

Zemětřesení

Jan Zedník

Geofyzikální ústav
Akademie věd České republiky

2006



<http://www.ig.cas.cz>

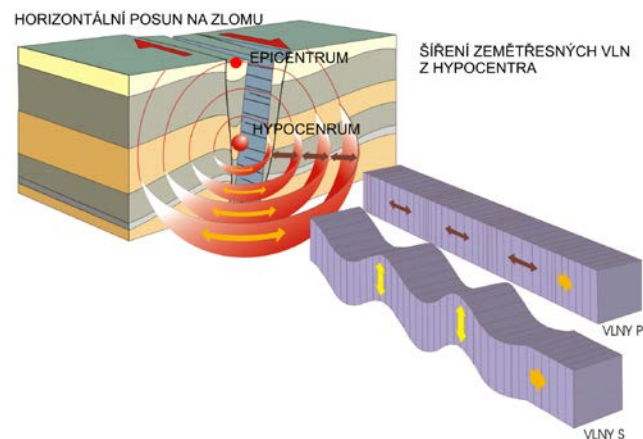
Obsah:

Jak vznikají zemětřesení
Velká světová zemětřesení
Seismicita světa
Stavba Země a tektonika desek
Mechanismus zemětřesení
Zemětřesení v České republice
Západní Čechy a zemětřesné roje
Jak se registrují zemětřesení
Seismologické stanice v České republice
Vyhodnocení seismických záznamů
Makroseismická pozorování
Makroseismický dotazník
Co dělat při zemětřesení
Škody při zemětřesení
Redukce rizika škod
Tsunami
Předpověď zemětřesení

Zemětřesení

Zemětřesení je náhlé uvolnění deformační energie nahromaděné v horninách ve formě elastických vln. Studium zemětřesení se zabývá obor geofyziky nazývaný seismologie. Seismologie studuje vznik, šíření a registraci seismických vln, které se všesměrně šíří zemským tělesem z přirozených i umělých zdrojů. Seismické vlny poskytují nejlepší rozlišení vnitřní stavby Země ze všech geofyzikálních polí (seismické, elektrické, magnetické, teplotní a gravitační). Je to proto, že elastické vlny mají nejkratší vlnové délky a že dokážeme relativně nejpřesněji sledovat jejich dráhu zemským tělesem i jejich časový průběh. Země se skládá ze silikátových a železnatých materiálů, které se chovají elasticky při působení krátkodobých přechodných sil, a plasticky při působení dlouhodobých sil. Tato časová závislost materiálů na jedné straně znamená, že se Země rozkmitá při náhlém posunu bloků podél geologického zlomu nebo při explozi nálože při podzemním výbuchu. Na druhé straně povrch a vnitřek naší planety v průběhu geologické historie je neustále tvarován procesy konvekce podobné pomalému tečení tekutin.

Většina zemětřesení je tektonického původu a je vázána na existující zlomy. V povrchových částech Země dochází vlivem tektonických procesů k pohybu litosférických desek a k hromadění napětí v horninách. Při překročení kritického napětí dochází k jeho uvolnění formou rychlých posunů podél zlomové plochy. Délka aktivované části zlomu dosahuje u silných zemětřesení desítky až stovky kilometrů. Trhliny se někdy projevují na zemském povrchu a je na nich vidět posuv bloků až o několik metrů. Zlomový proces začíná v hloubce v bodě, který se nazývá **hypocentrum**. Odtud se na všechny strany začínají šířit seismické vlny (obrázek 1). **Epicentrum** je svislý průmět hypocentra na povrch Země. V okolí zlomu dochází v průběhu uvolňování napětí k nevratným deformacím. Tato oblast se označuje jako **ohnisko zemětřesení**. Podle hloubky ohniska dělíme zemětřesení na mělká (0-70 km), středně hluboká (70-300 km) a hluboká (300-700 km). Mělká zemětřesení představují 85 % celkové uvolněné energie a zahrnují ty nejničivější otřesy.



Zemětřesení doprovázející sopečné erupce jsou obvykle slabá a jejich účinky jsou omezeny pouze na nejbližší okolí sopek. Řítivá zemětřesení jsou vázaná na vytěžené prostory a patří též do kategorie slabších otřesů, místní účinky však mohou být značné. Jedním z nejsilnějších otřesů tohoto typu bylo zemětřesení v blízkosti Halle v Německu z r. 1996.

Zemětřesení se na zemském povrchu nevyskytují rovnoměrně ani v čase ani v prostoru. Tabulka 1 shrnuje statistické zpracování četnosti výskytu zemětřesení od r. 1900 v závislosti na velikosti otřesů na Richterově stupnici podle amerického národního zemětřesného centra v Goldenu, Colorado. V tabulce je též uvedeno, kolik kilogramů explosiv by bylo třeba na uvolnění stejného množství energie jako při zemětřesení.

Tabulka 1. Četnosti ročního výskytu zemětřesení ve světě podle velikosti otřesů

Charakteristik a zemětřesení	Velikost otřesu (magnitudo)	Roční průměrný počet otřesů	Uvolněná energie (ekvivalent kg explosiv)
Ničivé	8.0 a více	1	56.000.000.000
Velké	7.0 - 7.9	18	1.800.000.000
Silné	6.0 - 6.9	120	56.000.000
Střední	5.0 - 5.9	800	1.800.000
Lehké	4.0 - 4.9	6 200	56.000
Menší	3.0 - 3.9	49 000	1.800
Velmi slabé	2.0 - 2.9	365 000	56

Velká světová zemětřesení

Silná zemětřesení představují jeden z nejničivějších katastrofických dějů na naší planetě. Při nejsilnějších otřesech se uvolňuje vůbec nejvíc energie ze všech krátkodobých přírodních zdrojů. Zemětřesení v Chile v r.1960 o velikosti 9.5 na Richterově stupnici vyzářilo během několika minut ekvivalent roční spotřeby energie ve Spojených státech. Tabulka 2 shrnuje historická zemětřesení, která stála nejvíce lidských obětí.

Tabulka 2.1 Nejničivější světová zemětřesení

Datum	Místo vzniku	Oběti	Magn.	Poznámka
23.01.1556	Čína, Shansi	830 000		
27.06.1976	Čína, Tangshan	650 000	8.0	oficiálně 250 000
11.10.1737	Indie, Kalkata	300 000		
26.12.2004	Indonésie, Sumatra	270 000	9.0	vlna tsunami
09.08.1138	Sýrie, Aleppo	230 000		
22.05.1927	Čína, Xining	200 000	8.3	velké trhliny v zemi
22.12. 856	Iran, Damghan	200 000		
16.12.1920	Čína, Gansu	200 000	8.6	velké trhliny, sesuvy
23.03. 893	Iran, Ardabil	150 000		
01.09.1923	Japonsko, Tokio	143 000	8.3	velký požár
28.12.1908	Itálie, Messina	100 000	7.5	vlna tsunami
xx.09.1290	Čína, Chihli	100 000		blízko Pekingu
xx.11.1667	Kavkaz, Shemakha	80 000		
18.11.1727	Irán, Tabriz	77 000		
01.11.1755	Portugalsko, Lisabon	70 000	8.7	velká vlna tsunami
25.12:1932	Čína, Gansu	70 000	7.6	
31.05.1970	Peru	66 000	7.8	expedice Huascarán
1268	Malá Asie	60 000		
11.01.1693	Itálie, Sicílie	60 000		
30.05.1935	Pakistán, Quetta	60 000	7.5	
04.02:1783	Itálie, Kalábrie	50 000		
20.06.1990	Irán, Manjil	50 000	7.7	sesuvy půdy

Zpracováno podle U.S: Geological Survey, Golden, Colorado

Zemětřesení na Aljašce v r. 1964

Ničivé zemětřesení na Aljašce o velikosti 9.2 na Richterově stupnici patří k jednomu z nejsilnějších, které bylo na Zemi zaregistrováno. Přitom je mimořádně dobře popsáno a došlo při něm z řadě zajímavých úkazů. Otřesy půdy trvaly asi 7 minut, z toho 3 minuty s ničivými účinky. V zemi se otevíraly široké trhliny. Škody postihly desetinu plochy Aljašky. Zahynulo 115 lidí, většina z nich při ničivé mořské vlně tsunami vyvolané rozsáhlým podmořským sesuvem. Tsunami také vyvrhla mnoho lodí na pevninu. Pouze málo lidí bylo ale zraněno řídicími se budovami, protože většina staveb byla konstruována proti otřesům. Zvodnění půdy a následné sesuvy půdy napáchaly mnoho škod na budovách. Obrovské plochy byly vyzdviženy nebo sníženy o 2 m, v některých místech až o 17 metrů. Délka porušeného zlomu je odhadována na 500-1000 km. Mechanismus zemětřesení byl mělký přesmyk pacifické oceánské desky přes kontinentální desku směrem k severu.



San Francisko 1906

Zemětřesení v San Francisku, které udeřilo dne 18. dubna 1906 se zapsalo do historie jako nejničivější v historii Kalifornie a Spojených států. Otřesy a následný požár v San Francisku, který zuřil 4 dny, za sebou zanechaly ohromující ztráty a změnil v trosky kvetoucí město. Tři tisíce obětí, 225 lidí lidí bez přístřeší, 28 tisíc domů zničených domů. Celkové škody dosáhly 524 milionů tehdejších amerických dolarů.

Zemětřesení o velikosti 7.8 na Richterově stupnici nepostihlo jen San Francisko. Oblast škod byla dlouhá 600 kilometrů a sahala do vzdálenosti padesát kilometrů na obě strany od zlomu. Otřesy pocítili lidé až v Oregonu, v jižní Kalifornii a v Nevadě. Zemětřesení totiž vzniklo na severním úseku zlomu San Andreas, který se táhne napříč Kalifornií v celkové délce asi 1200 kilometrů a tvoří rozhraní mezi Pacifickou deskou na západě a Severoamerickou deskou na východě. V roce 1906 se tyto dvě zemské desky vůči sobě posunuly až o 6,4 metru v délce asi 477 kilometrů.

Obrázek po katastrofě byl hrozný. Budova, která stála přímo na zlomu, se roztrhla vpůli. Stavby v nejbližší blízkosti San Andreas byly zničeny. Stromy vyvrácené z kořenů lemovaly zlom v pruhu širokém několik desítek metrů. Silnice křížící zlom byly zdemolované a neprůjezdné, všude kolem ležela roztrhaná potrubí. Jeden vlak otřesy vyhodily z kolejí, až se převrátil na bok. Země byla rozervaná trhlinami a vlnila se jako moře.

V San Francisku otřesy začaly v 5 hodin 12 minut místního času. Trvaly asi 45-60 vteřin. Během této chvíle zbořily a poničily mnoho budov, zejména ty, které stály na nebezpečných půdách. Lidé vybíhali na ulici - a padaly na ně komíny, uvolněné římsy a cihlové výplně stěn.

Moderní železobetonové budovy většinou otřesům odolaly bez vážnějších problémů. Na mnoha místech však vypukly požáry způsobené prorušeným plynovým potrubím a poškozenými komíny.

Za normálních okolností by si s nimi hasičský sbor San Franciska, který patřil k nejlépe vycvičeným a vyzbrojeným ve Spojených státech, snadno poradil. Zemětřesení ale přerušilo hlavní přívod vody do města z jezera San Andreas, které leží na druhé straně stejnojmenného zlomu. Boj s místními požáry tak byl většinou neúspěšný, protože fungujících hydrantů zůstalo velmi málo.

A tak se plameny mohly během několika hodin spojit v jeden obrovský požár, který postupně zachvátil střed města a šířil se nezdramitelně dál. Do boje s ohnivým živlem se zapojila i policie, armáda a dobrovolníci. Hasiči ještě téhož dne začali používat k zastavení požáru dynamit. Napřed vyhazovali do povětří

jednotlivé domy, a když to plameny nezastavilo, padaly celé ulice a posléze i bloky domů. Postupu plamenů bránily i tři tisíce lidí – košťaty, kusy látek a zbytky vody, která zůstala v hydrantech. Ničivý oheň se podařilo zastavit až čtvrtý den na mimořádně široké Van Ness Avenue. Do té doby však shořela oblast o ploše dvanáct kilometrů čtverečních. Škody od zemětřesení ve městě dosáhly 20 milionů dolarů.



Ruiny. Radnice městečka Santa Rosa po ničivém zemětřesení v San Francisku. Město ztratilo 199 ze svých 7500 obyvatel – takové ztráty počítané na hlavu do té doby a od té doby neutrpělo žádné americké město. Na snímku z dubna 1906 vidíme dobrovolníky, kteří uklízejí trosky.

Několik hodin po zemětřesení vyhlásil starosta San Franciska E.E.Schmitz dekret, ve kterém varoval obyvatelstvo: policie a armáda mají rozkaz zastřelit každého, kdo bude přistižen při rabování nebo jiném závažném násilném činu.

Během pohnutých prvních dnů po otřesech tak došlo jen k několika případům. Obyvatelstvo města se chovalo velmi ukázněně při pokynech policie a armády během evakuace i v dalších situacích. Vzhledem k hrozbě požáru nebylo například dovoleno topit a svítit v domech, dokud nebudou zkontrolovány komíny,

plynová a elektrická vedení. V každé ulici hlídalo několik vojáků, kteří dohlíželi na dodržování pořádku a vyhlášených opatření. Armáda zajistila během krátké doby stany a přiděly potravin pro lidi, kteří ztratili střechu nad hlavou nebo byli evakuováni. Zasloužila se i o úspěšnou evakuaci 20 000 uprchlíků válečnou lodí Chicago ze San Franciska přes záliv do Oaklandu. Tato akce, kterou zajistilo šestnáct určených mužů a dva důstojníci, patří k největším humanitárním námořním operacím na světě a je významem srovnatelná s evakuací statisíců britských a francouzských vojáků z přístavu Dunkirk během 2. světové války.

Jednou ze známých osobností, která na vlastní kůži zažila hrůzy zemětřesení v San Francisku, byl i slavný operní tenor Enrico Caruso. V předvečer zemětřesení zpíval v opeře Carmen a usínal spokojen s úspěchem představení. Podle jeho vzpomínek jej brzy ráno vzbudily silné otřesy, při kterých se mu na okamžik zdálo, že je na rozbouraném moři a pluje do své milované Itálie. Když otřesy nepřestávaly, uvědomil si, co se děje, vstal – a z okna pozoroval převracející se budovy, padající kusy stěn a slyšel křik z ulice. Během necelé minuty, po kterou trvalo zemětřesení, mu před očima proběhl celý jeho život.

Když otřesy ustaly, jeho chladnokrevný sluha mu přinesl nějaké oblečení a vyvedl ho na náměstí před hotelem, sám se několikrát vrátil do pokoje a zabalil a vynosil postupně ven Mistrovy kufry. Mezitím se někdo pár zavazadel Carusovi pokusil odnést, ale přivolaný policista zjednal pořádek. Enrico Caruso strávil celý den a noc na volném prostranství, než se sluhovi podařilo sehnat povoz s koněm a mohli naložit zavazadla a odjet do přístavu na trajekt do Oaklandu. Cestou míjeli otřesné scény, trosky domů a všude prach a kouř z rozrůstajících se požárů...

Ničivé zemětřesení se ostatně dostalo i do filmu. V roce 1936 natočil režisér van Dyke v Hollywoodu kombinaci dramatu a muzikálu San Francisco. V hlavních rolích se objevili tehdejší hvězdy Clark Gable, Spencer Tracy a Jeanette MacDonaldová. Film měl velký úspěch u diváků a byl také nominován na Oscara.

Pro odborníky je událost z roku 1906 také jedním z nejlépe prozkoumaných ničivých zemětřesení na světě. Již tři dny po katastrofě zřídil osvícený guvernér státu Kalifornie G.C.Pardee státní vyšetřovací zemětřesnou komisi, do které jmenoval řadu seizmologů a geologů z prestižních univerzit, z U.S. Geological Survey a dalších institucí. Závěrečná zpráva vydaná v roce 1908, známá pod názvem Lawson report (podle jejího předsedy), je jednou z nejdůležitějších studií individuálního zemětřesení vůbec.

Na jejím základě formuloval H. F. Reid v roce 1910 teorii uvolňování elastické energie v ohnisku zemětřesení, která se stala základním modelem přípravy zemětřesení. Významnou část zprávy tvoří i podrobná studie vlivu lokálních podmínek na intenzitu otřesů na povrchu. Údolní oblasti vyplněné sedimenty se totiž otřásaly déle a silněji než okolní místa na pevném podloží.

Všechny tyto poznatky vedly nejen k vybudování moderního a bezpečnějšího San Franciska, ale položily také základ k rozvoji geologie a seizmologie ve Spojených státech.

Zemětřesení v Portugalsku v r. 1755

Toto zemětřesení s ohniskem 220 km vzdáleným v Atlantickém oceánu zničilo všechny větší stavby v Lisabonu včetně kostelů, ve kterých se shromáždili věřící v den všech svatých. Zkázu města dokonaly následné požáry a 30m vysoká vlna tsunami, která se přehnala přístavem a níže položenými čtvrtěmi. Na dobové rytině z rozsáhlé sbírky historických vyobrazení zemětřesení J.Kozáka je možné si udělat představu o rozsahu škod. Jednalo se o mimořádně silné zemětřesení (jeho velikost se odhaduje na 8.5 na Richterově stupnici), při kterém zahynulo asi 70000 obětí. Otřesy byly pocítěny na území téměř celé Evropy a zaznamenány v mnoha dobových kronikách.

Lisabon byl v polovině 18.století bohaté a prosperující město. Zkáza města přišla zcela nečekaně a její rozsah byl ohromující. Toto zemětřesení upoutalo na dlouhou dobu pozornost vzdělavců v celé Evropě a stimulovalo intenzivní geovědní výzkum. Ve svých dílech se mu věnovali m.j. Voltaire, Laplace, Kant, Goethe a Humboldt

Dobová rytina zemětřesení v Lisabonu r.1755 (Sbírka J.Kozáka)



Zemětřesení v Turecku v r. 1999

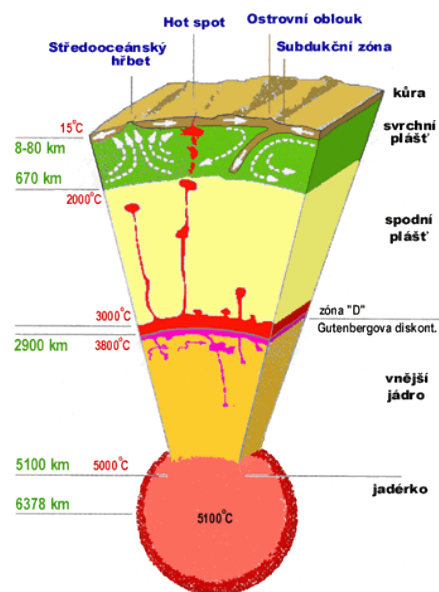
Ničivé zemětřesení v oblasti Izmitu v severním Turecku o velikosti 7.8 na Richterově stupnici si vyžádalo nejméně 12000 obětí a 33000 raněných. Mnoho domů ve zřítilo, částečně vinou nedodržování stavebních předpisů. Zemětřesení proběhlo na západním okraji severoanatolského zlomu, který se táhne z Egejského moře celým severním Tureckem do sousedního Iránu. Povrchová projevy zemětřesení byly patrné v délce 40 km. Podél zlomu došlo k horizontálnímu posunu sousedních bloků o 3 metry, jak dokumentuje spodní obrázek.

Účinky posunu sousedních bloků při zemětřesení v Turecku v r.1999



Stavba Země a tektonika desek

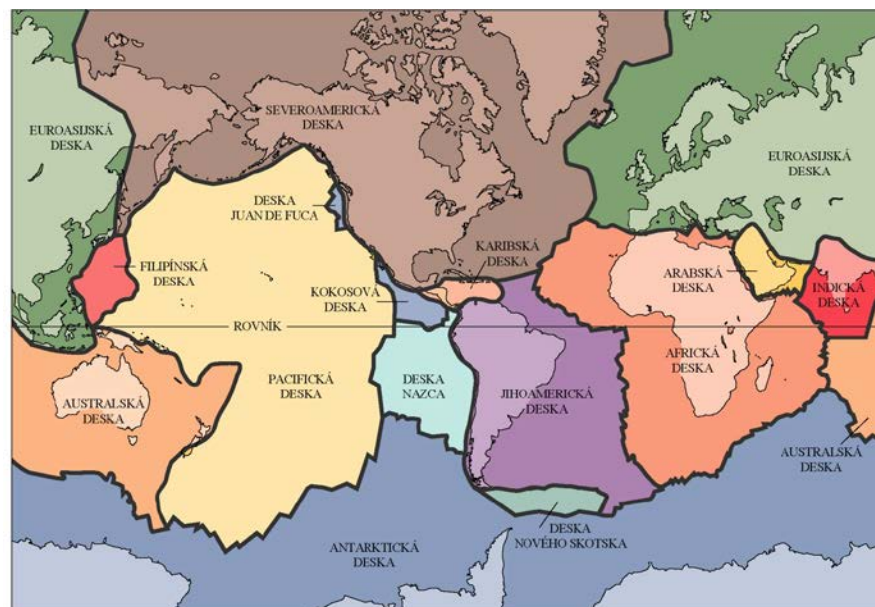
Planeta Země se skládá ze tří základních vrstev: zemské kůry, pláště a jádra. Zemská kůra je tlustá jen asi 10 km pod dny oceánů, 30-50 km pod kontinenty. Pod ní leží zemský plášť, který sahá až do hloubky 2900 km. Skládá se ze silikátových hornin. Nejsvrchnější slupka pláště spolu se zemskou kůrou tvoří tzv. litosférické desky. Ty plavou na částečně natavené astenosféře, která sahá do hloubky několika set kilometrů. Zemské jádro je tvořeno hlavně železem. Vnější jádro je díky vysokým teplotám v tekutém stavu. Vnitřní jádro je pevné a má poloměr asi 1220 km.



Litosférické desky se po zemském povrchu vůči sobě navzájem pohybují rychlostí 2-10 cm za rok. Jejich pohyb způsobuje značná napětí v horninách, která při náhlém uvolnění způsobí vznik zemětřesení. Rozeznáváme tři typy okrajů litosférických desek. **Oceánské hřbety** jsou

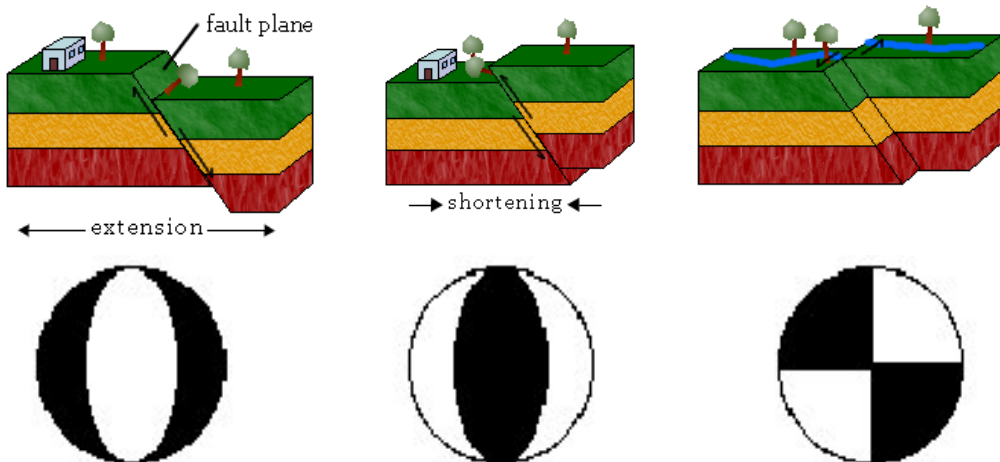
místa na zemském povrchu, kde dochází k oddalování desek. Zesponu se do oceánských hřbetů neustále tlačí roztavená hornina, která postupně chladne a stává se součástí pohybujících se desek. Srážející se desky se zanořují jedna pod druhou v **oceánských příkopech**, jak je tomu na velké části okrajů Tichého oceánu. Někdy dochází ke kolizi dvou desek kontinentálního typu. Pak dochází k vyvrásnění mocných pokryvů usazených hornin na okraji desek a ke vzniku vysokých pásemných pohoří. Nejznámějšími příklady jsou Alpy, Himaláje a Tibet.

Transformní zlomy vznikají tam, kde se dvě litosférické desky pohybují horizontálně vůči sobě. Nejznámějším příkladem transformních zlomů na kontinentech jsou svatoandřejský zlom (San Andreas) v Kalifornii a severoanatolský zlom v Turecku, kde při zemětřesení v r. 1999 došlo k horizontálnímu posunu o několik metrů, což mělo tragické následky v Izmitu a celém severozápadním Turecku. Na mořském dně transformní zlomy posouvají oceánské hřbety v délce stovek až tisíců kilometrů.

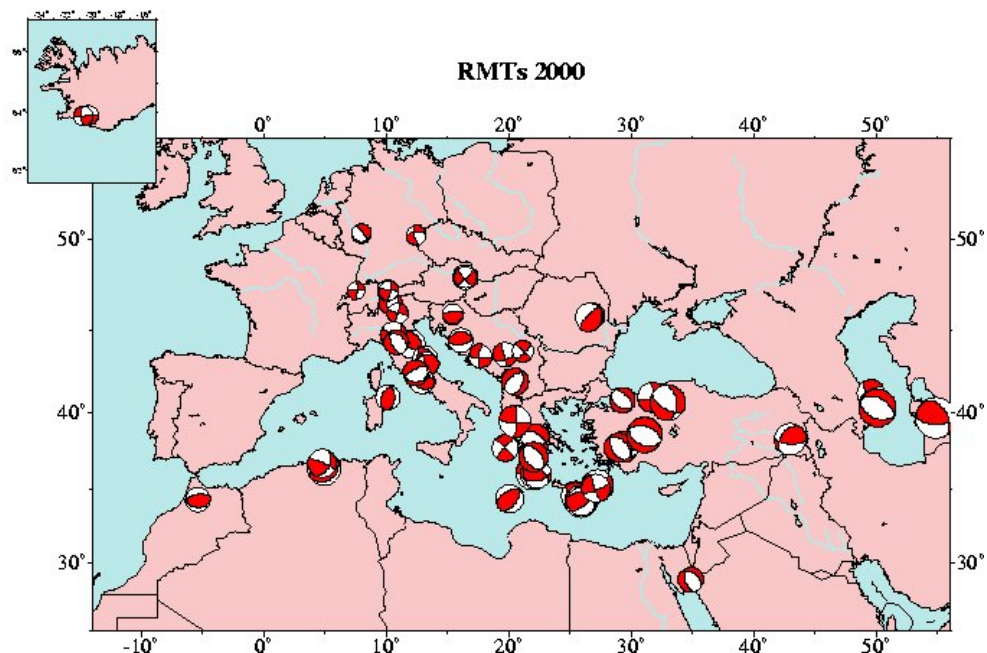


Mechanismus zemětřesení

Důležitým sledovaným parametrem při studiu záznamu zemětřesení je směr prvního nasazení nejrychlejší podélné vlny, která přijde na stanici. Ze znamének prvního nasazení mnoha stanic lze pomocí výpočetních programů určit mechanismus zemětřesení, tj. směr vzájemného pohybu tektonických bloků v ohnisku zemětřesení. Tři základní typy pohybu bloků normálové, přesmykové a horizontální jsou znázorněny na spodní řadě obrázků. K normálovému pohybu dochází v tahovém režimu, při kterém poklesne pravý blok (obrázky vlevo dole). Tlakový režim vyvolá přesmyk horního bloku přes spodní (obrázky uprostřed). Mechanismus typu strike-slip vzniká při vodorovném působení tlakových a tahových sil (obrázky vpravo dole). V případě chemických či jaderných explozí pozorujeme všechna první nasazení směrem od zdroje. U tektonických zemětřesení se střídají kvadranty pohybu směrem od zdroje a ke zdroji. Moderní postupy využívají i měření amplitud P a S vln, případně analyzují přímo vlnové obrazy. Mechanismy zemětřesení jsou velmi důležité při studiu tektonických tlaků, které panují v oblasti uvolňování napětí..



Spodní obrázek ukazuje rozložení mechanismů silnějších zemětřesení v Evropě a v oblasti Středozemního moře v r.2000. Rozložení ohnisků otřesů mapuje okraj styku africké a euroasijské tektonické desky, který probíhá severním Marokem a Alžírskem přes celou Itálii, bývalou Jugoslávii do jižního Řecka, a Tureckem dále na východ. Na obrázku jsou patrné i jednotlivé silnější otřesy severně od okraje tektonických desek, které vznikly v oblasti rýnského prolomu, v západních Čechách během zemětřeseného roje na podzim r.2000, ve vídeňské pánvi a v Rumunsku v oblasti Vrancea. Rozdílné mechanismy zemětřesení naznačují, jak komplikovaná je tektonická situace v oblasti Středozemí. Ke studiu evropských zemětřesení významnou měrou přispěl i Dr. Vít Kárník, který působil v Geofyzikálním ústavu od jeho založení do r.1994.



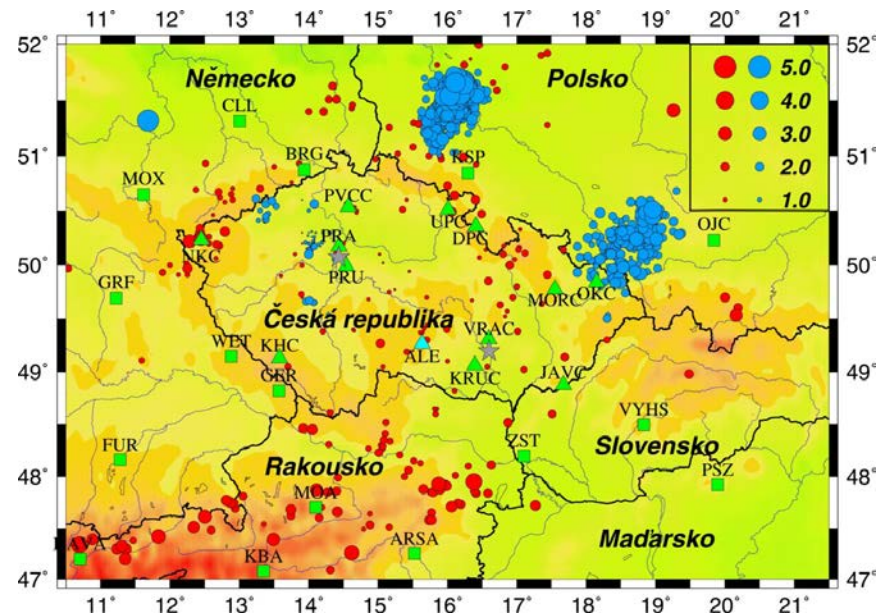
Zemětřesení v České republice

Seismicky nejaktivnější oblastí na našem území je Chebsko, Sokolovsko a Kraslicko v západních Čechách, kde dochází k výskytu tzv. zemětřesných rojů. Slabá zemětřesná činnost zde probíhá prakticky neustále. Poslední významná série zemětřesení na přelomu let 1985-1986 způsobila několikamilionové škody na budovách a paniku obyvatelstva po dobu více než dvou měsíců. Mnohé otřesy byly doprovázeny výraznými zvukovými efekty.

Silnější zemětřesení lze občas zaznamenat rovněž na Trutnovsku a Náchodsku, a to především podél hronovsko-poříčské poruchy. V této oblasti došlo k jednomu z nejsilnějších otřesů v Čechách vůbec, a to v letech 1883 a 1901. Otřesy v r. 1901 byly pocítny lidmi na ploše 50 000 km². Slabší otřesy se vyskytly také v sousedním polském Kladsku a ve východní části Krkonoš. Hronovsko-poříčská porucha je významné zlomové pásmo severozápadního-jihovýchodního směru, které odděluje východní část podkrkonošské pánve od pánve vnitrosudetské. Porucha je tvořena systémem zlomů, na kterých dochází k pohybům nejméně od karbonu (před 300 miliony let) až dodnes. Zlomová zóna je přibližně 20 km dlouhá a nacházejí se na ní i ohniska dvou zmíněných silných otřesů. Epicentrum otřesu z roku 1883 se předpokládá v údolí Úpy, ohnisko nejsilnějšího známého ohniska se umísťuje mezi Trutnov a Náchod. Oba jevy nastaly teprve v počátcích registrace zemětřesení citlivými přístroji zvanými seismografy, a proto byla většina poznatků o těchto jevech získána z pozorování makroseismických účinků otřesů na lidi, předměty a stavby na zemském povrchu.

V oblasti Jeseníků hovoří dochované zprávy o řadě ohnisek zemětřesení. Silnější zemětřesení se zde vyskytlo v r. 1935. Oblast Opavska leží na styku dvou protínajících se zlomových oblastí a lze zde očekávat občasné silnější otřesy jako tomu bylo v r. 1931. Na Ostravsku se občas vyskytují důlní otřesy vyvolané těžbou uhlí, které mohou být pocítny na zemském povrchu v blízkém okolí dolů.

Vzácně dochází ke vzniku zemětřesení i v dalších oblastech Českého masívu, např. na Mělnicku, v okolí Jindřichova Hradce, Přimdy.



Mapa rozložení seismických stanic a ohnisek zemětřesení (červená kolečka) a důlních otřesů (modrá kolečka) za období 2000-2004.

Silná zemětřesení, která vznikají mimo území našeho státu, mohou svými účinky zasáhnout až k nám. Jedná se zejména o otřesy v oblasti Alp, Vídeňské pánve a Karpat. Poslední takový otřes ve Slovinsku v okolí Triglavu pocítila řada lidí u nás o velikonocích roku 1998. Patrně nejsilněji pocítné zemětřesení ve střední Evropě v tomto století vzniklo v květnu roku 1976 v italské oblasti Friuli. Silný otřes v rýnském prolomu na hranicích Německa a Holandska v roce 1992 byl pozorován až ve východních Čechách, stejně jako vzdálené hluboké zemětřesení v rumunské oblasti Vrancea v roce 1977.

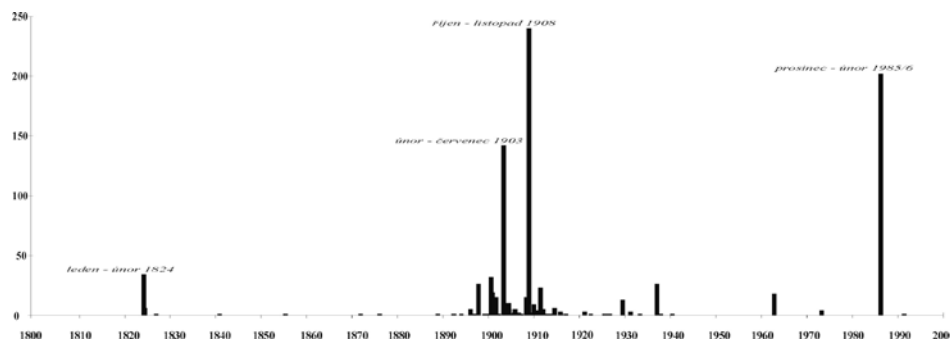
Obyvatelé severovýchodních Čech mohou občas pocítit i slabé projevy zemětřesení způsobené důlními otřesy v oblasti hlubinných dolů na měď v polském Lubinu. Poslední významnější jev z 18. května 1998 byl pocítn až v Hradci Králové. Otřesy z polského území ale u nás nemohou způsobit žádné škody na budovách.

Západní Čechy a zemětřesné roje

Severozápadní cíp našeho území spolu se sousedními částmi Saska a Bavorska (Vogtland), ohraničený městy Kraslice, Karlovy Vary, Mariánské Lázně, Marktredwitz, Selb a Plauen, je znám výskytem slabších zemětřesení. Zemětřesení se zde zpravidla shlukují do tzv. rojů, kdy v období několika dnů až týdnů dojde k většímu množství otřesů. Mezi silnějšími zemětřesnými roji bývají delší období klidu trvající několik let. Nejsilnější zemětřesení jsou pociťována obyvateli v širokém okolí a mohou způsobit i škody na budovách. První dochovaná zpráva o západočeských zemětřeseních pochází již z r.1198. Předchozí silné roje ve 20.století postihly tuto oblast v letech 1900, 1901, 1903, 1908, 1929 a 1962.

Příčinou zemětřesné činnosti v západních Čechách je patrně zeslabení zemské kůry pod touto oblastí. Během geologického vývoje se toto zeslabení projevilo vznikem podkrušnohorských uhelných pánví a intenzivní sopečnou činností. Jejím dokladem je nejmladší sopka na našem území, Komorní hůrka u Františkových Lázní, aktivní ještě před 500 tisíci let, tedy na počátku čtvrtohor. Pozůstatky vulkanismu jsou dnes četné prameny minerálních vod a výrony kysličníku uhličitého (CO₂). Západočeská oblast je díky tomu známá nejen proslulými lázněmi, ale také neobvyklými přírodními úkazy, např. jedinečnou přírodní rezervací Soos v chebské pánvi s tzv. bahenními sopkami.

Záznamy o zemětřeseních v západních Čechách sahají až do středověku. Makroseismická pozorování byla na našem území systematicky zaznamenávána již od roku 1895. V roce 1908 byla v Chebu ve sklepech gymnasia zřízena seismická stanice. Spolehlivější údaje o počtu zemětřesení v západních Čechách a o jejich intenzitě jsou známy z posledních 200 let. Následující obrázek zachycuje v každém roce počet

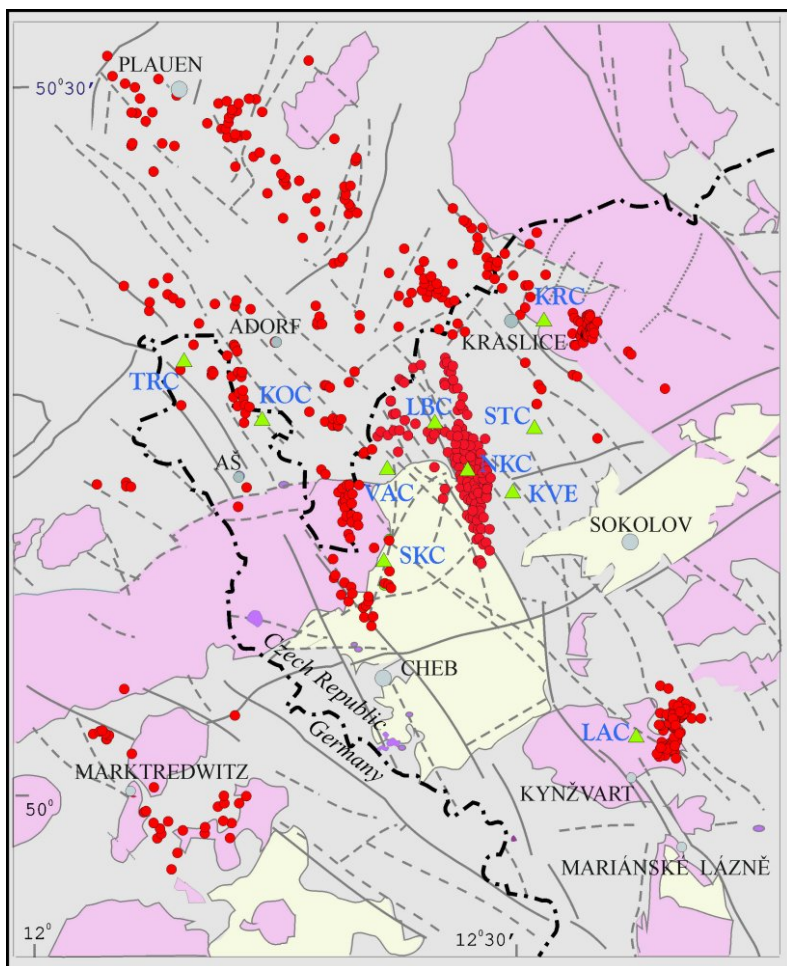


zaznamenaných jevů jejichž intenzita byla vyšší než 3.

Po období zvýšené aktivity na přelomu století došlo k zatím poslednímu silnému zemětřesnému roji v západních Čechách během zimy 1985-86. Nejsilnější otřes, který se udál 21. 12. 1985 v 11 hod. 16 min., měl podle RichtEROVY stupnice magnitudo 4.6. Účinky tohoto zemětřesení v obcích Skalná, Dolní Žandov, Nový Kostel a Plesná, kde bylo poškozeno přibližně 15% domů (trhliny ve zdi resp. v omítce, spadlé nebo poškozené komíny, škvíry mezi panely, vypadávání nevázaného zdiva a pod.), odpovídaly makroseismické intenzitě 7. Poškozené byly domy i v Chebu, Františkových Lázních a Kynšperku. Nezanedbatelné byly psychologické účinky silnějších otřesů na obyvatelstvo, umocněné často zvukovými efekty, které zemětřesnou činnost doprovázely. Toto zemětřesení bylo zaznamenáno na velké části našeho území, na následující mapě je vyznačeno, jak intenzita se vzdáleností klesala.

Na výzkumu zemětřesení v západních Čechách se podílejí Geofyzikální ústav a Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR Praha a Ústav fyziky Země Masarykovy University Brno. Seismické stanice těchto institucí jsou umístěny v obcích Nový Kostel, Kopaniny, Kraslice, Lazy, Skalná, Trojmezí, Horní Částkov, Studenec, Luby, Počátky, Jindřichovice, Bernov a Vackovec. Údaje naměřené na stanicích jsou přenášeny po rádiových linkách do datového centra na Zelené hoře u Chebu a posléze jsou vyhodnocovány v Geofyzikálním ústavu v Praze a v Ústavu Fyziky Země v Brně.

Díky rozmístění moderních seismických stanic byly získány nové poznatky o průběhu zemětřesné činnosti v Západních Čechách. Ohniska zemětřesení se shlukují v okolí Nového Kostela, Kraslic, Kopanin (u německého Bad Elsteru), Lazů (poblíž Lázní Kynžvart), Skalné a v okolí měst Plauen, Marktredwitz a v okolí obce Nový Kostel; oblast u Lazů byla teprve tímto moderním výzkumem objevena. Omezení zemětřesné činnosti na výše uvedené zóny v několika uplynulých letech ovšem nevylučuje, že při příštím zemětřesném roji nemůže dojít k "oživení" některé jiné části západočeského regionu.



Kromě velmi rychlých krátkodobých pohybů při zemětřesení dochází na zemském povrchu též k pozvolným pomalým posunům. Jejich rychlost dosahuje v neaktivnějších oblastech na Zemi několika desítek milimetrů za rok. Ve středoevropském regionu rychlost takových pohybů pravděpodobně nepřesahuje několik mm/rok. Tento pohyb nebývá

rovnoměrný - v období silných zemětřesení je zpravidla rychlejší, naopak po odeznění zemětřesné činnosti se může na nějaký čas úplně zastavit.

Pomalé pohyby zemského povrchu se měří přesnými geodetickými metodami, které v posledních letech využívají družicovou techniku. V zemětřesné oblasti západních Čech a jejím bezprostředním okolí byla v letech 1993-94 vybudována síť 26 bodů, na nichž lze přesná geodetická měření provádět. Z opakovaných měření lze zjistit, zda se poloha bodu vzhledem k minulému měření změnila. Dosavadní výsledky ukazují, že ve sledovaném období, tj. od r.1994, k měřitelným posunům nedošlo. To odpovídá výsledkům pozorování seismických stanic, které ve stejném období zaznamenaly pouze slabou mikrozemětřesnou činnost.

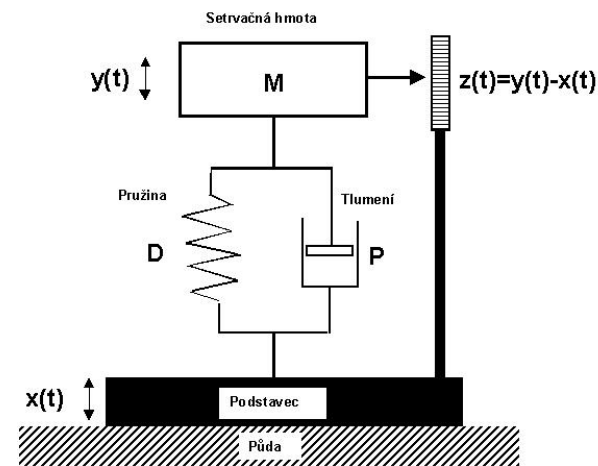
V souvislosti se silnou zemětřesnou činností bývají často pozorovány také náhlé změny úrovně hladiny spodní vody. Minerální prameny mohou měnit svoji vydatnost, obsah minerálních látek a CO_2 , předpokládají se také změny při uvolňování radioaktivních plynů. Komplexní výzkum těchto parametrů v západočeské oblasti je teprve v počátcích. Pro účely srovnání změn hladiny spodní vody se seismickou aktivitou byly osazeny speciálními měřicími přístroji dva vrty.

Registrace zemětřesení

Historie registrace zemětřesení sahá do r. 132, kdy byl v Číně zkonstruován první funkční detektor seismických vln. Seismometr-přístroj na registraci pohybů půdy, vynalezl Ital Filippo Cecchi v r. 1875. První přesný záznam vzdáleného zemětřesení byl pořízen v Postupimi v r. 1889.

Záznamy pohybu půdy v čase – seismogramy, poskytují seismologům základní data pro studium elastických vln. Obrázek 2 ukazuje moderní seismický záznam silného zemětřesení v ... na stanici Průhonice u Prahy. Registrace probíhá ve třech kolmých směrech (nahoru-dolů, sever-jih, východ-západ) v širokém rozsahu period. Požadavky na moderní seismometry, jsou velmi náročné. Musí zachytit kmitání půdy od vysokých frekvencí stovek Hz charakteristických pro blízká zemětřesení a exploze v lomech až do velmi dlouhých period přes 300 vteřin vybuzených nejsilnějšími zemětřeseními. Rozsah měřených amplitud je rovněž obrovský – slabé mikrootřesy pod seismickou stanicí i ničivá zemětřesení kdekoli na světě musí být věrně zachyceny bez toho, aniž by se signál buď ztratil v seismickém neklidu nebo naopak dosáhl horního rozsahu seismometru, při kterém je již průběh kmitu silně zkreslen. Požadavky na frekvenční a dynamický rozsah vedly ke konstrukci pozoruhodně citlivých (a drahých) širokopásmových přístrojů, které jsou schopny věrně zachytit převážnou část frekvencí i amplitud nutných pro výzkum vzniku zemětřesení i stavby Země. K rozvoji tohoto oboru přispěl významnou měrou i pracovník Geofyzikálního ústavu A.Plešinger, který patrně jako první na světě uvedl v r. 1973 v Kašperských Horách do rutinního provozu širokopásmový seismometr, jehož frekvenční charakteristika se stala prototypem pro další generace těchto přístrojů.

Žádný širokopásmový seismometr však není schopen zaregistrovat celý požadovaný rozsah frekvencí a amplitud. Proto se pro sledování slabých lokálních zemětřesení používají krátkoperiodické senzory s vysokou citlivostí. Záznam nejsilnějších otřesů v malých vzdálenostech od ohniska je naopak bez přebuzení možný jen pomocí akcelerografů – seismometrů se sníženou citlivostí, které registrují zrychlení půdy.



Obr. 1. Tlumený mechanický oscilátor: princip setrvačného seismometru.

Schéma seismometru

Vývoj nových typů seismometrů s obrovskou citlivostí i frekvenčním rozsahem vedl koncem 20.století k jejich masovému globálnímu nasazení při registraci seismických vln. Světová síť seismických stanic se v současné době skládá z více než 3000 stálých observatoří a z obrovského množství lokálních a dočasných seismických stanic. Vzhledem k vysoké ceně registračních zařízení a nákladům na provoz jsou ale stanice rozloženy značně nerovnoměrně. Plocha moří a oceánů je pokryta pouze tam, kde nad hladinu vystupují ostrovy. S instalací podmořských seismometrů se teprve začíná. Značné technické nároky a vysoká cena omezují zatím jejich vývoj a instalaci na USA, Japonsko a Francii

Seismologické stanice v České republice

Historie registrace zemětřesení citlivými přístroji - seismografy sahá na území České republiky do začátku 20. století. První seismická stanice byla uvedena do provozu v Chebu ve sklepě císařské reálné školy dne 2. listopadu 1908. Místo i čas založení nebyly náhodné – západní Čechy patří k seismicky neaktivnějším oblastem ve střední Evropě a vyskytují se zde občas silné zemětřesné roje. Jeden takový v té době zrovna probíhal. První silné vzdálené zemětřesení, které stanice Cheb zaregistrovala, udeřilo koncem roku 1908 v italské Messině, kde mělo za následek 120 000 obětí. Stanice Cheb ukončila provoz koncem šedesátých let pro silné rušení způsobené dopravou a dalšími civilizačními vlivy.

Další stanice byla založena v r. 1927 v Praze na Karlově a byla vybavena seismografem Wiechert o váze 1000 kg. Stanice Praha registruje doposud, v devadesátých letech byla zásadním způsobem modernizována a slouží kromě registrace zemětřesení i k výuce studentů Katedry geofyziky Matematicko-fyzikální fakulty University Karlovy.

První stálá seismologická observatoř Geofyzikálního ústavu AV byla založená v Průhonicích v r. 1957. Stanice byla vybavena sadou velmi citlivých seismografů jak pro sledování blízkých přirozených otřesů a průmyslových odpalů v lomech, tak pro registraci vzdálených zemětřesení a jaderných explozí. Koncem osmdesátých let byla stanice Průhonice modernizována a vybavena telemetrickým přenosem digitálních dat do centrální laboratoře v Geofyzikálním ústavu v Praze, kde se provádí detailní interpretace blízkých i vzdálených seismických jevů, tvorba katalogů zemětřesení, archivace digitálních a analogových záznamů a každodenní mezinárodní výměna dat se světovými datovými centry.

V r. 1960 byla po pečlivém výběru lokality s minimálním seismickým šumem uvedena do provozu seismická observatoř Kašperské Hory na Šumavě. Tato stanice se díky výhodné poloze a pečlivé interpretaci záznamů zařadila mezi nejcitlivější světové stanice. V r. 1973 byla v Kašperských Horách uvedena do rutinního provozu registrace ve velmi širokém rozsahu period, která se později stala světovým standardem při vývoji moderních záznamových zařízení. V devadesátých letech zřídil

Geofyzikální ústav digitální širokopásmové observatoře Dobruška/Polom v Orlických horách a Nový Kostel přímo v epicentrální oblasti zemětřesných rojů v západních Čechách.

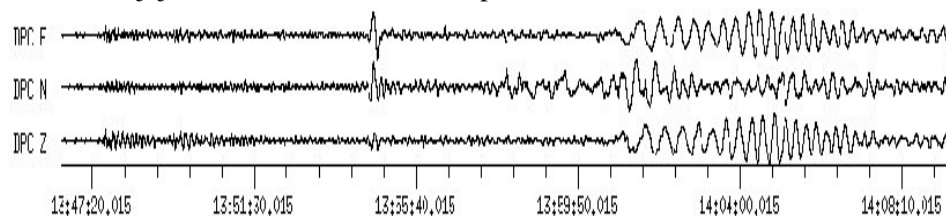


Seismická stanice Dobruška/Polom v Orlických horách

Na území Moravy registrují zemětřesení čtyři seismické stanice Ústavu fyziky Země Masarykovy university v Brně založené většinou začátkem devadesátých let – Vranov, Moravský Krumlov, Moravský Beroun a Velká Javorina. Na Ostravsku působí stálá observatoř Ostrava/Krásné Pole provozovaná Technickou universitou a Ústavem geoniky AV Črv Ostravě, i lokální seismické sítě, které monitorují důlní otřesy vyvolané intenzivní těžbou uhlí. Podobné lokální sítě existují nebo existovaly ve všech významnějších důlních oblastech České republiky – na Kladensku, Mostecku, Příbramsku. Jaderné elektrárny provozují své vlastní lokální seismické sítě stejně jako např. zásobník plynu na Příbramsku. Oblast zemětřesných rojů v západních Čechách je sledována lokálními sítěmi WEBNET a KRASLICE.

Vyhodnocení seismických záznamů

Záznamy zemětřesení se podrobně zpracovávají na jednotlivých observatořích a v datových centrech. U digitálních záznamů se pomocí moderních analyzačních programů odečítají časy příchodu jednotlivých seismických vln, periody a amplitudy významných seismických fází. Zvláštní pozornost je přitom věnována podélné vlně, která dorazí na stanici jako první. Časy příchodu vlny P z mnoha stanic seismické sítě jsou využívány k lokalizaci zemětřesení, tj. v odhadu souřadnic ohniska zemětřesení a jeho hloubky. Pro určení hloubky zemětřesení se využívají čtení pozdějších fází, které přicházejí vzápětí za první vlnou. Tyto tzv. hluboké fáze se z ohniska šíří napřed k zemskému povrchu, tam se odrážejí a následují podélnou vlnu se zpožděním úměrným hloubce ohniska. K lokalizaci ohniska se využívají i příčné vlny S. Také díky přesné lokalizaci ohnisek zemětřesení se podařilo potvrdit hypotézu litosférických desek a jejich rozložení na zemském povrchu.



Měření amplitud a period hlavních seismických vln (P, S a povrchových vln) slouží k výpočtu veličiny zvané **magnitudo**, která charakterizuje velikost zemětřesení nezávisle na účincích otřesů na povrchu. Protože měřený rozsah amplitud je obrovský, zavedl Charles Richter ve 30. letech pro studium lokálních otřesů v Kalifornii logaritmickou stupnici. Logaritmus maximální amplitudy A je třeba opravit na vzdálenost, protože při šíření seismických vln dochází k jejich útlumu. Korekce se zavádí i na hloubku ohniska, pokud přesahuje pásmo mělkých zemětřesení. Pojem magnitudo se rozšířil na všechna světová zemětřesení a byl aplikován na hlavní seismické fáze. Např. pro výpočet magnituda M povrchových vln se používá vzorec:

$$M = \log (A_{max}/T) + \sigma(\delta), \quad (1)$$

kde A_{max} je maximální amplituda vlny, T perioda vlny, $\sigma(\delta)$ je korekční člen pro útlum seismické vlny se vzdáleností δ . Lokalizace silnějších zemětřesení a odhad jejich magnitud jsou v dnešní době rychle dostupná přes INTRENET a jsou široce zveřejňována ve sdělovacích prostředcích, kde se pak hovoří o zemětřesení o velikosti nebo síle např. 6.5 na Richterově stupnici.

Magnitudo je veličina užitečná nejen pro stanovení velikosti zemětřesení, ale též pro odhad energie uvolněné do seismických vln. Vzhledem k obrovskému rozsahu uvolněných energií se opět používá logaritmická stupnice. Byla nalezena empirická formule, která svazuje magnitudo M povrchových vln a uvolněnou energii E ve tvaru:

$$\log_{10} E = 11.8 + 1.5 M \quad (2)$$

Ze vzorce (2) je patrné, že zvýšení magnituda o jednotku vede k uvolnění 32x více energie. Např. pro uvolnění stejné energie jako z otřesu magnituda 8 je třeba 32 zemětřesení magnituda 7 nebo milion otřesů magnituda 4. Jinými slovy vznik mnoha slabých otřesů ještě neznamená, že se tím zabraňuje vzniku silného zemětřesení. V energetické bilanci uvolněné energie hrají dominantní úlohu jen ty nejsilnější otřesy.

Magnitudové stupnice mají ovšem nevýhodu, že pro velmi silná zemětřesení přestávají správně popisovat jejich energii, protože vyzářené vlny s velmi dlouhými periodami nejsou zachyceny konvenčními seismometry. Proto byla zavedena jiná míra velikosti zemětřesení, tzv. seismický moment, který se určuje ze vzorce:

$$M_0 = \mu D A, \quad (3)$$

kde μ je modul torze hornin, D je průměrné posunutí na zlomu a A je plocha zlomu. Zavedení seismického momentu vychází z jednoduché představy o momentech dvojic sil, které působí v ohnisku tektonických zemětřesení. Délku aktivované části zlomu a skok na zlomu lze vzácně sledovat přímo u silných zemětřesení, pokud zlomová plocha prolomí povrch. Ve velké většině případů se používá nepřímé metody určením plochy, kterou zaujímají slabší dotřesy hlavního zemětřesení. Veličinu M_0 je však možno určit také ze spektrálních charakteristik registrovaných seismických vln. Tak lze nejen nezávisle odhadovat velikost zemětřesení, ale i velikost parametrů posunutí D nebo plochy A ze vzorce (3).

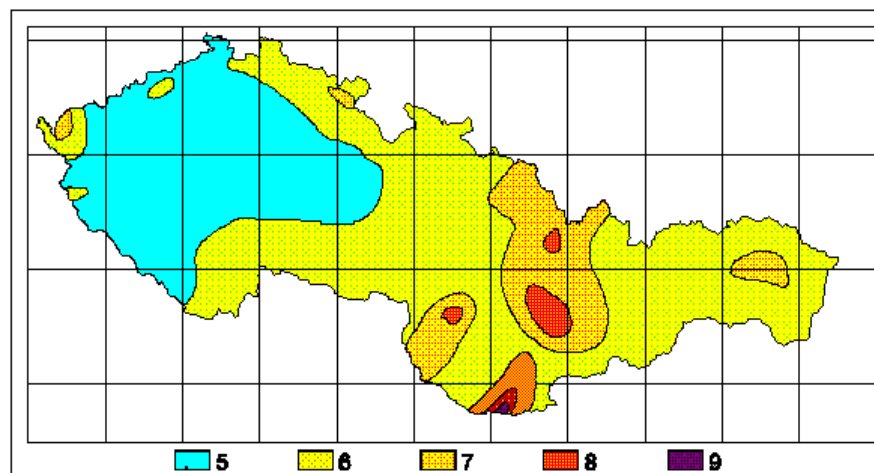
Makroseismická pozorování

Vedle registrace seismických vln citlivými přístroji lze zemětřesení studovat i statistickým zpracováním subjektivních pozorování obyvatelstva při otřesech a účinky zemětřesení na budovy. Zpracováním takových pozorování se zabývá makroseismika.

Účinky zemětřesení se klasifikují makroseismickou intenzitou vyjádřenou ve stupních makroseismické stupnice. Typická makroseismická stupnice má 12 stupňů a s drobnými modifikacemi se používá jak v Evropě tak ve Spojených státech. V Japonsku se používá sedmistupňová škála. Jednotlivé stupně jsou charakterizovány jak popisem určitých charakteristických příznaků typických pro daný stupeň, tak rozmezím zrychlení, které dosahují částice půdy v místě pozorování. Tabulka obsahuje stručný popis stupnice EMS-98 používané v České republice.

Stupeň Intenzity	Stručný popis účinků zemětřesení	Zrychlení cm/s^2
I	Otřesy registrovány pouze citlivými přístroji	
II	Pocítěné jen jednotlivci na některých místech v domech.	
III	Zemětřesení uvnitř budov cítí jen někteří lidé nanejvýš jako houpání nebo lehké chvění.	
IV	Zemětřesení uvnitř budov cítí mnozí, venku jen výjimečně. Někteří jsou probuzeni. Okna a dveře rachotí.	
V	Zemětřesení uvnitř budov cítí většina, venku někteří. Mnozí spící se probudí. Někteří jsou vystrašení. Budovy vibrují. Visící objekty se značně houpají. Malé předměty se posouvají. Dveře a okna se otvírají a zavírají.	12-25
VI	Mnozí jsou vystrašení a vybíhají ven. Některé předměty padají. Mnohé budovy utrpí malé nestrukturální škody (vlásečnicové trhliny nebo odpadnuté malé kousky omítky).	25-50

VII	Většina lidí je vystrašená a vybíhá ven. Nábytek je posunutý. Předměty padají z polic ve velkém množství. Mnohé dobře postavené běžné budovy utrpí střední škody: opadá omítka, padají části komínů; ve stěnách starších budov jsou velké trhliny a příčky jsou zřícené.	50-100
VIII	Mnozí mají problémy udržet rovnováhu. Mnohé domy mají velké trhliny ve stěnách. Několik dobře postavených běžných budov má vážně poškozené stěny. Slabě starší budovy se mohou zřítit.	100-200
IX	Všeobecná panika. Mnoho chatrných budov se řítí. I dobře postavené běžné budovy utrpí velmi těžké škody: těžké poškození stěn a částečně i strukturální škody.	200-400
X	Mnohé dobře postavené běžné budovy se řítí.	400-800
XI	Většina dobře postavených běžných budov se řítí. I některé dobře anti-seismicky postavené budovy jsou zničeny.	~ 1000
XII	Téměř všechny budovy jsou zničeny. Změní se tvářnost krajiny	



Mapa maximálních očekávaných intenzit zemětřesení na území České republiky a Slovenska

Makroseismický dotazník

.....Pro makroseismická pozorování na území České republiky jsou v Geofyzikálním ústavu připraveny speciální formuláře, které jsou po silnějších otřesech rozepisovány lidem, kteří pocítili zemětřesení. Každé pozorování je charakterizováno oceněnou intenzitou. Statisticky zpracovaná makroseismická pozorování se vynášejí do map a vykreslují se isoseisty - čáry stejné intenzity. U historických zemětřesení nejsou k dispozici instrumentální údaje (a z nich odvozená veličina magnitudo) a odhad intenzity tak představuje jediné kvantitativní ocenění velikosti zemětřesení. Makroseismické údaje se široce používají zejména při studiu seismického ohrožení oblasti.

Jméno pozorovatele:.....
zaměstnání:.....
adresa (domů):.....
telefon:

Zemětřesení: rok..... měsíc.....denhodinaminuta
místo pozorování: doma jiné:
obec.....
ulice.....
okres.....

Pozorování: venku kde:..... v budově patro:.....
druh budovy: dřevěná kamenná cihlová
panelová železobetonová jiná

Popis účinků na člověka:

poloha pozorovatele: stál seděl ležel spal pohyboval se
pocity pozorovatele: slabé zachvění silné zachvění slabé zhoupnutí
silné zhoupnutí slabé zakymácení silné zakymácení
strach panika
reakce pozorovatele: probuzení ze spánku ztráta rovnováhy
obtížné udržování rovnováhy vyběhl ven
reakce ostatních lidí:.....
kolik lidí pozorovalo otřes: všichni většina několik
pouze Vy nevím

další údaje:.....
Doprovodné zvuky: dunění vibrace hučení vrzání
hluk podobný větru zvuky podobné explozi
zvuky podobné jízdě těžkého nákladního auta či tanku

další údaje o doprovodných zvucích:.....
Světelné jevy
popis světelných jevů:.....
Jiné pozorované jevy:.....
Chování zvířat:.....

Popis účinků na bytové zařízení:

zavěšené předměty: nepatrně se kývaly kývaly se značně se kývaly
malé předměty: posunuly se spadly
nádobí: cinkalo řinčelo padalo
okna: drnčela řinčela otevírala se nebo se zavírala
dveře: drnčely řinčely otevíraly se nebo se zavíraly
lehké kusy nábytku: zatřásly se zhouply se pohnuly se
převrhly se
těžké kusy nábytku: zatřásly se zhouply se pohnuly se
převrhly se
kapalina v nádobách: vlnila se vylila se
další údaje:.....

Popis účinků na budovy:

porušení střechy trhliny v omítce trhliny ve zdi padání
omítky padání zdi zřícení budovy
porušení komínů: trhliny pootočení spadly
další údaje:.....
Jiné změny:.....

Další doplňující údaje:

směr pohybu:.....
pozorování dalších lidí:.....

Seismické oddělení, Geofyzikální ústav AV ČR, Boční II/1401,
141 31 Praha 4 - Spořilov
telefon: 267 103 015, 267 103 018, příp. 267 103 111, fax: 272 761 549,
e-mail: seis@ig.cas.cz, WWW: <http://www.ig.cas.cz>

Předpověď zemětřesení

Předpověď počasí již dnes bereme jako samozřejmost. Zdálo by se, že i zemětřesení by mohlo být někdy s určitou mírou přesnosti předpovíáno. Hledání věrohodných příznaků zemětřesení se věnuje intenzivní úsilí v mnoha zemích ohrožených ničivými otřesy, ale dosud nebylo dosaženo významnějšího pokroku. Úspěšná předpověď se podařila čínským seismologům v r.1975 před zemětřesením o velikosti 7.3 v oblasti Haicheng. Bohužel o rok později udeřilo zemětřesení o síle 8.2 bez varování v sousední oblasti Tangshan a mělo za následek statisíce obětí.

K příznakům chystajícího se zemětřesení patří výskyt jednoho nebo více otřesů před hlavním otřesem, vyklenování, propadání nebo náklony zemského povrchu, kolísání hladiny spodní vody, anomální uvolňování plynů do spodních vod, změny napětí a elektrického odporu hornin, anomální chování zvířat.

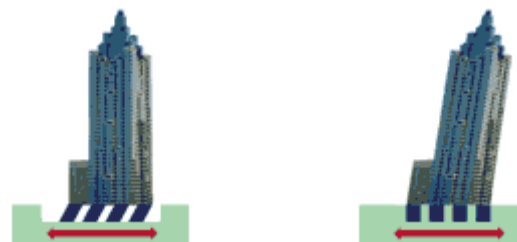
Redukce rizika škod

Protože zřejmě ještě dlouho nebude možné zemětřesení předvídat (pokud vůbec někdy), je třeba v oblastech ohrožených ničivými otřesy stavět bezpečné budovy a vychovávat obyvatelstvo, jak se chovat při silných otřesech.

Budovy jsou stavěny tak, aby unesly svou váhu, tj. vydržely gravitační zrychlení, které je táhne směrem dolů. Při zemětřesení se stavba chvěje ve všech směrech. Antiseismicky konstruovaná budova proto musí vydržet i silné kmity do stran.

Bezpečná budova je postavena na pevných základech se souvislým obvodem, který je s ní pevně spojen. Stavební díly jsou z pevných materiálů spojených do jednoho celku. Cihlové stěny se rozvolní již při středně silných otřesech. Budovy je nutno projektovat bez těžkých ornamentů a komínů, neboť padající předměty jsou častou příčinou zranění a úmrtí. Bezpečná budova chrání rozvody vody a plynu. Jinak hrozí zaplavení domu nebo naopak nebezpečí požáru. Rozvody musí mít jistý volný prostor k pohybu při otřesech.

Budova na obrázku vpravo byla postavena na normálních základech a při horizontálních kmitech se silně naklání. Budova vlevo stojí na speciálních izolátorech otřesů, které absorbují energii kmitů a budova zůstává v klidu.



Tsunami



Tsunami – exotické japonské slovo značící „vlna v přístavu“, zná po tragických událostech v Indickém oceánu 26. prosince 2004 každý

Tsunami jsou mořské vlny velmi dlouhých vlnových délek a period. Jsou způsobovány rychlým přesunem rozsáhlé masy vody v mořích a oceánech. Nejčastější příčinou vzniku tsunami jsou silná mělká zemětřesení pod mořským dnem, při kterých dojde k vertikálnímu posunu dvou bloků zemské kůry. Vlny tsunami mohou být vyvolány také erupcí podmořské sopky nebo zhroutilím svahů sopky při mohutném výbuchu. Tsunami vzácně vznikají i v důsledku jiných přírodních událostí jako jsou dopad meteoritu či asteroidu do moře nebo sesuvy sedimentů na mořském dně či sesuvy půdy do jezer a zálivů.

Vlny se vytvoří, když se přemístěná masa vody pod vlivem gravitace snaží znovu nabýt ztracené rovnováhy. Sloupec vody přitom kmitá ode dna oceánu až k hladině, což vysvětluje obrovskou energii, kterou s sebou vlny nesou. Tsunami se od místa rozruchu, který je vyvolal, začnou šířit na všechny strany v rozšiřujících se kruzích. Neznamená to ovšem, že účinky tsunami jsou stejné na všechny strany. Směrnost účinků záleží na mechanismu rozruchu, který vlny vyvolal, a na geografii míst, kudy se vlny šíří. Na hlubokém oceánu mají vlnovou délku stovek kilometrů a pohybují se rychlostí tryskového letadla až 800 km/hodinu. Rychlost pohybu závisí na hloubce dna. Na volném moři mají vlny výšku do necelého metru, takže jsou pro lodě neškodné a často ani nepozorovatelné.

Jak se tsunami blíží k pobřeží, klesá její rychlost, protože se energie musí vtěsnat do mnohem kratších vzdáleností. Výška vlny dramaticky roste až na desítky metrů a udeří na pobřeží s devastující silou. Tvar pobřeží, reliéf mořského dna a charakter samotné postupující tsunami hrají důležitou roli při formování vlny, která udeří na pobřeží. Efekt se může zvýšit tam, kde voda proudí zálivem, přístavem, ústím řeky nebo jiným zúženým místem. Při velkém zemětřesení na Aljašce v r. 1964 dosáhly vlny v úžině Valdez neuvěřitelných 67 metrů. Někdy před příchodem první vlny náhle klesne nebo stoupne hladina moře a voda je naplněna bublinkami. Toto znamení přírody se nevyplácí ignorovat. Pokud vlnu tsunami zahlédneme, jak se blíží k pobřeží, je už zpravidla pozdě na útek na vyvýšené místo. Také mezi jednotlivými vlnami, které se mohou lišit velikostí, hladina vody klesá pod normální úroveň. Doba mezi příchodem jednotlivých vln se pohybuje od 10 do 45 minut. Ničivé přelévání vody sem a tam proto může trvat i několik hodin. Moře se může vrátit do původního stavu až za několik dní. Ničivé účinky tsunami se projevují i na pobřeží ve vzdálenostech mnoha tisíců kilometrů, protože útlum vln na hlubokém oceánu je velmi malý.

Většina tsunami vzniká v Tichém oceánu. Ale to neznamená, že ostatní oceány jsou tohoto jevu ušetřeny. V Pacifiku jsou nejvíce ohroženy hustě obydlené břehy Japonska a Kalifornie, celé západní pobřeží jižní Ameriky, Aljaška, Kamčatka, Filipíny a Indonésie. Samozřejmě i všechny menší ostrovy v Tichém oceánu. Například Havajské ostrovy ležící ve středu Pacifiku trpěly při náporu těchto oceánských vln mnohokrát. Naštěstí tsunami s dopadem na celé Tichomoří jsou vzácné, ve 20. století jich vzniklo asi devět, zatímco ničivých lokálních tsunami bylo za stejné období zaznamenáno 117.

Příklady významných tsunami

Santorini je skupina sopečných ostrůvků v Egejském moři asi 75 km od řeckého pobřeží. Největší ostrov tohoto souostroví se jmenuje Théra. Na něm vybuchla kolem **r. 1650 př.n.l.** sopka a vyvrhla do vzduchu asi 30 km³ materiálu. Podle vulkanologů se tato erupce zařadila svou mohutností mezi nejsilnější za posledních 10000 let. Úbytek tak velkého objemu magmatu vedl ke zhroucení svahů sopky a vytvoření kaldery. Erupce, kolaps, atmosférické tlakové vlny a možná i silné pomorské zemětřesení vyvolaly silné tsunami. Vlny vysoké několik desítek metrů zasáhly severní pobřeží Kréty a zničily minojské loďstvo. Přispěly tak spolu se silnou vrstvou sopečného popela k pádu jedné vyspělé civilizace. Vlny vysoké několik metrů zasáhly i východní Středomoří a mohly dát základ legendě o biblické potopě.

Jedna z nejhorších katastrof způsobených tsunami následovala po výbuchu sopky **Krakatoa v r. 1883**. Až 37 metrové vlny udeřily na ostrovy Java a Sumatra a utopily 36420 lidí. Podle dobové mapy zasáhly vlny postupně celý okraj Indického oceánu a byly pozorovány i v Pacifiku a dokonce až v Atlantiku v nejj jižnějším cípu jižní Ameriky. Zprávy o obětech mimo Indonésii ale chybí a proto tento případ neposloužil jako varování před možnými důsledky vln tsunami v Indickém oceánu.

Lisabon v r. 1755 byl kvetoucí město, jedno z nejbohatších v tehdejší světě, stánek umění a centrum koloniální velmoci. Silné zemětřesení v Atlantickém oceánu – podle odhadů velikosti 8.5 na Richterově stupnici patrně nejsilnější v Evropě vůbec – během krátké chvíle pobořilo mnoho budov včetně kostelů, kde se shromáždili věřící 1. prosince na Svátek všech svatých. Lidé v hrůze prchali do přístavu, částečně také před požáry, které následně vypukly v celém městě. Dílo zkázy dokonaly 30 m vysoké vlny tsunami, které se přihnaly ústím řeky Ebro půl hodiny po zemětřesení a zaplavily spodní část města. Před příchodem tsunami došlo k ústupu vody v přístavu, takže se lodi ocitly na suchu. Počet obětí otřesů a tsunami se odhaduje na 60000. Ohromující a nepochopitelná zkáza vyvolala následně zájem mnoha učenců jako byli P.S.Laplace, W.Hamilton, J.W. v.Goethe, I.Kant, A.v.Humboldt a Voltaire o zemětřesení a příbuzné jevy a dala základ modernímu studiu věd o Zemi.



Dobová rytina zkázy Lisabonu r. 1755 ze sbírky historických vyobrazení zemětřesení Jana Kozáka.

Nejsilnější instrumentálně zaznamenané zemětřesení o velikosti 9.5 na Richterově stupnici vzniklo u pobřeží **Chile v r. 1960**. Mořské dno se nadzdvihlo a způsobilo vlnu tsunami. Ta během krátké doby zpustošila pobřeží Chile a vyžádala si spolu s otřesy stovky obětí. Vlny se šířily Pacifikem a po 15 hodinách dorazily na Havaj a způsobily tam velké materiální škody a 61 obětí. Voda udeřila takovou silou, že vytrhávala dvoutunové balvany z pobřežních zdí. Za dalších 8 hodin dorazily vlny do Japonska a na Filipíny, kde ještě měly sílu bořit domy, vyházet lodě na pobřeží, a také zabíjet. Velké vlny v Japonsku byly částečně způsobeny rezonančním jevem. Některé zálivy měly tvar, jehož charakteristická perioda odpovídala převládající periodě jedné hodiny blížících se vln. Celkový počet obětí tsunami přesáhl tisíc lidí. Nedlouho po tomto zemětřesení následovalo obrovské zemětřesení o síle 9.2 u pobřeží Aljašky v r. 1964. Třicetimetrové vlny tsunami zaplavily velké části pobřeží Aljašky. Také tato tsunami způsobila následně značné škody v celém Pacifiku.

Pacifický varovný systém

Zatím jediný fungující varovný systém pro vlny tsunami byl ustanoven v Pacifiku (Pacifik Tsunami Warning Center - PTWC) tři roky po silném zemětřesení na Aleutských ostrovech v r. 1946, při kterém si tsunami vyžádala 165 obětí na Aleutách a na Havaji. Přitom magnitudo 7.3 na Richterově stupnici určené u tohoto zemětřesení je považováno za spodní hranici síly podmořských otřesů, při kterých mohou vzniknout ničivé tsunami s dopadem na celý oceán. Další impuls v rozvoji varovného systému znamenala ničivá zemětřesení a následné vlny tsunami v r. 1960 v Chile a na Aljašce v r. 1964. Na popud komise UNESCO potom vzniklo Mezinárodní informační centrum pro tsunami (International Tsunami Information Center). Obě instituce sídlí na Havajských ostrovech uprostřed Tichého oceánu. Pacifický varovný systém má za úkol vyhodnocovat potenciální silná zemětřesení, která mohou vyvolat vlnu tsunami, sledovat hladinu oceánu a vydávat varování pro oblast Pacifiku. Úzce spolupracuje s regionálními centry v Japonsku, na Kamčatce, v Chile a francouzské Polynésii. Rychlé lokalizace a odhad velikosti zemětřesení přebírá PTWC z Národního zemětřesného informačního centra Amerického geologického průzkumu v Coloradu. Pokud tyto informace nejsou rychle k dispozici a je podezření na možnost vzniku tsunami, používá Pacifický varovný systém vlastní lokalizace zemětřesení na základě seismických signálů více jak 150 stanic kolem Pacifiku, která nepřetržitě proudí do centra.

Základem systému v Tichomoří jsou měřiče tlaku, tsunametry, umístěné na dně oceánu. Měří tlak vody, která se nad nimi přelévá. Dokáží zachytit i několikacentimetrové změny ve výšce vodního sloupce nad sebou. Snadno tedy odhalí i tsunami, které na širém moři dosahuje výšky až jednoho metru. Když se tsunami řítí mořem, tlak prudce kolísá. Nad ničivou vlnou tlak výrazně roste, před ní i za ní však klesá, protože hřeben tsunami způsobuje ve svém okolí podtlak. To také vysvětluje častý pokles hladiny při pobřeží před příchodem první vlny. Měření tlaku se předávají za dna oceánu pomocí akustických signálů na bóje plovoucí na hladině. Zachycené signály jsou odesílány ke družicím umístěným na geostacionární dráze a odsud do datových center. Zde musí odborníci prověřit pomocí složitých počítačových simulací, zda data indikují vlnu

tsunami nebo zda jde jen o planý poplach, což se bohužel při nejlepší vůli občas stane.

Kromě systému varování se v Pacifiku na základě neblahých historických zkušeností stanovují i ochranná pásma na pobřeží, kam zasáhly vlny tsunami a kde se nesmí stavět žádné budovy. Pokud je město položeno u pobřeží, jako například Hilo na Velkém ostrově na Havaji, a tuto podmínku nelze dodržet, budovy jsou stavěny tak, aby valící se voda snadno protekla přizemím domu a nepoškodila vyšší patra. Betonové hotely skýtají v horních patrech dostatečnou ochranu před vlnami tsunami. Japonci zase stavějí kolem některých hustě obydlených pobřeží ochranné hráze až 4,5 metru vysoké. Při tsunami v r. 1993, které zasáhlo pobřeží ostrova Hokkaido, se ale zvedly vlny vysoké až 30 m, které překonaly ochranou hráz a zaplavily přístavní město Aonae. Hráze ale zřejmě ztlumily sílu nárazu, i když nezabránilly zničení všech dřevěných budov ve městě a ztrátám na životech.

Důležitým prvkem ochrany před vlnami tsunami je i výchova obyvatelstva v přímořských oblastech. Jednoduchá pravidla popsaná v následujícím odstavci mohou zachránit mnoho lidských životů.

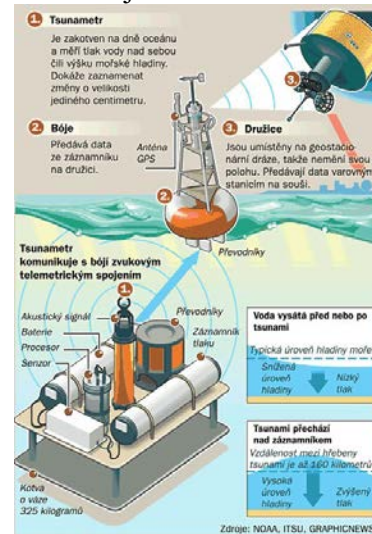


Schéma měření tsunametrem (převzato ze serveru iDnes)

Co dělat při zemětřesení

Silnější zemětřesení lze na území České republiky zažít jen velmi vzácně a nedochází při něm k obětem na životech nebo k velkým škodám. Větší otřesy lze očekávat pouze v omezených oblastech západních a severovýchodních Čech a severní Moravy a Slezska. Čeští turisté se ale mohou setkat se silným zemětřesením při cestách do seismicky aktivních oblastí (Alpy, jižní Evropa, Kalifornie, Japonsko, atd.). Otřesy půdy mohou trvat od několika vteřin do několika minut. Po silném zemětřesení mohou přijít v nepravidelných intervalech slabší dotřesy. Proto je důležité být informován o doporučeních pro chování při výskytu zemětřesení.

Před zemětřesením

- Rozmyslete si, jak se chovat v případě zemětřesení na místě, ve kterém se nacházíte (v budově, na cestě, v noci)
- Kde je vypínač plynu, vody a proudu?
- Neohrožují vás poličky, skříně a další volné předměty?
- Prostudujte si důležitá telefonní čísla, lokální návod pro případ zemětřesení nebo příchodu mořské vlny tsunami.
- Připravte si doklady, peníze, svítilnu a další potřebné věci pro případ rychlého opuštění místnosti.

Během zemětřesení

- V budově vyhledejte nejbližší bezpečné místo: rám dveří, úkryt pod pevným stolem, pultem nebo postelí. Nedostatek času nedovoluje vyhledat nejbližší kryt. Pozor na volně se pohybující předměty. Při vybíhání z domů pozor na padající římsy a komíny.
- Ve volném prostoru vyhledejte otevřená místa dále od budov, mostů, stožárů vysokého napětí a vysokých stromů.

Po zemětřesení

- Zachovejte klid !
- Buďte připraveni na dotřesy.
- Poskytněte první pomoc zraněným.

- Zapněte si rádio a sledujte instrukce.
- Nepoužívejte výtah. Může být poškozen nebo zablokovan výpadkem proudu.
- Přezkoušejte plyn, vodu a elektrické vedení. Při poškození vypněte hlavní vypínač.
- V budově a okolí vyhledejte možná ohniska požáru, dle možnosti je uhašte nebo zavolejte hasiče.
- Pozor při opouštění budovy - stále se ještě mohou řídit římsy, komíny a jiné části budov.
- Žádné soukromé telefonní hovory. Telefonní síť musí být především využita pro organizování záchranných prací, při přetížení hrozí výpadky.
- Žádné soukromé cesty autem - silnice musí zůstat volné pro rychlé přesuny policie, hasičů a záchranných vozidel.
- Sledujte příkazy policie, hasičů a záchranných týmů.

Jak se chránit před tsunami

- Pokud zjistíte, že nastalo silné zemětřesení, buďte připraveni na možné varování před tsunami a na rychlý útěk z pobřežní oblasti na vyvýšené místo. Pokud ucítíte zemětřesení, přesuňte se urychleně mimo dosah vln. Lokální tsunami způsobená blízkým zemětřesením mohou být nebezpečná a ničivá a máte možná jen pár minut na evakuaci.
- Spolupracujte s lokálními úřady, jste-li vyzváni k evakuaci. Je-li vydáno oficiální varování, tsunami opravdu existuje. 61 obětí v Hilo v r. 1960 nedbalo takové výstrahy a považovalo ji za planý poplach.
- Blížící se tsunami je někdy ohlašována rychlým vzestupem nebo poklesem mořské hladiny. Toto varování přírody se nevyplácí ignorovat. Lodě musí ihned odplout na hlubokou vodu.
- Malá tsunami v jednom místě pobřeží může narůst do velké výšky o pár kilometrů dále. Je třeba zachovat respekt.
- Tsunami není jen jedna vlna, proto je nutno zůstat mimo ohroženou oblast, dokud není vyhlášen konec poplachu.
- Nikdy se nechoďte dívat na tsunami na pobřeží. Když ji vidíte, jste příliš blízko na únik.

Poděkování

Autor děkuje svým kolegům J.Šílenému, V.Vavryčukovi, A.Špičákovi, A.Plešingerovi za četné podnětné připomínky. Marcelka Švamberková poskytla neocenitelnou pomoc s formátováním textu a tvorbou obrázků.

Použitá literatura

Červený V., Časopis pro fyziku, -
Kárník V., 1968. Seismicity of the European area 1.- 2., Academia Praha.
Kozák J., Thompson M.-C., 1991. Historical Earthquakes in Europe, Swiss
Re, Zurich.
National Earthquake Information Center, U.S. Geological Survey, Golden,
Colorado
Mitchell, 1981. Anatomie Země. Albatros Praha.
van Rose S., 1983. Earthquakes. Geological museum, London.
Zemětřesení v západních Čechách, Geofyzikální ústav AV ČR, 1997
International Dictionary of Geophysics, (Editor S.K.Runcorn), Pergamon Press,
Oxford, 1967
International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, (Editors W.
H. K. Lee., H. Kanamori, P. C. Jennings, C. Kisslinger), Academic Press, 2002
Tsunami – The Great Wave, U.S. National Oceanic & Atmospheric
Administration, UNESCO/IOC, International Tsunami Information Center,
Laboratoire de géophysique, France
J. Kozák. Historical earthquakes in Europe, Swiss Reinsurance Company, Zurich,
1991
Wikipedia – The free encyclopedia (<http://en.wikipedia.org>)