

FOTO: ORLANDO BARRIA

» Zemětřesení na Haiti v roce 2010 bylo sice relativně slabé (stupeň 7 Richterovy škály), zanechalo však po sobě 316 000 obětí

Jak zemské desky hrají

Seismicita. Tektonika. Tsunami. Tři slova, která byla v nedávné době každodenně skloňována i v těch nejméně odborných médiích. Síla, kterou o sobě čas od času dává vědět skrytá část naší planety, však nemusí vždy znamenat jen důvod k slzám. Pro vědce jsou zemětřesení jedním z nejlepších způsobů, jak se dozvědět zajímavé a důležité informace o tom, jak vlastně vypadá naše planeta v oblastech, kam se nikdy nikdo nemůže podívat přímo.



JAK SEISMOLOGIE NAPOMÁHALA POZNÁNÍ ZEMĚ:

● **1906** – britský geolog Richard Dixon Oldham (1858–1936) poprvé odhaluje **existenci zemského jádra**. Jeho objev znamená počátek masivního využívání seismických vln pro studium vnitřní struktury Země.



● **1910** – chorvatský meteorolog a seismolog Andrija Mohorovičić (1857–1936) objevuje **nespojitosť mezi kůrou a zemským pláštěm**, která byla později nazvána Mohorovičićova diskontinuita (MOHO)

● **1912** – německo-americký seismolog Beno Gutenberg odhaluje **rozhraní mezi jádrem a pláštěm**, tzv. Gutenbergovu diskontinuitu. Jeho objev umožnil přesné určení mohutnosti zemského pláště.



● **1926** – britský matematik, astronom a geofyzik Harold Jeffreys (1891–1989) poprvé dokázal, že **část jádra se chová jako tekutina**



● **1936** – dánská seismoložka Inge Lehmannová (1888–1993) objevila, že **vnitřní část jádra se skládá z látek v pevném skupenství**. <<

FOTO: AMNH.ORG, SEISMOSOC.ORG A U FOTO 21

Pohled do nitra zemětřesení



FOTO: PATRICK TASCHLER

Zemětřesení či vulkanismus jako by měly i nám lidem připomenout, že dějiny Země nejsou dějinami klidu, jak se nám z naší běžné perspektivy může zdát, ale daleko spíše dějinami divokých proměn a prakticky neustálého přetváření. Ve srovnání s mohutností procesů probíhajících v hlubinách Země jsou však zemětřesení a další jevy spojené s deskovou tektonikou jen drobnými »epizodami«.

Při vyřčení pojmu zemětřesení se většina lidí začne nepřítomně ošívát. Záběry poničené krajiny, infrastruktury či lidí zabalených v příkrývkách okupují televizní obrazovky asi častěji, než by nám bylo příjemné.

Uším geofyziků a seismologů zní však slovo zemětřesení podobně jako slovo »kladiivo« kováři či »dalekohled« astronomovi. Je to zkrátka pracovní nástroj, s jehož pomocí lze nahlížet do oblastí skrytých lidským zrakům podobně, jako např. lékař nahlíží do lidského těla rentgenem či ultrazvukem. Jednu

věc však seismologové stále nedokážou – předpovědět, kdy a kde zemětřesení udeří.

Zemětřesení z propadlého stropu

Pro seismologa jsou tím nejdůležitějším projevem zemětřesení elastické vlny, které z ohniska otřesů putují nejen horninami zemské kůry, ale také hlubinami zemského pláště i jádra. Nejprve bychom si však měli připomenout, že zemětřesení mohou mít řadu různých příčin, které spolu nemusejí zcela nezbytně souviset.



CO ŘÍKÁ RICHTEROVA ŠKÁLA?		
magnitudo	obvyklé účinky na povrchu	četnost výskytu
méně než 2,0	mikrozemětřesení, nepocíitelné	okolo 8000 denně
2,0 až 2,9	většinou nepocíitelné, zaznamenané	okolo 1000 denně
3,0 až 3,9	pocíitelné, nezpůsobující škody	okolo 50 000 ročně (odhad)
4,0 až 4,9	citelné třesení věcí uvnitř domů, drnčivé zvuky	okolo 6000 ročně (odhad)
5,0 až 5,9	škody špatně postaveným budovám v malé oblasti	okolo 800 ročně
6,0 až 6,9	ničivé následky do vzdálenosti 100 km	okolo 120 ročně
7,0 až 7,9	vážné škody na velkých oblastech	okolo 18 ročně
8,0 až 8,9	vážné škody i ve vzdálenosti stovek kilometrů	asi 1 za rok
9,0 až 9,9	vážné škody i ve vzdálenosti tisíce kilometrů	asi 1 za 20 let
10,0+	nikdy nebylo zaznamenáno, možnost planetárních škod	řádově za miliony let

přetlačovanou?

SCHEMA: NASA

NOVÝ SYSTÉM HLÍDÁNÍ TSUNAMI?

Pro monitorování zemětřesení vedoucích k vlnám tsunami existuje v oblasti Pacifiku varovný systém již od 60. let.

Nedávno byl spuštěn i nový výstražný systém pro Indický oceán, vybudovaný zejména díky úsilí německých seismologů.

Nejnovější metodu, jak nebezpečný typ zemětřesení včas rozpoznat, představili zcela nedávno vědci z Georgijského technologického institutu v americké Atlantě. Systém, kterému přezdívají **Rterg**, je založen na kombinaci včasné výměny dat mezi 150 seismickými stanicemi z celého světa a propracovaných algoritmech,

díky nimž dokáže reálnost nebezpečí či včas vyhodnotit.

„U většiny tsunami trvá asi 30–40 minut, než vlna dorazí na pobřeží. Vyhodnocení pomocí systému Rterg trvá maximálně 10 minut. Máme tedy k dispozici 20–30 minut, během nichž lze



informaci doručit do automatických varovných zařízení,“ vysvětluje jeden z klíčových účastníků projektu Andrew Newman. „Náš systém dokázal poprvé spolehlivě odhalit magnitudo 7,8 zemětřesení u břehů Sumatry v roce 2010,“ doplňuje informace Newman. <<

Tím nejjednodušším původem pohybů v zemské kůře je propad dutých oblastí nehluboko pod povrchem Země. K takovým ořesům, které seismologové nazývají zemětřeseními řítivými, dochází například v oblastech, jejichž podzemí je nahlodáno »diverzní« činností vody (krasové oblasti) nebo člověka (okolí hlubinných dolů). Takových zemětřesení jsou z celkového počtu asi jen pouhých 3 %, a navíc nebyvají příliš silná.

Jako na zamrzlé řece

Z pohledu geologického času je povrch Země stejně neklidný jako zaledněná hladina ř-

Zloba Vulkánova

V místě kontaktů desek (zejména v oblastech oceánských hřbetů a podsunování) dochází také k pohybu natažené horniny směrem k zemskému povrchu, tedy k vulkanické činnosti.

A jsou to právě vulkány, jež mohou být další z příčin zemětřesení.

Sopky sice dokážou způsobit řadu neštěstí (zejména vyvržení pyroklastického materiálu či nastartování ničivých bahnotoků), za skutečně ničivým zemětřesením však stojí zřídka-kdy.

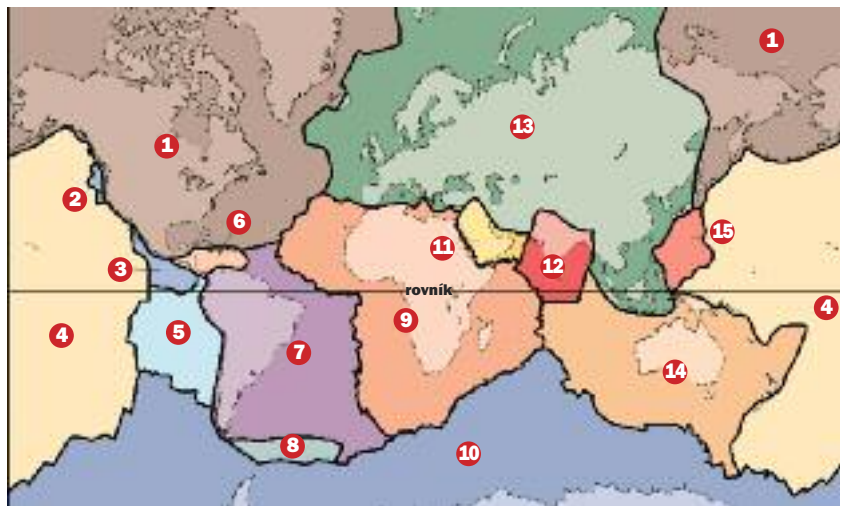
Ke vzniku sopek nemusí nutně docházet jen na rozhraní tektonických desek. Existují

tlačovanou« k postupnému hromadění deformace, a tedy ke vzrůstu napětí. V momentě (a dlužno říci, že ten je prakticky nevyzpytatelný) dojde k překročení limitu kritického napětí a během velmi krátké doby (desítek sekund až několik málo minut) se desky začnou podél plochy zlomu rychle posunovat.

Místo, na němž ke zlomu dojde, se odborně nazývá hypocentrum a bývá ukryto v různé hloubce. Naneštěstí pro nás je většina (asi 85 %) všech zemětřesení mělká – jejich hypocentrum tedy leží v hloubce menší než 70 km. Devastující účinky na povrchu (jeho intenzita) jsou pak podstatně větší.



FOTO: EXPEDITIONS.COM



SCHEMA: NOAA

>> Hlavní zemské tektonické desky: 1/ Severoamerická deska, 2/ Deska Juan de Fusca, 3/ Kokosová deska, 4/ Pacifická deska, 5/ Deska Nazca, 6/ Karibská deska, 7/ Jihoamerická deska, 8/ Deska Nového Skotska, 9/ Africká deska, 10/ Antarktická deska, 11/ Arabská deska, 12/ Indická deska, 13/ Euroasijská deska, 14/ Australská deska, 15/ Filipínská deska

>> Řada zemětřesení je vyvolána vulkanickou činností

ky při jarním tání, na němž se jednotlivé ledové kry o sebe třou, přetlačují se a posunují. Kry zemské kůry a nejsvrchnějšího pláště, tzv. litosférické desky, plují po částečně natavených horninách tzv. astenosféry. Za jejich pohyb je zodpovědné teplo vznikající uvnitř Země.

Při svém klouzání po takto »podmazaném« povrchu se od sebe mohou odtlačovat (např. v oblastech oceánských hřbetů), podsouvat se pod sebe (zejména v místech kontaktu oceánských a kontinentálních desek) či se vzájemně zaklínit (tímto procesem vznikají vyvrážená pohoří). Na tzv. transformních rozhraních se desky pohybují vůči sobě vodorovným směrem (např. zlom San Andreas v Kalifornii nebo Severoanatolský zlom v Turecku).

i místa, tzv. »horké skvrny« (*hot spots*), v nichž na zemský povrch ústí proud magmatu mající původ až v hlubinách zemského pláště, tzv. »plášťový chochol« (*mantle plume*). Exploze na horkých skvrnách mohou být velmi silné (patří k nim i tzv. supervulkány v americkém Yellowstoneu) a síla zemětřesení je často vyšší než u sopek vznikajících na rozhraních desek.

Proč se vlastně země třese?

Na tektonické zlomy je vázáno asi 90 % všech zemětřesení, k nimž každoročně na světě dojde. Proč se tedy vlastně země třese?

Na principu opět není nic složitého. V místech kontaktu desek dochází kvůli »hře na pře-

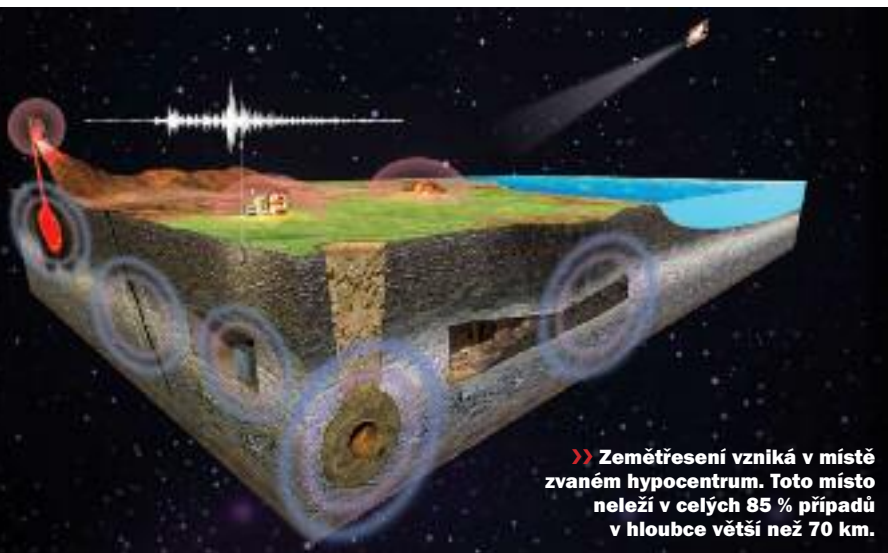
Hypocentrum nesmí být zaměňováno za epicentrum, které je bodem na mapě, označujícím, kde pod ním hypocentrum leží.

Když horniny tančí...

Pevná zemská kůra jistě na první pohled nevypadá jako prostředí, které by se snadno vlnilo. A přece! Dostatečně silný impuls dokáže horniny, jimiž jsou tektonické desky tvořeny, rozvlnit nečekaně pestrou paletou různých pohybů.

Seismometry, tedy přístroje k měření vlnění hornin, zaznamenávají 4 základní typy vln. První dva se šíří nejen podél povrchu Země, ale také skrze celé zemské těleso.

Nejrychlejší z nich jsou vlny, které podle svého prvenství získaly i svůj název: P-vlny



» Zemětřesení vzniká v místě zvaném hypocentrum. Toto místo neleží v celých 85 % případů v hloubce větší než 70 km.

(z angl. *primary* = prvotní). Tyto vlny vrstvou hornin jako by smřtují a rozpínají podél své dráhy, šíří se tedy podélně a v jakémkoliv prostředí.

Jejich pomalejšími »sestřičkami« jsou vlny sekundární neboli S-vlny, které rozkmitávají materiál ze strany na stranu. Tyto vlny potřebují ke svému šíření jednu základní fyzikální vlastnost prostředí – tuhost. Mohou se tedy šířit pouze látkami v pevném skupenství: kapaliny a plyny zkrátka nedávají S-vlnám šanci.

Povrch Země jako mořská hladina

Kromě vln šířících se napříč zeměkoulí však existují i vlny připomínající rozvlnění mořské hladiny. Ty se šíří pouze v blízkosti povrchu.

Rychlejší z nich byly nazvány po britském matematikovi A. E. H. Loveovi (1863–1940), který je jako první předpověděl a matematicky popsal. Při Loveových vlnách částice hornin kmitají kolmo na směr šíření podobně jako S-vlny.

Šířit se mohou pouze v prostředí, které je nějakým způsobem nestejnorodé (heterogenní), například složené z několika vrstev.

Konečně poslední a nejpomalejší ze základních typů vln byl nazván podle nositele Nobelovy ceny, britského fyzika Johna Williama Strutta, třetího barona Rayleigha (1842–1919). Tyto vlny skutečně připomínají vlnění vodní hladiny, způsobené např. vhozením kamene. Šíří se po kružnicích či elipsách. Pro seismology jsou tyto pomalé Rayleighovy vlny důležitým pramenem poznatků o hustotě hornin v zemské kůře a svrchním pláští.

Nejslavnější ze stupnic

Jak kdysi poznamenal německý filozof Immanuel Kant (1724–1804), je v každé nauce o přírodě tolik skutečné vědy, kolik je v ní matematiky. Ale jak přesně číselně vyjádřit sílu zemětřesení?

Geofyzikové dnes nejčastěji užívají k tomuto popisu číslo, kterému říkají magnitudo zemětřesení. Toto bezrozměrné číslo je funk-

cí dekadického logaritmu amplitudy (výchylky) vln naměřené seismometrem. Na rozdíl od např. Mohsovy stupnice tvrdosti minerálů tedy není pouze za sebou jdoucí řadou celých čísel, porovnávací menší s větším.

Jako první navrhl tento způsob měření ve 30. letech minulého století Japonec Kijoo Wadati (1902–1995), do praxe jej však v roce 1935 uvedli až kalifornští seismologové Beno Gutenberg (1889–1960) a Charles Richter (1900–1985).

Po posledně zmiňovaném získala také své označení. U velmi slabých zemětřesení může být hodnota magnituda i záporná, na druhé straně je omezena pouze velikostí uvolněné energie. Reálně však pouze výjimečně přesáhne hodnotu 9.

21. STOLETÍ vysvětluje:

Při vytvoření své škály se Charles Richter inspiroval u astronomů, kteří používají podobnou stupnici k porovnávání svítivosti hvězd. Na rozdíl od seismologů však astronomové v češtině užívají pro označení velikosti slovo magnituda (ženský rod) a hlavně jejich stupnice je konstruována obráceně, tzn. svítivější objekty mají menší čísla.

HLÍDAČI ZEMĚTŘESENÍ V ČESKU

Přestože české země nepatří z hlediska seismologie k místům nějak zvlášť



aktivním, čeští vědci v oblasti monitorování otřesů půdy také nezahálejí. První seismická stanice byla uvedena do provozu již v roce 1908 ve sklepě císařské reálné školy v Chebu.

Po stanicích v Praze na Karlově (1927) a v Prů-

Intenzita a dotazníky

Kromě Richterovy stupnice se k charakterizaci zemětřesení užívá i škála starší, která za ni však bývá poněkud nešťastně zaměňována. Tato stupnice by už Immanuela Kanta uspokojila méně – mnohem více než přesný matematický popis totiž připomíná právě Mohsovu stupnici tvrdosti. Není tedy ničím jiným než porovnáváním. A co se vlastně v tomto případě porovnává?



» V oblastech častých zemětřesení (např. na Tchajvanu – na snímku) je důležité stavět domy tak, aby vydržely obvodové zdi a lidé nezůstali uvěznění uvnitř

Číslo od I. do XII. makroseismické intenzity či tzv. Mercalliho škály intenzity, nebo nověji Evropské makroseismické stupnice, označují statisticky podchycené subjektivní hodnocení účinků zemětřesení v jednotlivých místech na zemském povrchu.

Podklady pro takové hodnocení se získávají prostřednictvím dotazníků. Stupeň I. označuje zemětřesení, která lidé ani nepocítí, VI. stupeň je již relativně silné zemětřesení, které kácí těžší nábytek, poslední XII. stupeň již značí naprostou zkázu, spojenou s přeměnou krajiny. <

ka představovala prototyp pro další generace těchto přístrojů. V 90. letech byly zřízeny podobné observatoře ve východočeské lokalitě Dobruška/Polom a v samém epicentru západočeských zemětřesených rojů v Novém Kosteletě na Chebsku. Na Moravě registrují seismické vlnění ve Vranově, Moravském Krumlově, Moravském Berouně a Velké Javořině. Otřesy půdy způsobené důlní činností jsou také monitorovány v Ostravě, na Kladensku, Mostecku či Příbramsku. <<



FOTO: NOAA

MAPA: NASA



Hitparáda zkázy:

5 nejsilnějších zemětřesení za posledních 100 let

Z čistě statistického hlediska je mnohem pravděpodobnější, že se spíše než obětí zemětřesení stanete obětí některé z civilizačních chorob. To však nic nemění na faktu, že tyto výrony energie dokážou během několika desítek vteřin zcela převrátit pořádky, které se na zemském povrchu ustavovaly desítky, stovky i tisíce let. **21. STOLETÍ** vás nyní seznámí s těmi otřesy, jež dokázaly ručičky seismometrů nejvíce vychýlit.

Ačkoliv první jednoduchý seismoskop neboli detektor zemětřesení sestrojil již roku 132 n. l. čínský astronom a vynálezce Čang Heng, moderní dějiny měření síly zemětřesení se začaly psát až roku 1880, kdy svůj kyvadlový seismometr zkonstruoval tým složený z Johna Milnea, Jamese A. Ewinga

a Thomase Graye, kteří v té době pracovali na Císařské polytechnice v Tokiu.

Od tohoto momentu začalo být možné postupně převádět sílu elastického vlnění hornin na přesná čísla, která lze navzájem porovnávat. Následující »hitparáda« nejsilnějších zemětřesení je proto omezena na posledních 100 let.

2. ZEMĚTŘESENÍ NA VELKÝ PÁTEK: průliv prince Williama, Aljaška 1964

Datum a místo: 27., 28. 3. 1964 v průlivu prince Williama u jižního pobřeží Aljašky

Magnitudo: 9,2

Rozsah škod: 128 mrtvých (zemětřesení samotné 13, tsunami 115)

Rekord Severní Ameriky

Na Velký pátek roku 1964 obyvatelé okolí průlivu prince Williama na jižním pobřeží Aljašky jistě nevzpomínají rádi. V 17:36 místního času zde udeřilo zemětřesení, které se stalo nejsilnějším zemětřesením 20. století na území Severní Ameriky a 2. nejsilnějším zemětřesením světa. Úder se opakoval ještě o několik hodin později, ve 3:36 v noci, tedy vlastně již na Bílou sobotu ráno.

Štěstí v neštěstí

Kdyby zemětřesení podobné síly udeřilo v některé z obydlenějších částí světa, byly by počet obětí i škody na majetku jistě mnohonásobně větší. Řidká hustota obyvatel relativně nehostinného severu však způsobila, že toto obří zemětřesení mělo za následek relativně málo obětí. Svou roli sehrálo i to, že jeho ohnisko leželo pod mořskou hladinou, asi 120 km jižně od města Anchorage.

Právě asi 300 tisícové město Anchorage bylo zemětřesením, resp. následnou vlnou tsunami postiženo nejvíce. Další poničené oblasti se nacházely v okolí průlivu, zejména na ostrově Kodiak a poloostrově Kenai. Vlna tsunami však zasáhla většinu pobřeží Severní Ameriky a škody na majetku i na životech způsobila i na vzdálené Havaji.

1. VALVIDIA V CHILE 1960: nejsilnější zemětřesení světa

Datum a místo: 22. 5. 1960, severovýchodně od města Temuco

Magnitudo: 9,5

Rozsah škod: celkem 1 655 mrtvých, 3000 zraněných, 2 000 000 lidí bez domova, vlna tsunami zasáhla ničivě i Havaj, Filipíny a Japonsko

Na rozhraní desek

Chile, které se táhne po velké části západního pobřeží Jižní Ameriky, je z hlediska geofyziků jednou z nejhůře položených zemí světa. V jeho těsné blízkosti se táhne tzv. subdukční zóna, kde se oceánská deska Nazca podsunuje pod Jihoamerickou pevninskou desku. Výsledkem je jedna z neaktivnějších oblastí tzv. »ohnivého prstence«, tedy zóny s velkou seismickou a vulkanickou aktivitou, která obepíná pobřeží Tichého oceánu. Hypocentrum tohoto zemětře-



FOTO: OREGONSTATE.EDU

» Po zemětřesení zůstalo 1655 mrtvých a 3000 zraněných

sení leželo v relativně nevelké hloubce 33 km.

Zkáza města Valvidia

Do dějin vstoupilo toto zemětřesení ve spojení se jménem města Valdivia, které bylo zemětřesením zasaženo nejvíce. Hlavní příčinou zkázy byla vlna tsunami, která zasáhla obrovsky rozsáhlou oblast prakticky v celém

Tichém oceánu. Nejvíce postižené bylo pochopitelně pobřeží Chile, kde vlna místy dosahovala výšky až 11,5 m. Vlna však způsobila velké škody i na Havaji (výška vlny až 10,6 m), za 24 hodin po vzniku tsunami jí byl zasažen i japonský ostrov Honšú (výška vlny 5,5 m). Velké škody byly zaznamenány i na Velikonočním ostrově, Filipínách, Samoi a v Kalifornii.

3. VÁNOČNÍ POHROMA: Sumatra-Andaman 2004

Datum a místo: 26. 12. 2004, nedaleko jihozápadního pobřeží Sumatry
Magnitudo: 9,2

Rozsah škod: 230 000 mrtvých (z toho 8 Čechů) a pohřešovaných, na 1,7 milionu lidí bez přístřeší ve 14 zemích jihovýchodní Asie a východní Africe



FOTO: YUSUF AHMAD

>> Energie zemětřesení odpovídala síle 1500 «hirošimských» bomb

Na pomezí dvou desek

Nedaleko pobřeží Sumatry leží subdukční zóna, kde se Indická deska pomalu podsouvá pod desku Barmskou. Energie, která se zde akumulovala po celá staletí, se uvolnila těsně před 1. hodinou v noci místního času v 30 km hluboko ležícím hypocentru. Epicentrum se nacházelo mezi ostrovem Simeulue a pobřežím Sumatry, asi 120 km od jejího pobřeží. Na zemský povrch se uvolnila energie odpovídající asi 26,3 megatunám odpálené TNT (asi 1502x více, než bomba svržená na Hirošimu).

Jedno z největších neštěstí

Obyvatelé okolí epicentra sumaterského zemětřesení měli smůlu přesně v tom ohledu, v němž měli obyvatelé okolí zemětřesení na Aljašce štěstí. Tato katastrofa totiž zasáhla jednu z nejobydlivějších oblastí světa. Zároveň se jednalo z velké části o země, které nevyvíkají technologickou vyspělostí a o pracovaném systému včasného varování v Indickém oceánu si mohly nechat jen zdát. Varování Pacifického centra pro sledování tsunami se sídlem na Havaji sice do zemí kolem Indického oceánu dorazilo, ale oficiální úřady jednaly velmi líně nebo vůbec. Počet obětí, z nichž většinu je třeba připsat vlně tsunami, se vyšplhal na 230 000, což dělá z této relativně nedávné události jednu z nejničivějších katastrof lidské historie.

4. NEJKROTŠÍ Z NEJSILNĚJŠÍCH – Kamčatka 1952

Datum a místo: 4. 11. 1952, nedaleko jihovýchodního cípu Kamčatky
Magnitudo: 9,0

Rozsah škod: údaje o ztrátách na životech na ruské straně nejsou k dispozici, v Japonsku a na Havaji způsobila vlna tsunami jen hmotné škody

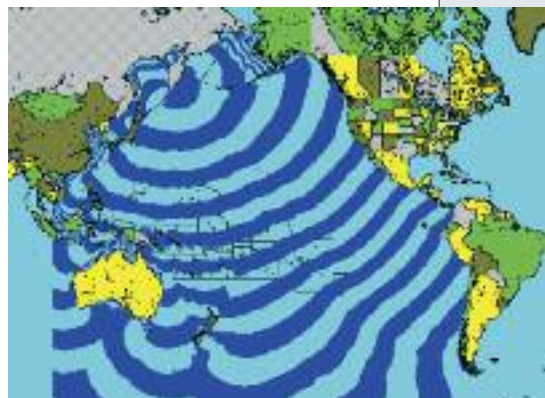
»Falešně« 4. místo

V našem výčtu nejsilnějších zemětřesení si musíme dovolit malý přeskok. Skutečné 4. místo v pořadí nejsilnějších totiž dnes již zaujímá nedávné zemětřesení u japonských břehů. Jelikož mu ale věnujeme celou samostatnou část, umístíme na 4. místo současnou »pětku«, zemětřesení na Kamčatce z roku 1952.

Místo se »správnou« polohou

Poloha Kamčatky na »ohnivém prstenci«, na rozhraní Pacifické a Ochočské desky, ji před-

SCHEMA: NASA



určuje k tomu, aby se stala opravdovým »rájem« sopek a zemětřesení. během 20. století bylo v této oblasti zaznamenáno mnoho silných zemětřesení. To nejsilnější z nich přišlo 4. listopadu 1952. Jeho síla byla původně určena na 8,2 Richterovy škály, později však byl tento údaj popraven na číslo 9,0. Ozvěnou tohoto zemětřesení byla vlna tsunami, která se rozšířila po Tichém oceánu. Vlna dosáhla až pobřeží Chile či Nového Zélandu.

5. ŠKODA ZA 30 MILIARD DOLARŮ – Chile 2010

Datum a místo: 27. 2. 2010, nedaleko pobřeží regionu Bío-Bío
Magnitudo: 8,8

Rozsah škod: 521 mrtvých a 56 pohřešovaných osob, 12 000 zraněných, 800 000 lidí bez domova, celková škoda vyčíslena na 30 miliard dolarů, vlna tsunami způsobila též významné škody v Kalifornii a v Japonsku

Opět deska Nazca

Oceánská deska Nazca a Jihoamerická pevninská deska se vůči sobě pohybují s rychlostí 7 m za století. Nahromaděná elastická energie je tedy obrovitá a není proto divu, že úder zemětřesení jsou zde nejen časté, ale i silné. V první patnáctce nejsilnějších ze-

mětřesení nalezneme hned čtyři, která se odehrála v Chile či v Ekvádoru. Epicentrum zemětřesení v roce 2010 leželo asi 37 km od pobřeží, asi 1000 km severně od místa, kde se Země otřásla při nejsilnějším zemětřesení v roce 1960.

Neštěstí v centrálním Chile

S velikostí 8,8 (Richterovy škály) bylo chilské zemětřesení z roku 2010 pátým, resp. dnes již šestým nejsilnějším zemětřesením v dějinách měření. Podle údajů Geologické služby Spojených států zasáhlo na zemském povrchu nejsilněji ve městě Concepción (stupeň IX na škále intenzity). Obrovské škody způsobila též vlna tsunami, která zaplavila nejen oblast centrálního Chile, ale dorazila i do oblastí okolí kalifornského San Diega a do oblastí Tóhoku na severu japonského Honšú.

FOTO: UNAVCO.ORG



>> Vlna tsunami dorazila až ke kalifornskému San Diegu

O čem nás poučilo zemětřesení v Japonsku?



Jen málokterá událost z posledního roku zvedla tak obrovský zájem veřejnosti jako březnové zemětřesení u japonských břehů a následná vlna tsunami. Vlna, která zalila pobřeží i nedaleko umístěné jaderné elektrárny, byla tak obří, že ani jinak velmi opatrní Japonci nebyli na takový úder připraveni. O čem nás tedy vlastně japonská katastrofa poučila?

Takzvané »velké východní japonské zemětřesení«, které 11. 3. tohoto roku udeřilo asi 130 km od břehů regionu Tóhoku na severovýchodě ostrova Honšú, znamenalo nejen obří katastrofu s nedozírnými praktickými důsledky, ale také velké poučení pro teoretiky. Úder takové intenzity totiž prakticky žádný z geofyziků v této oblasti nepředpokládal. Ochranné zdi proti vlně tsunami, jimiž je tato oblast vybavena, proto úder této velikosti a síly zkrátka nemohly zadržet. Je to ale opravdu tak, že Japonci nemohli zemětřesení a tsunami takové síly předpokládat?

» Dřevoryt *Velké vlny u prefektury Kanagawa* patří k nejznámějším ukázkám japonského umění



» Schematické znázornění dotřesových vln po zemětřesení u severního pobřeží ostrova Honšú

Precizní japonská připravenost

Škody na majetku i oběti na životech, které na japonském pobřeží napáchala vlna tsunami, byly sice obrovské, zcela však blednou ve srovnání s pohromou, kterou způsobilo zemětřesení na Sumatře v roce 2004. Zatímco japonská katastrofa si vyžádala »pouhých« 14 981 mrtvých a 9853 pohřešovaných, počet obětí na pobřeží Indického oceánu dosáhl na celých 230 000. Klíč spočíval především v precizní japonské připravenosti. Pobřeží prefektury Mijagi bylo poničeno tsunami již letech 1896, 1933 a 1960.

Japonská velká zed'

Pobřeží v blízkosti města Taró bylo opatřeno 2,5 km dlouhou »velkou zdí«, tedy hrází o výšce až 10 metrů. V blízkosti města Kimajši byl zase postaven největší vlnolam, který byl zapuštěn 63 m pod mořskou hladinu, přechýlval nad ní o 8 m. Velmi dobře také fungoval systém proškolení obyvatel

ZEMĚTŘESENÍ A ZKRÁCENÍ DNE

Jednou ze zpráv, které v souvislosti s japonským zemětřesením proběhly v médiích, bylo i to, že tato katastrofa proměnila délku dne.



Podle výpočtů geofyziků upravilo japonské zemětřesení délku dne: **zkrátilo ji o 1,8 mikrosekundy** ($1,8 \times 10^{-6}$ sekundy). Stejně vý-

počty ukazují, že např. chilské zemětřesení v roce 2010 změnilo délku dne o 1,26 mikrosekundy a sumaterské zemětřesení z roku 2004 dokonce o 6,8 mikrosekundy.

Je to však tak překvapivá zpráva? Pro odborníky nikoliv. **»Rotaci Země může teoreticky ovlivnit cokoliv, co mění distribuci hmoty na Zemi,«** říká geofyzik Richard Gross z Jet Propulsion Laboratory v kalifornské Pasadeně. **»Takové efekty pochopitelně nemají jen zemětřesení, ale například i změny v proudění atmosféry či mořských proudů. V průběhu roku se délka dne mění v řádu milisekund, tedy až 550x více, než byla změna způsobená japonským zemětřesením,«** dodává vědec. <<

pro případ katastrofy, zastavení dopravy a v neposlední řadě i zastavení činnosti jaderných elektráren. (Škody v jaderné elektrárně Fukušima nebyly způsobeny zemětřesením, ale slanou vodou, která následně objekt zalila a vyřadila z provozu bezpečnostní systémy.) Na zemětřesení o takové síle, jaké přišlo letos v březnu, se však prakticky připravit nedá.

Japonsko – setkání čtyř světů

»Oheň« ohnivého prstence, na němž Japonsko leží, je živěn díky tomu, že v této oblas-



» Hlavní škody nezpůsobilo v Japonsku zemětřesení, ale zejména následná vlna tsunami, jejíž velikost předčila všechna

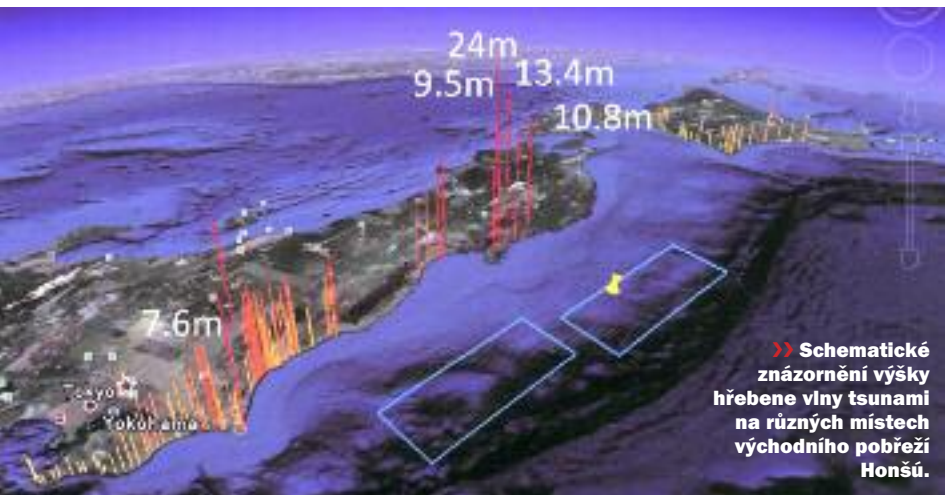
ti dochází k podsouvání jedné z tektonických desek pod druhou (tzv. subdukční zóna).

Nedaleko japonských břehů se totiž stýkají hned čtyři litosférické desky.

Ostrov samotný leží na Euroasijské a Severoamerické pevninské desce, nedaleko jejich východního pobřeží se pod ni podsouvají opět dvě desky oceánské. Pod jižní část japonského souostroví (zhruba po město Tokio), jakož i pod jižněji ležící Tchajwan či Filipíny, se postupně podsouvá Filipínská oceánská deska, severnější oblasti Japonska, Kurilské ostrovy, Sachalin či Kamčatku zase ohrožuje náhlé uvolnění elastické energie na-



» Sílu vlny tsunami krásně ukazuje tento snímek. Loď se kvůli vlně dostala daleko od pobřeží, u něhož původně kotvila.



» Schematické znázornění výšky hřebene vlny tsunami na různých místech východního pobřeží Honšú.

Staré a mladé horniny

Co vlastně ukolébalo seismology a geology do klidu, díky němuž měli za to, že na katastrofu podobných rozměrů není třeba se připravovat? Příčinu je třeba hledat především v představách, které vědci o geologických charakteristikách místa měli.

Obří síla některých zemětřesení je totiž závislá na několika důležitých parametrech místa, kde dochází ke kontaktu desek. Prvním z nich je stáří hornin, které předurčuje řadu důležitých fyzikálních vlastností.

Mladší horniny, které jsou teplejší a měkčí, se při podsouvání více »kroutí« a na místě se kumulují více elastické energie.

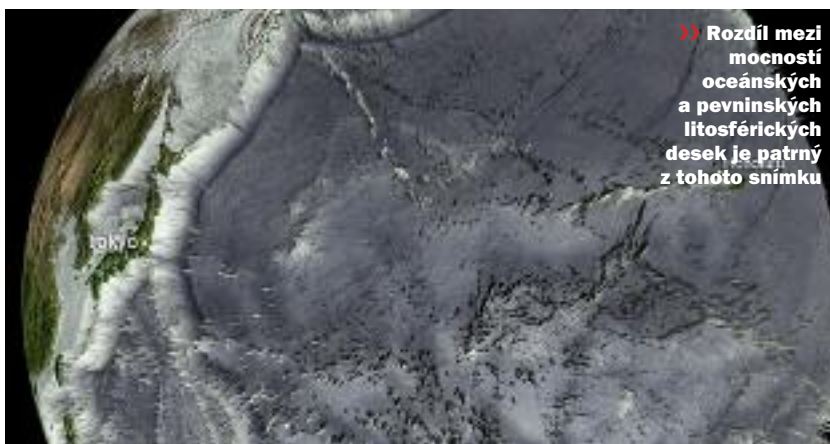
O kůře starší, která je chladnější a hustší, se naopak předpokládá, že se zasunuje rychleji a příměji. Zemětřesení, která jsou tímto způsobena, jsou ve výsledku slabší. Horniny Pacifické des-

hromaděné kvůli podsouvání Pacifické oceánské desky.

Na severu Honšú klid...

Geologické dějiny v okolí města Sendai v prefektuře Mijagi, která leží na severovýchodním pobřeží ostrova Honšú (tedy v severní části Japonska), získaly při letošním zemětřesení od vlny tsunami přímý zásah. Překvapení se konalo i přesto, že tato oblast rozhodně není ze seismologického hlediska nijak výrazně krotká.

„V této oblasti byla seismicita zaznamenána, nikdy však seismicita o síle skutečně gigantického zemětřesení,“ říká Hiroo Kanamori, který se věnuje seismologii na Kalifornském technologickém institutu v Pasadena. Během několika posledních staletí zde byla zaznamenána zemětřesení, jejichž magnitudo bylo zpětně určeno na hodnotu okolo stupně 8 Richterovy škály. Letošní ze-



» Rozdíl mezi mocností oceánských a pevninských litosférických desek je patrný z tohoto snímku

mětřesení však udeřilo s velikostí 9,0, uvolněná energie byla tedy asi 30násobně větší. Něco takového nečekali ani laikové, ani odborníci.

ky v oblasti zasunování pod Japonsko jsou starší, protože leží nejdále od místa vzniku ve východním Pacifiku. Tato hypotéza po obřím japonském zemětřesení už tedy, zdá se, neplatí.



očekávání. Díky kvalitní přípravě a proškolenosti obyvatel však byly oběti na životech relativně nízké.



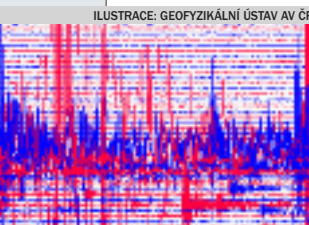
FOTO: ARCHIV GEOFYZIKÁLNÍHO ÚSTAVU AV ČR

» Japonci stavějí domy tak, že se zcela nezhroutí ani při silných otřesech

Málo potrhaný okraj?

Pro menší obavy ze zemětřesení, které by bylo silnější než stupeň 8 Richterovy škály, měli vědci však ještě jeden důvod. Zemětřesení této velikosti totiž vyžadují specifický tvar místa, v němž se obě desky dotýkají. Nejsilnější zemětřesení vznikají tam, kde je linie kontaktu víceméně rovná.

To ovšem neplatí pro příkop u japonských břehů. Linie kontaktu obou desek je zde značně nepravidelná. V takovém případě by musela být délka praskliny zemské kůry přinejmenším 480 km. Skutečnost však očekávaní předčila. Podle údajů Japonské meteorologické agentury byla délka praskliny nakonec celých 500 kilometrů, tedy podél celého východního okraje ostrova Honšú!

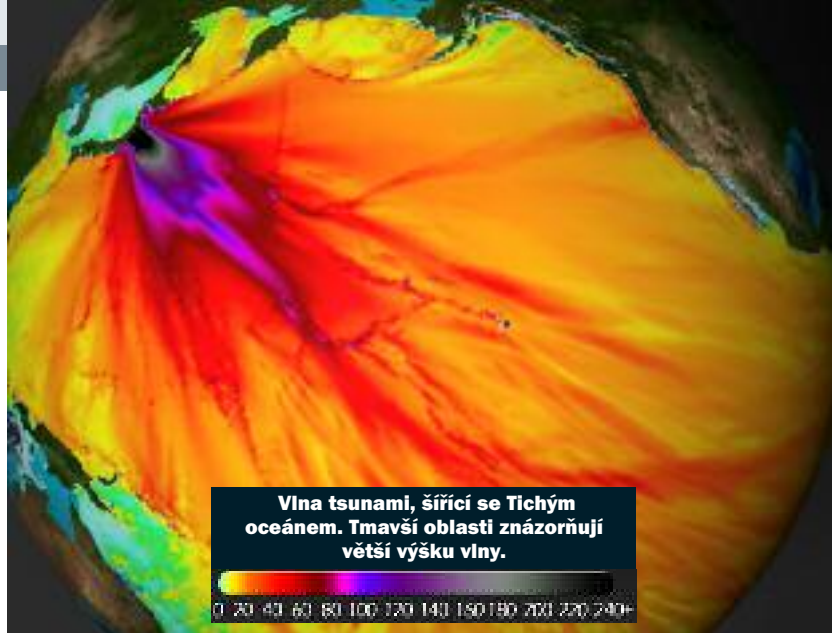


ILUSTRACE: GEOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV AV ČR

» Seismologický záznam japonského zemětřesení, zaznamenaný stanicí v Kašperských Horách

Varování ze starých sedimentů

Jistě není nic snadnějšího než být generálem po bitvě. Geolog a paleoseismolog (viz rámeček) Koji Minoura z Tohoku univerzity v Sendai byl však příslovecným generálem již dlouhou dobu před bitvou. Na základě podrobného studia sedimentů založeného na datování pomocí radiouhlíkové metody v oblasti Sendai dospěl se svými



Vlna tsunami, šíří se Tichým oceánem. Tmavší oblasti znázorňují větší výšku vlny.

0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240+

SCHEMA: ARCHIV GEOFYZIKÁLNÍHO ÚSTAVU AV ČR

mi kolegy k názoru, že tato oblast bývá atakována obřimi vlnami tsunami s periodicitou zhruba 800–1100 let.

Poslední úder, který podle propočtů jeho týmu způsobilo zemětřesení o magnitudu 8,6 Richterovy škály, zasáhl tuto oblast v období éry Jógan v roce 869 n. l. Paleoseismolog Minoura proto již v roce 2001 napsal tato prorocká slova: „Od tsunami Jógan uplynulo již 1100 let. Vzhledem k interválům, s nimiž se tsunami objevují, je pravděpodobnost úderu velké tsunami na planinu Sendai vysoká.“

Seismologové se teď začínají obávat, že podobně mohutné zemětřesení s magnitudem 9, jaké otřásl nedávno Japonskem, může časem vzniknout kdekoli podél okrajů zanášujících se litosférických desek. To by zásadním způsobem změnilo odhad seismického ohrožení mnoha oblastí na Zemi. Paleoseismologie by mohla pomoci vyjasnit tuto nesmírně důležitou otázku.

Jsou velká zemětřesení propojena jako domino?

I krátký přehled těch nejsilnějších zemětřesení v dějinách měření odhalí, že některá z nich následovala relativně krátce po sobě (Sumatra 2004, Chile 2010, Japonsko 2011). Existuje tedy skutečně důvod k obavám z dalšího silného úderu na vzdálenějším místě, způsobeného »dominovým efektem«, který rozjela sumaterská katastrofa? Tuto možnost musejí brát vědci skutečně velmi vážně.

Jelikož přesnou situaci v hrominách hluboko pod zemským povrchem lze určit skutečně stěží, je třeba obrátit svou pozornost ke statistikám. Zatím nejrozsáhlejší studii na toto téma zveřejnila v letošním roce dvojice amerických geofyziků Tom Parsons a Aaron Velasco. Vědci společně pátrali po vzájemných souvislostech zemětřesení o velikosti větší než M7 v datovém souboru za posledních 30 let (končili v roce 2009). Podle jejich závěrů však neexistuje důvod k obavám, přinejmenším na celosvětové úrovni. „Naším závěrem je, že riziko propojení větších zemětřesení sice existuje v bezprostřední dotřesové zóně, ve vzdálenějších regionech jsme však žádnou souvislost neobjevili,“ shrnují své závěry vědci. <<

MICHAL ANDRLE

FÁMA JMÉNEM HAARP

Jednou z fám, která poskytuje »zaručené« vysvětlení příčiny řady zemětřesení z poslední doby, jsou zkažky o tajné geofyzikální zbraňi Američanů, která byla vyvinuta v rámci projektu **HAARP** (česky Vysokofrekvenční aktivní aurální výzkum).



Jak již název naznačuje, jsou observatoře HAARP, umístěné na Aljašce a v Grónsku, určeny především k výzkumu polární

záře a ionosféry obecně. Fáma, že jde ve skutečnosti o tajnou zbraň, založenou na vynálezu Nikoly Tesly, se začala laviovitě šířit především díky internetu. Podle seismologa Jana Zedníka z Geofyzikálního ústavu AV ČR jde o zcela nepodložená tvrzení. „Když odhlédneme od motivace vyvolání silného zemětřesení v Japonsku (zničení konkurence?) nebo na Haiti (ještě větší zbídačení nejchudší země západní polokoule bez jakýchkoli surovin nebo strategického významu?), je tu i nevysvětlitelná stránka odborná. Jak by se vyžářená energie elektromagnetických vln dostala přes vodivou vrstvu vody v Tichém oceánu do hloubky desítek kilometrů, ve které vzniklo obrovské japonské zemětřesení?“ klade seismolog důležité otázky za stáncům této konspirační teorie. <<

FOTO: KIRTLAND AFMIL

FOTO: ARCHIV GEOFYZIKÁLNÍHO ÚSTAVU AV ČR



» Vlna slané vody si dokázala pohrát s lidskou technikou, stala se i příčinou problémů v jaderné elektrárně Fukušima