

**Prednáška bola prednesená v Aule UK 16. novembra 2005
na pozvanie rektora UK**

Zemetrasenia a seizmológia budúcnosti

Peter Moczo

Seizmológia je časť geofyziky, t.j. fyziky Zeme. Fyzika Zeme skúma štruktúru a procesy v tzv. pevnom zemskom telese a v jeho okolí matematicko-fyzikálnymi metódami – pomocou tzv. observatórnych a poľných meraní, fyzikálnych experimentov v laboratóriách, teoretických metód a metód numerického modelovania. Seizmológia sa počas stáročí vyvíjala ako náuka o zemetraseniach, keďže zemetrasenia často dramaticky zasahovali do vývoja ľudskej civilizácie. Slovo seizmológia pochádza z gréckeho seismos (otrasy Zeme). Logicky, seizmológia bola po stáročia náukou o zemetraseniach a príbuzných javoch. Z dnešného pohľadu si však treba uvedomiť dva zásadné aspekty:

1. Seizmológia sa stala v pravom slova zmysle vedeckou disciplínou až na rozhraní 19. a 20. storočia, keď začali objektívne merania seizmického pohybu povrchu Zeme pomocou seizmometrov. Seizmický pohyb povrchu Zeme, t.j. kmitavý mechanický pohyb povrchu Zeme, je dôsledkom procesu v zdroji zemetrasenia (v tzv. ohnisku zemetrasenia) vnútri zemského telesa, vyžiarenia seizmických vln zo zdroja a ich šírenia zemským telesom. Seizmológiu možno zjednodušene z tohto hľadiska charakterizovať ako vedu založenú na analýze seizmogramov, t.j. prístrojových záznamov seizmického pohybu.

2. Meraním a analýzou seizmického pohybu boli zistené nielen poznatky o tom, čo sa deje v ohnisku zemetrasenia (presnejšie, o vzniku a spontánnom šírení trhliny na seizmoaktívnom zlome), ale aj o unikátnych vlastnostiach seizmických vln vo vzťahu k skúmaniu štruktúry celého zemského telesa.

Seizmológiu dnes môžeme charakterizovať ako vedeckú disciplínu, ktorá

- skúma **procesy prípravy a vzniku zemetrasení**,
- analyzuje **seizmické ohrozenie**,
- predikuje **účinky budúcich zemetrasení** na záujmových lokalitách (lokalitách hustých osídlení, atómových elektrární, veľkých vodných diel) a ovplyvňuje tak projektovanie výstavby a zodolňovanie stavieb,
- skúma **štruktúru celého zemského telesa** (tzv. seizmický model Zeme je absolútne najpresnejším/najdetailnejším modelom Zeme vďaka tomografii seizmických vln),
- skúma **detailnú štruktúru zemskej kôry** (zásadný význam pre tektoniku a geológiu),
- umožňuje tzv. **seizmickú prospekciu úžitkových surovín** (všetky najvýznamnejšie súčasné ložiská ropy, zemného plynu, kaolínu a iných surovín boli objavené pomocou umelo generovaných vysokofrekvenčných seizmických vln),
- umožňuje **monitorovanie jadrových explózií**,
- skúma **lunotrasenia a vnútornú štruktúru Mesiaca**,
- pripravuje skúmanie **vnútornej štruktúry planetárnych telies**,
- skúma **vnútornú štruktúru Slnka a hviezd** (na základe analýzy mechanického kmitania hviezd).

Z uvedeného si možno uvedomiť veľmi zaujímavú vec: aj keď historicky vznikla seizmológia vo väzbe na zemetrasenia, dnes by existovala aj bez čo len jediného zemetrasenia. Ľudia by sa nepochybne aj bez zemetrasení naučili umelo generovať seizmické vlny pomocou explózií a vibrátorov a používali by ich na výskum vnútra Zeme.

Seizmológia sa čoraz vo väčšej miere stáva nezastupiteľnou vednou disciplínou v poznávaní a osvojovaní si kozmického priestoru. Každá automatická či pilotovaná misia do vesmíru sa bude snažiť využiť každú možnosť aplikovať metódy seizmológie pri výskume vnútornej štruktúry planetárnych telies a hviezd.

Aj keď sa ľudia zaujímali o zemetrasenia po celé tisícročia, najvzrušujúcejšie obdobie seizmológiu ešte len čaká:

- dostatočné pochopenie procesu vzniku a šírenia trhliny na seizmoaktívnom zlome a vyžarovania seizmických vln,
- zodpovedanie otázky o predpovedateľnosti zemetrasení,
- spoľahlivá predpoveď účinkov budúcich zemetrasení,
- inteligentné projektovanie pasívnej i aktívnej seizmickej ochrany stavieb,
- rozpracovanie a aplikácia poznatkov seizmológie v osvojovaní si kozmického priestoru.

V PowerPoint prezentácii k prednáške je textový a obrazový materiál zameraný na tieto pojmy, aspekty a otázky súčasnej seizmológie (čísla v zátvorke udávajú číslo obrazu v PowerPoint súboroch):

1. časť: [Sem klikni a otvor 1. časť PPT prezentácie!](#)

Geografická distribúcia epicentier zemetrasení (3) priamo súvisí s existenciou a vzájomnými pohybmi litosférických dosiek (4, 5), ktorých priemerná hrúbka je približne 100 km a ktoré pokrývajú povrch Zeme. Tzv. tektonické zemetrasenie zahŕňa nevratný proces na seizmoaktívnom zlome, t.j. vznik a šírenie trhliny (6 – 12). Šírenie trhliny generuje seizmické vlny, ktoré sa zo zlomu šíria do celého zemského telesa. Veľkosť zemetrasenia, t.j. odhad energie uvoľnenej vo forme seizmických vln, najlepšie charakterizuje veličina seizmický moment (13). Pre matematické modelovanie vyžarovania seizmických vln je často výhodné pracovať s tzv. silovým ekvivalentom trhliny. Silovým ekvivalentom (z hľadiska vyžiarených seizmických vln) bodovej trhliny je bodová dvojité dvojica síl s nulovou celkovou silou a nulovým celkovým momentom síl (14 – 16). K dvojitej dvojici síl možno pomerne ľahko nájsť vyžarovacie charakteristiky priestorových pozdĺžnych (P) a priečných (S) seizmických vln (17 – 20). Priestorové seizmické vlny, t.j. elastické vlny v pevnej Zemi a akustické vlny v kvapaline, môžu v Zemi interferovať. Vznikajú tak aj povrchové seizmické vlny šíriace sa efektívne pozdĺž povrchu Zeme (21, 22). Prístrojový záznam seizmického pohybu, t.j. seizmogram, obsahuje zásadné informácie jednak o zdroji seizmických vln, jednak o ich šírení vnútom Zeme. Unikátne vlastnosti seizmických vln umožňujú nezastupiteľné skúmanie štruktúry Zeme (24 – 32). Vráťme sa však k tomu, čo sa deje na seizmoaktívnom zlome. Matematicko-fyzikálny popis vzniku a šírenia trhliny na zlome (34) a šírenia seizmických vln (35) je podmienkou numerického modelovania vzniku a šírenia trhliny a seizmických vln (36-39). Prvá simulácia ukazuje šírenie bez rozštiepenia čela trhliny, druhá s rozštiepením a tzv. nad-S-vlnným (supershear) šírením trhliny.

2. časť: [Sem klikni a otvor 2. časť PPT prezentácie!](#)

K nad-S-vlnnému šíreniu trhliny môže dôjsť pri veľkých rýchlych zemetraseniach na vertikálnych geometricky hladkých zlomoch (2 – 12). Úplne iné správanie a dôsledky pre vznik a účinky zemetrasení majú zemetrasenia na geometricky komplikovaných zlomoch (13 – 14). K najnovším metódam skúmania seizmoaktívnych zlomov a zemetrasení patrí satelitná radarová interferometria (15). Problém predpovedania zemetrasení je a zostane ešte nejakú

dobu otvoreným. K najnovším komplikáciám v tomto smere pribudol aj objav pomalých/tichých zemetrasení, ktoré sú rýchlejšie ako dlhodobé vzájomné pohyby litosférických dosiek, ale pomalšie ako vzájomný pohyb dosiek počas zemetrasenia sprostredkovaný šírením trhliny. Kvôli druhému aspektu nevyžarujú seizmické vlny a seizmológovia o nich až donedávna nevedeli (16 – 21). Či vieme, alebo nevieme predpovedať zemetrasenia, v každom prípade musíme predpovedať účinky budúcich zemetrasení (22 – 35). Dôležité sú tzv. zemetrasné scenáre pre záujmovú lokalitu. Ich súčasťou je numerické modelovanie seizmického pohybu na záujmovej lokalite pre predpokladané budúce zemetrasenia. Príkladom sú numerické simulácie, ktoré pre mesto Grenoble vykonal tím numerického modelovania seizmického pohybu na katedre astronómie, fyziky Zeme a meteorológie FMFI UK v Bratislave (36 – 42).

3. časť: [Sem klikni a otvor 3. časť PPT prezentácie!](#)

Technicky je náročnejšie dostať sa s meracími prístrojmi do hĺbok Zeme, v ktorých vznikajú zemetrasenia, ako do vesmíru (2, 3). Kozmický program letov na Mesiac Apollo umožnil prekvapujúco rozsiahly seizmologický výskum na Mesiaci (4 – 9). Seizmológia planét nám umožní skúmať vnútornú štruktúru planetárnych telies (10, 11). Pri veľmi silných zemetraseniach môže byť vybudených aj vyše 1500 módov vlastných kmitov Zeme (12). Práve poznatky zo skúmania vlastných kmitov Zeme možno aplikovať v helioseizmológii a stelárnej seizmológii (13-17).

Úvodné informácie o seizmológii v populárnej forme možno nájsť aj v týchto materiáloch:

Bolt, B. A., 1999. Earthquakes. *W. H. Freeman and Co.*, New York.

Janiaková, D., 2001. Kedy, ak nie teraz? Rozhovory so slovenskými vedcami. (rozhovor s Petrom Moczom je o seizmológii). *Veda*, Bratislava.

Moczo, P., Kristek, J., 2004. Numerické modelovanie seizmického pohybu. *Čs. čas. fyz.* 54(4), 182-184.

Moczo, P., Labák, P., 2000. Zemetrasenia a seizmické ohrozenie. *Geofyzikálny ústav SAV*, Bratislava. (pdf súbor k dispozícii na http://www.nuquake.sk/Earthquakes/Moczo_Labak_2000.pdf)

Moczo, P., Labák, P., Cipciar, A., Kristek, J., Kristeková, M., Bielik, M., Šajgalíková, J., Režuchová, D., 2002. 100 rokov seizmológie na Slovensku / 100 Years of Seismology in Slovakia. *Geofyzikálny ústav SAV a Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK*, Bratislava.