

Maciej Trzeciak

PhD Thesis: *Laboratory measurements and viscoelastic constitutive modeling of rock creep with application to stress prediction in intraplate sedimentary basins*

Streszczenie

Stan naprężeń w litosferze determinuje występowanie naturalnych zjawisk takich jak trzęsienia ziemi czy powstawanie spękań, a także wpływa na podziemną działalność człowieka. Pomiar naprężeń są drogie i skomplikowane i zazwyczaj tylko niewielka ich liczba jest dostępna do analizy naprężeń w skali basenu osadowego. Z tego powodu rozwijane są modele teoretyczne. W niniejszej pracy, przedstawiona została nowa metoda predykcji naprężeń, która pozwala modelować zarówno sprężystość, jak i pełzanie w skałach, a także transfer naprężeń pomiędzy warstwami o różnych parametrach materiałowych. Metoda została opracowana na podstawie danych pomiarowych uzyskanych dla próbek z pomorskiej części basenu bałtyckiego.

Modele predykcji naprężeń wymagają zastosowania odpowiedniego prawa konstytutywnego opisującego zależność między naprężeniami a odkształceniami. Dlatego na początku pracy opisane zostały najważniejsze mechanizmy deformacji obserwowane w skałach, tj. sprężystość, lepkie płynięcie, plastyczność, porospężystość i lepkospężystość. Spośród wymienionych praw wybrane zostało lepkospężyste prawo konstytutywne, ponieważ pozwala ono modelować jednocześnie deformacje sprężyste oraz pełzanie.

Lepkospężyste prawo konstytutywne zostało opisane w trzech wymiarach. W przypadku skał ważne jest, aby oddzielić deformacje objętościowe, które osiągają niewielkie wartości i zazwyczaj są traktowane jako sprężyste, oraz deformacje postaciowe. W przypadku materiałów izotropowych takie rozdzielenie nie jest skomplikowane. Jednakże, skały łupkowe charakteryzują się jednocześnie silną anizotropią i wykazują pełzanie. Dlatego dla przypadku anizotropowego wyprowadzona została metoda dekompozycji dzieląca deformacje na objętościowe, dewiatorowe oraz mieszane. W anizotropowym prawie konstytutywnym, deformacje objętości są sprężyste, natomiast inne komponenty relaksują naprężenia.

W celu uzyskania parametrów lepkospężystych dla skał z basenu bałtyckiego wykonano laboratoryjne badania pełzania. Testy przeprowadzono w Laboratorium Mechaniki Skał Uniwersytetu Wisconsin-Madison, USA. Na podstawie analizy danych laboratoryjnych wybrano metodę frakcjonalnego Maxwella (prawo potęgowe), jako metodę opisu własności lepkospężystych badanych skał. Ponadto, przeanalizowano zależne od czasu współczynniki Poisson'a. Niestety, uzyskane dane laboratoryjne nie pozwoliły na określenie wszystkich funkcji potrzebnych do pełnego opisu lepkospężystej anizotropii. Dlatego, w modelowaniu naprężeń użyte zostało sformułowanie izotropowe.

W kolejnych rozdziałach opisane zostały zagadnienia związane z opisem i modelowaniem stanu naprężeń w litosferze, w szczególności źródła naprężeń w litosferze, profile naprężeń w basenach osadowych oraz najważniejsze metody predykcji naprężeń. Pomimo, że ilość danych pomiarowych dotyczących naprężeń w ośrodkach wartwowanych jest niewielka, to jednak można stwierdzić, że wartości naprężeń poziomych zmieniają się między warstwami o różnych parametrach materiałowych. Ponadto widać, że pełzanie i relaksacja prowadzą do wyrównywania stanu naprężeń, tj. wartości naprężeń poziomych dążą do wartości naprężenia nadkładu. Takie obserwacje

są sprzeczne z wynikami popularnych sprężystych metod analizy naprężeń, które zaniedbują zjawisko relaksacji.

W ostatnich rozdziałach rozprawy, przeanalizowano wpływ lepkości na stan naprężeń. Nowa metoda predykcji naprężeń zakłada, że basen sedymentacyjny składa się ze zespojonych, lepkościowych warstw obciążonych poziomo siłą tektoniczną. Takie warunki brzegowe pozwalają modelować zarówno zmiany naprężeń w czasie relaksacji, jak również transfer naprężeń między warstwami. Jeśli basen sedymentacyjny jest obciążony stałą w czasie siłą tektoniczną, a jego warstwy są zespojone, wówczas spadek naprężeń w warstwach słabych jest kompensowany przez wzrost naprężeń w warstwach mocniejszych. Takie zjawisko może prowadzić do powstawania spękań w warstwach mocnych, np. wapieni, występujących pomiędzy miększymi warstwami słabych, pełzających skał, np. łupków. Jako przykład wykorzystania nowej metody, zaprezentowano modelowanie naprężeń w basenie bałtyckim w czasie ostatniego zlodowacenia.

22.05.2019r.

Maciej Trzcicki