

Badania numeryczne i terenowe anizotropowych skał poddanych dużemu odkształceniu: zastosowanie mechaniki mikropolarnej w geologii strukturalnej (POLARIS)

W skałach skorupy ziemskiej często obserwujemy warstwowania i inne struktury o charakterze planarnym. Geneza tych struktur wiąże się z działaniem różnorodnych procesów geologicznych, których sztandarowym przykładem jest depozycja warstw w basenach sedymentacyjnych. Z uwarstwioną strukturą ośrodka skalnego często związana jest kierunkowa zależność jego parametrów fizycznych, w tym mechanicznych, co określane jest mianem ich anizotropii. W warunkach podwyższonych ciśnień i temperatur skały poddane obciążeniom wykazują zachowanie zbliżone do płynów. Licznie występujące w skałach struktury tektoniczne są świadectwem ich płynięcia w skali czasu geologicznego, a parametrem fizycznym opisującym podatność skał na płynięcie jest lepkość. Deformacja skał zachodzi w warunkach stałego stanu skupienia, a ich istotnym wyróżnikiem jest przetrwała, choć ewoluująca struktura wewnętrzna, co stawia je w kategorii anizotropowych płynów z pamięcią. Anizotropia lepkości ma niebagatelny wpływ na przebieg procesów deformacyjnych, które z kolei kształtują wewnętrzną strukturę skały. Typowa dla skał nieliniowość lepkości oraz jej duże kontrasty między warstwami wybitnie sprzyjają rozwojowi niestabilności mechanicznych, co może prowadzić do silnie zlokalizowanej deformacji ośrodka skalnego.

Panta rhei – w skali milionów lat płyną też skały, lecz są to płyny dość niecodzienne: niekiedy mocno nieliniowe, zazwyczaj niejednorodne, często silnie anizotropowe, z dobrą pamięcią, ale ze skłonnościami do niestabilności.

Większość symulacji komputerowych rozwoju struktur tektonicznych opiera się na uproszczonych, izotropowych modelach reologicznych. Modelowanie deformacji anizotropowego płynu z wewnętrzną pamięcią stanowi wyzwanie badawcze i numeryczne, szczególnie w reżimie dużych odkształceń. W projekcie POLARIS planujemy zająć się teoretycznymi oraz numerycznymi modelami silnie odkształconych uwarstwionych ośrodków skalnych. Podejście bezpośrednie, które polega na jawnym ujęciu poszczególnych warstw w modelu, jest ograniczone m.in. możliwością reprezentowania ich odpowiedniej ilości w przypadku struktur cienkolaminowanych. Konkurencyjnym podejściem jest zastosowanie metody uśrednionej bazującej na mikropolarnym sformułowaniu mechaniki, która umożliwi uwzględnienie lokalnej anizotropii ośrodka oraz sztywności na zginanie na poziomie równań równowagi ośrodka, bez konieczności bezpośredniego reprezentowania warstw w ośrodku. Rolę warstwowania przejmują ciągłe pola opisujące lokalną miąższość i orientację uwarstwienia. Naszym głównym celem w projekcie jest przetestowanie mikropolarnego modelu lepkiej deformacji anizotropowego ośrodka skalnego w warunkach dużych odkształceń, które mogą prowadzić do znacznych lokalnych zaburzeń pola orientacji anizotropii oraz miąższości uwarstwienia. Planujemy systematycznie zbadać przydatność modelu mikropolarnego w sytuacji aktywnego rozwoju niestabilności mechanicznych, zwracając szczególną uwagę na procesy lokalizacji deformacji. W tym celu wyselekcjonowane zostały przykłady istotnych dla geologii strukturalnej systemów deformacyjnych, dla których przeprowadzimy systematyczne, porównawcze symulacje numeryczne korzystając zarówno z podejścia bezpośredniego, jak i uśrednionego.

Opracowane metody numeryczne zostaną użyte do zbadania wpływu anizotropii na rozwój struktur tektonicznych dla wybranych przykładów zarówno w małej, jak i dużej skali. Przeanalizujemy najważniejsze typy struktur w strefach ścinania oraz bogaty inwentarz struktur deformacyjnych w pakietach wielowarstwowych. Wyselekcjonowane przykłady niewielkich struktur tektonicznych zostaną zobrazowane z wykorzystaniem metod tomografii komputerowej. W dużej skali zajmiemy się wpływem uwarstwienia ośrodka skalnego na rozwój struktur w pasmach fałdowo-nasuwczyczych. Modele numeryczne zostaną skonfrontowane z wynikami naszych własnych badań terenowych (Austria, Czechy, Grecja, Rumunia oraz Polska). Podczas prac terenowych planujemy wykorzystać technikę obrazowania struktur z powietrza, a w kolejnym kroku fotogrametryczne metody ich rekonstrukcji w trzech wymiarach. W przypadku struktur w dużej skali będziemy też analizować obrazy sejsmiczne, w tym przykłady z Polski. Nasze modele mechaniczne rozwoju struktur w dużej skali zostaną porównane z wynikami kinematycznego modelowania struktur tektonicznych w pasmach fałdowo-nasuwczyczych. Przewidujemy, że wyniki uzyskane w projekcie POLARIS pozwolą nam wykazać istotny wpływ anizotropii na rozwój struktur tektonicznych i posłużą opracowaniu ulepszonych modeli ich rozwoju. Wytworzone modele i narzędzia powinny znaleźć szerokie zastosowanie w środowiskach badaczy zajmujących się modelowaniem deformacji skał w obszarach geologii strukturalnej, tektoniki oraz geodynamiki.