

Cel projektu.

Celem projektu jest stworzenie i przetestowanie optymalnej metodyki pomiaru poziomu wód gruntowych za pomocą satelitarnych i naziemnych pomiarów grawimetrycznych oraz czasoprzestrzennego modelu dynamiki tych zmian.

Powody podjęcia tematyki

Woda jest jednym z podstawowych elementów potrzebnych do życia i gospodarki. Monitorowanie zasobów i jakości wody jest działaniem niezbędnym do zapewnienia bezpieczeństwa społeczeństwu. Zarówno brak, jak i nadmiar wody stanowi zagrożenie. Wody gruntowe są ważnym źródłem czystej wody, na całej Ziemi pokrywają około 50% zasobów wody pitnej, 40% zużycia wody dla celów przemysłowych i 20% irygacyjnych (Zektser i Lorne, 2004). Aktualnie w Polsce obserwuje się obniżenie poziomu wód gruntowych (Barlik i in., 2007; KRAJOWY ZARZĄD GOSPODARKI WODNEJ, Załącznik 1 Do Projektu Polityki wodnej państwa 2030, 2010). W Załączniku 2 tego samego projektu (punkty 45,46,47) wskazano potrzebę rozwoju obserwacji wód gruntowych: „(...) konieczne jest szybkie przeprowadzenie modernizacji i rozwoju systemu monitoringu wód podziemnych”. Państwowa służba hydrogeologiczna realizuje zadania monitoringu wód podziemnych, aktualnie wykorzystując do tego celu się odpowiednio głęboko wywierconych studni, wyposażonych w tradycyjne instrumenty pomiarowe (wagi, piezometry). Takie metody pomiaru są bardzo dokładne (mierzą poziom wód gruntowych z dokładnościami milimetrovymi), jednak mają te swoje wady. Słabym, czasochłonnym, inwazyjnym, wyniki pomiarów odnoszą się do lokalizacji danej studni pomiarowej. Limituje to możliwość utworzenia globalnych, dynamicznych modeli cyrkulacji wód.

Koncepcja i metodyka badań

W niniejszym projekcie proponuje się uzupełnienie klasycznych pomiarów - pomiarami opartymi o monitorowanie pola siły ciężkości Ziemi. Grunt nawilżony, wypełniony wodą, jest cięższy niż grunt suchy, bez zawartości wody. Dlatego obecność wody powoduje zwiększenie siły ciężkości na danym terenie. Zmiany te mogą być mierzone za pomocą grawimetrów naziemnych lub satelitarnych pomiarów grawimetrycznych. Pomiary naziemne, przy użyciu odpowiedniego instrumentu, zapewniają bardzo dokładne wyniki (rzędu 1 mikrogala $10^{-8}m/s^2$), ale - podobnie jak pomiary w odwiertach - odnoszą się do danej lokalizacji. Natomiast pomiary satelitarne aktualnie osiągnęły znacznie większą dokładność (rzędu 1 miligala $10^{-5}m/s^2$), ale mają bardzo ważne cechy: zapewniają znajomość pola grawitacyjnego całej Ziemi z jednolitą dokładnością. Jednym z takich projektów satelitarnych, zapewniających pomiary grawimetryczne, jest misja GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment - Wyznaczanie siły ciężkości i eksperyment klimatyczny). W misji GRACE biorą udział 2 identyczne satelity, przyspieszenie pola siły ciężkości mierzone jest poprzez pomiar zmian orbit tych satelitów w stosunku do orbity policznej w modelowym polu grawitacyjnym, dzięki czemu poznajemy różnicę pomiędzy polem modelowym i rzeczywistym - co przy znajomości pola modelowego, zapewnia możliwość obliczenia pola rzeczywistego. Dodatkowo pomiary te uzupełniane są poprzez cięgi (10 razy na sekundę) bardzo dokładny pomiar odległości pomiędzy tymi dwoma satelitami. Na podstawie monitorowanej odległości wykrywane są fluktuacje pola grawitacyjnego. Wynikowe pomiary GRACE są tak dokładne, że - po odpowiednim opracowaniu - umożliwiają wykrycie nierównomierności i zmian rozkładu masy w okolicach punktu podsatelitowego, w tym zmiany zawartości wód na powierzchni Ziemi, tak jak wód gruntowych, z dokładnością lepszą niż 1 cm (Xiao i in., 2015).

Zmiany te odzwierciedlają zmiany całkowitej zawartości wody, oznaczanej skrótem TWS (Total Water Storage). Ponad oceanami wielkość ta interpretowana jest jako ciążenie dna oceanu, natomiast na lądzie jako suma zawartości wód gruntowych, wilgoci w glebie, wód powierzchniowych, lodu i lodu. Z tego wynika, że aby uzyskać zmiany odnoszące się do tylko jednego składnika, na przykład do wód gruntowych, należy użyć dodatkowego, niezależnego zbioru danych, umożliwiającego taki rozdział całkowitego budżetu zmian masy. W niniejszym projekcie planuje się wykorzystanie do tego celu amerykańskiego modelu GLDAS (Global Land Data Assimilation System - Globalny System Danych Lądowych), który umożliwia wydzielenie spośród zaobserwowanych zmian masy tylko tych, które odnoszą się do wód gruntowych. Uzyskane dane muszą zostać odpowiednio przefiltrowane, aby błędne pomiarowe nie powodowały nieprawidłowej interpretacji wyników. Wadą uzyskanych w ten sposób zmian poziomów wód gruntowych jest niska rozdzielczość wyników, to znaczy, że uzyskuje się dokładne, do 1 cm określenie zmian poziomu wód gruntowych, które jest średnie na obszar około 100x100 km. To powoduje konieczność zagęszczenia wyników. Planuje się wykorzystać do tego celu naziemne, bardzo dokładne pomiary grawimetryczne. Wspólne opracowanie wyników pomiarów grawimetrycznych satelitarnych i naziemnych umożliwi otrzymanie szeregów czasowych zmian poziomu wód gruntowych w cyklu miesięcznym. Wybór gęstości czasowej i przestrzennej pomiarów naziemnych, jak też sposób ich integracji z danymi GRACE będzie stanowił przedmiot badań w proponowanym projekcie. Wyniki zostaną lokalnie porównane do wartości uzyskiwanych z pomiarów w studniach. Kolejnym zadaniem naukowym będzie statystyczne opracowanie uzyskanych wyników, stworzenie modeli dynamiki zmian czasowych i przestrzennych poziomów wód gruntowych, zbadanie możliwości prowadzenia wiarygodnego przewidywania przyszłych wartości poziomów wód gruntowych i określenie dokładności tych przewidywań.

W projekcie rozpatrzona zostanie także jeszcze jedna nieinwazyjna metoda pomiaru zmian pola grawitacyjnego, polegająca na wykorzystaniu zależności chodu zegarów od tego, w jakim polu grawitacyjnym te zegary się znajdują. Jest to efekt przewidywany przez ogólną teorię względności Einsteina. W tym zakresie planuje się teoretyczne opracowanie optymalnej strategii zegarowego pomiaru różnic/zmian potencjału, w tym podanie warunków technicznych, które musiałyby być spełnione, aby pomiar tego typu mógł mieć znaczenie praktyczne.

Uzasadnienie badań podstawowych

Badania podstawowe dotyczą opracowania teoretycznych zasad integracji pomiarów satelitarnych i naziemnych, wyboru optymalnej filtracji danych satelitarnych, statystyczne badania uzyskanych wyników, teoretyczne badania dotyczące wykorzystania efektów teorii względności w geodezji.

Ostatecznym efektem projektu będzie opracowana optymalna metodyka monitoringu wód gruntowych oraz model dynamiki zmian czasoprzestrzennych poziomu tych wód na wybranym terenie.

Literatura

Zektser, I.S.; Lorne, E., 2004, Groundwater Resources of the World: And Their Use; United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Paris, France

Barlik M., Pachuta A., Olszak T., 2007, Monitorowanie długookresowych zmian bezwzględnej natężenia siły ciężkości na

terytorium Polski, XX Jesienna Szkoła Geodezji, Polanica, 2007

KRAJOWY ZARZĄD GOSPODARKI WODNEJ, 2010, Diagnoza aktualnego stanu gospodarki wodnej, Załączniki Do Projektu Polityki wodnej państwa 2030

Xiao R., He X., Zhang Y., Ferreira V.G., Chang L., 2015, Monitoring Groundwater Variations from Satellite Gravimetry and Hydrological Models: A Comparison with in-situ Measurements in the Mid-Atlantic Region of the United States, *Remote Sens.* 2015, 7, 686-703; doi:10.3390/rs70100686

Swenson, S. & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds), 2013, "The Climate Data Guide: GRACE: Gravity Recovery and Climate Experiment: Surface mass, total water storage, and derived variables." Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/grace-gravity-recovery-and-climate-experiment-surface-mass-total-water-storage>.

Last modified 08 Oct 2013.