



## ABSTRAKT

Prof. dr hab. Aleksander Brzeziński  
Wydział Geodezji i Kartografii PW  
Katedra Geodezji i Astronomii Geodezyjnej

*Tytuł wykładu:*

## **Wprowadzenie do teorii ruchu obrotowego Ziemi**

Tematyka ruchu obrotowego Ziemi jest uznawana za jeden z trzech filarów współczesnej geodezji, obok zagadnień dotyczących figury geometrycznej oraz pola grawitacyjnego naszej planety. Zdecydowały o tym trzy następujące czynniki: 1) W epoce powszechnego wykorzystania obserwacji sztucznych satelitów Ziemi konieczna jest znajomość zmiennej w czasie macierzy transformacji między układami współrzędnych ziemskich i niebieskich, która z kolei stanowi opis parametryczny rotacji Ziemi. 2) Parametry ruchu obrotowego Ziemi zależą od kształtu, wewnętrznej budowy, a także reologii i własności dynamicznych naszej planety. Ich zmienność w czasie jest też czułym indykatorem globalnych zmian zachodzących w ciekłych i gazowych otoczkach Ziemi stałej, atmosferze, oceanach, hydrosferze lądowej oraz ciekłym jądrze. 3) Wykorzystanie technik tzw. geodezji kosmicznej – radiointerferometrii bardzo długich baz VLBI, obserwacji laserowych satelitów SLR i Księżyca LLR, satelitarnych systemów lokalizacyjnych GNSS – zwiększyło dokładność wyznaczeń parametrów chwilowej orientacji przestrzennej Ziemi do poziomu 0.05 mas (1 mas (*ang.* milliarcsecond - milisekunda łuku - to kąt, pod jakim odcinek długości 3.09 cm na powierzchni Ziemi jest widziany z jej środka odległego o ok. 6370 km), w porównaniu do ok. 30 mas osiągniętych metodami astrometrii optycznej pod koniec lat 70-tych ubiegłego stulecia, co z kolei narzuciło wysokie wymagania dla opisu teoretycznego i badań interpretacyjnych.

Proponowany wykład stanowi systematyczne wprowadzenie do teorii ruchu obrotowego Ziemi z uwzględnieniem współczesnych standardów i konwencji. Rozpoczyna się od ogólnych rozważań dotyczących kinematyki i dynamiki ruchu bryły sztywnej w przestrzeni, następnie wprowadzane są kolejne modyfikacje opisu uwzględniające parametry budowy Ziemi i zewnętrznych oddziaływań grawitacyjnych. Wyprowadzone są równania ruchu a następnie rozwiązania tych równań w postaci zamkniętej. W drugiej części wykładu wprowadzane są modyfikacje teorii wynikające z uwzględnienia deformacji Ziemi. Rozpoczyna się od ogólnego opisu dynamiki ruchu bryły odkształcalnej w przestrzeni, następnie przedstawiony jest model deformacji sprężystych i odpowiadające rozwiązanie równań ruchu. Ostatnia część wykładu jest poświęcona tematyce modelowania efektów atmosferycznych i oceanicznych w ruchu obrotowym Ziemi.

Zakłada się, że słuchacze dysponują wiedzą z mechaniki w zakresie maturalnym, oraz znajomością algebry liniowej i teorii równań różniczkowych zwyczajnych na poziomie nauczania na pierwszych latach studiów większości wydziałów Politechniki Warszawskiej.

## Wykaz zagadnień:

1. Informacje ogólne - krótki rys historyczny, aktualny stan wiedzy i obserwacje, układy współrzędnych i parametryzacja, zasady modelowania rotacji Ziemi, parametry modeli.
2. Kinematyka ruchu bryły sztywnej w przestrzeni - ruch postępowy (translacja) i ruch wokół środka mas (ruch obrotowy, rotacja), wektor rotacji.
3. Dynamika ruchu obrotowego bryły sztywnej - tensor bezwładności, moment sił zewnętrznych, moment pędu, prawo zachowania momentu pędu, energia kinetyczna.
4. Ruch obrotowy Ziemi sztywnej - równania dynamiczne Eulera i ich rozwiązania swobodne oraz wymuszone, opis geometryczny rozwiązań.
5. Parametryzacja ruchu obrotowego Ziemi - układy współrzędnych, osie (bieguny): rotacji, momentu pędu i figury dynamicznej Ziemi, związki kinematyczne, ruchy biegunów i nutacje Ziemi sztywnej.
6. Zasady dynamiki analitycznej w zastosowaniu do opisu ruchu obrotowego Ziemi sztywnej w przestrzeni - współrzędne uogólnione, kąty Eulera, równania Lagrange'a, teoria Woolarda.
7. Dynamika ruchu bryły odkształcalnej w przestrzeni - dekompozycja na translację, rotację i deformację; pęd, moment pędu, moment sił, równania ruchu, energia kinetyczna; układ osi Tisseranda.
8. Ruch obrotowy Ziemi odkształcalnej – opis perturbacyjny, równania Eulera-Liouville'a, deformacje pływowe i rotacyjne, oś figury dynamicznej Ziemi.
9. Model Ziemi sprężystej - liczby Love'a, ruchy biegunów: rozwiązania swobodne i wymuszone, okres Chandlera, interpretacja geometryczna rozwiązań; precesja-nutacja; zmiany długości doby l.o.d. i czasu uniwersalnego UT1, oddziaływania pływów strefowych i odpowiadające rozwiązanie.
10. Perturbacje atmosferyczne w r. o. Ziemi i ich modelowanie - funkcja pobudzająca, metoda momentu sił a metoda momentu pędu, deformacje obciążeniowe, funkcje efektywnego momentu pędu atmosfery, ich wyznaczanie i interpretacja, modele reakcji oceanu na zmiany ciśnienia atmosferycznego; perturbacje oceaniczne i hydrologiczne.
11. Wybrane współczesne problemy teorii ruchu obrotowego Ziemi - relacje wiążące współrzędne wektora rotacji z wyznaczanymi z obserwacji współrzędnymi bieguna CIP (ang. *Celestial Intermediate Pole*); modelowanie, obserwacje i poszukiwanie mechanizmu pobudzającego swobodną oscylację Chandlera

## Literatura

1. Brzeziński A. (2005). Modelowanie precesji-nutacji jako ważny element badań globalnej dynamiki Ziemi, *Osiągnięcia Nauki i Techniki – Kierunki Rozwoju i Metody, Konwersatorium Politechniki Warszawskiej, red. merytoryczny S. Janeczko*, wkładka nr 4 do Miesięcznika Politechniki Warszawskiej nr 3/2005.
2. Brzeziński A. (2012). *Wprowadzenie do teorii ruchu obrotowego Ziemi*, skrypt opracowany w ramach zadania 23 Programu Rozwojowego PW „Opracowanie programów oraz materiałów dydaktycznych i naukowych dla studiów doktoranckich z zakresu technik satelitarnych”, 90 str., Wyd. Geodezji i Kartografii PW.
3. Gross, R. S. (2007). *Earth Rotation: Long Period Variations*, in: “Treatise of Geophysics”, Vol.3: Geodesy. (ed.) T. A. Herring, Elsevier, Oxford.
4. Lambeck, K. (1988). *Geophysical Geodesy*, Oxford University Press, New York.
5. Moritz, H. and I. I. Mueller (1987). *Earth Rotation: Theory and Observation*, Ungar Publishing Company, New York.
6. Munk, W. H. and G. J. MacDonald (1960). *Rotation of the Earth: A Geophysical Discussion*, Cambridge University Press (reprint 1975).
7. Rubinowicz, W. and W. Królikowski (1978). *Mechanika Teoretyczna*, Wyd. piąte poprawione i uzupełnione, PWN, Warszawa.
8. Zharkov V. N., S. M. Molodensky, A. Brzeziński, E. Groten and P. Varga (1996). *The Earth and its Rotation: Low Frequency Geodynamics*, Herbert Wichman Verlag, Hüthig GmbH, Heidelberg.