

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Michal Kvasnička

4000 let seismologie (Hledání kořenů jedné vědecké disciplíny)

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 42 (1997), No. 6, 324--331

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138092>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1997

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Literatura

- [1] Atlas Technical Proposal, CERN/LHCC/94-43, 1994.
- [2] The Large Hadron Collider Conceptual Design, CERN/AC/95-05 (LHC), 1995.
- [3] J. CHUDOBA, R. LEITNER, M. SUK: Pokroky mat., fyz. a astr. 40 (1995), 264-271.
- [4] DELPHI coll., Nucl. Instr. Meth. A 303 (1991) 233.

4000 let seismologie

(Hledání kořenů jedné vědecké disciplíny)

Michal Kvasnička, Praha

V předloňském 4. čísle časopisu *Bulletin of the Seismological Society of America* se objevil přehledný článek známého seismologa Ari Ben-Menahema¹). Následující řádky jsou volnou, silně zkrácenou a na několika místech doplněnou transkripcí tohoto článku, který považuji za nejlepší a nejúplnější historický přehled seismologie publikovaný v posledních letech. Z tohoto důvodu ho také předkládám českému čtenáři.

Seismologie je vysoce interdisciplinární vědecký obor. Centrálním fenoménem, který seismologie studuje (klasifikuje, modeluje a snaží se předpovídat), je fenomén **ZEMĚTŘESENÍ**. Tento přírodní proces má velice komplikované vazby na celou řadu dalších procesů studovaných geologií, astrofyzikou, meteorologií a fyzikou. V důsledku této komplexnosti se přes enormní úsilí a výrazný pokrok v řadě dílčích problémů do dnešních dnů nepodařilo nalézt spolehlivou metodiku úspěšné předpovědi zemětřesení (tzn. předpovědi jeho velikosti, času a místa vzniku). Druhým, neméně důležitým fenoménem studovaným seismologií, je fenomén šíření seismického vlnového pole v závislosti na způsobu jeho vzniku a na vlivu prostředí, jímž se šíří.

Teoretický aparát seismologie a její registrační a experimentální metodiku formulovali přední matematici (Wiener, 1930; Lighthill, 1960), fyzici (Jeans, 1923; Born, 1925; Fock, 1946) a inženýři (LaCoste, 1934).

Zemětřesení jako přírodní událost je jev, který se svým rozsahem, průběhem a důsledky vymyká všemu, co známe z běžného života. Je to proces, který nade všechnu pochybnost dokazuje, že naše planeta Země není jen obrovským balvanem, ale že

¹) BEN-MENAHÉM A.: *Review: A Concise History of Mainstream Seismology: Origins, Legacy, and Perspectives*. Bull. Seismo. Soc. Am. 85 (1995), 1202-1225.

je nesmírně komplikovaným dynamickým systémem, který se neustále vyvíjí a může takřka kdykoli zasáhnout do osudů nás všech. Abychom získali názornou představu o tom, s čím máme co činit, mluvíme-li o velkém zemětřesení, uveďme přibližnou energetickou bilanci zemětřesení, která je dobrou ilustrací tohoto přírodního procesu: přibližně 10^2 J deformační energie se uvolní z každého kubického metru objemu specifikujícího zdroj zemětřesení. Největší zemětřesení uvolní energii z deformovaného objemu $1000 \times 100 \times 100 \text{ km} = 10^{16} \text{ m}^3$ (jde o objem obklopující např. aktivní tektonický zlom, který je primárním zdrojem procesů, o nichž zde mluvíme), což odpovídá celkové energii 10^{18} J. Tato energie je ekvivalentní asi 1000 nukleárním explozím o síle 1 megatuny (1 milion tun = 10^9 kg) TNT. Je vhodné poznamenat, že několik velkých zemětřesení uvolní ročně více energie než stovky tisíc malých zemětřesení dohromady. Ročně se uvolní přibližně 10^{19} J seismické energie, což je asi 1 % celkového množství tepelné energie produkované zemským nitrem a vyzážené zemským povrchem za rok.

Průměrná doba mezi velkými zemětřeseními je přibližně 50–100 let. Ve vysoce seismoaktivních oblastech je to poněkud méně. Doba nutná pro nahromadění elastické deformační energie je tedy nesrovnatelná s dobou, za níž se tato energie uvolní. Od roku 1556 zahynulo v důsledku zemětřesení 6–7 milionů osob.

Současný stav znalostí o zemětřesení jako přírodním jevu neumožňuje spolehlivou předpověď času vzniku dalšího velkého zemětřesení v dané lokalitě.

Historie seismologie je neoddělitelně spjata s historií velkých objevů v mechanice kontinua, aplikované matematice a obecné vlnové teorii. Stejně tak nelze teoretickou seismologii separovat od samých základů exaktních věd jako takových, kde fenomenologické, experimentální i teoretické aspekty jsou úzce svázány mezi sebou.

Čistě pro účely tohoto článku si formálně historicky rozdělíme seismologii na dvě základní období. První, od prvních dokladů o zemětřesení na Zemi (asi před 4000 lety) po tzv. 2. revoluci v seismologii — zavedení číslicových počítačů v seismologii (asi rok 1950), nazveme obdobím *klasické seismologie*. Toto období obsahuje dvě klíčová data: (1) 1. 11. 1755 — lisabonské zemětřesení, které principiálně změnilo pohled člověka na zemětřesení jako přírodní fenomén. Tato událost také iniciovala vznik seismologie jako plnohodnotné exaktní přírodní vědy. (2) rok 1889 — jenž je rokem registrace prvního teleseismického seismogramu²⁾, tzv. 1. revoluce v seismologii; seismologie se stala *globální* vědou neomezující se pouze na lokální efekty zemětřesení. Vznikl ohromný komunikační prostor překlenující všechny geografické bariéry. Druhé období, od roku 1950 do současnosti, nazveme *moderní seismologií*.

Naše pozornost se soustředí na první — *klasické* období seismologie, které můžeme považovat za „*kořeny*“ moderní seismologie. Znalost „*kořenů*“ — výchozích bodů, pramenů každé vědní disciplíny, je nutná pro získání obecného a dostatečně širokého pohledu na vědní disciplínu jako takovou. Historicko-vědní souvislosti mohou vést k novým pohledům na celou řadu problémů a někdy mohou i stimulovat další pokroky, podmíněné existencí nových metod, výpočetních prostředků nebo moderních technologií.

²⁾ Tzv. teleseismická událost je seismický děj registrovaný na vzdálenost větší než cca 1000 km. Seismogram je záznam pohybů půdy (většinou rychlosti posunutí) v místě registrace.

Nejstarší historické záznamy týkající se zemětřesení jsou datovány přibližně 2000 let př. n. l. Jde o biblické alegorie velkého zemětřesení v oblasti Mrtvého moře, odpovídající tektonickému zlomovému systému přítomnému v této oblasti. Pro seismology mají z velké části tyto záznamy jen malou hodnotu. Je zde patrná přirozená tendence k nadnesenému až přehnanému popisu těchto jevů a časté dosazování nadpřirozených sil při jejich popisu i následné interpretaci. Za pozornost ovšem stojí fakt, že jde o první dochovaný *popis* takovéto události, který musel být podložen *pozorováním* přírodních procesů. Lze říci, že jde o první dokumentovanou reakci člověka na přírodní jev. A právě samotný fakt přítomnosti dvou základních atributů vědeckého zkoumání přírody, totiž pozorování a popisu přírodního jevu — zemětřesení, může být ospravedlněním jinak poněkud bombastického titulu tohoto článku. V každém případě ovšem byly některými neznámými autory učiněny první pokusy o racionální vysvětlení fenoménu zemětřesení na principech *přírodní filosofie*. Tyto pokusy (třebaže založené na hypotézách, které, jak je pravidlem, jsou příliš fantastické, než aby umožnily věnovat se důležitým detailům) jsou shrnuty v dílech několika historiků a filosofů (např. Thukydidés, Aristoteles, Seneca, Livius a Plinius), jež dokládají zcela jasně, že staří řečtí filosofové se vzdali mytologických zdůvodnění ve prospěch *přírodních příčin* zemětřesení vznikajících *uvnitř Země*.

Roku 585 př. n. l. **Tháles Milétský** formuluje první ucelenou teorii o *přírodních příčinách* zemětřesení. Podle jeho názoru je touto příčinou voda.

Asi 340 let př. n. l. formuloval **Aristoteles** šestičlennou typovou klasifikaci zemětřesení, založenou na charakteru pozorovaného pohybu zemského povrchu; např.: to, které má charakter pohybu zemského povrchu nahoru; to, které smýká povrchem Země ze strany na stranu, atd. Spekuluje o možné příčině zemětřesení jako důsledku *pohybu vzduchu*: vzduch proniká do zemského nitra a způsobuje „třes“ Země, vznikající jako důsledek snahy vzduchu opustit zemské hlubiny. Tato zcela spekulativní teorie výrazně ovlivnila evropské myšlení až do konce 17. století.

Nejstarší známý přístroj zkonstruovaný k detekci pohybů zemského povrchu (půdy) jako následku zemětřesení se nazývá *seismoskop*. Byl sestaven v roce 132 n. l. čínským učencem **Chang Heng**, působícím na císařském dvoře. Jeho konstrukce umožňovala pouze detekci směru pohybu půdy. Pozdější seismoskopy byly schopny zaznamenat i čas příchodu seismických vln, resp. projevů zemětřesení v místě instalace seismoskopu. Tyto přístroje byly schopny registrovat některá vzdálená zemětřesení, která nebyla makroskopicky pocítována³⁾. I když se z pohledu dnešních znalostí mohou zdát tyto úspěchy jako nedůležité, je nutné si uvědomit, že předstihly obdobné výsledky dosažené v Evropě o více než 1700 let.

Z děl středověkých a pozdějších autorů nelze o fenoménu zemětřesení mnoho zjistit. Nejstarší prací hodnou zmínky je dílo Angličana **Roberta Hooka** (1667–1697) *Discourse on Earthquakes*. Tato publikace obsahovala řadu názorů a myšlenek, které se sice dotýkaly jádra problému, ale často směřovaly ke zcela chybným závěrům a interpretacím studovaného jevu.

³⁾ Makroskopické projevy zemětřesení jsou ty projevy, které jsou vnímány člověkem nevyzbrojeným žádným měřicím přístrojem. Je dokumentován případ úspěšné registrace zemětřesení ze vzdálenosti více než 2000 km.

Stejně povrchní a chybné byly např. názory **Josepha Prestleye** a některých dalších vědců 19. století, kteří spojovali příčiny zemětřesení s elektrickými jevy. Navíc někteří vědci si stále nebyli jisti ani přírodní podstatou vzniku zemětřesení, jak můžeme zjistit z příspěvku publikovaného ve *Philosophic Transactions of the Royal Society of London* ještě v roce 1750, kde autor pokládá za vhodné poděkovat „těm, kdož jsou nakloněni ke zpochybnění jakéhokoli pokusu o zdůvodnění zemětřesení jako přírodního jevu“. Nicméně, neúprosná fakta svědčící o projevech a následcích zemětřesení se neustále hromadila. Zásadní vliv mělo velké lisabonské zemětřesení v roce 1755. Konečně mnich **John Michell**, profesor geologie na univerzitě v Cambridgi, velice solidně formuloval a doložil, že zemětřesení vznikají uvnitř Země. Konkrétně tvrdil: „Zemětřesení bylo tvořeno vlnami, jež byly způsobeny posuny horninových masivů pod zemským povrchem... pohyb země v průběhu zemětřesení je částečně chvějivý (vibrační) a částečně má charakter šířících se vln, které následují jedna za druhou“. Dále odhadl, že povrchové vlny generované zemětřesením v Lisabonu se šířily rychlostí $530 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.⁴⁾ Dalším vědcem tvrdícím, že projevy zemětřesení se šíří zemským nitrem ve formě vln konečnou rychlostí, byl **Thomas Young** (1807).

Hodně úsilí při studiu zemětřesení v letech 1760–1840 bylo věnováno odhadům geologických projevů a vlivu na stavební konstrukce. Na začátku 19. století byly publikovány první řádné seznamy zemětřesení a v roce 1840 byl vydán první katalog zemětřesení pro celý svět.

V roce 1857 se na scéně objevuje první skutečný seismolog (měli bychom si tudíž uvědomit, že na tomto poli je už poněkud pozdě „bycha honit“): **Robert Mallet** (1810–1881, Irsko), inženýr, který stál u vzniku instrumentální seismologie. Narodil se v Dublinu a po získání doktorátu na Trinity College v tomto městě se vrátil do otcova malého strojírenského závodu. Po stavbě majáku a několika mostů se začal zajímat o globální seismicitu a inženýrské problémy související se zemětřesením. Detailně studoval škody způsobené neapolským zemětřesením v roce 1857, což ho vedlo k myšlence založit celosvětovou observatorní síť. Publikoval první celosvětovou mapu seismicity a systematicky se pokoušel aplikovat fyzikální principy na jevy spojené se zemětřesením (1862). Mallet podal odhady epicentrálních vzdáleností a hypocentrálních⁵⁾ hloubek přírodních zemětřesení. Provedl řadu experimentů pro určení rychlostí šíření seismických vln, generovaných explozemi v různých horninách s pomocí nádob naplněných rtutí umístěných v různých vzdálenostech až do 800 m od explozivního zdroje.

První *seismometr* hodný toho jména zkonstruoval v roce 1841 fyzik **James David Forbes** (1809–1868, Skotsko). Tento název poprvé použil **David Milne Home** v roce 1841. O několik let později použil označení *seismograf* **Luigi Palmieri** (1855) pro přístroj, který navrhl a zkonstruoval v observatoři na hoře-vulkánu Vesuv. Použil inverzní kyvadlo připevněné zesponu na ocelovou válcovou tyč. Registrační pero bylo připevněno na vrchol tyče-kyvadla a zaznamenávalo pohyb na papír. První opravdu

⁴⁾ Což je mimochodem velice realistický odhad rychlosti jednoho speciálního typu seismických vln i z hlediska dnešních znalostí.

⁵⁾ Hypocentrum je místo, v němž zemětřesení vzniká, a epicentrum je projekce tohoto místa na zemský povrch.

vědecky použitelný seismograf, registrující posunutí zemského povrchu, zkonstruoval v Japonsku v roce 1880 **John Milne** a jeho dva asistenti **James Alfred Ewing** a **Thomas Gray**. Tento přístroj měl ale bohužel nedostatečné zvětšení, mohl tedy registrovat pouze lokální zemětřesení.

V roce 1889 **Ernst von Rebeur-Paschwitz** (1861–1895, Německo) experimentoval v Postupimi s modifikovanou verzí Zölnerova horizontálního kyvadla právě v době, kdy bylo pozorováno a registrováno zemětřesení v Japonsku. Tato událost je označována za zrození instrumentální seismologie v celozemském měřítku. Toto pozorování stimulovalo další Milneovu práci. Roku 1894 navrhl, zkonstruoval a testoval nový (a na tehdejší dobu špičkový) seismograf nesoucí jeho jméno. Tento seismograf umožňoval detekovat seismické vlny šířící se tisíce kilometrů z místa jejich vzniku. Navíc šlo o kompaktní a jednoduše ovladatelné zařízení, které dovoľovalo instalaci na libovolné lokalitě. Registrovalo tři složky posunutí půdy (nahoru-dolů, sever-jih a východ-západ). Od tohoto okamžiku nastal proces neustálé, do dnešních dnů stále rychlejší akumulace precizních instrumentálních dat o zemětřeseních. Seismologie se rozvinula od kvalitativní v plně kvantitativní vědeckou disciplínu. Seismograf je pro seismologa tím, čím je pro astronoma dalekohled — prostředek zpřístupňující jinak nedosažitelné oblasti. Z tohoto důvodu můžeme považovat konstrukci Milneova seismografu za milník v historii seismologie. Od roku 1894 počet instrumentálně registrovaných zemětřesení neustále stoupá; nejstarší seznam zemětřesení s vypočtenými časy vzniku a polohou epicentra je znám pro období 1899–1903. Další zlepšení v konstrukci seismografů navrhli **Fusakachi Omori** (1868–1923, Japonsko) a **Emil Wiechert** (1861–1928, Německo), kteří výrazně přispěli ke konstrukci mechanických seismografů⁶⁾. Ruský šlechtic **Boris Borisovič Golicein** (1862–1916, Rusko) navrhl první elektrodynamický seismograf s fotografickou registrací (1906). Wiechert navrhl seismograf s vertikálním inverzním kyvadlem s dodatečnými malými pružinami tlačícími proti podpoře pevně připevněné k zemskému povrchu. Hmotnost kyvadla v tomto případě přesahovala i několik tun a seismograf byl schopen současně registrovat obě horizontální složky posunutí. Zcela zásadním pokrokem ovšem byla Goliceinova idea záznamu pohybů zemského povrchu pomocí světelných paprsků odražených od pohybujícího se zrcátka galvanoměru, jehož pohyb je generován elektrickým proudem vznikajícím v důsledku elektromagnetické indukce, dané pohybem kyvadla seismografu. Další, neméně významný pokrok přinesl rok 1935, kdy **Hugo Benioff** (1899–1968, USA) navrhl a zkonstruoval přístroj měřící složky deformace zemského povrchu.

Deformační seismometr měří variace vzdálenosti dvou fixních bodů (cca 30 metrů) způsobené průchodem seismických vln. Benioff navrhl elektrodynamickou registraci, v níž měl původní galvanoměr vlastní periodu 40 sekund, později prodlouženou až na 480 sekund. Jeho deformační seismometr byl první, který byl schopen registrovat pohyb půdy s periodou větší než 1 hodina, stejnou jako je perioda nejnámějšího módu vlastních kmitů Země (1952).

⁶⁾ Seismograf tohoto typu byl také instalován v roce 1924 na seismické stanici PRAHA, zřízené při Karlově univerzitě.

Seismologie jako věda usiluje současně o detailní poznání vnitřní struktury zemského nitra s využitím existence seismických vln a o odhalení podstaty zemětřesení. Nejzajímavějším cílem je zmírnění, popř. spolehlivá předpověď a řízení tohoto přírodního jevu. Tato dvojakost zájmů, resp. cílů je pro seismologii jako vědeckou disciplínu charakteristická od jejího počátku.

Začátky úspěchů v první oblasti se datují rokem 1799, kdy **Cavendish** použil Newtonův zákon všeobecné gravitace k odhadu průměrné hustoty Země ($\langle \rho \rangle = 5,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$). Protože tato hustota je vyšší než průměrná hustota povrchových hornin, plyne odtud závěr, že hustota musí vzrůstat s hloubkou. V důsledku pozorování tzv. slapů⁷⁾ formuluje **lord Kelvin** závěr, že Země jako celek má větší tuhost, než odpovídá sklu. (Tento závěr byl potvrzen později, kdy bylo zjištěno, že ocel lépe vyhovuje tomuto průměru, vlivem pozorování základního módu vlastních kmitů Země.) V roce 1897 **Wiechert** na základě teoretických výpočtů formuluje hypotézu, že zemské nitro se skládá ze silikátového pláště obklopujícího kovové jádro. Existenci zemského jádra potvrdil **Richard Dixon Oldham** (1858–1936, Indie, Anglie) v roce 1906 na základě interpretace registrovaných seismických vln.

V roce 1909 **Andrija Mohorovičić** (1857–1936, Záhřeb) objevil výraznou diskontinuitu v charakteristické hloubce (přibližně 35 km pod povrchem kontinentů a 5 km pode dnem oceánů) pod zemským povrchem (známou dnes pod zkratkou MOHO), která má zásadní vliv na čas šíření seismických vln lokálních zemětřesení. Následně byla tato diskontinuita interpretována jako základna zemské kůry. Tento objev demonstrovuje, že struktura vnějších (připovrchových) vrstev Země může být zpřesňována na základě znalosti časů šíření odražených a lomených seismických vln⁸⁾. V roce 1914 publikoval **Beno Gutenberg** (1889–1960, Německo, USA) přesné odvození hloubky rozhraní oddělujícího zemský plášť a jádro (2900 km). V roce 1926 objevuje globální zónu snížené rychlosti ohraničenou hloubkami 70–250 km v zemském plášti, známou jako *astenosféra*. V roce 1936 předkládá **Inge Lehmann** (1888–1993, Dánsko) první důkaz potvrzující existenci vnitřního jádra o poloměru cca 1400 km.

Rok 1828 byl rokem vstupu elastodynamiky do seismologie. V tomto roce **Poisson** teoreticky předpovídá *podélné a příčné elastické vlny*, jejichž přesnou fyzikální interpretaci podal **Stokes** v roce 1845. Čistě teoreticky, bez návaznosti na experimentální pozorování, předpovídá v roce 1885 **lord Rayleigh** další typ elastické vlny (později označené jako *Rayleighova vlna*), jejíž existence je podmíněna přítomností materiálové diskontinuity (např. volný povrch tělesa). Experimentální potvrzení uvedených teoretických předpovědí na sebe nedalo dlouho čekat. Už roku 1887 identifikuje **Oldham** na záznamech zemětřesení (seismogramech) tyto tři základní typy seismických vln a experimentálně ověřuje, že minimálně pro krátko-periodickou složku vlnového pole⁹⁾ lze zemské nitro považovat za elastické těleso, jehož chování lze popsat Hookovým zákonem. Roku 1899 odvozuje **Cargill Gilston Knott** (1856–1922, Skotsko, Japonsko) obecné rovnice pro odraz a lom rovinné elastické vlny na rovinném rozhraní

⁷⁾ Globální deformace zeměkoule jako celku v důsledku gravitačního působení Měsíce a Slunce.

⁸⁾ Je zajímavé, že John Milne tato fakta publikovat již roku 1906.

⁹⁾ Převládající perioda vlnového procesu je 0,1–1,0 sekund.

(diskontinuitě). Tento výsledek byl nutný pro nalezení vztahu mezi amplitudou seismických vln registrovaných seismografem a skutečným tvarem seismického vlnového pole modifikovaného přítomností volného povrchu Země. Nové století přineslo roku 1904 první matematickou teorii bodového zdroje zemětřesení v jednoduchém modelu Země (homogenní poloprostor), kterou formuloval **Horace Lamb** (1844–1934, Anglie). Tato teorie je dodnes základem pro řadu metod modelujících šíření seismických vln ve vrstevnatých prostředích. První obrácenou úlohu v geofyzice formuloval a řešil roku 1907 **Gustav (Ferdinand Josef) Herglotz** (1881–1953, Německo). Tato metoda umožňuje určit rychlosti P a S vln¹⁰⁾ uvnitř Země na základě známých časů šíření těchto vln. Roku 1909 použili **E. Wiechert**, **K. Zoepritz** a **L. Geiger** tuto metodu a získali první dvoudimenzionální profil rychlostí v zemském pláští. Výrazný příspěvek v teoretické seismologii předložil roku 1911 **Augustus Edward Hough Love** (1863–1940, Anglie) svým objevem horizontálně polarizovaných povrchových vln (nyní známých jako Loveovy vlny). Na základě analýzy záznamů těchto vln mohou seismologové odhadovat tloušťku zemské kůry a její tuhost.

Další pokrok v období 1915–1936 učinil **Harold Jeffreys** (1891–1989, Anglie), jenž se zaměřil hlavně na matematické a statistické metody, jež aplikoval na celou řadu geofyzikálních problémů. Jeho pozornost, věnovaná vědeckým metodám a statistickým detailům, měla zcela zásadní vliv na úroveň seismologie před 2. světovou válkou.

V prvních čtyřiceti letech 20. století zaznamenala seismologie významný pokrok: založení prvního geofyzikálního ústavu v roce 1901 v Göttingen (Německo), počet seismologických observatoří schopných registrovat vzdálená zemětřesení dosáhl čísla 25 (pro srovnání, v roce 1894 existovalo 8 seismických stanic). V roce 1940 existovalo 10 velkých seismologických výzkumných center a 250 seismických stanic na mnoha místech zeměkoule¹¹⁾.

Mezinárodní seismologická asociace byla založena v roce 1905 v rámci setkání seismologů reprezentujících 23 zemí světa v Berlíně. Při opětovném setkání v Římě 1906 bylo rozhodnuto o vzniku mezinárodního seismologického centra ve Štrasburku. A rok 1919 byl rokem, v němž začal vycházet první bulletin globálních záznamů zemětřesení, vydávaný v Oxfordu pod označením *International Seismological Summary* (I. S. S.).

Na základě studia katastrofálního zemětřesení 18. dubna 1906 v San Francisku formuloval **Harry Fielding Reid** (1859–1944, USA) teorii *elastického uvolnění* (1911): Zemětřesení jsou svázána s velkými geologickými zlomy a prasklinami v zemské kůře a svrchním pláští. Následkem deformace horninového masívu se hromadí elastická energie stejně jako v případě stlačující se ocelové pružiny. Deformace narůstá tak dlouho, dokud jsou třecí síly schopny udržet zlom v klidu. Jsou-li tyto síly v nějakém bodě na zlomu překonány, zlom praská a elastická deformační energie se začíná uvolňovat. V důsledku toho se horninové bloky tvořící zlom v tomto bodě, specifikujícím ohnisko zemětřesení (hypocentrum), náhle posunou. V roce 1960 bylo v Chile pozorováno,

¹⁰⁾ Vlny P a S jsou dva základní typy seismických vln. Vlny P se šíří podélně (částice prostředí kmitají ve směru šíření vlny) a vlny S se šíří příčně (částice prostředí kmitají v rovině kolmé na směr šíření vlny). Vlny P se šíří vždy rychleji než vlny S.

¹¹⁾ Včetně již zmíněné seismické stanice PRAHA vybudované prof. V. Láskou na Karlově univerzitě, která je dodnes v provozu (samozřejmě v moderní, digitální podobě).

že vzniklá trhlina se šířila rychlostí $3,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ na vzdálenost větší než 1000 km. V případě veľkých zemětřesení může být vzájemný posun horninových bloků větší než 15 m. Je-li třecí kontakt dvou bloků porušen, je elastická deformační energie, která se pomalu hromadila v průběhu desítek až stovek let, náhle¹²⁾ uvolněna ve formě vibrací — seismických vln tvořících zemětřesení. Proces zodpovědný za „skluz“ třecího spojení bloků, jež je počátkem vzájemného posunu těchto bloků a tudíž zemětřesení, není dosud znám.

Na tomto místě ukončíme náš pokus o nalezení „kořenů“ seismologie. Uvedený historický přehled milníků vývoje seismologie jako vědecké disciplíny je také současně ilustrací základů, na nichž stojí současná, moderní seismologie. Je ilustrací toho, že seismologie byla a je úzce spjata s vývojem fyziky, aplikované matematiky a mnoha oblastí techniky.

Co říci závěrem? Snad jen to, že na základní problém seismologie, totiž předpověď zemětřesení, zatím uspokojivou odpověď neznáme. V současnosti je seismologie velice dynamicky se vyvíjející vědecká disciplína. Je proto pravděpodobné, že se v relativně krátké době dočkáme dalších významných pokroků, které posunou hranice našeho poznání opět o něco blíže k pochopení toho, co se v zemském nitru skutečně odehrává. Důsledky tohoto poznání lze dnes jen těžko předvídat. V každém případě je velice vzrušující podílet se na tomto snažení lidského ducha.

jubilea zprávy



Sdělení redakce:

K článku dr. J. Fialy „Je elementární logika totéž co predikátová logika 1. řádu“ (č. 3/97) došla redakci polemická odpověď, jejímiž autory jsou doc. P. Hájek a dr. A. Sochor. Článek otiskneme v nejbližším čísle *Pokroků*.

K ŠESTĎESIATINÁM PROFESORA TIBORA KATRIŇÁKA

Profesor RNDr. Tibor Katriňák, DrSc., jeden z čelných představitelov slovenskej matematiky, oslávil tento rok svoje šesťdesiate narodeniny.

Tibor Katriňák sa narodil 23. marca 1937 v Košiciach. Strednú školu navštevoval v Spišskej Novej Vsi. V roku 1955 začal študovať matematiku na Prírodovedeckej

fakulte Univerzity Komenského v Bratislave. Po ukončení štúdia v r. 1960 pôsobil na Prírodovedeckej a neskôr od r. 1980 na novozaloženej Matematicko-fyzikálnej fakulte, ktorej zostal verný až podnes. Vedeckú hodnosť kandidáta vied (CSc.) získal na Univerzite Komenského r. 1965 a r. 1968 sa habilitoval na docenta. Akademický rok 1967/68 strávil na Humboldtovom štipendiu v Bonne. Vedeckú hodnosť doktora vied (DrSc.) dosiahol r. 1980. Riadnym profesorom na Katedre algebry a teórie čísel MFF UK v Bratislave sa stal až po zmene pomerov v r. 1990.

Profesor Katriňák je svetovou autoritou v oblasti teórie zväzov a univerzálnej algebry. Spolu so svojim učiteľom a neskôr blízkym spolupracovníkom, profesorom Milanom Kolibiarom bol počínajúc druhou polovicou šesťdesiatych rokov jednou z ústredných postáv „Bratislavskej algebraickej školy“. Vo veľkej miere prispel k dobrému menu slovenskej a československej matematiky ako i Univerzity Komenského vo svete.

Jeho vedecký záujem sa sústredil hlavne na štúdium zväzov a podzväzov s operáciou pseudokomplementu. Teória pseudokom-

¹²⁾ Charakteristický čas trvání procesu „uvolnění“ je řádu 1–10 sekund.