

Bc. Modelování

Název: Dynamický model počátku zemětřesení z roku 2024 u poloostrova Noto v Japonsku

Popis: 1. ledna 2024 došlo na poloostrově Noto v Japonsku k ničivému zemětřesení o magnitudu 7.5 následovaném až pěti metrovou vlnou tsunami (Kutschera et al., 2024, Hallo et al., 2024). Studium dostupných dat ukazuje, že počátek zemětřesení se nacházel v blízkosti oblasti s vysokým třením, která zpomalila šíření zemětřesné trhliny. Její „protržení“ díky příchodu druhé trhliny z opačné strany pak vedlo k vysokému poklesu napětí a výrazně zvýšilo rozsah a ničivost zemětřesení.

V rámci práce bude student modelovat šíření zemětřesné trhliny na počátku tohoto zemětřesení.

Tektonický zlom je v modelu předepsán jako okrajová podmínka v elastickém materiálu, kde zákon tření “slip-weakening” (Andrews, 1976) řídí vztah mezi napětím a skluzem. Tento model vede k soustavě parciálních diferenciálních rovnic, které jsou řešeny numericky, v tomto případě pomocí kódu FD3D_TSN metodou konečných diferencí (Premus et al., 2020). Cílem práce je nalezení takového modelu, který vysvětlí dostupná data ze seismických stanic v okolí zlomu. Odborným výstupem budou mapy zobrazující rozložení napětí a parametrů tření na zlomu a pravděpodobný časový průběh počátku zemětřesení.

Reference:

- Xu, L., Ji, C., Meng, L., Ampuero, J. P., Yunjun, Z., Mohanna, S., & Aoki, Y. (2024). Dual-initiation ruptures in the 2024 Noto earthquake encircling a fault asperity at a swarm edge. *Science*, 385(6711), 871-876.
- Premus, J., Gallovič, F., Hanyk, L., Gabriel, A.-A. (2020). FD3D_TSN: Fast and simple code for dynamic rupture simulations with GPU acceleration, *Seism. Res. Lett.* 91, 2881-2889.
- Kutschera, F., Jia, Z., Oryan, B., Wong, J. W. C., Fan, W., & Gabriel, A.-A. (2024). The Multi-Segment Complexity of the 2024 7.5 Noto Peninsula Earthquake Governs Tsunami Generation. *Geophysical Research Letters*, 51, e2024GL109790. <https://doi.org/10.1029/2024GL109790>
- Hallo, M., K. Asano, T. Iwata (2025). Softening and recovery of near-surface layers during the 2024 M7.6 Noto earthquake. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 130, e2024JB029961.
- Andrews, D. J. (1976). Rupture velocity of plane strain shear cracks, *J. Geophys. Res.* 81, no. 32, 5679–5687.

Název: Numerické modelování příčin seismické krize u Santorini z roku 2025

Popis: Na začátku roku 2025 proběhla silná vlna více než deseti tisíc slabých zemětřesení 35 km severovýchodně od aktivní sopky na Santorini v řeckých jižních Kykladech. V první fázi byla jejich hlavním spouštěcím mechanismem vulkanická aktivita související se sopkami v okolí Santorini. Oproti tomu druhá fáze seismické aktivity od 27. ledna do 24. února byla potenciálně řízena aseismickým skluzem na blízkém tektonickém zlomu (Briole a spol., 2025). Na základě dostupných GPS dat zde mohlo dojít až ke skluzu ekvivalentnímu zemětřesení o magnitudu 6.8.

Cílem práce je numericky modelovat šíření této aseismické trhliny a vysvětlit jak naměřená GPS data, tak rozložení roje zemětřesení během druhé fáze seismické aktivity. Tektonický zlom je v modelu předepsán jako okrajová podmínka v elastickém materiálu, kde zákon tření “rate-and-state” řídí vztah mezi napětím a skluzem. Tento model vede k soustavě parciálních diferenciálních rovnic, které jsou řešeny numericky, v tomto případě pomocí kódu QDYN metodou okrajových integrálů BIEM (Gallovič, 2008, Premus et al., 2022). Hlavními vědeckými výstupy práce budou mapy rozložení parametrů tření a napětí na zlomu a studie průběhu pomalého skluzu.

Reference:

Brìole, P., A. Ganas, A. Serpetsidaki, F. Beauducel, V. Sakkas, V. Tsironi, P. Elias (2025). Volcano-tectonic interaction at Santorini. The crisis of February 2025. Constraints from geodesy. *Geophys. Journ. Int.*, 242(3), ggaf262.

A. Inbal, J. P. Ampuero, J.-P. Avouac (2017). Locally and remotely triggered aseismic slip on the central San Jacinto Fault near Anza, CA, from joint inversion of seismicity and strainmeter data. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 122, 3033–3061.

Premus, J., F. Gallovič, J.-P. Ampuero (2022). Bridging time scales of faulting: From coseismic to postseismic slip of the Mw 6.0 2014 South Napa, California earthquake, *Sci. Adv.* 8, eabq2536, doi: 10.1126/sciadv.abq2536.

Gallovič, F. (2008). Heterogeneous Coulomb stress perturbation during earthquake cycles in a 3D rate-and-state fault model, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L21306, doi:10.1029/2008GL035614.

Dieterich, J. H. (1979). Modeling of rock friction: 1. experimental results and constitutive equations. *J. Geophys. Res.*, 84(B5):2161– 2168.

Mgr. Modelování

Název: Modelování chování kapalin v okolí zemětřesných zlomů

Popis: Základní fyzikální model tektonických zemětřesení popisuje tektonický zlom jako okrajovou podmínku v elastickém materiálu, kde vybraný zákon tření (Dunham a spol., 2011) řídí vztah mezi napětím a skluzem. Takové modely vedou typicky k soustavě parciálních diferenciálních rovnic, které jsou řešeny numericky. Tyto modely výrazně zjednodušují reálnou situaci, kde vývoj zlomu včetně produkce a šíření zemětřesení výrazně ovlivňují další fyzikální efekty.

Obsahem práce bude rozšíření fyzikálního modelu zlomu o fyzikální efekty související s chováním kapalin, což umožní přesnější modelování jak přírodních zemětřesení, tak zemětřesení vytvořených lidskou činností (Palgunadi et al., 2020). Student vyjde z počítačového programu FD3D_TSN a QDYN pro modelování zemětřesení metodou konečných diferencí a okrajových integrálů BIEM (Premus et al., 2020). V první fázi implementuje efekt změny napětí v důsledku změny tlaku při zahřívání kapalin bez advekce a otestuje model srovnáním s komunitním benchmarkem TPV105 (Harris et al., 2018). V případné druhé náročnější fázi implementuje složitější model migrace kapalin kolem zlomu (Romanet et al., 2024), který využije k modelování zemětřesení indukovaného injekcí kapaliny jako v případě geotermálních vrtů (Cappa et al., 2019).

Reference:

Premus, J., F. Gallovič, L. Hanyk, A.-A. Gabriel (2020). FD3D_TSN: Fast and simple code for dynamic rupture simulations with GPU acceleration, *Seism. Res. Lett.* 91, 2881-2889.

Harris, R.A., M. Barall, B. Aagaard, S. Ma, et al. (2018). A Suite of Exercises for Verifying Dynamic Earthquake Rupture Codes, *Seis. Res. Lett.*, 89(3), 1146-1162, doi:10.1785/0220170222.

Romanet, P., M. M. Scuderi, J. P. Ampuero, S. Chaillat, F. Cappa (2024). Coupled Boundary Element and Finite Volume Methods for Modeling Fluid-Induced Seismicity in Fault Networks within Low-Permeability Rocks. *arXiv preprint arXiv:2412.03194*.

Palgunadi, K. H., A. A. Gabriel, T. Ulrich, J. Á. López-Comino, P. M. Mai (2020). Dynamic fault interaction during a fluid-injection-induced earthquake: The 2017 M w 5.5 Pohang event. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 110(5), 2328-2349.

Cappa, F., M. M. Scuderi, C. Collettini, Y. Guglielmi, J.-P. Avouac (2019). Stabilization of fault slip by fluid injection in the laboratory and in situ. *Sci. Adv.*, 5(3):eaau4065.

Dunham, E. M., Belanger, D., Cong, L., J. E. Kozdon (2011). Earthquake ruptures with strongly rate-weakening friction and off-fault plasticity, Part 1: Planar faults. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 101(5), 2296-2307.