

# Tsunami

Jan Zedník, Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky



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

## Obsah:

- Jak vzniká tsunami
- Kde vznikají tsunami
- Příklady významných tsunami
- Pacifický varovný systém
- Jak se chránit před tsunami

## **Jak vzniká tsunami**

Tsunami jsou mořské vlny velmi dlouhých vlnových délek a period. Jsou způsobovány rychlým přesunem rozsáhlé masy vody v mořích a oceánech. Nejčastěji 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 zhroucením 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. Neznamena to ovšem, že účinky tsunami jsou stejné na všechny strany. Směrovost 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.

### **Kde vznikají tsunami**

Většina tsunami vzniká v Tichém oceánu. Ale to neznamená, že ostatní oceány jsou toho 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. Jenom Havajské ostrovy ležící ve středu Pacifiku trpěly mnohokrát při náporu těchto oceánských vln. 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.

Za vznikem ničivých tsunami většinou stojí silná tektonická zemětřesení pod mořským dnem na okraji tektonických desek. Zemský povrch je složen z několika pevných desek o tloušťce 70-250 km, které se pohybují po vrstvě nataveného materiálu svrchního pláště nazývaném astenosféra. Litosférické desky pokrývají celý povrch Země a zahrnují jak kontinenty tak oceánské dno. Hlavní desky se jmenují Euroasijská, Americká, Africká, Indická, Australská, Antarktická, Pacifická a deska Nazca. Mezi menší desky se řadí například Arabská, Filipínská, Karibská nebo deska Cocos. Hnací motorem pohybu litosférických desek, který dosahuje rychlostí až 10 cm za rok, jsou patrně pomalé konvekční proudy v zemském plášti způsobené tepelnou výměnou. Na okraji tektonických desek může docházet ke třem základním typům vzájemného pohybu: oddalování, podsouvání a horizontálnímu pohybu po transformních zlomech. Tam kde se desky od sebe oddalují, výstupem nataveného materiálu z hlubin dochází k rozšiřování mořského dna, eventuálně k narůstání pevniny jako na Islandu. Příkladem transformních zlomů mohou sloužit San Andreas v Kalifornii nebo 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. Nejsilnější zemětřesení ale vznikají na konvergentních okrajích při podsouvání jedné tektonické desky pod druhou. Konvergentní okraje lemují západní pobřeží střední a jižní Ameriky, Aljašku a Aleutské ostrovy, Kamčatku, Japonsko, Filipíny, Indonésii a Nový Zéland. Pro tento typ okraje desek jsou dále typické hluboké oceánské příkopy a sopečné ostrovy nebo pásma sopečných pohorí. Proto se také okraj Pacifiku někdy nazývá ohnivým prstencem.

### **Příklady významných tsunami**

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 zpusošila 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, vyhazovat 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 blízcích 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 toto tsunami způsobilo následně značné škody v celém Pacifiku.

Lisabon byl v r. 1755 kvetoucí město, jedno z nejbohatších v tehdejším 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 chvílky 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.



Obr. 1. Dobová rytina zkázy Lisabonu r. 1755 ze sbírky historických vyobrazení zemětřesení Jana Kozáka.

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 km<sup>3</sup> 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 pomořské zemětřesení vyvolaly silné tsunami. Vlny vysoké několik desítek metrů zasáhly severní pobřeží Kréty a zničilo 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. 1983. 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 nejjihnějším 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.

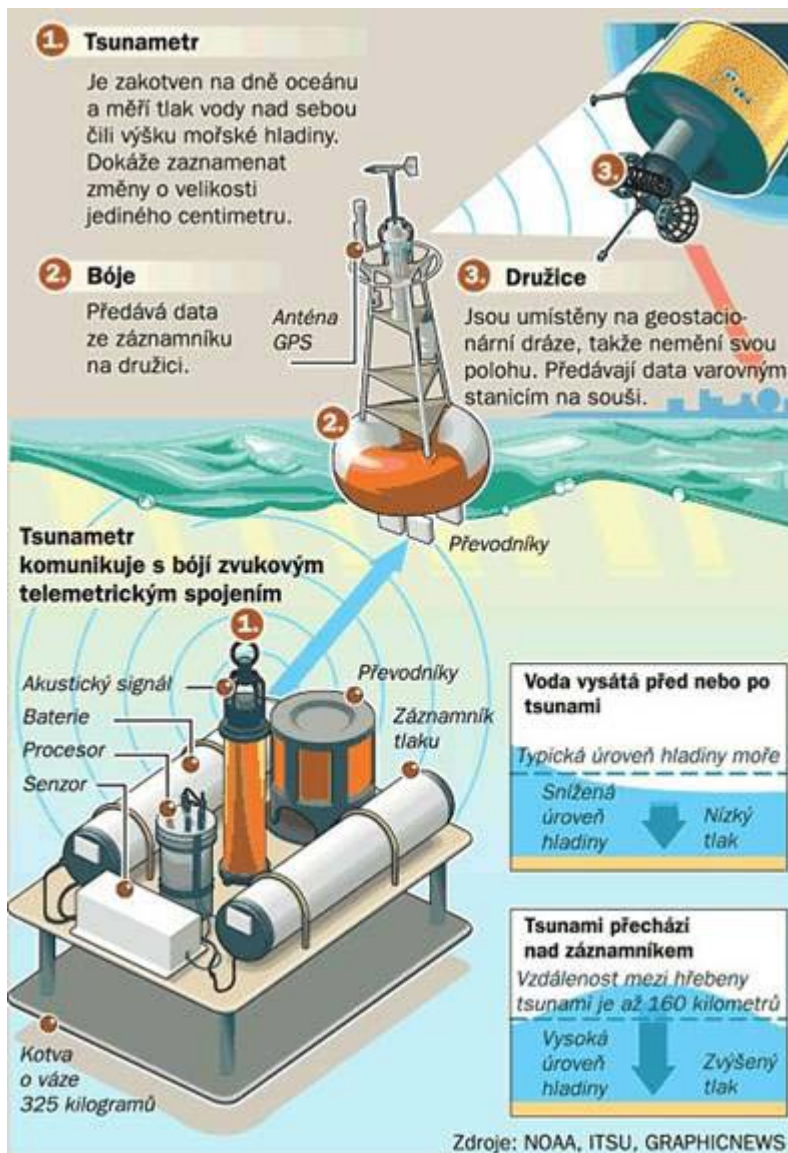
Sumatra a s ní celý okraj Indického oceánu poznaly plnou sílu tohoto přírodního jevu 26. prosince 2004. Zemětřesení o síle 9.0 na Richterově stupnici nadzvedlo mořské dno podél Sundského příkopu v délce asi 1200 km o několik metrů a vyvolalo vlnu tsunami, která za několik desítek minut zpustošila západní pobřeží Sumatry a pak postupně zaplavila Thajsko, Sri Lanku a Indii, Maledivy a po téměř 10

hodinách i východní pobřeží Afriky a vyžádala si přes 160000 obětí. Obrovský přesmyk barské desky přes indickou desku tak způsobil jednu z netragičtějších katastrof v dějinách lidstva. Vystala tak potřeba vytvořit v Indickém oceánu varovný systém, který by upozorňoval na nebezpečí příchodu ničivých vln.

### **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 vyžádalo 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. 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 ještě také stává.



Obr.2. Schéma měření tsunami na dně oceánu (převzato z internetového serveru iDnes)

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 přízemím domu a nepoškodila vyšší patra. Betonové hotely skýtají ve 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 v 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 popsána v následujícím odstavci mohou zachránit mnoho lidských životů.

### **Jak se chránit před tsunami**

- Pokud zjistíte, že nastalo silné zemětřesení, buďte připravení 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 nedbaly takové výstrahy a považovaly ji za planý poplach.
- Blížící se tsunami je někdy ohlašováno 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 kousek 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 nechodte dívat na tsunami na pobřeží. Když ji vidíte, jste příliš blízko na únik.

### **Použitá literatura**

- 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 geophysique, France
- J. Kozák. Historical earthquakes in Europe, Swiss Reinsurance Company, Zurich, 1991
- Wikipedia – The free encyclopedia (<http://en.wikipedia.org>)