
Velikost zemětřesení a intenzita otřesů

Základní charakteristikou zemětřesení je seismology používané **magnitudo**, termín významově shodný s výrazem **velikost**. Magnitudo je veličina, kterou nám jako první poskytnou seismické služby po celém světě a je vhodné tento výraz nadále používat, neboť pak je a bude okamžitě jasné, že se hovoří o velikosti zemětřesení.

V případě zemětřesení na Haiti se jednalo o magnitudo 7.0. Správná formulace tedy zní: *Haiti postihlo zemětřesení o magnitudu 7.0*.

Magnitud je více druhů (momentové, z povrchových vln, lokální, z prostorových vln), liší se tím, jakým způsobem a z jakých dat je to které počítáno. V klasických případech nám ovšem výpočty různých magnitud dají podobné nebo shodné číslo, takže pro zjednodušení mezi dnes používanými magnitudy nemusíme rozlišovat.

Ve sdělovacích prostředcích je používán termín **Richterova škála** nebo **stupnice**. To je ovšem zavádějící a seismologové tento termín dnes příliš nepoužívají. Nejklasičtější novinářská formulace je, že se jedná o *stupně Richterovy škály*. Zde je navíc vytvořené nešikovné sousloví *stupně stupnice* nahrazeno významově stejným ale nenápadněji znějícím *stupně škály*.

Magnitudo nevyjadřujeme v diskrétní stupnici. Jedná se o veličinu **přístrojově změřenou a vypočtenou**, a ta může nabývat hodnot libovolných. Setkáváme se zemětřeseními od magnituda -2 (mínus dvě) do magnituda 9 (devět), ale teoreticky nejsou hodnoty omezeny. Magnitudo je veličina bezrozměrná, tedy žádné jednotky se u ní neuvádějí.

Charles Richter byl první, kdo zavedl měření velikosti zemětřesení pomocí magnituda. Jeho formule pro výpočet byla ve své době revoluční, dnes je ale zastaralá a nepoužívá se. Fungovala ostatně jen pro malá zemětřesení a jen pro ta vyskytující se v Kalifornii, což moderní seismologii samozřejmě nestačí. Pro památku pana Richtera by bylo nejlepší vůbec ho v souvislosti s dnešním měřením velikosti zemětřesení nezmiňovat, a když, tak jen v odůvodněných případech historických poznámek o průkopnicích seismologie. S dnešními magnitudy nemá Richterovo magnitudo mnoho společného. A když už Richtera zmínit, tak jeho magnitudu říkat *Richterovo magnitudo* a nikoli stupnice.

Jaký je **význam magnituda**? Důležité je si uvědomit, že magnitudo nám mnoho neříká o velikosti otřesů na zemském povrchu, tím méně o ničivých účincích zemětřesení. Tato spojitost se zcela nesprávně objevuje téměř ve všech informacích v médiích komentujících nastalé katastrofy.

Zemětřesných jevů o magnitudu 7.0 se na světě odehraje každý rok přes deset, tedy řekněme pro zjednodušení, téměř každý měsíc nějaké. A kdy jsme byli naposledy informováni o zemětřesení s magnitudem 7.0 a následnou katastrofou? Před rokem? Dvěma? Proč jsme neslyšeli i o těch ostatních?

Nejpodstatnější pro správnou informovanost je rozlišovat: **velikost zemětřesení, intenzitu otřesů a ničivé účinky**. Tyto tři věci spolu souvisí jen velmi volně. Magnitudo nám říká, jak velkou ránou zemětřesení bylo v místě, kde nastalo, což může být hluboko pod zemským povrchem. To, jak se bude třást země tam, kde se nás to okamžitě týká, záleží na mnoha faktorech:

- na tom, jak daleko od epicentra jsme,
- na tom, jak hluboko je ohnisko (= hypocentrum) zemětřesení,
- dále také na tom, jakými horninami se k nám seismické vlny od zemětřesení šíří,
- v jakém směru od zlomu (např. litosférických desek) se nacházíme (ve směru zlomu, kolmo k němu) a
- zda se jednalo o pohyb na zlomu vodorovně nebo svisle atd.

Tedy důležitý závěr je, že zemětřesení o magnitudu 7.0 může na daném místě jednou vyvolat velké otřesy, jindy skoro žádné. Samotná informace o tom, že zemětřesení mělo magnitudu 7.0, nám tedy nic neříká o tom, jak se kde země otřásla. Smysl má jen tehdy, je-li doplněná údaji o vzdálenosti, hloubce atd.

Když už víme, jak moc se kde země otřásla, nemůžeme z toho vyvozovat ještě nic o ničivých účincích zemětřesení. To, kolik domů spadne, záleží na tom, jak jsou postaveny. Stejně velké otřesy v San Franciscu nebo v Kjótu jistě nezboří tolik budov jako v Arménii nebo na Haiti. Zemětřesení lidi nezabíjí, zabíjejí je špatně postavené domy.

Na základě řečeného si porovnejme, jak dnes vypadá klasická informace o zemětřesení v médiích, a jak by formulována být měla. Běžně se dozvídáme: *Haiti zasáhly katastrofální otřesy o síle 7.0 stupňů Richterovy škály*. Co je na této větě špatně?

- nejedná se o škálu ani o stupně, ale o změřenou a vypočtenou veličinu,
- nejedná se o Richtera, ale o magnitudu,

- otřesy s magnitudem přímo nesouvisí, a magnitudem se neměří, takže nic nemohly zasáhnout otřesy o nějakém magnitudu natož o síle nějakých stupňů,
- otřesy, které případně něco zasáhly, neměly fyzikálně sílu, ale lze je charakterizovat výchylkou zrychlení půdy, výchylkou rychlosti půdy, atd,
- katastrofální nebyly otřesy, ale stav budov na Haiti.

Správně by věta, která nejpřesněji vyjádří to, co se stalo, měla znít: *Haiti bylo postiženo zemětřesením o magnitudu 7.0, a protože ohnisko bylo velmi mělko, epicentrum leželo nedaleko města a město je postaveno nekvalitně, důsledky jsou katastrofální.*

Magnitudo je **veličina logaritmická**, je to logaritmus uvolněné energie. Vzoreček pro výpočet funguje tak, že energie uvolněná při zemětřesení s magnitudem o jedničku vyšším (např. 7.0) znamená uvolnění $31,6 \times$ více energie než v případě zemětřesení s magnitudem o jedničku nižším (tedy 6.0). Tím pádem zemětřesení o magnitudu 7.0 uvolní tisíckrát více energie ($31,62 \times 31,62 = 1000$), než zemětřesení o magnitudu 5.0, kdy rozdíl magnitud je 2.

A jak hodnotíme samotné **otřesy**? K tomu nám slouží **makroseismická intenzita**, pro zjednodušení budeme říkat jenom **intenzita**. Je to veličina, kterou nelze změřit přístroji, to je jeden z rozdílů oproti magnitudu. Je to veličina, kterou stanovíme až na základě pozorování účinků otřesů na budovy a člověka (případně na krajinu). Bereme přitom v úvahu specifčnost pozorovaných budov. Pokud uvidíme spadlý moderní železobetonový činžák, předpokládáme intenzitu v daném místě mnohem vyšší, než v místě, kde uvidíme popraskanou chalupu z vepřovic. Činžák toho víc vydrží a proto pro jeho zboření potřebujeme větší otřesy. Kdyby stál vedle popraskané chalupy z vepřovic, nejspíš by na něm žádné poškození vidět nebylo.

Základní charakteristikou intenzity je to, že se vztahuje k nějakému místu, opět narozdíl od magnitudu. Nejčastěji to vypadá tak, že v epicentru zemětřesení je intenzita nejvyšší a směrem dál od epicentra klesá. Ani to nemusí v krajních případech platit beze zbytku, vlny o největší amplitudě se nemusí šířit od ohniska přímo nahoru k epicentru, stejně jako intenzita nemusí klesat kruhově, protože některým směrem se vlny mohou šířit s vyšší amplitudou než směrem jiným.

Intenzitu lze vyjádřit jako **stupnici**, která má nejčastěji 12 stupňů (je víc druhů intenzit, použít můžeme třeba evropskou EMS). Každému bodu přísluší slovní ohodnocení pozorovaných účinků na různé druhy staveb. Intenzita se tedy určuje tak, že výzkumník prochází postiženou oblast a podle různých indicií stanovuje pro každé místo intenzitu, kterou zakreslí do mapy. Zhodnotí kvalitu budovy, míru jejího poškození a podle tabulky přiřadí danému místu jeden ze 12 stupňů. Je to velmi pracné a dnes se v případě mediálně známých zemětřesení s intenzitou prakticky nesetkáme. Intenzita je ale, narozdíl od magnitudu, právě ta veličina, která nám říká, jak moc se kde země třásla.

Je samozřejmě jedno, jak kterou veličinu nazýváme, pokud víme, o jaké se hovoří. Nedávno jsem slyšel obměnu věty z předchozích odstavců ve tvaru: *Otřesy měly intenzitu sedmého stupně Richterovy škály.* A zde vidíme, proč je nebezpečné používat pro magnitudo označení Richterova stupnice. Novinář vzal od seismologů magnitudo (nic jiného mu ani nedali), a protože mu kolega poradil, aby magnitudu říkal stupeň Richterovy stupnice, myslel si, že jde o intenzitu. Tedy se podařilo nevhodně spojit dohromady celkem tři věci. Magnitudo a Richterova stupnice spolu souvisejí tak, že je to různý název pro stejnou věc, a Richterova stupnice a intenzita spolu mají společné to, že se (v jednom případě domněle a v druhém skutečně) jedná o stupnici. Zcela korektní by po výše uvedeném byla informace: *Haiti bylo postiženo zemětřesením o magnitudu 7.0. Protože ohnisko bylo velmi mělko a epicentrum leželo nedaleko města, intenzita otřesů ve městě dosáhla IX. stupně EMS. A protože město bylo postaveno nekvalitně, důsledky jsou katastrofální.*

Zemětřesení neumíme **předpovídat**. Jsou oblasti, například rozhraní litosférických desek, kde k zemětřesením dochází, a lze **předpokládat**, že k nim bude docházet i nadále. Tedy na otázku, jestli bylo možné **očekávat**, že na zlomu pod ostrovem Hispaniola dojde k zemětřesení, zní odpověď **ano**, **očekávat to bylo možné**. Na otázku, zda bylo možné zemětřesení pod ostrovem Hispaniola **předpovědět** zní odpověď **ne, to možné nebylo**.

Očekávat nebo *předpokládat* znamená, že je zde zvýšená pravděpodobnost, že k zemětřesení dojde. Neznáme ani přesné místo, ani čas. Stejně očekávání mají seismologové pro jakýkoli jiný velký zlom, například v Kalifornii, Japonsku, nebo jakýkoli jiný. *Předpověď* znamená, že řeknu, že tehdy a onehdy se na tomto místě vyskytne zemětřesení, a to seismologie zatím neumí.

Jsou jevy a pozorování, ze kterých je možné usuzovat, že nějaká oblast se blíží ke stavu, kdy k zemětřesení dojde. Ovšem rutinně se tato pozorování neprovádějí a jsou značně nespolehlivá. Neexistuje postup, jakým by bylo možné zemětřesení účinně předpovědět a potenciálně postiženou oblast předem varovat v čase umožňujícím záchranu životů. V případě Haiti byla provedena studie, která v roce 2008 upozornila na to, že na zlomu, který prochází pod městem Port-au-Prince, může dojít k zemětřesení s magnitudem až 7.2. Tato studie tedy *předpověděla* místo (v řádu desítek až stovek kilometrů) a velikost, ovšem nikoli čas. Vý-

zkumníci vycházeli z toho, že měřili, jak rychle se desky podél zlomu posouvají. Pak se podívali, jak dávno tam bylo poslední velké zemětřesení. To se odehrálo v roce 1770, tedy před více než dvěma sty lety. A protože rychlost posouvání desek je v případě tohoto zlomu skoro 1 cm za rok, na zlomu „chybělo“ posunutí skoro 2 m. Při překročení meze pevnosti hornin tedy bylo možné očekávat, že dojde k „dorovnání“ tohoto posunutí desek. Z velikosti zlomové plochy a z velikosti tohoto posunutí bylo vypočteno, že hrozí až magnitudo 7.2. O čase, kdy zemětřesení nastane, ale nebylo možné nic říci. Zemětřesení se „připravovalo“ dvě staletí a mohlo k němu dojít hned, jako za 10 let. Výzkumníci tehdy tyto závěry přednesli představitelům vlády Haiti, kteří je vzali na vědomí, ale samozřejmě přestavět města nemohli. Na druhou stranu, zabezpečit například některé klíčové budovy, jako nemocnice, bylo asi možné.

Dalšími pojmy jsou **ohrožení** versus **zranitelnost** a vyplývající **riziko**: **Ohrožení** je pravděpodobnost, že v dané oblasti dojde k otřesům, ovšem jedná se jen o přírodopis, nehovoří se o tom, kolik lidí bude postiženo a jaké budovy spadnou. Seismologové zjistí, k jakému zemětřesení kde může dojít, jak se od něj budou seismické vlny šířit, jak daleko a jakými horninami, a pro každé místo stanoví, k jakým tam může dojít otřesům. Fakticky tedy stanoví maximální hrozící makroseismickou intenzitu. Pro tento účel se ale lépe hodí vyjádřit otřesy jako maximální zrychlení půdy, které nastane v daném místě s pravděpodobností vyšší než 5% v následujících 50 letech. Čas zde hraje roli jen statisticky, že otřesy o dané intenzitě přijdou během dlouhého času je pravděpodobnější, než že přijdou během času krátkého. To je práce seismologů. **Zranitelnost** je pojem vztahující se naopak k tomu, k jakým škodám dojde v případě nějak intenzivních otřesů v dané oblasti. Tedy, jak kvalitně jsou postaveny budovy, jaké budou účinky na obyvatelstvo, jaká je infrastruktura. Stanovit toto je úkol pro inženýry, sociology, atd. Teprve když se složí **ohrožení** a **zranitelnost** dohromady, vyjde nám **riziko**, tedy, jak moc se máme obávat, že zrovna tady tolik a tolik budov spadne a budou takové škody na majetku a ztráty na životech.

Jsou oblasti, kde je sice zranitelnost vysoká (nekvalitní výstavba), ale protože je tam nízké ohrožení, i riziko je malé (představme si nějaké městečko v Brazílském pralese daleko od jakýchkoli tektonických zlomů). Pak jsou oblasti, kde je výstavba kvalitní (Japonsko, Kalifornie) a tak i přesto, že ohrožení je velké, je riziko také malé. A nejhorší kombinace nastává v případě, že ohrožení i zranitelnost je vysoká, jako tomu bylo například v případě Haiti. Jsou samozřejmě i oblasti, kde je malé jak ohrožení, tak zranitelnost, tedy oblasti, kde nedochází k zemětřesením, a navíc tam nikdo nežije (Sahara).

Jazyková poznámka:

Seismologie se píše se „s“. Psaní „z“ v tomto slově je zhůvadolost. „Z“ navrhli pracovníci z Ústavu pro jazyk český, Akademie věd ČR. Právní závaznost jejich názoru je nulová. Jako pracovník Ústavu struktury a mechaniky hornin, též Akademie věd ČR, si dovoluji vyjádřit názor, že se tam píše „s“.

Petr Kolínský
Ústav struktury a mechaniky hornin, AV ČR