

## **Popularnonaukowe streszczenie projektu**

Celem 3-letniego doświadczalno-teoretycznego projektu jest: a) wyjaśnienie mechanizmu powstawania i propagacji szczelin w skałach w procesie hydroszczelinowania (działania płynu szczelinującego pod wysokim ciśnieniem) oraz b) opisanie go stosując nowoczesny model matematyczny oparty na rozszerzonej metodzie elementów dyskretnych (DEM), łączący mechanikę ciał nieciągłych z mechaniką płynu oraz transportem ciepła w warunkach 3D. Z uwagi na fakt, że proces hydroszczelinowania silnie zależy od niejednorodnej struktury skał, metoda elementów dyskretnych jest odpowiednim narzędziem numerycznym do badań tego procesu na poziomie mezoskopowym. Zostanie zastosowana obliczeniowa dynamika płynów (CFD) do rozwiązania równań Naviera-Stokes w ramach mechaniki płynu. Obliczenia zostaną wykonane dla dwu-fazowego (faza ciekła i gazowa) laminarnego i turbulentnego przepływu nieściśliwego płynu z uwzględnieniem transportu masy, pędu i ciepła w istniejących i nowo-powstających szczelinach skał. Własności mechaniczne skał oraz przepływ płynu i ciepła w matrycy skalnej zostaną zbadane laboratoryjnie na próbkach skał i sztucznego materiału skalnego złożonego z kul. Badania nasze są innowacyjne w skali światowej z uwagi na szeroki zakres wzajemnie uzupełniających się doświadczeń i symulacji numerycznych, wykorzystujących najnowsze narzędzia pomiarowe (mikrotomograf komputerowy) i obliczeniowe (połączony model DEM/CFD sprzęgający mechanikę ciała nieciągłego z mechaniką płynu i transportem ciepła na poziomie mezo-struktury skał).

Badania składają się z dwóch uzupełniających się części: doświadczalnej i teoretycznej. W części doświadczalnej wykonane zostaną obszernie dwa rodzaje badań laboratoryjnych: 1) quasi-statyczne badania wytrzymałościowe dwóch różnych skał (np. łupek i granit) podczas rozłupywania i jednoosiowego ściskania oraz 2) quasi-statyczne badania charakterystyki przepływu płynu w próbkach sztucznego materiału złożonego z kul szklanych i gumowych poddanych parciu płynu szczelinującego w warunkach nie- i izotermicznych poprzez pomiar ciśnień, prędkości i temperatur płynu. Dzięki zastosowaniu mikro-tomografu komputerowego 3D najnowszej generacji (w posiadaniu katedry) możliwa będzie dokładna obserwacja zmian mezo-struktury i geometrii szczelin w próbkach skał podczas działania płynu pod ciśnieniem. Do obserwacji zmian mezo-struktury skały na jej powierzchni zostanie także wykorzystany skaningowy mikroskop elektronowy. W części obliczeniowej zostanie opracowany połączony model DEM/CFD dla skał, łączący mechanikę ciała nieciągłego z mechaniką płynu oraz transportem ciepła na poziomie mezo-struktury skał w warunkach trzy-wymiarowych (3D). Obliczenia zostaną podzielone na 3 etapy: 1) symulacje mechaniczne, 2) połączone symulacje mechaniczno-hydrauliczne oraz 3) połączone symulacje mechaniczno-hydrauliczno-termiczne. W obliczeniach mechanicznych zostaną szczegółowo zbadane wpływy anizotropii skał, położenia i kształtu istniejących szczelin naturalnych, mikro- i makro-porów oraz wielkości i rozkładu elementów dyskretnych na zachowanie skał. Obliczenia mechaniczno-hydrauliczne zostaną wykonane w warunkach izotermicznych. Zostaną zbadany wpływ rodzaju przepływu (laminarny i turbulentny) oraz lepkości dynamicznej płynu szczelinującego na prędkość i ciśnienie w płynie. Obliczenia zostaną wykonane dla różnych układów naturalnych szczelin oraz różnej przepuszczalności i porowatości skał. W obliczeniach mechaniczno-termiczno-hydraulicznych zostaną przyjęte warunki nieizotermiczne i turbulentne przepływu płynu w skałach. Obliczenia zostaną wykonane na próbkach skał wstępnie wypełnionych gazem i poddanych ciśnieniu płynu szczelinującego. Zbadany zostanie proces wypełniania porów płynem szczelinującym z uwagi na jego prędkość i zasięg. Szczególna uwaga będzie zwrócona na wpływ dużych i gwałtownych zmian przemieszczeń ziaren na propagację szczelin, temperaturę i ciśnienie płynu. Opracowany nowatorski model sprzężony DEM/CFD zostanie zwalidowany z wynikami własnych badań doświadczalnych oraz innych autorów opisanych w literaturze.

W wyniku naszych badań zostanie znacznie poszerzona wiedza o mechanizmie powstawania i propagacji szczelin w skałach w trakcie hydroszczelinowania poprzez uwzględnienie sprzężonych efektów mechaniczno-hydrauliczno-cieplnych na poziomie mezo-skali skał. Uzyskane informacje na poziomie mezoskopowym będą pomocne w stworzeniu wiarygodnego makroskopowego modelu fenomenologicznego do opisu procesu hydroszczelinowania w skałach w dużej skali. Wykonane badania o charakterze podstawowym umożliwią budowę narzędzi do badań stosowanych, które pozwolą w przyszłości na praktyczne zastosowania naszego modelu do oceny wydajności wydobywania gazu i ropy ze skał oraz ciepła ze źródeł geotermalnych.