

Prof. dr hab. inż. Roman Kadaj
Politechnika Rzeszowska
Katedra Geodezji i Geotechniki im. K. Weigla
e-mail: kadaj@prz.edu.pl

Rzeszów, 20.08.2023

R e c e n z j a

osiągnięcia naukowego dr inż. Andrzeja Araszkiwicza w formie cyklu 7 publikacji powiązanych tematycznie i objętych ogólnym tytułem:

„MODELOWANIE ZMIAN POŁOŻENIA ANTEN GNSS NA STACJACH REFERENCYJNYCH W KONTEKŚCIE BADAŃ DEFORMACJI TEKTONICZNYCH W POLSCE”

oraz opinia o jego ogólnym dorobku naukowym, dydaktycznym i organizacyjnym w nauce, w związku z jego ubieganiem się o stopień doktora habilitowanego zgodnie z wymogami ustawy z dnia 20 lipca 2018 „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2023, poz. 574 z późn. zm.) dla Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

1. Podstawowe dane o habilitancie (kandydacie)

1.1. Data uzyskania stopnia doktora oraz nazwa jednostki, w której był ten stopień nadany:

25.09.2014, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego. Tytuł rozprawy: *Analiza wykorzystania zmian długości wektorów bazowych pomiarów GPS do wyznaczenia pola prędkości lokalnych na terenie Europy.*

1.2. Czy habilitant ubiegał się wcześniej o stopień doktora habilitowanego?

- Nie ma na ten temat informacji.

1.3. Przebieg pracy naukowej i zawodowej:

Habibitant, ur. 12.08.1984, studia wyższe ukończył w roku 2008, na Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej

Okresy zatrudnienia:

- od 02.2009 do 02.2015- Asystent w Wydziale Inżynierii Lądowej i Geodezji WAT
- od 02.2015 do chwili obecnej – Adiunkt w Wydziale Inżynierii Lądowej i Geodezji WAT.
- od 08.2008 do 01.2009 – Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie

2. Informacja o obowiązujących przepisach prawa na dzień wszczęcia przewodu habilitacyjnego, w tym o obowiązujących kryteriach oceny.

2.1. Aktualne przepisy prawa dotyczące habilitacji

Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2020, poz 85 ze zm.), a rt. 219, ust. 1 pkt. 2 i 3.

2.2. Kryteria oceny (w odniesieniu do danych habilitanta):

- a) Habibitant powinien posiadać stopień doktora.
- b) Habibitant powinien posiadać w dorobku osiągnięcia naukowe, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej 1 monografię naukową lub cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie MEN według komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 1 grudnia 2021 r.
- c) Habibitant powinien wykazać się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej.

3. Opinia o osiągnięciach naukowych

3.1. Główne osiągnięcie naukowe, równoważne rozprawie habilitacyjnej

Cykl 7 publikacji, ujętych wspólnym tytułem:

„Modelowanie zmian położenia anten GNSS na stacjach referencyjnych w kontekście badań deformacji tektonicznych w Polsce” o sumarycznym *Impact Factor* wynoszącym 24,803. Są to publikacje o następujących danych bibliograficznych i nauko-metrycznych (wartości parametrów według oświadczeń habilitanta):

- [1] Araszkiwicz, A. (70%), Völksen, C. (2017). The impact of the antenna phase center models on the coordinates in the EUREF Permanent Network. *GPS Solutions*, 21, pp. 747–757. [doi: 10.1007/s10291-016-0564-7](https://doi.org/10.1007/s10291-016-0564-7), IF: 4.727, MEiN: 35 pkt, Cytowania: 15
- [2] Pacione, R., Araszkiwicz, A. (20%), Brockmann, E., Dousa, J. (2017). EPN-Repro2: A reference GNSS tropospheric data set over Europe. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10, pp. 1689-1705. [doi: 10.5194/amt-10-1689-2017](https://doi.org/10.5194/amt-10-1689-2017), IF: 3.250, MEiN: 35 pkt Cytowania: 33
- [3] Araszkiwicz, A. (50%), Kiliszek, D., Podkowa, A., (2019). Height variation depending on the source of antenna Phase Centre Corrections: LEIAR25.R3 case study. *Sensors*, 19(18), 4010. [doi: 10.3390/s19184010](https://doi.org/10.3390/s19184010), IF: 3.275, MEiN: 100 pkt, Cytowania: 5
- [4] Araszkiwicz, A. (55%), Kiliszek, D., (2020). Impact of Using GPS L2 Receiver Antenna Corrections for the Galileo E5a Frequency on Position Estimates. *Sensors*, 20(19), 5536. [doi: 10.3390/s20195536](https://doi.org/10.3390/s20195536), IF: 3.576, MEiN: 100 pkt, Cytowania: 3
- [5] Araszkiwicz, A. (70%), Jarosiński, M., Figurski, M. (2016). Erroneous GNSS strain rate patterns and their application to investigate the tectonic credibility of GNSS velocities. *Acta Geophysica*, 64, pp. 1412–1429. [doi: 10.1515/acgeo-2016-0057](https://doi.org/10.1515/acgeo-2016-0057), IF: 0.968, MEiN: 30 pkt Cytowania: 13
- [6] Jarosiński, M., Araszkiwicz, A. (30%), Bobek, K., Gogołek, T. (2022). Contemporary state of stress in a stable plate interior (northern Poland): The integration of satellite geodesy, borehole and seismological data. *Tectonophysics*, 831, 229336. [doi: 10.1016/j.tecto.2022.229336](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229336), IF: 3.660, MEiN: 140 pkt, Cytowania: 0

- [7] Araszkiewicz A. (100%) (2023). Integration of distributed dense Polish GNSS data for monitoring of the low deformation rates of Earth's crust. *Remote Sensing*, 15 (6), 1504. [doi: 10.3390/rs15061504](https://doi.org/10.3390/rs15061504), IF: 5.349, MEiN: 100 pkt, Cytowania: 0

Oprócz powyższych publikacji, jako drugie osiągnięcie (w komplecie z publikacjami jako dorobek równoważny rozprawie równoważne rozprawie habilitacyjnej) habilitant określa utworzenie (realizację autorskiego projektu) Centrum Infrastruktury Badawczej Danych, w ramach generalnego projektu EPOS – Systemu Obserwacji Płyty Europejskiej.

3.2. Uwagi formalne dotyczące wymienionych prac:

Pierwsze sześć publikacji to prace współautorskie, przy czym w czterech habilitant, zgodnie z oświadczeniami współautorów ma udział dominujący. Należy także podkreślić, że zasadnicza tematyka i tezy prac wymagały pracochłonnego pozyskania, przetwarzania i analizy danych empirycznych (obserwacje GNSS, dane geologiczne, geodynamiczne, geofizyczne) co mogło być praktycznie dokonywać tylko w zespole badawczym. Sumaryczny IF dla kompletnego osiągnięcia naukowego jest relatywnie wysoki, a cztery z przedłożonych 7 publikacji ma w punktacji MEN, co najmniej 100 punktów, a więc ocenę wyróżniającą.

3.3. Dane naukowo-metryczne habilitanta:

- **Punktacja ministerialna:**

Całkowita liczba punktów (MNiSW / MEN) za publikacje habilitanta (w tym współautorskie) wynosi **1425** (1485 – po zmianach punktacji).

- **Sumaryczny Impact Factor (IF)** (wg bazy JCR t) wynosi **51.605**, a dla 7 artykułów stanowiących pracę habilitacyjną, sumaryczny Impact Factor wynosi **24.803**.

- **Liczba cytowań** (bez autocytowań) dla 25 publikacji:
129 cytowań w bazie Web of Science, 139 w bazie Scopus

- **Indeks Hirscha:** **6** w bazie Web of Science i **7** w bazie Scopus.

3.4. Informacja o liczbie publikacji naukowych, monografii, rozdziałów oraz raportów technicznych (ekspertyz) związanych ze współpracą z gospodarką:

- Liczba wszystkich publikacji: **30** (w tym 19 po doktoracie łącznie z 7 publikacjami w zbiorze habilitacyjnym; **12** z **30** publikacji posiada indeks IF).
- Rozdziały w książkach: **3** (w tym 1 w wyd. Springer, 2 – wyd. WAT).
- Konferencje międzynarodowe: **19** referatów konferencyjnych
- Konferencje krajowe: **3** referatów konferencyjnych
- Referaty zaproszone: **3** (krajowe)
- Uczestnictwo w projektach badawczych: **11** (3 realizowane, 8 – zakończone, w tym w 3 jako główny wykonawca)
- Recenzje **23** artykułów naukowych i członkostwo w Komitecie redakcyjnym czasopisma *Advances in Geodesy and Geoinformation* (dawniej *Geodesy and Cartography*)

3.5. Informacja o najważniejszych czasopismach, w których habilitant opublikował swoje prace naukowe:

Najważniejsze czasopisma, w których habilitant opublikował swoje prace to

- Tectonophysics (**140** punktów MEN, IF = 3.660),
- Remote Sensing (**100** punktów MEN, IF 5.349),
- Sensors (**100** punktów MEN, IF = 3.275 – 3.576),
- Acta Geophysica (obecnie **70** punktów MEN, IF = 0.917- 0.968),

3.6. Informacja o wiodącej roli habilitanta w publikacjach współautorskich:

W czterech z pierwszych sześciu publikacji wymienionych w zbiorze habilitacyjnym kandydat pełnił rolę głównego (wiodącego) autora (zgodnie z oświadczeniami współautorów), ostatnia z wymienionych jest pracą samodzielną. Można więc potwierdzić, że jest spełniony warunek wiodącej roli kandydata w realizacji głównej tematyki habilitacyjnej.

3.7. Ocena wskazanego przez habilitanta osiągnięcia naukowego, w tym, czy stanowi ono znaczący wkład w rozwój określonej dyscypliny naukowej.

Podjęta przez habilitanta tematyka badawcza deformacji tektonicznych w obszarze Polski, kwalifikuje się jako element globalnych i europejskich projektów naukowych, których celem jest monitorowanie zmian dynamicznych skorupy Ziemskiej (Litosfery). W litosferze wyróżnia się kilka tzw. głównych płyt tektonicznych (euro-azjatycka, afrykańska, północno-amerykańska, południowo-amerykańska, australijska, pacyficzna, antarktyczna), a także wiele wewnętrznych płyt lokalnych. Badania dynamiki skorupy ziemskiej rozważa się zarówno w ujęciu globalnym (w aspekcie definiowania globalnej reprezentacji układu odniesienia) jak też w ujęciu lokalnym (regionalnym, krajowym, jak w przypadku badań habilitanta). Monitoring wzajemnych przemieszczeń głównych płyt tektonicznych jest podstawą do aktualnego (epokowego) predefiniowania (utworzenia nowej reprezentacji) układu odniesienia ITRF^{***}. Punktami reprezentującymi dyskretnie płyty tektoniczne są stacje obserwacyjne, przystosowane także do zintegrowanych technik pomiarowych (VLBI, GNSS, SLR). Definiowanie finalnego układu odniesienia odbywa się przy warunku zerowania średniego obrotu i średniej translacji płyt wyrażonych wcześniej w układzie inercyjnym.

Badania habilitanta, dotyczące dynamiki skorupy ziemskiej, zgodnie z założeniem mają charakter lokalny, a w szczególności odnoszą się do polskiej części obszarowej płyty euroazjatyckiej. Obiekt badań był reprezentowany, m.in. w wielu różnych wariantach, przez stacje systemu ASG-EUPOS w tym stacje EPN, a także stacje lokalnych systemów komercyjnych, z uwzględnieniem dostępnych obserwacji GNSS. Habilitant wykorzystał dostępne, epokowe dane obserwacyjne (w tym z sieci EUREF) i obrał sobie za cel utworzenie na tej podstawie dyskretnego modelu deformacji. W poszerzonej analizie naukowej zjawiska deformacji uzasadnia tezę o zgodności głównych kierunków i przyśpieszeń deformacji z analogiczną wiedzą fizyczną (geologiczno-geofizyczną) w obszarze Polski. Uważam, że podjęty przez habilitanta temat jest naukowo bardzo ambitny, co należy oczywiście odpowiednio docenić, ale równocześnie jest obarczony pewnym ryzykiem w sensie realnych (statystycznych) możliwości wykazania stawianych tez, z uwagi na błędności danych empirycznych. Mam tu na myśli kwestię uniwersalną w geodezyjnych badaniach przemieszczeń i odkształceń obiektów, a mianowicie w jakim stopniu interpretowane parametry deformacji (kinematyczne, dynamiczne) są zaburzone propagacją błędów obserwacyjnych czy też błędów systematycznych (sprzętowych, metodologicznych). Może się bowiem zdarzyć, że estymowana wielkość jakiegoś parametru deformacji (kurczenie długości, ściskanie) mieści się całkowicie w granicach jej szumu obserwacyjnego. Wynikiem badań może być wtedy tylko potwierdzenie tezy, że na podstawie dostępnych danych nie da się wykazać istotności zjawiska deformacji.

Oprócz relacji pomiędzy dokładnością pomiaru a punktowym parametrem deformacji (tensora deformacji), zachodzi pytanie na ile rozkład przestrzenny takich parametrów wykazuje oczekiwaną regularność w badanym obszarze (podobszarze) obiektu – płyty tektonicznej. Jako jedno z narzędzi numerycznych w poszukiwaniu regularnych zmian parametrów deformacji w czasoprzestrzeni jest zastosowana przez habilitanta filtracja danych. Polega ona na sukcesywnym (iteracyjnym) wykluczaniu stacji (tzw. elementów odstających), które najbardziej nie pasują do aktualnego opisu matematycznego pola deformacji – stacji. Takie postępowanie opiera się na założeniu, że odpowiadający proces iteracyjny jest zbieżny, a rozwiązanie jest jednoznaczne. Stosuje się je m. n. w procesach obliczeniowych sieci geodezyjnych jako tzw. metodę estymacji mocnej, do wyszukiwania błędów grubych. Trzeba jednak podkreślić, że w przypadku wystąpienia dużej liczby obserwacji odstających zadanie staje się bardzo ryzykowne (w sensie trafności identyfikacji błędów grubych). Jak informuje habilitant, filtracja dokonywana w odniesieniu do nawet 50% stacji. Wyniki tego rodzaju poszukiwań świadczą jednak, że w skali lokalnej deformacje mają charakter losowy, natomiast w dużej skali obszarowej badane zjawisko deformacji można generalizować do postaci odzwierciedlającej tendencje deformacji płyty tektonicznej.

Chciałbym podkreślić, że sformułowane przez habilitanta konkretne cele badawcze nie były łatwe do realizacji z wielu względów. Po pierwsze, istotne ruchy tektoniczne w obszarze Polski są albo zjawiskiem lokalnym (np. w obszarze GOP) albo mogą wykazywać „zauważalne” wartości tylko w dłuższym okresie czasu np. kilku dekad (przypomina mi się jak prof. Wyrzykowski, analizując w latach 80-tych wyniki okresowych niwelacji w podstawowej osnowie *wysokościowej oszacował, że średnie przemieszczenie pionowe skorupy ziemskiej w obszarze Polski wynosi ok. 1.8 mm/rok). Po wtóre, otrzymane w wyniku postprocessingu wektory GNSS, nawet przy długich czasowo sesjach obserwacyjnych, są obarczone „szumami” o różnych źródłach pierwotnych, których wielkość zmieniała się wraz z doskonaleniem technik pozycjonowania satelitarnego (od lat 90-tych nastąpił co najmniej 10 krotny skok dokładnościowy). Nakładają się na to zarówno pozostałości zakłóceń tropo – i jonosferycznych, też błędy sprzętowe oraz błędy opracowań numerycznych, w tym w zakresie optymalnego oddzielania sygnału od szumu w ramach postprocessingu. Stacje ASG-EUPOS zostały założone w latach 2007-2008, przy czym w międzyczasie nastąpiła zmiana układu odniesienia z „roboczego” ETRF-2005 na PL-ETRF2000. W związku z tym, ewentualne wnioskowanie o deformacjach lokalnych skorupy ziemskiej, zwłaszcza w dłuższym okresie jest problematyczne. Po trzecie, anteny stacji referencyjnych, są zakładane na budowlach, które powinny podlegać monitoringom w zakresie ewentualnych przemieszczeń względem lokalnej powierzchni Ziemi. Według dostępnych informacji, takie badania są deklarowane, więc możemy założyć, że problem teoretycznie nie istnieje. I wreszcie po czwarte, to problem definicji i zachowania niezmienności układów odniesienia dla lokalnych obserwacji GNSS, w różnych okresach czasu. Nawet jeśli docelowo interesują nas same deformacje lokalne skorupy ziemskiej, to w aspekcie

obserwacji okresowych i ich przetworzeń powinniśmy mieć zdefiniowany układ odniesienia. Warto w tym miejscu dodać, że w przypadku globalnych obserwacji płyt tektonicznych, które są podstawą tworzenia (definiowania) nowych reprezentacji ITRF, pozycje i prędkości punktów – stacji obserwacyjnych określone są w układach inercjalnych m.in. technikami obserwacyjnymi: *Satellite Laser Ranging (SLR)*, *Very Long Baseline Interferometry (VLBI)* ale także *GNSS*.

Opiniując główne osiągnięcia naukowe habilitanta warto podkreślić, że stanowią one element europejskiego projektu badawczego EPOS (Systemu Obserwacji Płyty europejskiej), jako naukowej bazy europejskiego systemu i układu odniesienia, który reprezentują w Polsce stacje ASG-EUPOS należące do sieci EPN. Prace habilitanta stanowią zatem część wiedzy w zakresie badań dynamiki płyty europejskiej, z którą związany jest europejski układ odniesienia. Z treści ocenianych publikacji można sądzić, że wyprowadzane wnioski badawcze uwzględniają w zasadzie ryzyko możliwych zakłóceń. Niekiedy zauważam jednak, że w różnych zadaniach badawczych habilitant pomija ważną kwestię definiowania układu odniesienia (ruch jest pojęciem względnym) ale być może traktuje tę kwestię jako oczywistą w kontekście całości problematyki badań przemieszczeń i deformacji.

Tytuł zbioru publikacji „Modelowanie zmian położenia anten ... w kontekście badań deformacji ...” raczej widziałbym adekwatniej w sformułowaniu odwrotnym, a mianowicie „Badanie deformacji tektonicznych w Polsce w oparciu o monitoring przemieszczeń stacji ...”. W globalnych badaniach geodynamicznych operujemy ogólnie pojęciem przemieszczenia stacji – co kojarzymy oczywiście z przemieszczeniem anteny (niekoniecznie operując tym szczegółem).

Pierwsze cztery z wymienionych publikacji habilitanta dotyczyły modelowania położenia centrów fazowych anten i ich wpływu na wyznaczone wektory GNSS. Z treści tych prac i podanych wniosków można wynieść, że służyły one celom poznawczym tej problematyki w kontekście dalszych badań kierunkowych, jakkolwiek wnioski praktyczne mogą mieć znaczenie w implementacjach algorytmów postprocessingu GNSS. Generalnie, stosuje się różne metody kalibracji anten, określających położenie centrów fazowych względem centrów geometrycznych, które prowadzą do nieidentycznych wartości parametrów (offsetów). Różnice na poziomie kilku mm są relatywnie małe ale świadczą o istnieniu pewnej bariery dokładnościowej wyznaczeń wektorów GNSS, niezależnie od długości sesji obserwacyjnej. Habilitant przeprowadził tego rodzaju badania na sieci EPN-repro2, obejmującej obserwacje z drugiej kampanii pomiarowej tej sieci, z wydłużonym okresem obserwacyjnym do roku 2014. W ramach tych badań wykonał zasadniczo dwa niezależne opracowania tej sieci, raz przy założeniu średnich modeli anten IGS, a następnie – w miarę dostępności – przy zastosowaniu modeli indywidualnych. Ponieważ określone stacje nawiązania sieci miały przyporządkowane różne modele anten (w tym tylko 20% modele indywidualne), nie udało się uzyskać pełnej jednorodności danych w każdym przypadku. W związku z tym w szczegółowym planie badań habilitant uzasadnił i zastosował kilka wariantów układów

obserwacyjnych o różnych warunkach nawiązania. W wyniku wyrównań sieci wykazuje, że otrzymane różnice współrzędnych pomiędzy wariantami mieściły się granicach oszacowań statystycznych błędów ich wyznaczeń. W związku z tymi nasuwa się pytanie: Czy w zbiorze stacji EPN nie można było wybrać tylko te, które mają indywidualne modele anten, a więc tworzą sieć jednorodną pod względem badawczym, a następnie zastosować po prostu wyrównanie swobodne takiej sieci, bez konieczności definiowania punktów nawiązania. Oczywiście, w wariacie porównawczym stosowalibyśmy tylko modele średnie. Być może niejednorodność danych spowodowała, że oczekiwany „sygnał” ujawniający różnice pomiędzy rozwiązaniami o różnych modelach anten został „zamazany szumem” obserwacyjnym (w autoreferacie jest to komentarz do rys. 2). Różnice pomiędzy różnymi wariantami obliczeń sieci z tytułu wyboru modeli centrów fazowych anten mają w pewnym sensie charakter losowy. Takiego wyniku badań można było się jednak spodziewać biorąc pod uwagę, że różnice pomiędzy parametrami kalibracji dla różnych metod, na poziomie kilku mm, mieszczą się w samym „szumie obserwacyjnym”. Nie oznacza to, oczywiście, że taka (poszukiwana) zależność nie istnieje. Test musiałby być do tego celu specjalnie zaprogramowany i zrealizowany pod względem dokładnościowym (niekoniecznie na materiale archiwalnym, który trudno ocenić pod względem jakościowym).

W ramach badań antenowych w pracach [1, 2] habilitant poddaje również analizie szeregi czasowe współrzędnych zarejestrowane na 185 stacjach GNSS, w tym na 75 stacjach EPN ze względu na wpływ modelowania położenia centrum fazowego (PCC); bada też wpływ modelowania anten na wyznaczone wartości opóźnienia troposferycznego. W analizie szeregów czasowych habilitant zmierzał do oszacowanie, który model lepiej redukuje sygnał roczny. Wyniki tych badań potwierdziły tezę, że różnice pomiędzy wariantami nie mają wartości statystycznie istotnych, co oznacza potwierdzenie tezy o braku istotnej zależności w tym zakresie. Jeśli chodzi o nieco poboczną kwestię opóźnienia troposferycznego, to muszę stwierdzić, że jej sformułowanie nie jest dla mnie klarowne. Rozumiem, że np. zmiana pionowej składowej odchylenia centrum fazowego od centrum geometrycznego dla różnych modeli anten będzie mieć wpływ (podobnie jak błąd lokalny quasigeoidy) na zadanie niwelacji satelitarnej ale sama wielkość opóźnienia troposferycznego (poprawka troposferyczna) jest określona na podstawie jakiegoś wybranego modelu troposfery, w oparciu o przybliżoną pozycję punktu. Każdy model opóźnienia troposferycznego opiera się na pewnych arbitralnych założeniach, sprawiających, że sama poprawka troposferyczna charakteryzuje się błędem „pokrywającym” z pewnością możliwy wpływ modelu anteny.

Bardziej szczegółowe (zawężone problemowo) badania dotyczące modeli kalibracji anten i ich wpływu na obserwacje GNSS habilitant prezentuje w pracach [3, 4]. Praca [3] dotyczyła badania wpływu modelowania PCC na wyznaczone wartości wysokości. W pewnym sensie stanowi ona uzupełnienie badań [1] i potwierdza tezę o statystycznej nieistotności różnic pomiędzy wariantami wynikającymi z założeń różnych modeli anten. W szczególności habilitant potwierdza,

że stosowanie modeli średnich IGS zapewnia taką samą dokładność rozwiązań jak modele indywidualne anten. W publikacji [4] habilitant skupił się na badaniu wpływu indywidualnych parametrów kalibracji anten na wartości wyznaczanych współrzędnych stacji, biorąc pod uwagę tylko sygnał L2 systemu GALILEO. Ważną praktycznie informacją, jaką odkrył habilitant, jest zapewne to, że dla niektórych stacji EPN, stosowanie odpowiednich poprawek kalibracyjnych wprowadza błąd systematyczny bliski 8 mm. Kwestia ta ma właściwie charakter omyłki, która powinna być usunięta natychmiast po jej identyfikacji i jako taka nie jest warta specjalnych uwag.

Z analogiczną sytuacją mieliśmy do czynienia w serwisami postprocessingu (POZGEO i POZGEO-D) w systemie AGG-EUPOS. Chodzi mianowicie o to, że stacje zagraniczne, wykorzystywane do wyznaczenia pozycji w przygranicznych obszarach Polski nie zostały wyznaczone w tym samym układzie PL-ETRF2000, w którym wyznaczono stacje wewnętrzne ASG-EUPOS. Skutkiem tego, nadwymiarowe układy wektorów określające pozycję punktu zawierały błąd grubo (stacje nawiązania reprezentowały właściwie różne układy odniesienia).

Kolejne prace habilitanta [5, 6, 7] dotyczą badań ruchów stacji GNSS i modelowania odkształceń powierzchniowych. Znaczącą treść prac habilitant poświęca ogólnej wiedzy z tego tematu. Oczywiście, aby przyjęty program badań miał sens musimy zakładać, że przemieszczenia stacji są spójne z przemieszczeniem powierzchni Ziemi (stanowią fizycznie ośrodek ciągły). Ważną część osiągnięć habilitanta stanowi praca [5], która ma 13 cytowań i prezentuje zasadniczą metodologię badawczą oraz uzyskane wyniki i ich interpretacje. Muszę stwierdzić, że angielski tytuł pracy nie jest dla mnie jasny (zbyt zawile ujęcie istoty tematu), ale jej treść jest wystarczająco klarowna do oceny. Habilitant przyjmuje interesujący model badań w postaci średnich tensorów odkształceń dla trójkątowych pól elementarnych tworzonych przez stacje referencyjne ASG-EUPOS. Tensory odkształceń z przemieszczeń stacji określonych na podstawie permanentnych obserwacji GNSS i uzyskiwanych szeregów czasowych. Ponieważ wyniki wstępnych badań nie ujawniają „oczekiwanej” regularności modelu deformacji, habilitant dokonuje „filtracji” materiału obserwacyjnego (usunięcia elementów – stacji odstających) oraz powiększenia rozpatrywanego pierwotnie zbioru obserwacyjnego. W wyniku wielowariantowych analiz dochodzi do istotnych wniosków, m.in. o głównych kierunkach deformacji skorupy ziemskiej w obszarze Polski.

Oceniając proces badawczy habilitanta nasuwa mi się kilka uwag; pierwsza dotyczy charakterystyki dokładnościowej źródłowych danych obserwacyjnych (wektorów przemieszczeń, wektorów prędkości) oraz definicji układów odniesienia, w których te dane są wyrażone. Mam tu na myśli kwestie założeń analogicznych jak w przypadku klasycznych pomiarów deformacji obiektów. W pracach habilitanta nie znajduję bardziej szczegółowego odniesienia się do tej kwestii, jakkolwiek informacje takie można pozyskać sięgając do odpowiednich archiwów. Ponieważ celem prac

habilitanta jest określenie (opis) pola deformacji, więc problematyka układów odniesienia może być w takim razie częściowo ograniczona do sytuacji, gdzie takie definicje są konieczne.

Druga uwaga dotyczy poszukiwań przez habilitanta jakiejś regularności pola deformacji, determinowanego przez same obserwacje GNSS, w konfrontacji z dostępną wiedzą sejsmologiczną lub geologiczno-odwiertową. Zastosowana przez habilitanta „filtracja” danych może nieść ryzyko niejednoznaczności identyfikowanych prędkości i kierunków odkształceń, istotnie zależnych jednak od wyboru danych (na początku badań habilitant brał do badań dane z 63 stacji ASG-EUPOS, ograniczając się ostatecznie do 35 stacji). Generalnie wiadomo, że wykluczanie tzw. elementów odstających w zbiorze obserwacji obniża niezawodność wyników i może prowadzić do tylko pozornie trafnych ale obciążonego dużym ryzykiem rezultatów obliczeń.

Kolejna uwaga dotyczy kwestii oszacowania dokładności parametrów deformacji (kierunków i prędkości odkształceń) zarówno elementów tensorów pól rozproszonych jak też w modelach przefiltrowanych. W pracy [6] habilitant szacuje tę dokładność na porównywalną z samą wartością parametru (mierzącego tempo odkształcenia). W związku z tym hipoteza o podobieństwie estymowanych kierunków głównych tempa odkształceń z kierunkami naprężenia wyznaczonymi metodami geologiczno – wiertniczymi (także wobec zadania filtracji) jest obciążona pewnym ryzykiem. W innym miejscu opracowania habilitant podaje, że identyfikowany parametr skrócenia długości w polu deformacji wynosi ok. $-1.7 \cdot 10^{-9}$ /rok (wychodzi na -0.17 mm / 100 km / rok). Jaki błąd ma to oszacowanie wobec realnej błędności obserwacji GNSS?

Pomimo pewnych uwag krytycznych lub dyskusyjnych, chcę podkreślić widoczną staranność habilitanta i jego logikę w planowaniu badań, wyborze dróg (wariantów) badawczych, w dążeniu do uzyskania jak najbardziej wiarygodnych wyników. Każdy wynik badań empirycznych jest obciążony pewną niepewnością, ale jeśli tezy są w jakimś stopniu interesujące i prawdopodobne - pozostają polem do dalszych ambitnych dociekań naukowych. Tak powinno być w przypadku tez zawartych w recenzowanym dorobku habilitacyjnym.

Opisany przez habilitanta model tempa odkształceń skorupy ziemskiej w obszarze Polski jest cennym naukowo wynikiem poznawczym, uzyskanym na podstawie pracochłonnych badań empirycznych GNSS i statystycznych, zgodnym z danymi z innych źródeł (geologicznych, geofizycznych). W wyniku analiz statystycznych i numerycznych habilitant zidentyfikował mierzalnie niewielkie tempo skracania skorupy ziemskiej w obszarze Polski, w kierunku NNE-SSW uznając, że jest to zgodne z kierunkiem maksymalnego naprężenia identyfikowanym w tym obszarze na Mapie Naprężenia Świata (*World Stress Map*). Ostateczne rezultaty badań, pomimo różnych uwag lub zastrzeżeń metodologicznych, stanowią niewątpliwie istotny wkład habilitanta do wiedzy o dynamice skorupy ziemskiej (w zakresie nauk o Ziemi). Wykazane empirycznie tezy mają charakter oryginalny i powinny być pomocne w uściśleniu kierunków dalszych badań w przedmiotowym obszarze.

3.9. Informacja o spełnieniu przez habilitanta kryterium dotyczącego wykazania się istotną aktywnością naukową poza zbiorem 7 publikacji.

O aktywności habilitanta w sferze nauki, świadczy przede wszystkim osobiste zaangażowanie w utworzenie w Polsce jednego z 6 (planowanych od kilku lat) Centrów Infrastruktury Badawczej CIBDG, w ramach europejskiego projektu EPOS, ukierunkowanego na obserwacje europejskiej płyty tektonicznej. Habilitant jest koordynatorem (kierownikiem) tego projektu na WAT. Znaczenie tego Centrum – nie da się przecenić – tworzy bazę danych, które mogą być wykorzystywane w różnych projektach szczegółowych, realizowanych przez inne ośrodki badawcze. Nie chcę powtarzać szczegółów projektu CIBDG (opisuje je habilitant), ale generalnie opiniuję go jako istotny element dorobku organizacyjnego habilitanta w sferze nauki.

Aktywność naukowa habilitanta przejawia się również we współpracy z innymi jednostkami naukowymi

- z Instytutem Geodezji i Kartografii w Warszawie (w roku 2008) w ramach badań nad polem magnetycznym i grawimetrycznym na obszarze Polski
- z Podkmisją ds. Regionalnych Układów Odniesienia dla Europy działającej w ramach Komisji 1 - Układy odniesienia, Międzynarodowej Asocjacji Geodezyjnej, w szczególności jako członek grupy Roboczej ds. reprocessingu sieci EPN (krótkoterminowy staż naukowy w Szwecji)

3.10. Informacja o osiągnięciach habilitanta w sferze dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzujących naukę.

Na podstawie informacji zawartych w autoreferacie nie mam zastrzeżeń co do zaangażowania habilitanta w proces dydaktyczny i organizacyjny realizowany w szkole wyższej.

4. Konkluzja

Przedłożony mi do recenzji dorobek naukowy (w tym organizacyjny w sferze nauki) habilitanta dokumentuje jego zaawansowaną wiedzę oraz jego wyspecjalizowany warsztat naukowy, obejmujący głównie problematykę badań deformacji skorupy ziemskiej, przy wykorzystaniu geodezyjnych metod (GNSS) monitoringu tych deformacji. Uwagi krytyczne występujące w treści recenzji mogą ewentualnie mieć znaczenie pomocnicze w ukierunkowaniu dalszych prac habilitanta lecz nie wpływają na ocenę pozytywną zarówno dorobku habilitacyjnego, jak też generalnie jego całościowego dorobku (w tym organizacyjnego) w sferze nauki. Wyniki badań, ujęte syntetycznie

we wnioskach przedłożonych publikacji habilitacyjnych i w autoreferacie stanowią istotny wkład do wiedzy w zakresie opisu (modelowania) deformacji skorupy ziemskiej (w ogólności w zakresie nauk o Ziemi) przy wykorzystaniu precyzyjnych obserwacji (GNSS), opracowań statystyczno-numerycznych. Kandydat publikuje wyniki badań w czasopismach o wysokiej randze (IF), prezentuje wyniki na międzynarodowych konferencjach tematycznych i uczestniczy czynnie, reprezentując Polskę, w międzynarodowych projektach badawczych.

Stwierdzam więc, że przedłożony mi do oceny dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny habilitanta w sferze nauki, w szczególności zbiór wyróżnionych siedmiu publikacji, w świetle aktualnych przepisów prawnych spełnia wymogi formalne i merytoryczne dorobku habilitacyjnego. Wnoszę zatem o podjęcia kolejnych kroków w procedurze postępowania habilitacyjnego przez odnośną Komisję powołaną przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Transport i Geodezja



Roman Kadaj