

## **Badania procesu wyzwalania wstrząsów przez sztuczne zbiorniki wodne przy pomocy identyfikacji skupisk oraz technik uczenia maszynowego.**

Sejsmiczność wywoływana eksploatacją sztucznych zbiorników wodnych jest znana od lat 30-tych XX wieku, kiedy w Algierii i USA po raz pierwszy zanotowano trzęsienia ziemi w pobliżu napełnionych niedawno zbiorników. Zjawiska te są mogą stanowić poważne zagrożenie dla ludzi, co pokazują przykłady zjawisk z Koyna w Indiach o magnitudzie 6,3 z 1967 roku i Wenchuan w Chinach o magnitudzie 7,9 z 2008 roku. Oba spowodowały duże straty materialne oraz ofiary śmiertelne. Pomimo to, że zjawisko wywoływania trzęsień ziemi przez eksploatację zbiorników jest znane od dawna, to szczegóły tego mechanizmu nie są dokładnie zbadane. Pokazuje to przykład wstrząsu z Wenchuan, którego związek z eksploatacją zbiornika Zipingpu nadal podlega naukowej dyskusji. Ostatnie odkrycia naukowe pokazują wpływ migrujących płynów w formacjach skalnych na wyzwalanie płytkich trzęsień ziemi np. w Kalifornii i Czechach. Z tego powodu określenie obszarów o zwiększonej przepuszczalności lub potencjalnych dróg migracji płynów w skałach i wpływ takiej migracji na wyzwalanie wstrząsów uważamy za ważny element poznania całego procesu.

Pierwszym głównym celem projektu jest wskazanie takich obszarów w pobliżu zbiorników na podstawie występujących tam skupisk wstrząsów. Drugim celem jest określenie wpływu sezonowości w występowaniu zjawisk hydrologicznych, w tym ekstremalnych, takich jak powodzie, susze i ulewy na występowanie trzęsień ziemi w pobliżu sztucznych zbiorników wodnych. Aby to zbadać, planujemy użyć wielu różnorodnych technik statystycznych oraz zaawansowanych technik komputerowych w tym uczenia maszynowego. To ostatnie polega na budowaniu systemów cyfrowych zdolnych do automatycznej analizy oraz samodzielnego poprawiania efektywności tejsze na podstawie wcześniejszych wyników. Techniki uczenia maszynowego są chętnie wykorzystywane w sejsmologii, gdzie wieloletnie pomiary pozwoliły na stworzenie dużych zasobów danych, które dobrze nadają się jako wkład do automatycznych procedur i rozwijania nowych algorytmów. Uczenie maszynowe, w tym sztuczne sieci neuronowe i algorytmy Deep Learning są wykorzystywane w sejsmologii do detekcji i lokalizacji wstrząsów. Ich celem jest zwiększenie liczby wstrząsów do dalszych analiz lub poprawa lokalizacji przez zmniejszenie błędu statystycznego. Doświadczenia zespołów naukowych z użycia technik uczenia maszynowego do detekcji i lokalizacji wstrząsów pokazują, że zazwyczaj prowadzi ono do zwiększenia ilości użytecznych danych i poprawiających jakość dalszych analiz. Planujemy użyć podobnych algorytmów do identyfikacji i lokalizacji stref o zwiększonej przepuszczalności płynów. Ponadto, celem będzie też znalezienie wstrząsów o dużym podobieństwie (np. podobnych mechanizmach ogniskowych) zlokalizowanych blisko siebie. Takie grupy wstrząsów są wskaźnikiem występowania stref o zwiększonej przepuszczalności. Stanowią one główne drogi migracji płynów oraz przekazywania naprężenia w procesie wyzwalania trzęsień ziemi.

Wstrząsy wywoływane przez eksploatację sztucznych zbiorników wodnych mogą mieć charakter sezonowy. Planujemy zbadać, czy i jak sezonowość występowania ekstremalnych zjawisk hydrologicznych wpływa na występowanie sejsmiczności w tych obszarach. Badania te uwzględnią głównie zmiany poziomu wód w zbiorniku oraz lustra wód podziemnych. Te pierwsze są dostępne dla co najmniej 4 lokalizacji w Europie i Azji na platformie IS-EPOS ([tcs.ah-epos.eu](http://tcs.ah-epos.eu)). Przeanalizujemy, jak wpływ zmian poziomu wody w tych lokalizacjach wpływa na stabilność uskoków. Dzięki temu dowiemy się, jakie czynniki hydrologiczne wpływają na powstawanie wstrząsów.

Sezonowość aktywności sejsmicznej zostanie poddana analizie statystycznej. Jej celem będzie zweryfikowanie, czy obserwowane zmiany są przypadkowe czy statystycznie istotne. W przypadku stwierdzenia istotności w dalszych krokach będzie można wyjaśnić, jaki mechanizm fizyczny to powoduje. Podobne analizy zastosujemy do badania występowania ekstremalnych zjawisk hydrologicznych. Ponadto, określimy wielkość i wpływ niepewności pomiarowych na wyniki. Na podstawie modeli teoretycznych i badania dostępnych przypadków planujemy odkryć ukryte źródła niepewności. Dodatkowo, znając je i poddając dane modelowaniu statystycznemu, planujemy zmniejszyć poziom niepewności. Te elementy projektu mogą zostać użyte w innych badaniach statystycznych. Warto wspomnieć, że w projekcie wykorzystamy zarówno nowo uzyskane dane z interesujących obszarów, jak i dane i infrastrukturę udostępnione w wyniku projektów infrastrukturalnych IS-EPOS i EPOS IP sfinansowanych odpowiednio w poprzednich latach przez Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka i Horyzont 2020. Ten drugi projekt to największy projekt infrastrukturalny w zakresie nauk o Ziemi w Unii Europejskiej.

Rola stref o zwiększonej przepuszczalności oraz wpływu zbiornika na zmiany naprężeń w skałach zwiększą wiedzę o mechanizmach generujących płytką sejsmiczność. Wyniki tego projektu razem z ostatnimi odkryciami o wpływie migracji płynów na występowanie sejsmiczności indukowanej i tektonicznej powinny stanowić istotny wkład w ogólną wiedzę o procesach wyzwalania wstrząsów przez migrację płynów w ośrodku skalnym.