

Streszczenie

Woda, jako jeden z najcenniejszych zasobów naturalnych, jest poddawana stalemu monitorowaniu ze względu na jej kluczową rolę w życiu na Ziemi oraz prognozowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych jak susze czy powodzie. Monitoring ten jest integralnym elementem i wpisuje się w podstawowe cele programu GGOS (ang. *Global Geodetic Observing System*). Wielopoziomowość systemu obiegu wody w przyrodzie prowadzi do wielowymiarowej złożoności prowadzenia pomiarów zmienności zawartości wody w glebie. Z tego względu rejestracja tego sygnału z pułapu satelitarnego stanowi znaczące wyzwanie dla badaczy z całego świata.

Praca doktorska skupia się na analizie synergii między danymi uzyskanymi z różnych sensorów grawimetrycznych i teledetekcyjnych w kontekście monitorowania zmian zasobów wodnych na Ziemi określanych jako Δ TWS (ang. *Total Water Storage changes*). Przeprowadzone badania naukowe dotyczą analizy istotności czynników wpływających na rejestrację zmian poziomu wód gruntowych obserwowanych przez satelity grawimetryczne GRACE (ang. *Gravity Recovery And Climate Experiment*) i GRACE-FO (ang. *Grace Follow on*) i zbadania w jakich warunkach możliwe by było synergiczne wykorzystanie obserwacji dostarczanych do modeli hydrologicznych za pomocą satelitarnych sensorów o odmiennej charakterystyce. Kluczowym pytaniem postawionym w pracy jest, czy możliwe jest wykorzystanie informacji zawartych w danych zebranych przez czujniki charakteryzujące się większym szumem i wariancją sygnału, takimi jak dane dotyczące wilgotności gleby (SM, ang. *Soil Moisture*) pochodzące z misji AMSR-E (ang. *Advanced Microwave Scanning Radiometer*), w globalnej analizie zmienności Δ TWS z satelitów GRACE i GRACE-FO. W pracy zdefiniowano także szereg aspektów badawczych, obejmujących m.in. analizę przestrzennych i czasowych zależności pomiędzy danymi teledetekcyjnymi a grawimetrycznymi, ocenę wpływu metody filtracji danych, wykorzystanie technik uczenia maszynowego w rekonstrukcji sygnału oraz wyznaczenie czynników umożliwiających większą zgodność sygnałów z tych dwóch źródeł danych.

Przeprowadzone badania obejmują zarówno analizy regionalne, jak i globalne, co pozwala na pełniejsze zrozumienie dynamiki zmian wód na Ziemi i dostarcza podstaw dla skuteczniejszych działań zarządczych w obszarze monitorowania środowiska naturalnego. Badania wykazały, że satelitarne sensory grawimetryczne są skutecznym narzędziem do analizy ekstremalnych zjawisk klimatycznych, takich jak susze i powodzie, pod warunkiem odpowiedniej filtracji przestrzennej sygnału. Modelowanie lokalnych czynników hydrologicznych oraz antropogenicznych jest kluczowe dla dokładności obserwacji naziemnych i satelitarnych, zwłaszcza w przypadku obserwacji warunków hydrologicznych. Wykorzystanie nowoczesnych technik uczenia maszynowego pozwala na skuteczną rekonstrukcję sygnału Δ TWS na podstawie danych z modeli GLDAS (ang. *Global Land Data Assimilation System*) oraz danych dotyczących SM. Praca stanowi wkład w rozwój naukowego zrozumienia procesów

hydrologicznych na Ziemi oraz wskazuje kierunki dalszych badań w zakresie analizy danych grawimetrycznych i teledetekcyjnych.

słowa kluczowe: grawimetria, teledetekcja, GRACE, AMSR-E, zmiany zasobów wody

Abstract

Water, one of the most valuable natural resources, undergoes constant monitoring due to its crucial role in Earth's life and the forecasting of extreme weather phenomena such as droughts and floods. This monitoring aligns with the fundamental goals of the GGOS (*Global Geodetic Observing System*) program. The multi-level nature of the Earth's water cycle leads to multidimensional complexity in measuring soil water content variability. Consequently, recording this signal from a satellite perspective poses a significant challenge for researchers worldwide.

The doctoral thesis analyzes the synergy between data obtained from various gravimetric and remote sensing sensors in the context of monitoring changes in Earth's water resources, referred to as Total Water Storage (Δ TWS) changes. The scientific research conducted pertains to the analysis of the significance of factors influencing the registration of groundwater level changes recorded by gravimetric satellites GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*) and GRACE-FO (*Grace Follow-on*) and the investigation of under what conditions synergistic use of observations delivered to hydrological models via satellite sensors with different characteristics would be possible. A key question posed in the thesis is whether it is possible to utilize information contained in data collected by sensors characterized by higher noise and signal variance, such as soil moisture (SM) data from the AMSR-E mission (*Advanced Microwave Scanning Radiometer*), in a global analysis of Δ TWS variability from GRACE and GRACE-FO satellites. The thesis also defines several research aspects, including the analysis of spatial and temporal dependencies between remote sensing and gravimetric data, assessment of the impact of data filtering methods, utilization of machine learning techniques in signal reconstruction, and determination of factors enabling greater alignment of signals from these two data sources.

The conducted research encompasses regional and global analyses, allowing for a fuller understanding of water dynamics on Earth and providing the basis for more effective environmental monitoring management. The studies have shown that gravimetric satellite sensors are practical tools for analyzing extreme climatic phenomena, such as droughts and floods, provided spatial signal filtering is adequate. Modeling local hydrological and anthropogenic factors is crucial for the accuracy of ground-based and satellite observations, especially regarding hydrological conditions. Modern machine learning techniques enable effective signal reconstruction based on the GLDAS (*Global Land Data Assimilation System*) model and SM data. The thesis contributes to advancing scientific understanding of hydrological processes on Earth and sets directions for further research in gravimetric and remote sensing data analysis.

keywords: gravimetry, remote sensing, GRACE, AMSR-E, water storage changes