscha według tej samej bazy wynosi 1. Na uwagę zasługuje umiejętność praktycznej implementacji opracowanych algorytmów w postaci aplikacji komputerowych, z wykorzystaniem różnorodnych narzędzi (Delphi, MathCad i inne). Habilitant brał udział w pracach związanych z badaniami geodynamicznymi i zakładaniem lub uzupełnianiem osnów geodezyjnych, posiada także uprawnienia zawodowe w dziedzinie geodezji i kartografii, w zakresie 1 i 2. W ramach obowiązków dydaktycznych, prowadzi lub prowadził różnorodne przedmioty, między innymi geodezję wyższą i astronomię geodezyjną, geodezję fizyczną i geodynamikę, rachunek wyrównawczy i zaawansowane metody opracowania obserwacji, informatykę w geodezji oraz SIT.

Habilitant jest członkiem zespołu tematycznego „Pomiary siły ciężkości” sieci naukowej pn. „Polska sieć badawcza Globalny Geodezyjny System Obserwacyjny” (GGOS-PL). Był także sekretarzem komitetu organizacyjnego 13th Czesko-polskich warsztatów nt. "On Recent Geodynamics of the Sudety Mts. and Adjacent Areas", 2012, Wrocław-Pawłowice.

Kandydat jest także koordynatorem umowy pomiędzy Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu i Narodowym Uniwersytetem „Politechnika Lwowska” we Lwowie, w ramach której corocznie, od roku 2007, organizowane są w Polsce i na Ukrainie wspólne obozy naukowe studentów geodezji obu Uczelni.

Za swoją działalność Kandydat otrzymał łącznie 4 nagrody Rektora swojej Uczelni.

Ogólnie dorobek Habilitanta w zakresie prac naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych jest wystarczający.

II. Podsumowanie oceny rozprawy habilitacyjnej oraz dorobku naukowego Habilitanta

Wyrażam przekonanie, że zarówno sama rozprawa habilitacyjna, jak i cały dorobek oraz sylwetka Habilitanta, spełniają wymogi określone w artykule 18a, ustęp 7 Ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytułach w zakresie sztuki (Dz. U. 2014, poz. 1852) oraz wybrane kryteria zawarte w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 roku w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego (Dz. U Nr 196/2011, poz. 1165). Przedkładam zatem Komisji wniosek o dopuszczenie dr inż. Marka Trojanowicza do dalszych etapów procedury habilitacyjnej.

Olsztyn, 14 stycznia 2016 r.

dr hab. Zofia Rzepecka, prof. UWM

