

Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie

Recenzja rozprawy doktorskiej pt. "Short period variations of Earth rotation from measurements made by Ring Laser Gyroscopes"

Opinię niniejszą opracowano na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Warszawskiej przy Wydziale Geodezji i Kartografii. Podstawą do przygotowania opinii stanowił przewodnik, w którym przedstawiony został cykl czterech tematycznie powiązanych ze sobą opublikowanych artykułów w latach 2015-20, w tym trzech z listy JCR (*Journal Citation Reports*) Ministerstwa Edukacji i Nauki:

A) **Tercjak, M.**, Böhm, J., Brzeziński, A., Gebauer, A., Klügel, T., Schreiber, U., & Schindelegger, M. (2015). Estimation of Nutation Rates from Combination of Ring Laser and VLBI Data. In *Proceedings of the Journées 2014* (Vol. 1, pp. 167-170)

B) **Tercjak, M.**, Brzeziński, A. (2017). On the Influence of Known Diurnal and Subdiurnal Signals in Polar Motion and UT1 on Ring Laser Gyroscope Observations. *Pure Appl. Geophys.* 174, 2719–2731. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1552-8>. (Lista A, 25 pkt.)

C) **Tercjak, M.**, Gebauer, A., Rajner, M., Brzeziński, A., Schreiber, U. (2020). On the Influence of Diurnal and Subdiurnal Signals in the Normal Vector on Large Ring Laser Gyroscope Observations. *Pure Appl. Geophys.* 177, 4217–4228. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02484-2> (Lista A, 70 pkt.)

D) Gebauer, A., **Tercjak, M.**, Schreiber, K. U., Igel, H., Kodet, J., Hugentobler, U., Wassermann, J., Bernauer, F., Lin, C.-J., Donner, S., Egdorf, S., Simonelli, A., and Wells, J.-P. R. (2020). Reconstruction of the Instantaneous Earth Rotation Vector with Sub-Arcsecond Resolution Using a Large Scale Ring Laser Array. *Phys. Rev. Lett.*, 125:033605. (Lista A, 200 pkt.)

Przewodnik po czterech publikacjach, poprzedzony dwoma streszczeniami w języku polskim i angielskim, opracowany został w języku angielskim i zawiera najważniejsze zagadnienia dotyczące ruchu obrotowego Ziemi, w którym bardzo ważną rolę pełni obecnie technika pomiarowa per cieniowym gyroskopem laserowym (ang. Ring Laser Gyroscope – RLG). Technika RLG stanowi potencjalne uzupełnienie pomiarów wykonywanych technikami geodezji kosmicznej i satelitarnej w kontekście monitorowania szybkich zmian rotacji Ziemi z rozdzielczością czasową dobową i poniżej jednej doby. Pierścieniowe gyroskopy laserowe to przyrządy wykorzystujące efekt Sagnaca i mierzące zmiany długości i kierunku chwilowego wektora osi obrotu Ziemi (Instantaneous Rotation Pole – IRP) w czasie rzeczywistym bez konieczności korzystania z zewnętrznego systemu odniesienia. W pracy doktorantka wykorzystowała obserwacje pochodzące z dwóch gyroskopów znajdujących się w Niemczech, G-ring zlokalizowanego w Obserwatorium Geodezyjnym w Wettzell oraz

ROMY znajduj cego si w Obserwatorium Geomagnetycznym w Fürstfeldbruck koło Monachium. Pomiar y techniki geodezji kosmicznej i satelitarnej pozwalaj na wyznaczenie tzw. bieguna po redniego (Celestial Intermediate Pole – CIP) i obecnie prawie wszystkie dost pne modele pobudzenia rotacji Ziemi odnosz si do tego bieguna, a nie do bieguna IRP. Promotorem rozprawy doktorskiej jest Prof. dr hab. Aleksander Brzezi ski, który w 1993 roku wraz z Prof. Nicole Capitaine z Obserwatorium Paryskiego przedstawili subtelne ró nice pomi dzy biegunami CIP i IRP w pracy (Brzezinski and Capitaine 1993). Promotorem pomocniczym jest dr in . Marcin Rainer. Promotor wraz z promotorem pomocniczym s pracownikami Zakładu Geodezji i Astronomii Geodezyjnej Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

W przedstawionych trzech pierwszych publikacjach bezpuktowej oraz za 25 i 70 punktów mgr in . Monika Tercjak jest pierwsz autork , a promotor pracy Prof. Aleksander Brzezi ski jest jednym ze współautorów. W pracy trzeciej jednym ze współautorów jest promotor pomocniczy dr in . Marcin Rajner. Ostatnia publikacja za 200pkt opracowana została przy współdziale jedenastu autorów zagranicznych, w której doktorantka jest druga autork . Wraz z publikacjami doł czone s tak e o wiadczenia współautorów o ich procentowym udziale w przygotowaniu tych prac. Z o wiadcze tych wynika, e udział Pani mgr in . Moniki Tercjak w przygotowaniu publikacji A, B, C i D jest znacz cy i odpowiednio równy 62%, 90%, 70% i 40%. Publikacje składaj ce si na rozpraw doktorsk dotycz tej samej tematyki badawczej zwi zanej z wykorzystaniem pomiarów RLG do modelowania dobowych i subdobowych oscylacji w parametrach ruchu obrotowego Ziemi, a wyci gni te wnioski z wcze niejszych publikacji wykorzystywane s w nast pnych.

Przedło ona rozprawa doktorska ł czy w sobie zagadnienia zwi zane z rotacj Ziemi, która ma bardzo istotne znaczenie przy transformacji pomi dzy ziemskim i niebieskim układem odniesienia. Transformacja ta, wykonywana w czasie rzeczywistym, wymagaj ca znajomo ci prognoz parametrów orientacji przestrzennej Ziemi, do których nale : współrz dne bieguna ziemskiego, zmiany czasu uniwersalnego UT1-UTC oraz parametry precesji i nutacji wraz z niewielkimi poprawkami do modelu precesyjno-nutacyjnego dX , dY obserwowanymi technik VLBI jest niezwykle istotna do kontroli misji mi dzyplanetarnych, radiowych i radarowych obserwacji astronomicznych, a tak e niektórych kosmicznych misji okołoziemskich. Wła ciwe zamodelowanie zmian dobowych i subdobowych w parametrach orientacji przestrzennej Ziemi ma zatem istotne znaczenie w prognozach krótkoterminowych parametrów orientacji przestrzennej Ziemi. Poza tym ci gła obserwacja i modelowanie ruchu obrotowego Ziemi jest niezb dne dla realizacji i utrzymaniu globalnych systemów odniesienia, jak równie do badania geofizycznych procesów oraz wewn trznej struktury Ziemi. Warto zaznaczy , e technika pomiarowa RLG pozwala na wyznaczenie parametrów ruchu obrotowego Ziemi z wysok cz stotliwo ci próbkowania, która obecnie nie jest osi galna przez techniki pomiarowe geodezji kosmicznej i satelitarnej.

W pracy [A] zbadana została przydatno obserwacji pier cieniowym yroskopem laserowym do wyznaczenia parametrów nutacji przy wykorzystaniu jednego i kilku takich instrumentów, a tak e wykorzystaniu obserwacji radiointerferometri długich baz (*ang.* Very long baseline radio interferometry – VLBI) z kampanii CONT11 (Continuous VLBI Campaign 2011). Wyniki potwierdziły teoretyczn mo liwo wyznaczenia parametrów nutacji jednak dokładnie rzeczywistych obserwacji RLG w Wettzell nie jest wystarczaj ca aby wyznaczy te parametry. Symulacje przeprowadzone w pracy z wykorzystaniem 6-ciu instrumentów RLG posadowionych w miejscach wykonywania obserwacji VLBI wykazały, e wyznaczenie tych parametrów stałoby si mo liwe gdyby co najmniej 3 pier cieniowe yroskopy laserowe

z precyzją pomiaru o 3 rzędy wielkości były wykorzystane. Taka precyzja pomiaru poprawiłaby długoterminową stabilność RLG, co w obecnej chwili jest niemożliwe do spełnienia. Rozwiązanie kombinowane takich obserwacji pierścieniowym gyroskopem laserowym z obserwacjami VLBI pozwoliłoby podnieść dokładność wyznaczenia parametrów nutacyjnych. Do przetwarzania danych VLBI doktorantka wykorzystowała oprogramowanie VieVS (Vienna VLBI), a do innych obliczeń wykorzystując rzeczywiste obserwacje RLG w Wettzell użyła własnych programów.

W pracy [B] doktorantka przedstawiła w jaki sposób dobowe i półdobowe zmiany w ruchu bieguna oraz dobowe i półdobowe efekty pływów oceanicznych w ruchu bieguna i zmianach czasu UT1, a także libracje wpływają na obserwacje zmian czasy Sagnaca w pierścieniowym gyrokopie laserowym znajdującym się w Wettzell. Stwierdziła, że przy obecnym poziomie dokładności obserwacji techniki RLG wpływ dobowych i półdobowych zmian w ruchu bieguna ziemskiego na zmiany czasy Sagnaca jest dominujący, natomiast wpływ zmian libracji jest zanedbywany. Przeprowadzona została także analiza w jaki sposób amplituda sygnału w obserwacjach RLG zależy od położenia geograficznego instrumentu zamontowanego poziomo i stwierdziła, że amplitudy sygnałów o wysokiej czasy obserwowane przez poziomo zamontowany RLG w dużym stopniu zależą od położenia geograficznego instrumentu. W pracy omówiona została również możliwość zmian lokalizacji a zmian orientacji instrumentu w kontekście rejestrowanych sygnałów. Doktorantka stwierdziła, że pomiary chwilowego wektora rotacji Ziemi można wykonywać na jednej stacji przy różnej orientacji przestrzennej czujników pomiarowych, a amplituda mierzonego sygnału będzie zależała od tej orientacji. W pracy tej wykazała również, że dobowe i subdobowe wpływy oceaniczne obecne w ruchu bieguna ziemskiego, są trudne do rozdzielenia z rzeczywistym ruchem bieguna o tych samych czasach.

W pracy [C] doktorantka przeanalizowała wpływ stałych pływów Ziemi, oceanicznego obciążenia pływowego oraz obciążenie niezwiązanych z pływami takich jak obciążenie ciśnieniem atmosferycznym i obciążenie kontynentalnej hydrosfery na zmiany czasy Sagnaca w pomiarach RLG w Wettzell. Wpływ wyżej wymienionych zjawisk na obserwacje zamontowanego poziomo pierścieniowego gyrokopu laserowego porównane zostały ze z rzeczywistymi zarejestrowanymi pomiarami. Wyniki dowodzą, że przy obecnej dokładności techniki RLG, stałe pływy ziemskie i oceaniczne obciążenie pływowe stanowią około 9% stałego sygnału mającego znaczący wpływ na pomiary RLG, obciążenie hydrosfery kontynentalnej można w rzeczywistości zaniechać, a model obciążenia atmosferycznego stanowi około 6% stałego sygnału pływowego, które wprowadzi niepożądane sygnały. Doktorantka stwierdziła, że zastosowanie różnych modeli pływowych, a także różnych liczb Love'a nie ma prawie żadnego wpływu na obserwowane zmiany czasy Sagnaca. Stosując różne zestawy liczb Love otrzymane rozbieżności w modelowanym sygnale nie przekraczały 2,5% maksymalnych amplitud stałych pływów Ziemi. Pokazała także, że redukcja sygnałów rejestrowanych przez RLG za pomocą modeli wydaje się być bardziej skuteczna niż przy użyciu obserwacji pochylomierza (*ang.* Tiltmeter), które mogą być dodatkowo zakłócane przez efekty instrumentalne.

W artykule [D] zawarte są informacje o budowie i eksploatacji czterokładnikowego, czworokładnikowego układu gyrokopów laserowych ROMY wielokładnikowego budynku, usytuowanego w podziemnym laboratorium. Wykazano, że za pomocą tego instrumentu możliwe jest pomiar pełnego chwilowego wektora rotacji Ziemi z rozdzielczością poniżej sekundy łuku przez ponad sześć tygodni. Oryginalnym wkładem doktorantki w powstanie pracy było ustalenie rzeczywistej orientacji całego systemu ROMY

poprzez wyznaczenie azymutów i odległości zenitalnych w lokalnym systemie odniesienia NEU (North East Up) oraz zamodelowanie metoda najmniejszych kwadratów dla każdego elementu pomiarowego modelowych wartości czysto Sagnaca. Na podstawie obserwacje przeprowadzonych w marcu i lipcu 2018 r. oraz w kwietniu 2019 r. wszystkich czterech komponentów instrumentu ROMY, zostały wyznaczone chwilowe parametry orientacji przestrzennej Ziemi. Połączenie tej techniki pomiarowej z pomiarami VLBI pozwoli na ciągłe obserwacje wektora rotacji Ziemi z wysoką dokładnością i rozdzielczością czasową.

Uwagi szczegółowe

Na stronie 8 skrót ROMY pojawia się po raz pierwszy i powinien być wyjaśniony - został wyjaśniony na stronie 15.

Na stronie 23 skrót OT pojawia się po raz pierwszy i nie został wyjaśniony.

Inne uwagi szczegółowe dotyczą głównie poprawności sformułowania w języku angielskim. Zestawione zostały one poniżej w taki sposób aby fragmenty zdań w poszczególnych rozdziałach i podrozdziałach zamieniły na właściwe. Uwagi te mogłyby być pomocne i wykorzystane w przyszłych publikacjach doktorantki.

Abstract

for estimation of nutation rates for the estimation of nutation rates
a number of restrictive assumptions several restrictive assumptions
Given that RLG are also sensitive Given that RLG is also sensitive
Entire investigation was conducted An entire investigation was conducted
loading effects have significant effect loading effects have a significant effect
hydrosphere loading can be actually neglected hydrosphere loading can be neglected
potential causes of this discrepancies potential causes of these discrepancies

Introduction

with the ancient astronomy with ancient astronomy
discovered precession of the equinoxes discovered the precession of the equinoxes
with half-aperture with a half-aperture
is caused by gravitational forces is caused by the gravitational forces
0.1 arcsecond 0.1 arcseconds
the other with annual period the other with the annual period
with period lengthened with a period lengthened
which is manifested by fluctuation of which is manifested by the fluctuation of
accuracy of the determination the accuracy of the determination
25 milliarcseconds 25 milliarcseconds
observations a number of important observations, several important
in length of day variation in the length of day variation
Particularly the last subject need further Particularly the last subject needs further
An application of a new technology An application of new technology

Main thesis and importance of the work

any of available satellite systems any available satellite systems
everyday every day
for realization and maintenance for the realization and maintenance
as well as for investigation as well as for the investigation
understanding of processes understanding processes
for appropriate understanding for an appropriate understanding
for functioning of systems for the functioning of systems
are using on a daily basis are using daily
cannot determine dUT1 cannot determine dUT1
between a terrestrial and a celestial between the terrestrial and celestial
It is worth to underline It is worth underlining
each of listed techniques each of the listed techniques
considering investigation of signals considering the investigation of signals
In case of satellite observations In the case of satellite observations
occurs strong correlation between occurs a strong correlation between
In case of VLBI measurements In the case of VLBI measurements
network of station network of stations
All of this limit All of this limits
the subject have been investigated the subject has been investigated
potentially could be use for potentially could be used for
it is not necessary for instruments to be instruments don't need to be
with respect to Earth rotation axis with respect to the Earth rotation axis
Of course, as any other Of course, like any other
problems with stabilization shows up problems with stabilization show up
Based on above information Based on the above information

Methods and data

Detailed description of the ROMY A detailed description of the ROMY
in paper [D] or in the work of Hand in the paper [D] or the work of Hand

Sagnac frequency — mathematical background

All above relationships All the above relationships
Also, in paper [A] Also, in the paper [A]
Detailed explanation should be A detailed explanation should be
Parameters which matter Parameters that matter
Above derivation is also The above derivation is also

Data and solutions

For the purpose of the signal modeling For the signal modeling
time series were also affected with time series were also affected by
the difference between the time series were treated the difference between the time series
was treated
in Section 1 of paper [A] in Section 1 of the paper [A]
More detailed description A more detailed description
Also, it is worth to mention here Also, it is worth mentioning here
according to each phenomena according to each phenomenon
in Table 1 of paper [C] in Table 1 of the paper [C]

I used adopted version of I used the adopted version of
I obtained separately deformation I obtained separate deformation
from EOST service from the EOST service
the impact of each phenomena the impact of each phenomenon
I additionally prepared time series I additionally prepared the time series
as describe in Section 3 as described in Section 3
I used attraction part of tilt I used the attraction part of the tilt
Entire process of computation The entire process of computation

Results

refer to numbering used in the particular publication refer to the numbering used in the
particular publication,
as for above analysis as for the above analysis
in figures 1 to 4 of paper [B] in figures 1 to 4 of the paper [B]
I expressed polar motion in frequency domain I expressed polar motion in the frequency
domain
the retrograde signal of the M2 cancel out the retrograde signal of the M2 cancels out
in Table 1 of paper [B] in Table 1 of the paper [B]
independently of location independent of location
effect on polar motion effect on the polar motion
ocean tides on dUT1 varies ocean tides on dUT1 vary
However, results shown in Table 2 However, the results shown in Table 2
Before analyzing the impact of each single effect Before analyzing the impact of every
single effect
The differences arise due to the fact that different models use different group of tides (apart of
the biggest ones) The differences arise because different models use a different group of
tides tides (apart from the biggest ones)
in tilt domain in the tilt domain
therefore there were no comparison to therefore there was no comparisons to
in figures 2 to 4 of paper [C] in figures 2 to 4 of the paper [C]
The entire band of the effects were The entire band of the effects was
in the semi-diurnal band after application in the semi-diurnal band after the application
0.60 and 0.75 cycle per day 0.60 and 0.75 cycles per day
model introduces undesired signal model introduces an undesired signal
Phenomena discussed here depend The phenomena discussed here depend
I can expect much higher impact I can expect a much higher impact
have zenith angle equal to zero, what makes them have a zenith angle equal to zero,
which makes them
My main contribution into the research My main contribution to the research
That let us to derive the average over all measurements That let us derive the average
overall measurements
caused by residual scale factor caused by the residual scale factor
values on one or more rings is lost values on one or more rings are lost
I also pointed out that in case of the phenomena I also pointed out that in the case of the
phenomena

Conclusions and discussion

In order to improve VLBI measurements To improve VLBI measurements

it is the only instrument measuring polar motion it is the only instrument measuring the polar motion
what was described in paper [B] which was described in the paper [B]
it is important that the high frequency signal observed by a horizontally-mounted RLG depends the high frequency signal observed by a horizontally-mounted RLG must depend
OT effect in PM are hardly noticeable OT effect in PM is hardly noticeable
For example, imagining that at the Wettzell location For example, imagine that at the Wettzell location
the impact of aforementioned phenomena the impact of the aforementioned phenomena
a discrimination between the deformation and attraction discrimination between the deformation and attraction
an issue which is barely discussed an issue that is barely discussed
a long-term sensor stability long-term sensor stability

Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska prezentuje wysoki poziom merytoryczny. Doktorantka musiała zapoznać się z aspektami teoretycznymi i praktycznymi związanymi z pomiarem chwilowego wektora rotacji Ziemi, a także z transformacją tych pomiarów do układu związanego z biegunem CIP, do którego odniesione są wszystkie pomiary parametrów ruchu obrotowego Ziemi technikami geodezji kosmicznej i satelitarnej. Zajmując się w swoich badaniach modelowaniem pomiarów czysto Sagnaca na podstawie dobowych i subdobowych oscylacji w ruchu bieguna i zmianach czasu uniwersalnego, efektów pływowych oraz obciążeniowych efektów oceanu i atmosfery doktorantka wykazała, że posiada niezbędną wiedzę teoretyczną i specjalistyczną w zakresie uprawianej dyscypliny naukowej. Przedstawione w cyklu prac badania stanowią moim zdaniem istotne osiągnięcia naukowe, czym doktorantka wykazała, że posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Ostatnia praca [D] przedstawiona w rozprawie wskazuje, że posiada umiejętność współpracy z naukowcami z zagranicy, którzy zdecydowali o umieszczeniu jej nazwiska na drugim miejscu listy dwunastu autorów w tym artykule.

Uwagi krytyczne wyrażone w niniejszej recenzji nie wpływają na wysoką ocenę rezultatów przedstawionych w rozprawie doktorskiej Pani mgr inż. Moniki Tercjak

Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa mgr inż. Moniki Tercjak w pełni spełnia warunki stawiane pracom doktorskim określone w 1) art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2018 poz. 1668), 2) art. 179. ustawy z dnia 3 lipca 2018r. „Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1669), 3) Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w postępowaniu doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. 2018.261) wnosząc o dopuszczenie doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego

