

Peter Moczo, Eva Rutšeková a kolektiv

ZEMĚTŘESENÍ

Tragické výzvy v dějinách



*Tuto knihu věnujeme všem, kteří mají
radost ze čtení a poznávání.
Zvláště těm, které nikdy nepřestává překvapovat
vztah mezi člověkem a živou planetou.*

Peter Moczo, Eva Rutšeková
a kolektiv

ZEMĚTŘESNÍ

Tragické výzvy v dějinách

GRADA PUBLISHING

Peter Moczo, Eva Rutšeková a kolektiv

Zemětřesení

Tragické výzvy v dějinách

Autorský kolektiv:

prof. RNDr. Peter Moczo, DrSc., seismolog, UK a SAV, Bratislava

Bc. Eva Rutšeková, studentka historie, UK, Bratislava

doc. Mgr. Jozef Kristek, DrSc., seismolog, UK a SAV, Bratislava

doc. Mgr. Martin Gális, PhD., seismolog, UK a SAV, Bratislava

Mgr. Míriam Kristeková, PhD., seismoložka, UK a SAV, Bratislava

Autoři ilustrací: Ladislav Csurma a autoři textu

Fotografie autorů: Vladimír Kuric

Autoři mapy na zadní klopě obálky:

RNDr. Andrej Cipciar (Ústav vied o Zemi SAV, v. v. i., Bratislava)

RNDr. Ivan Prachař, CSc. (IP Consult, Praha)

RNDr. Jana Pazdírková (Ústav fyziky Země, Masarykova univerzita, Brno)

RNDr. Jan Zedník a Mgr. Adrián Michálek (Geofyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Praha)

Recenzenti:

Dr. Pierre-Yves Bard, seismolog, ISTerre, Grenoble

Dr. Michel Bouchon, seismolog, ISTerre, Grenoble

prof. RNDr. Ondřej Čadek, PhD., geofyzik, UK, Praha

Dr. Christa Hammerl, historička, Geosphere, Vídeň

prof. PhDr. Roman Holec, DrSc., historik, UK, Bratislava

prof. RNDr. Peter Markoš, DrSc., fyzik, UK, Bratislava

doc. PhDr. Ján Pavlík, filozof, VŠE, Praha

Vydala Grada Publishing, a.s., U Průhonu 22, Praha 7

www.grada.cz, obchod@gradac.cz, tel.: +420 234 264 401

jako svou 10087. publikaci

Odpovědná redaktorka Věra Slavíková

Jazyková korektura Pavlína Zelníčková

Sazba Miroslav Ferdinand

Počet stran 272

První české vydání, Praha 2025 (aktualizované, rozšířené, doplněné vydání původního slovenského vydání: MOCZO, Peter, RUTŠEKOVÁ, Eva, KRISTEK, Jozef, GÁLIS, Martin, KRISTEKOVÁ Míriam. Zemetrasenia: tragické výzvy v dejinách. Bratislava: Grada Slovakia, 2023. ISBN 978-80-8090-655-9)

Vytiskla tiskárna H.R.G., Litomyšl

© Grada Publishing, a.s., 2025

Cover illustration © Ladislav Csurma

Cover Design © Adrián Macho

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno. Automatizovaná analýza textů nebo dat ve smyslu čl. 4 směrnice 2019/790/EU a použití této knihy k trénování AI jsou bez souhlasu nositele práv zakázány. Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.

ISBN 978-80-271-8027-1 (ePub)

ISBN 978-80-271-8026-4 (pdf)

ISBN 978-80-271-5574-3 (print)

OBSAH

Předmluva.....	11
Úvod.....	17
Zajímavé, ale naivní.....	19
Hněv bohů a neklid zvířat.....	20
Čína a Japonsko.....	21
Staří Řekové	23
Zemětřesení – krátký úvod téměř pro každého	26
Seismologie.....	26
Nitro Země.....	27
Tři pohledy do nitra Země.....	28
Horniny v Zemi – elastické pevné látky, nebo viskózní kapaliny?.....	30
Litosféra a astenosféra	32
Litosférické desky a jejich vzájemný pohyb.....	32
Jak vzniká tektonické zemětřesení.....	37
Seismické vlny	41
Tektonické zemětřesení.....	44
Další seismické vlny	45
Unikátní vlastnosti seismických vln a seismický model Země.....	46
Krátké kapitoly o důležitých pojmech	50
Seismický šum	50
Vlastní kmity Země	51
Velikost zemětřesení.....	53
Makroseismická intenzita	54
Anomální seismické pohyby	56
Početnost zemětřesení.....	58
Zajímavé sekundární jevy v důsledku zemětřesení	59
Lisabon, 1. listopad 1755 – probuzení.....	61
Baixa Pombalina.....	61
Lisabonské zemětřesení a tsunami.....	61
Nová éra zájmu o planetu, na níž žijeme	64
Zemětřesení, které otráslо myslí velikánů – Voltaire, Rousseau a Kant.....	65

Koloniální ambice Portugalska.....	70
Osvícený premiér a obnova zničeného Lisabonu	70
Pohled seismologů na Velké lisabonské zemětřesení.....	73

Od naivních představ k moderní vědě 76

Pozorování zemětřesení a jejich účinků	76
Zemětřesení 18. listopadu 1755 u Cape Ann	77
Tři zemětřesení poblíž města New Madrid v letech 1811–1812 ..	77
Velké neapolské zemětřesení v roce 1857 a Robert Mallet	79
Průlomová myšlenka	81
Richard Dixon Oldham	81
Vývoj přístrojů pro zaznamenávání zemětřesení.....	82
Čínský seismoskop.....	83
Seismoskopy v Evropě a Americe	84
Od seismoskopů k seismografům.....	85
Propojení s fyzikálními teoriemi o šíření vln.....	89
Globální seismologie.....	90

San Francisco 1906 – USA vs. zemětřesení 92

Zemětřesení, které téměř zničilo San Francisco.....	92
Mimořádný zájem vědců.....	96
Kvalita výstavby	97
Zlom San Andreas (a síť zlomů v Kalifornii)	98
Zemětřesení před rokem 1906.....	101
Teorie elastického odskoku.....	101
Vznik Seismologické společnosti Ameriky.....	103

Chile 1960 – když Země zvoní jako zvon.....104

Divoký západ Jižní Ameriky.....	104
Země největších zemětřesení	105
105 sopek.....	106
Největší možné? Velké chilské zemětřesení	106
Tsunami zabijelo i 16 000 km od epicentra.....	108
Rozkmitaná celá planeta.....	111
Sopečné erupce	111
Změny v přírodě a ekosystému	112
Ekonomické škody v Chile	113
Zemětřesení, tsunami, politika a lidé	114

Neuvěřitelné Mexiko 1985 – zkáza na dálku..... 116

Jak bylo založeno hlavní město Mexika	116
Na čem je tedy vybudováno hlavní město Mexika? Geologický a geotechnický pohled.....	121
Zemětřesení v Mexiku.....	123
Zemětřesení 19. září 1985 a bezprecedentní katastrofa v hlavním městě Mexika	126
Seismicky tichá zóna	128
Co se stalo v hlavním městě?	129
Silný seismický pohyb a vliv lokálních geologických podmínek.....	132
Špatná politická rozhodnutí	133
Budoucí zemětřesení	135

Antičtí svědkové středověkých zemětřesení..... 137

Accademia Nazionale dei Lincei.....	137
Záhada římského Kolosea.....	138
Římské Koloseum	138
Zemětřesení v Itálii.....	139
Překvapivé zjištění	141
Jižní část Kolosea.....	141
Koloseum dnes.....	144
Lze pootočít monumentálními sloupy Trajána a Marka Aurelia v Římě?	144
Trajánův sloup.....	144
Sloup Marka Aurelia.....	145
Sloupy a zemětřesení.....	146
Silný lokální efekt	147

Apokalyptická tsunami na Sumatře a v Japonsku.....150

Příběh tsunami vyprávěný přáteli.....	150
Tsunami.....	152
Jak vzniká tsunami	152
Kde vznikají tsunami.....	157
Systémy varování před tsunami zachraňují lidské životy.....	157
Co je dobré vědět na místě, které může být zasaženo tsunami.....	159
Sopky, zemětřesení, tsunami a megatsunami.....	160
Santorini 1650–1600 př. n. l.	160
Krakatoa 1883	161

Meidži Sanriku 1896 a Kantó 1923.....	162
Messina 1908.....	163
Aljaška 1958 – megatsunami.....	164
Sumatersko-andamanské zemětřesení a tsunami v roce 2004.....	167
Tektonická situace.....	167
Zemětřesení.....	168
Tsunami.....	170
Tsunami – katalyzátor řešení politické situace?.....	174
Muselo zemřít tolik lidí?.....	177
Zemětřesení a tsunami v Tóhoku v roce 2011.....	178
Bylo možné v této oblasti očekávat zemětřesení s Mw 9,1 a ničivé tsunami?.....	179
Šťastná okolnost.....	183
Havárie jaderné elektrárny ve Fukušimě.....	184
Co dále?.....	187

Turecko: tragická překvapení a napjatá očekávání..... 188

Předpověď zemětřesení.....	188
Velmi krátké období optimismu.....	189
Vystřízlivění.....	189
Tektonická situace Turecka.....	191
Antakya (Antiochie), roky 115 a 526.....	193
Tisíciletí zemětřesení v Istanbulu.....	193
Aleppo 1822.....	201
Zemětřesení ve 20. a 21. století.....	202
Erzincan a válečná zemětřesení.....	203
Migrace velkých zemětřesení podél Severoanatolského zlomu.....	206
Znepokojivé zemětřesení u Izmitu.....	207
Příliš rychlá trhlina?.....	210
Příznaky blížícího se zemětřesení?.....	212
6. únor 2023: tragické překvapení na Východoanatolském zlomu... 214	
Seismologie zemětřesného dubletu.....	216
Byla únorová série zemětřesení překvapením?.....	218
Proč byla série zemětřesení tak tragická a ničivá?.....	220

Optimistický pohled na závěr – seismometry na Měsíci a Marsu.....	221
Měsíc.....	221
Měsíc v dávné historii lidstva.....	222
Měsíc v moderní době	224
USA a SSSR v soutěži o Měsíc	226
Seismometry na Měsíci.....	228
Události na Měsíci v pasivním seismickém experimentu	231
Aktivní seismické experimenty.....	235
Lunární experiment seismického profilování	236
Vnitřní struktura Měsíce	236
Mars.....	239
Tisíciletí pozorování rudé planety.....	239
Kanály?	241
Mars na Zemi	242
Vesmírný závod o Mars	243
Seismometry na Marsu	245
Mise InSight	245
Unikátní seismometr	246
Seismická aktivita Marsu	248
Seismický model Marsu	250
Dopady meteoritů.....	253
Nová éra planetární seismologie a fyziky terestrických planet	254
Zemětřesení a seismologie budoucnosti	255
Slovníček pojmů.....	257
Použitá literatura a zdroje	262
O autorech.....	270
Poděkování	272

PŘEDMLUVA

Kniha je napínavá jako kriminální thriller; jakmile ji vezmete do ruky, nebudete moci přestat číst. To rozhodně neplatí jen pro zájemce o vědu, protože kniha poutavě vypráví i o tragických individuálních osudech lidí postižených zemětřesením a jeho dopadech na celé regiony. Obsahuje historii, seismologii, ekonomii, politiku, sociologii a mnoho dalšího.

Vídeň, Rakousko
Květen 2024

Christa Hammerl



Tato kniha, která vypráví o výzvách spojených s pochopením zemětřesení a zvládáním všech rizik, jež z nich vyplývají, zaujme velmi široký okruh čtenářů, a to nejen z řad odborné (inženýry, učitele, činitele s rozhodovací pravomocí, urbanisty, vědce všech druhů přírodních, společenských a humanitních věd), ale i široké veřejnosti.

Publikace je též knihou o historii, a proto se zaměřuje na minulé události, na to, jak byly vnímány, co bylo opomenuto, co bylo zdrojem poučení, co by se dalo zlepšit. Historie není u konce a vzhledem k růstu světové populace a její koncentraci v městských centrech jistě ještě za života čtenářů dojde k novým velkým katastrofám.

Tuto knihu vřele doporučuji studentům středních a vysokých škol: získají vzrušující představu nejen o seismologii, ale i o mnoha dalších oborech a postranních dveřích, které seismologie otevírá, aby snížila různá rizika.

Některé z nich jsou vědeckými nebo technologickými dveřmi, které otevírají nové slibné cesty. Kromě řady jiných i vývojem

nových technologií snímání, od velmi sofistikovaných (tisíce kilometrů optických kabelů na pevnině a mořském dně, satelitní snímky atd.) až po mnohem jednodušší, cenově dostupné nízkonákladové senzory, které otevírají cestu „občanské seismologii“. Některé další dveře mohou vést k operativnímu zlepšení stavebních technologií, systémů včasného varování, sociální a institucionální organizace a optimálního využití nástrojů umělé inteligence. To vše má vést k analýze informací o zemětřeseních a ke snížení očekávaného dramatického počtu obětí a ekonomických ztrát. A některé z těchto dveří jsou stále neznámé a čekají, než je objeví a prozkoumá mladší generace: přečtěte si tuto knihu a napište další vydání s novými poznatky a novými odpověďmi na stejné dlouhodobé výzvy!

Le-Monétier-les-Bains, Francie
Květen 2024

Pierre-Yves Bard



Tato kniha vás zavede na fascinující vědeckou cestu do nitra naší planety i mimo ni a na strhující cestu časem ve snaze lidstva porozumět zemětřesením a v jeho úsilí se s nimi vypořádat.

Zemětřesení jsou působivé jevy, protože otrásají samotným povrchem Země, na kterém stojíme a žijeme. Vznikají z přírodních sil uvnitř Země, ale původ a povaha těchto sil byly dlouho záhadou. Cílem a ambicí této knihy je střípky této záhady čtenáři odhalit a vysvětlit, jak byla zemětřesení vnímána v průběhu času a jak ovlivnila dějiny lidstva. Ačkoli mohou být zemětřesení velmi tragická, jsou nezbytným znakem toho, že Země je živou planetou. Je třeba si uvědomit, že na planetě bez zemětřesení by nebyl lidský život.

Dalším důležitým aspektem zemětřesení, který je třeba mít na paměti, je to, že lidi nezabíjejí samotné otřesy Země, ale zhroucení

člověkem vytvořených staveb, v nichž žijí. Dnes již umíme stavět konstrukce, které odolávají i silným otřesům půdy. Do budoucna tedy existuje naděje.

Jádrem seismologie je studium zemětřesení, ale seismologie je také hlavním oborem studia Země, protože vyzařování seismických vln při zemětřesení osvětluje hlubiny Země a poskytuje nejcennější údaje, které o nitru naší planety máme. Na seismických vlnách závisí také průzkum nerostných surovin a zdrojů, od plynu a ropy až po geotermální energii.

Jak zjistíte v této knize, studium velkých zemětřesení je fascinující téma. Fyzika a mechanika, které jsou s nimi spojeny, jsou téměř neuvěřitelné. Zemětřesení, které vyvolalo dramatické okamžiky v Turecku v roce 2023, protřhlo zemský povrch v délce téměř 400 km. Dotýkající se tektonické desky se na této vzdálenosti posunuly v celé velké části Turecka v průměru o 5 m. Během tohoto zemětřesení se trhлина šířila podél zlomu rychlostí dosahující místy až 5 km za sekundu. Při velkém zemětřesení na Sumatře v roce 2004 se trhлина šířila pod mořem v délce více než 1200 km. Velké zemětřesení v Japonsku v roce 2011 vzniklo náhlým zanořením oblasti Pacifické desky pod Japonskem o délce 450 km a hloubce 150 km. K tomuto vzájemnému pohybu došlo během dvou minut a na některých místech dosáhl až 50 m.

Zemětřesení byla po celá tisíciletí vykládána jako projev tajemných sil, často spojených s náboženskou vírou a zakořeněných v mytologiích. Je překvapivé, že první vědecké pokusy o pochopení tohoto jevu přišly až ve druhé polovině 19. století. Tyto první poznatky pocházely z geologických terénních pozorování, která byla provedena po několika velkých zemětřeseních a naznačovala, že otřesy Země souvisejí s posunem bloků zemské kůry podél zlomů. Jak se však dočtete, na základní pochopení tohoto mechanismu bylo třeba počkat až do roku 1906, kdy zničení důležitého západního města – San Francisca – šokovalo vyspělý civilizovaný svět a vyžadovalo vědecké vysvětlení.

Dlouhá cesta od legend k vědě je poutavou nití knihy, která ukazuje, jak se jednotlivé civilizace vypořádávaly se záhadou zemětřesení, přičemž je někdy přisuzovaly přítomnosti obřích zvířat ukrytých v nitru Země, jindy používaly poetičtější popis.

Dozvíte se, že vědecká charakteristika seismických vln je také překvapivě mladá, pochází z 19. století. Protože v té době ještě neexistovaly přístroje pro zaznamenávání zemětřesení, byla existence příčných a povrchových vln zjištěna čistě teoreticky matematiky a fyziky, kteří patřili k největším své doby.

Tento rychlý vědecký pokrok, následovaný vývojem přístrojů, znamenal zrod nové vědy: seismologie. V následujících letech nám seismické vlny vyvolané zemětřesením umožnily odhalit nitro Země. Tyto poznatky byly zásadní pro pochopení zrodu a vývoje naší planety, původu jejího magnetického pole nebo pro hledání zemských zdrojů, které se staly pilířem průmyslové revoluce. Mnoho záhad však zůstalo. Nebylo vysvětleno, kde vznikají zemětřesení, a nebylo pochopeno, proč se některá z nich odehrávají hluboko v Zemi, kde se předpokládalo, že jsou horniny roztavené.

Jak už to ve vědě bývá, pochopení tohoto problému mělo přijít z jiné oblasti: z výzkumu hlubin oceánu. V 50. a 60. letech 20. století byly zahájeny rozsáhlé programy průzkumu oceánů s využitím nově vyvinutých technologií. Jedním z nejzajímavějších údajů byly magnetické profily zaznamenané na dně oceánů, které ukazovaly téměř periodický vzor střídání kladných a záporných magnetických anomálií, uspořádaných v téměř dokonalé symetrii vzhledem ke Středoatlantskému hřbetu. Ačkoli byla tato data zpočátku kontroverzní, ukázalo se, že jsou otiskem inverzí magnetického pole Země, a poskytla důkaz jevu, který byl již dříve navrhován, ale vědeckou komunitou odmítán: drift kontinentů. Od té doby vedla kombinace pozorování ze všech oblastí věd o Zemi k revoluční teorii deskové tektoniky. Velká zemětřesení v zemské kůře, jako byla zemětřesení v San Franciscu nebo v Turecku, jsou důsledky náhlého vzájemného pohybu desek v horizontálním směru,

zatímco velká zemětřesení v Japonsku, Jižní Americe nebo Mexiku vznikají v důsledku vzájemného pohybu desek, při kterém se oceánská deska zanořuje pod sousední kontinentální desku.

Zatímco desková tektonika způsobila převrat ve vědách o Zemi, průzkum Měsíce a Sluneční soustavy přitahoval značnou pozornost, což je vzrušující dobrodružství, o němž se také dočtete v této knize. Dne 20. července 1969, v den prvního přistání člověka na Měsíci, byl na měsíčním povrchu jako první umístěn seismometr. Následující mise Apollo přidaly další seismické přístroje, které úspěšně a nepřetržitě pracovaly po dobu 8 let, zaznamenaly četná lunotřesení a odhalily strukturu Měsíce. O sedm let později byly seismometry umístěny na Marsu.

Grenoble, Francie
Květen 2024

Michel Bouchon

První české vydání je aktualizací a doplněním původního slovenského vydání knihy.

ÚVOD

Mimořádně tragické události v dějinách znamenaly nejen okamžité lidské utrpení, ale navždy poznamenaly další vývoj lidstva. To platí také pro nejtragičtější zemětřesení a tsunami. Zdaleka nešlo pouze o přírodní katastrofu a řešení jejích viditelných materiálních důsledků. Zejména od dob osvícenství přinesla největší zemětřesení a tsunami, která zasáhla obydlené oblasti, vždy také velkou změnu v přístupu vědců, politiků i veřejnosti k přírodním hrozbám. Vždy přinesla i nečekaný a překvapivý pokrok v poznání planety, na níž žijeme.

Dne 1. listopadu 1755 byl Lisabon zničen zemětřesením a tsunami. Doslova nikdo nechápal, co se stalo a proč se to stalo. Učenci světa si uvědomili, že ve skutečnosti nevědí, co se děje pod povrchem Země a v celém jejím nitru. A přitom už věděli tolik o planetách a měsících Sluneční soustavy a jejich pohybech v obrovských vzdálenostech od Země. Téměř fyzikální teorii světa, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, publikoval již v roce 1687 anglický fyzik, matematik, astronom, alchymista a teolog sir Isaac Newton (1642–1727).

Proč tedy nikdo ani netušil, jak a proč zemětřesení a tsunami vznikají? Jednoduše proto, že nitro Země je, až na několik zanedbatelných výjimek, nepřístupné přímým pozorováním a měřením. Fyzici Země (geofyzici) jsou odkázáni na to, aby z měření fyzikálních veličin a dalších pozorování na zemském povrchu doslova dešifrovali, jaká je vnitřní struktura Země a jaké procesy v ní probíhají. To je matematicky a fyzikálně velmi zajímavé a náročné.

Velká zemětřesení a tsunami přinášejí nejen tragédie a zkázu. Jsou také šancí naučit se, jak se na ně v budoucnu lépe připravit, protože budou ohrožovat stále hustěji a složitěji obydlený povrch Země.

Tuto knihu jsme se snažili napsat pro všechny, od školáků až po seniory, abychom vysvětlili, jak fascinující jevy jsou velká zemětřesení a tsunami v životě naší planety a hlavně v životě jejích obyvatel.

Vzhledem k tomu, že zemětřesení a tsunami jsou jak přírodní, tak společenské jevy, je přirozené a zároveň důležité dívat se na ně ze dvou perspektiv: z perspektivy seismologa a z perspektivy historika.

Čtenářsky přívětivým způsobem vysvětlíme, co jsou to zemětřesení a tsunami. Pak přinášíme zajímavé příběhy – o seismologii, zemětřeseních a tsunami, která změnila postoj lidí, vlád a vědců k naší planetě. Skončíme seismologií mimo naši planetu Zemi – na Měsíci a Marsu.



Podle japonské mytologie zemětřesení vznikají, když sebou začne divoce házet obří sumec, známý jako Namazu. Neklidného sumce hlídá božstvo Takemikazuči (také Kašima), které mu v pohybu brání tím, že ho zavalí velkým kamenem.



ZAJÍMAVÉ, ALE NAIVNÍ

Z dnešního pohledu můžeme říci, že lidé žijící v blízkosti aktivních zlomů vnímali od nepaměti pro ně překvapivé, podivné a zlověstné otřesy povrchu Země. Avšak otřesy mohli zažít i lidé, kteří žili ve větších vzdálenostech od zlomů – zvláště pokud žili na povrchu sedimentárních pánví a údolí. Sedimenty mohly totiž dramaticky zesílit otřesy zemského povrchu způsobené zemětřeseními s epicentry vzdálenými i stovky kilometrů.

V raných dobách lidských civilizací nemohli lidé vědět o existenci seismoaktivních zlomů. A už vůbec ne o zesilujících účincích povrchových sedimentů. První fyzikálně přijatelná teorie vzniku tektonických zemětřesení byla publikována v roce 1910, pět let po zveřejnění speciální teorie relativity! Teorie litosférických desek, která poskytla vysvětlení hlavních seismotektonických zlomů, začala vznikat v 60. letech 20. století. A přestože byl zesilující efekt sedimentární vrstvy rozpoznán po velkém zemětřesení v Kantó v roce 1923, pochopení složitosti seismického pohybu v sedimentárních pánvích a údolích se objevilo až v 80. letech 20. století. Není proto divu, že v průběhu tisíciletí vznikaly různé zajímavé a z dnešního pohledu docela naivní představy o původu zemětřesení. Překvapivá je až bizarní rozmanitost a povaha mnohých raných pohledů na zemětřesení. Čím hlouběji se vracíme v čase, napříč různými regiony světa, tím více nacházíme představy, které byly výsledkem mnohých faktorů různé objektivní nebo subjektivní hodnoty. Rané představy o světě, Zemi, přírodě, životě, lidech a zvířatech se zřetelně projeví i ve vnímání tak výjimečného jevu, jako jsou zemětřesení, která doslova otřásala jednotlivci, sídlem, městem a někdy i celou zemí.

Hněv bohů a neklid zvířat

V mnohých částech světa si lidé vysvětlovali zemětřesení jako důsledek jednání mytických zvířat, která byla uctívána a často jim byly přisuzovány zvláštní nebo nadpřirozené vlastnosti. Na území Mongolska se kdysi věřilo, že Země se trásla, když se pohnula žába, která na příkaz bohů-stvořitelů nesla Zemi na zádech. Lidé ve východní Africe si představovali, že Zemi nese na jednom z rohů kráva, která stojí na kameni položeném na zádech ryby. Když krávu začal bolet krk, přehazovala si Zemi z jednoho rohu na druhý. Země se přitom trásla.

Domorodé kmeny v Kaskádii si zemětřesení a tsunami vysvětlovaly jako boj mezi ptákem bouřlivákem a velrybou nezměrné velikosti a nevídané síly. Podle legend nesla velryba na svých zádech veškeré tvorstvo. Nad velrybou kroužil pták bouřlivák s jezerem na hřbetě, ze kterého se na svět snášely bouře a deště. Zápasící pták zažbořil své drápy do hřbetu velryby, což způsobilo dramatické otřesy. Pod tlakem drápů se velryba s celým světem ponořila hluboko pod hladinu. Tento mýtus je specifický pro Vancouver Island a severní Oregon, ale jeho obdoby se vyskytují v celé oblasti Kaskádie. Pták bouřlivák a velryba dodnes soupeří na malbách a rytinách na stěnách vancouverských útesů.

Úzké spojení s okolní přírodou a závislost na ní způsobily, že i obyvatelé úrodného půlměsíce měli hluboké povědomí o zemětřeseních. Civilizace osídlující území mezi řekami Eufrat a Tigris – Mezopotámii – měly vlastní výklad zemětřesení vyplývající ze specifických podmínek, v nichž žily.

Podle Sumerů, kteří obývali jižní Mezopotámii přibližně od 5. do 2. tisíciletí př. n. l., byli za otřesy Země odpovědní bůh vody a země Ea nebo Iškur, bůh přívalových dešťů, vegetace a hromu.

Pravděpodobně nejstarší zmínka o varovných signálech předcházejících zemětřesení pochází od Sumerů. Nachází se v legendě o Inanně, bohyni plodnosti, lásky a války. Inanna měla způsobit zemětřesení tím, že zničila obrovskou horu. Ještě před zemětřesením

se za jejího hlasitého varovného řevu začaly z hory kutálet kameny a velcí hadi chrlili jed. Tyto jevy lze interpretovat jako silné předtřesy a vznik povrchových trhlin, z nichž se na povrch Země dostávaly ropa a zemní plyn. V některých případech se mohl zemní plyn vznítit, protože zmínka o požárech v postižené oblasti se opakuje v několika verzích mýtu.

Babylonský *Epos o Gilgamešovi* vypráví o třech zemětřeseních s více než sto oběťmi, které měl způsobit nebeský býk (Alú), jež seslal bůh nebes Anu na krále Gilgameše.

Ve Skandinávii byla zemětřesení přisuzována bohu Lokimu. Ten byl za vraždu svého bratra Baldra připoután ke skále v podzemní jeskyni. Nad jeho hlavou syčel had, jehož jed kapal z jedovatých zubů na Lokiho hlavu. Lokiho manželka Sigyn chytala kapky jedu do mísy. Když se mísa naplnila a Sigyn se vzdálila, aby ji vylila, Loki se snažil vyhnout kapkám jedu tím, že se vrhal ze strany na stranu, čímž způsoboval otřesy Země.

V představách původních obyvatel území dnešního Rumunska spočívala Země na třech pilířích – dobrotě, naději a víře. Jakmile lidstvo svými činy jednu z těchto hodnot popřelo, pilíř zeslábl a Země se zatřásla.

Čína a Japonsko

Zemětřesení sužovala také některé oblasti Číny. Zemětřesení tam vysvětlovali jako důsledek narušení rovnováhy kosmických principů jin a jang, nebo nespokojenosti bohů s jednáním soudobé vládnoucí dynastie. Jin a jang patří mezi nebeské vlivy, které jsou základem vyváženého fungování celého vesmíru. Jang představoval žár a sucho větru a slunce, zatímco jin představoval temnotu a vlhko útroby Země. Zemětřesení vzniklo v důsledku nahromadění energie jang v prostředí jin. Takový stav kosmické nerovnováhy mohlo také způsobit jednání vlády, jež se neřídilo morálními principy.

Japonsko se s častými zemětřeseními potýká od nepaměti. Na některých místech zaznamenají seismické stanice dokonce několik tisíc otřesů, které ale lidé nemusejí pociťit. Představy o zemětřeseních však vznikaly na základě těch zemětřesení, která lidé pociťovali a ze kterých mnohá způsobila škody. Znáмым je mýtus o obřím sumci jménem Namazu, který měl být pod kontrolou božstva hromu a meče Takemikazučiho, známého také jako Kašima (pojmenovaného podle svatyně ve městě Kašima, kde bylo uctíváno).



Bez dozoru
způsobí
Namazu
zemětřesení,
při kterém
často dochází
k rozsáhlým
požárům.

Věřilo se, že božstvo zadržuje neklidného sumce žijícího v podzemí nebo v bahně tak, že jej zavalí velkým kamenem zvaným kanameiši. Údajně to měl být základní kámen města Kašima. Když Kašima na okamžik ztratil nad Namazuem kontrolu, sumec sebou začal divoce házet a způsobil tak zemětřesení. Mýtus byl poměrně neznámý, větší pozornost si získal až po zemětřesení, které zasáhlo město Edo (nyní Tokio) v roce 1855. Pro mnohé toto zemětřesení potvrdilo víru v Namazua, jelikož k němu došlo v desátém měsíci, kdy všechna japonská šintoistická božstva opouštějí své svatyně a shromažďují se ve městě Izumo v prefektuře Šimane. Protože i božstvo Kašima bylo pryč a nemohlo tedy udržet obřího sumce pod kontrolou, způsobil sumec svým házením velké zemětřesení.

Po zemětřesení v roce 1855 se rozšířily ilustrace sumců, známé jako „namazu-e“. Tradičně zobrazovaly Kašimu, který krotil vzpírajícího se Namazua kamenem. Mytologický sumec se též stal symbolem mstitele sociální nerovnosti. Majetníci, kteří soustředili velkou část bohatství, museli přispět na obnovu zničených domů a města po zemětřesení.

Staří Řekové

Také území Řecka je regionem častých zemětřesení. Řeckým bohem zemětřesení byl Poseidon a byl to právě hněv „Zemětřesitele“, který byl v řecké mytologii považován za příčinu zemětřesení. Byly to však názory řeckých filozofů, které zastávaly významné místo v celé historii vnímání zemětřesení před vznikem seismologie jako vědecké disciplíny na počátku 20. století.

Řeční filozofové byli fascinováni zemětřesením jako jedinečným přírodním jevem a snažili se mu porozumět. Jejich racionální úvahy pravděpodobně nebyly omezovány náboženstvím nebo aspekty přežití. Thalés z Milétu (asi 624–546 př. n. l.), považovaný za průkopníka starověkého přírodního poznání, vnímal zemětřesení

jako důsledek toho, že Země pluje na nekonečné vodní hladině jako loď. Anaxagorás z Klazomen (500/497–428/427 př. n. l.) věřil, že k zemětřesení dochází, když stoupne hladina éteru uvnitř zemských dutin a éter z nich nemůže uniknout, protože póry v Zemi jsou ucpané dešťovou vodou. Anaximenés z Milétu (asi 585–524 př. n. l.) předpokládal, že k zemětřesením dochází, když v Zemi vznikají trhliny buď v důsledku nadměrného vysychání, nebo nadměrného nasycení Země vodou. Také Démokritos z Abdér (asi 460–370 př. n. l.) spojoval vznik zemětřesení s přítomností vody v Zemi. Silné deště měly zemské nitro nasytit do té míry, že se s tím Země nedokázala vypořádat a reagovala pohyby a otřesy.

Žádná z těchto představ nevysvětluje, proč k zemětřesení na některých místech dochází a na jiných ne. Také neberou v úvahu období zvýšené seismické aktivity, nemluvě o zřejmých logických nedostacích každé z představ.

Aristoteles (384–322 př. n. l.), Platónův student, byl jedním z nejvýznamnějších filozofů starověku. Jeho dílo zahrnovalo prakticky všechny oblasti tehdejšího poznání a více než 2000 let ovlivňovalo vývoj vědeckého poznání. Výjimkou nebyly ani jeho představy o původu zemětřesení, které prezentoval ve svém díle *Meteorologica*. Jeho překvapivě podrobná teorie byla založena na konceptu exhalací Země. Samotná zemětřesení měla vznikat, když se uvolnilo velké množství vzduchu, který se nahromadil uvnitř Země v důsledku odpařování podzemní vody. Přítomnost vody a odpařování jsou podmíněny geologickým podložím (určuje množství dešťové vody shromážděné uvnitř Země) a počasím (je příčinou přítomnosti vody jako takové).

Aristotelovy představy přetrvávaly v podstatě až do poloviny 18. století. Zásadní změnu v nahlížení na nitro Země a procesy v Zemi iniciovalo šokující zemětřesení 1. listopadu 1755, které spolu s doprovodným tsunami zničilo téměř celý Lisabon. Po tomto zemětřesení se objevily první moderní názory ohledně povahy zemětřesení. Britský přírodovědec John Michell (1724–1793)

přemýšlel o zemětřesných pohybech v termínech newtonovské mechaniky. Předpokládal, že zemětřesení je vlnění způsobené posunem hmot několik kilometrů pod zemským povrchem.

Teprve v letech 1910 a 1911 publikoval americký geofyzik Harry Fielding Reid (1859–1944) první fyzikálně přijatelnou teorii o původu tektonických zemětřesení, založenou především na analýze zemětřesení z 18. dubna 1906 v Golden Gate poblíž San Francisca.



ZEMĚTŘESENÍ – KRÁTKÝ ÚVOD TÉMĚŘ PRO KAŽDÉHO

Tento úvod do tématu zemětřesení jsme napsali proto, aby byla kniha čtenáři srozumitelná i bez základních znalostí o zemětřeseních a seismologii. Nepředpokládáme ani přírodovědné, ani technické vzdělání.

V následujících kapitolách budeme obecně srozumitelným způsobem používat některé základní seismologické pojmy. Věříme, že tyto kapitoly budou zajímavé svými důležitými a často překvapivými informacemi i pro ty čtenáře, kteří všem seismologickým pojmům plně nerozumějí. Pokud si však přečtou náš krátký úvod, mohou si čtení dalších kapitol užít ještě více.

Během čtení může také kdykoli pomoci slovníček pojmů na konci knihy.

Seismologie

Název seismologie pochází z řeckého slova seismós (σεισμός), což znamená třesení země. Seismologie je součástí fyziky Země (geofyziky), která zkoumá:

- šíření seismických vln v Zemi a seismický pohyb povrchu Země,
- strukturu nitra Země, Měsíce a Marsu,
- zemětřesení, lunotřesení a marsotřesení,
- detailní strukturu zemské kůry,
- seismický šum Země,
- vlastní kmity Země.

Podle cíle výzkumu lze rozlišit zejména:

- seismologii zemětřesení a zemětřesného ohrožení,
- seismologii zaměřenou na strukturu zemského nitra,
- prospekční seismologii, která využívá uměle generované seismické vlny pro hledání ložisek nerostných surovin,
- seismologii monitorování jaderných explozí.

Nitro Země

Pro poznání nitra Země je zásadní to, že nitro Země je v podstatě nepřístupné přímým měřením a pozorováním, je velké a má velmi složitou materiálovou a reologickou strukturu.

Materiálovou strukturu lze chápat jako prostorové rozložení hodnot materiálových parametrů. Tyto hodnoty se mění plynule, ale také nespojitě v závislosti na poloze uvnitř Země. Pro výzkum zemětřesení a šíření seismických vln jsou nejdůležitějšími parametry modul nestlačitelnosti, modul pružnosti ve smyku (modul torze), hustota a faktory kvality základních typů seismických vln.

Modul nestlačitelnosti kvantifikuje odpor materiálu vůči objemovému stlačení. Modul pružnosti ve smyku kvantifikuje odpor materiálu vůči smykové (torzní nebo střižné) deformaci. Hustota je každému dobře známý materiálový parametr. Převrácené hodnoty faktorů kvality seismických vln charakterizují, jak je mechanické kmitání tlumeno vnitřním třením, které způsobuje disipaci energie.

Seismický model Země je modelem prostorového rozložení hodnot těchto materiálových parametrů. Je důležitý pro pochopení šíření seismických vln v Zemi.

Řecké *panta rhei* znamená „vše plyne“ a volněji nebo výstižněji také „všechno se mění“ nebo „nic nezůstává stejné“. To měl na mysli starověký řecký filozof Hérakleitos (6.–5. století př. n. l.). Profesori Eugene C. Bingham (1878–1945) a Markus Reiner (1886–1976), inspirováni Hérakleitem, zavedli termín reologie pro vědeckou dis-