

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

TSUNAMI A OCHRANA OBYVATELSTVA

Bakalářská práce

Autor: Radek Vodička

Vedoucí práce: Mgr. Olga Halášová

Olomouc 2019

Jméno a příjmení autora: Radek Vodička

Název bakalářské práce: Tsunami a ochrana obyvatelstva

Pracoviště: Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta tělesné kultury

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Olga Halášová

Rok obhajoby: 2019

Abstrakt: Bakalářská práce je zaměřena na tsunami a ochranu obyvatelstva proti událostem tsunami. V první části jsou popsány základní pojmy tsunami, vznik, výskyt a základní vlastnosti tsunami. Dále se zabývám popisem vybraných tsunami ve světě, jejich příčinami, průběhem a následky. Ve druhé části se zabývám ochranou obyvatelstva před tsunami, což zahrnuje prevenci, varovné systémy, informovanost obyvatelstva a ochranné stavby.

Klíčová slova: tsunami, voda, ochrana obyvatelstva, zemětřesení, vlna

Souhlasím s půjčováním písemné závěrečné práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Radek Vodička

Title of the bachelor thesis: Tsunami and Civic Defence

Department: Palacký University Olomouc, Faculty of Physical Culture

Supervisors: Mgr. Olga Halášová

The year of presentation: 2019

Abstract: The bachelor thesis is focused on tsunami and civic defense against tsunami events. The first part describes the basic concepts of tsunami, origin, occurrence and basic characteristics of tsunami. Next I deal with description of selected tsunami in the world, their causes, course and consequences. In the second part I deal with the civic defense against tsunami, which includes prevention, warning systems, population awareness and protective buildings.

Keywords: tsunami, water, Civic Defence, earthquake, wave

I agree the thesis paper to be lent with in the library service.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Olgy Halásově, uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a řídil se zásadami vědecké etiky.

V Olomouci dne:

Podpis:

Děkuji Mgr. Olze Halásově za odbornou pomoc a cenné rady a také za poskytnutí literatury a informací, které mi pomohly při zpracování bakalářské práce. Díky patří i mé rodině, která mě vždy podporuje a pomůže kdykoliv je to možné.

OBSAH

1 Úvod	7
2 Přehled poznatků	8
2.1 Tsunami	8
2.1.1 Vznik tsunami	12
2.1.2 Výskyt tsunami.....	16
2.1.3 Stupnice velikosti tsunami podle projevů a účinků	17
2.2 Vybraná tsunami ve světě.....	18
2.2.1 Lisabon 1755	18
2.2.2 Krakatau 1883	18
2.2.3 Chile 1960.....	19
2.2.4 Sumatra 2004	19
2.2.5 Japonsko 2011	20
3 Cíle	21
4 Metodika	22
4.1 Zpracování dat	22
4.2 Rešerše literatury	22
5 Výsledky	23
5.1 Ochrana obyvatelstva proti tsunami.....	23
5.1.1 Předpověď šíření tsunami	25
5.1.2 Tsunami varovné systémy a ochranné prostředky proti tsunami	30
5.1.3 Informovanost obyvatelstva pro mimořádnou událost tsunami	36
5.1.4 Varovné signály a symboly tsunami.....	40
5.1.5 Mořská stěna	47
6 Závěry	50
7 Souhrn.....	51
8 Summary	52
9 Referenční seznam.....	53
10 Seznam obrázků	56

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je tsunami a ochrana obyvatelstva před nimi. Živelné pohromy ohrožují obyvatele naší planety od samého počátku civilizace. V některých případech za sebou živelné pohromy zanechávají obrovské škody na majetku ale také na lidských životech. Několikrát ročně slyšíme v rádiích, televizích nebo v jiných médiích o živelných pohromách. Jednou z největších živelných pohrom naší planety jsou vlny tsunami, které přicházejí rychle, umí udeřit velkou silou a ochrana obyvatelstva před nimi není jednoduchá. Proto je důležité zajistit informovanost veřejnosti a vzbudit jejich zájem o vzdělávání v této oblasti.

V této bakalářské práci se nejdříve seznámíme s pojmem tsunami a dále je popsána ochrana obyvatelstva proti tsunami a systém varovných opatření.

2 Přehled poznatků

2.1 Tsunami

Japonská slova stejně jako čínská mají často poetický nádech, pravděpodobně je to tím, že obyvatelé těchto zemí mají smysl pro poezii, nebo tím že dokážou spojit několik podstatných a přídavných jmen v jedno jediné významem dlouhé slovo (Jakeš, 2005). Jedno z takových slov je japonské slovo tsunami. Charakter tsu znamená přístav, zatímco nami je vlna. Slovo tsunami tedy v japonštině popisuje velké vlnové kmity uvnitř přístavu během události „tsunami“ (Liu, 2009). Toto pojmenování je výstižné jak z hlediska původu slova, tak z hlediska významu slova, jelikož tsunami jsou dlouhé vlny katastrofického rázu, které představují nebezpečí pro všechny přímořské oblasti světa. Velmi častou oblastí vzniku tsunami jsou vody Tichého oceánu, a právě proto je Japonsko jednou z nejvíce postižených zemí světa.

O tsunami se často hovoří jako o velké přílivové vlně, toto tvrzení však není zcela přesné. Tsunami a přílivová vlna jsou dva odlišné jevy. Liší se způsobem vzniku, který u přílivové vlny vzniká působením slapových sil na rozdíl od tsunami, které vznikají nejčastěji jako důsledek zemětřesení a vulkanických erupcí. Slapové síly a jejich důsledek příliv a odliv tedy přílivové vlny jsou zapříčiněny přitažlivostí Slunce a Měsíce. Vlna tsunami vzniká rázem a jde o prudký pokles nebo výzdvih dna oceánu, které má za následek rozsáhle avšak krátkodobé porušení sloupce vody, který může být až několik metrů vysoký. Tsunami je tedy ohromná masa vody, která nese obrovské množství energie. (Jakeš, 2005).

V souvislosti s vlnami tsunami je často spojován výraz mega-tsunami, který v současné době i přes časté používání ve vědecké literatuře nemá jasně danou definici. A tak je termín mega-tsunami používán spíše libovolným způsobem na spoustu charakteristik tsunami, jako je například výška vlny tsunami nebo amplituda v místě zdroje tsunami. V reakci na to navrhli J. Goff, Terry, C. Chagué-Goff, a Goto (2014) pro mega-tsunami novou definici, která je založena pouze na počáteční vlnové výšce přesahující 100 metru a počáteční amplitudě větší než 50 metrů. Tato definice jasně poukazuje na to, že pojem mega-tsunami zahrnuje jen velmi vzácné události, do kterých můžeme zařadit dopad obrovských mimozemských těles do oceánu, zničující sopečnou činnost nebo extrémní zemětřesení.

Základní vlastnosti tsunami

Jedním ze základních a nejvýznamnějších znaků či projevů tsunami se uvádí ustupující moře se setrváním silně pokleslé hladiny po dobu několika minut, a poté příchod dlouhé vlny, valící se k pevnině celé minuty (Jakeš, 2005).

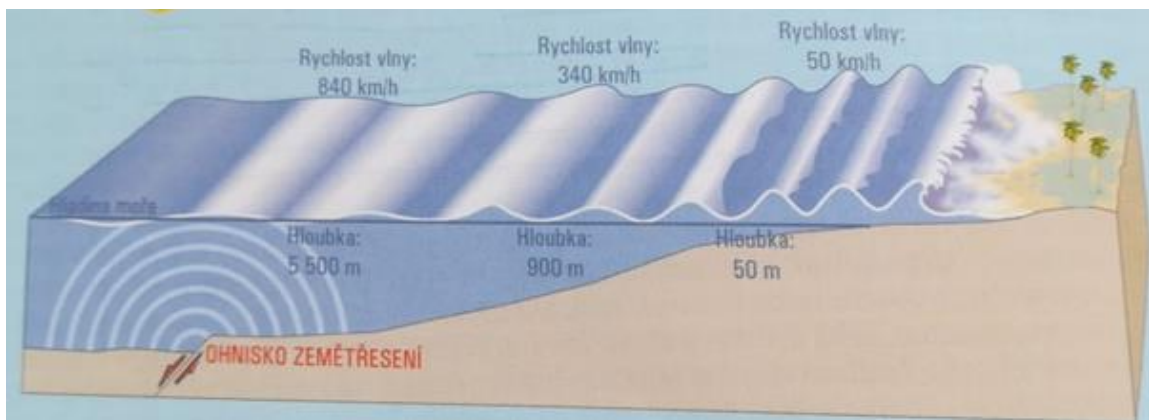
Vlny tsunami jsou obvykle charakterizovány jako mělké vodní vlny nebo dlouhé vlny, které se liší od větrných vln, které se dají pozorovat na běžné pláži (Liu, 2009). Charakteristickým znakem vln vznikajících působením větru na povrchu oceánu je kruhovitý pohyb součástí, jež vyvolává pohyb nahoru a dolů. Nejpodstatnějším faktem je, že tento pohyb zasahuje jen několik málo nejsvrchnějších decimetrů vodního sloupce. Na rozdíl od tsunami, které mají periodiku vzniku mezi 10 až 120 minutami a vlnovou délku kolem 500 kilometrů mají větrem vyvolané vlny periodiku vzniku mezi 5 až 20 sekundami a dosahují vlnové délky 100 až 200 metrů (Jakeš, 2005).

Fyzikální charakteristiky tsunami

Vlny tsunami mají stejně jako ostatní druhy vln charakteristické vlastnosti, podle kterých se dají určovat. Patří sem vlnová délka, která se dá definovat jako vzdálenost mezi dvěma identickými body na vlně. Vlnová délka se měří mezi vrcholky vln nebo mezi vlnovými žlábků. Klasické oceánské větrem vyvolané vlny mají vlnovou délku asi 100 metrů. Tsunami mají mnohem delší vlnovou délku obvykle dosahující 500 kilometrů. Jako další se dá spolehlivě zjistit výška vlny, kterou můžeme označit jako vzdálenosti mezi korytem vlny a hřebenem nebo vrcholem vlny. Mezi další fyzikální charakteristiky řadíme vlnovou amplitudu, která označuje výšku vlny nad hladinou, obvykle se rovná jedné polovině celkové výšky vlny. Vlnová amplituda tsunami může být proměnlivá a závisí na hloubce vody. Mezi poslední dvě charakteristiky řadíme vlnovou frekvenci, která představuje dobu potřebnou k tomu, aby jedna celá vlnová délka prošla stacionárním bodem a vlnová rychlost. Vlnová rychlost představuje rychlost vln, přičemž rychlost normálních vln oceánu dosahují rychlosti 90 kilometrů za hodinu, zatímco tsunami mnohdy dosahují až 950 kilometrů za hodinu což je rychlost, kterou létají stíhací letouny (Nelson, 2016).

Jelikož je vlnová délka tsunami velká, řádově od padesáti do několika set kilometrů není tsunami na volné vodě příliš nápadné. Vlna s tak dlouhou vlnovou délkou se totiž chová na širém oceánu stejně jako vlna v mělké vodě, tyto vlny většinou dosahují výšky od 30 do 60 centimetrů, a proto nebývají často zaznamenávány ani na lodích.

Obecně platí, že rychlost, s jakou vlna ztrácí svou energii, je nepřímo úměrná její vlnové délce. Vzhledem k tomu, že tsunami má velmi velkou vlnovou délku, ztrácí při šíření málo energie. V oceánu, kde je velmi hluboká voda, bude tsunami cestovat vysokou rychlostí a malou ztrátou energie. Například když je oceán hluboký 6100 metrů, bude tsunami cestovat rychlostí okolo 890 kilometrů za hodinu. Tuhle rychlostí se dokáže tsunami přesunout přes celý Tichý oceán za necelý jeden den. Vzhledem k tomu, že rychlost tsunami souvisí s hloubkou vody, je přirozené že jak tsunami opouští hluboké vody otevřeného moře a dostává se do mělkých vod blízko pobřeží, kde se hloubka vody snižuje, klesá i rychlost tsunami. Celková energie tsunami však zůstává konstantní (Nelson, 2016). Výška vlny závisí na vzdálenosti od epicentra zemětřesení a vzrůstá směrem k pobřeží, může dosahovat i 30 metrů. Ve vrcholové části vlny nese ohromné množství vody. Voda pak s obrovskou energií zatopí všechny nízko ležící objekty a páchá obrovské škody (Jakeš, 2005).



Obrázek 1. Ilustrace chování tsunami od ohniska zemětřesení tedy místa vzniku tsunami až k pobřeží. Původní délka vlny tsunami se zkracuje v závislosti na zmenšující se hloubce moře, současně se snižuje i rychlost šíření tsunami. Z původní rychlosti 840 km za hodinu klesá na 50 km za hodinu. (Jakeš, 2005 p. 48)

Stupnice pro měření magnituda při tsunami

Jednou z událostí, při které nejčastěji dochází k vzniku tsunami je zemětřesení. Přesněji tedy podmořské zemětřesení, při pohybech vertikální části dna, kdy se přenáší pohyb na vodní sloupec, což zapříčiní rozvlnění vody. Podmínkou také je, aby vertikální pohyb nastal na menším, omezeném území. Veličinou, která udává velikost zemětřesení je Magnitudo, kterou v roce 1931 zavedl japonský seismolog Kijoo Wadati. Později ji upravil americký seismolog Charles Richter, který zároveň vytvořil nejpoužívanější

Richterovu stupnici pro určování síly zemětřesení. Obecně platí, že čím je silnější zemětřesení tím větší je pravděpodobnost vzniku tsunami.

Tabulka 1. *Tabulka znázorňuje pravděpodobnost vzniku tsunami podle velikosti magnituda zemětřesení. Podle tabulky víme, že zemětřesení s magnitudem větším než 7,3 vyvolává tsunami téměř vždy, otřesy s magnitudem mezi 7,0 a 7,2 jen v 67 % případech. Dále klesá pravděpodobnost vzniku tsunami rychleji. Při velikosti magnituda 6,7 až 6,9 vznikne tsunami jen v 17 % případech a při velikosti magnituda 5,8 až 6,2 jen v 1,4 % případech.* (Kukal, 1982)

Magnitudo zemětřesení	Pravděpodobnost vzniku tsunami v %
> 7,3	99,9
7,0-7,2	67
6,7-6,9	17
5,8-6,2	1,4

Podobně jako u zemětřesení určuje se i u tsunami magnitudo. Je to logaritmus výšky vlny, korigovaný na vzdálenost. Tak zvané první nasazení vlny může zpětně indikovat, k jakému pohybu došlo na oceánském dně. (Jakeš, 2005, p. 50)

Tabulka 2. *Srovnání magnituda zemětřesení a magnituda tsunami v závislosti na maximální výšce hladiny v jako příčiny vzniku vlny v Japonsku.* (Bryant, 2014)

Magnitudo zemětřesení	Magnitudo tsunami	Maximální výška hladiny
6	-2	<0,3
6,5	-1	0,5-0,75

7,0	0	1-1,5
7,5	1	2,0-3,0
8,0	2	4,0-6,0
8,3	3	8,0-12,0
8,5	4	16,0-24,0
8,8	5	>32,0

2.1.1 Vznik tsunami

Jak vlastně takové tsunami vypadá? Při vzniku tsunami se dá zaznamenat nezvyklí zvuk příboje a viditelné ustupování moře. Tato situace poklesu vody trvá několik minut a je to prvním varováním před velkým nebezpečím. Následuje zratelná větší vlna v dále na moři, která situaci neuvěřitelně rychle obrací. Voda, která zprvu ustupovala, se teď z otevřeného moře zvedá a válí se obrovskou rychlostí směrem k pobřeží. To už zaplavuje břeh a budí dojem, že se moře vyklopilo na pobřeží. Ničivý vodní příval trvá neuvěřitelně dlouho a není to vlna poslední. Po dvaceti minutách, kdy už se první masa vody vrací zpátky do moře, přichází další vlna, která je možná i větší než první (Jakeš, 2005).

Ohniska vzniku tsunami

Ohniska vzniku tsunami rozdělujeme na blízká a vzdálená. Blízká ohniska vzniku tsunami jsou taková, která se nacházejí ve vzdálenosti desítek až stovek kilometrů daleko od konkrétního pobřeží. Vzhledem k velmi rychlému postupu vlny se zkracuje doba na možné varování nebo evakuaci. Doba příchodu tsunami s blízkým ohniskem vzniku je do 60 minut, představuje tak velké riziko. Naopak vzdálená ohniska vzniku tsunami se nacházejí na opačné straně oceánu a mohou být tisíce až desetitisíce kilometrů vzdálené. V závislosti na rychlosti jejího šíření tak může trvat i desítky hodin, než tsunami do takového místa dorazí, což poskytuje dostatek času na varování i případnou evakuaci obyvatelstva (SlidePlayer, 2019).

Příčiny vzniku tsunami

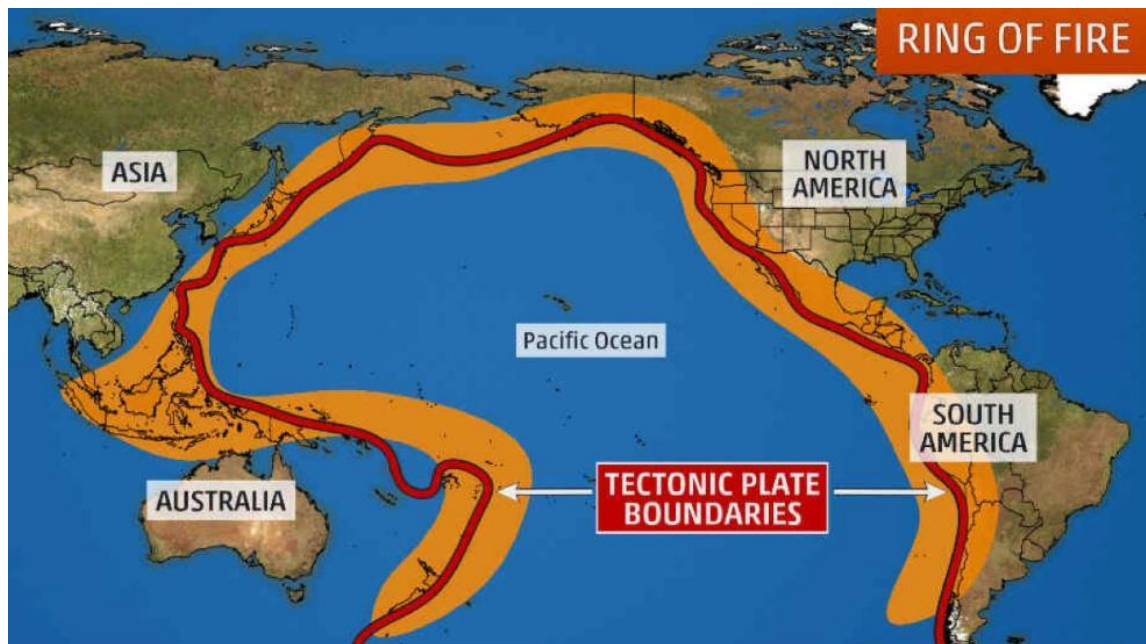
Podle Cílka (2006) je základním předpokladem pro vznik tsunami změna objemu oceánu. To je možné několika procesy. Mezi tyto procesy můžeme zahrnout výbuch sopky, velké podmořské sesuvy, pády meteoritu a zemětřesení, které má za následek rychlý pokles nebo naopak rychlé stoupání části mořského dna.

Zemětřesení

Jednou z hlavních příčin vzniku tsunami je zemětřesení, jehož nejčastější příčinou je pohyb litosférických desek. Ohniska těchto zemětřesení bývají obvykle tam, kde se desky dotýkají nebo vzájemně pohybují. Vzhledem k tomu že se převážná část litosférických desek stýká na dnech oceánů, a to jak v oblastech středo-oceánských hřbetů, tak v místech hlubokomořských příkopů tedy po celé délce subdukčních zón, jsou zemětřesení pod hladinou vody velice častá (Nelson, 2016).

Seismická aktivita patří mezi nejčastější příčiny vzniku tsunami. Za poslední dvě tisíciletí zapříčinilo zemětřesení okolo 83 % celkového počtu tsunami v oblasti tichého oceánu (National Geophysical Data Center, 2013).

Vznik tsunami zemětřesením je způsobeno narušením mořského dna. Tak zemětřesení, která se vyskytují podél pobřeží nebo kdekoliv pod oceány mohou vytvářet tsunami. Posunutí zemské kůry o několik metrů během podvodních zemětřesení může na dně pokrýt až desítky tisíc kilometru čtverečních a vytvořit tak ohromnou potenciální energii pro vytvoření vlny na hladině (National Geophysical Data Center, 2013). Velikost tsunami je závislá na velikosti zemětřesení, tím pádem čím větší zemětřesení tím je i větší tsunami. Velmi důležitá je také příčina vzniku tsunami zemětřesením, která jsou tvořena pouze v případě, že zemětřesení způsobí vertikální pohyb mořského dna. V roce 1906 mělo zemětřesení v blízkosti San Francisca v Kalifornii velikost 7.1 Richterovi stupnice, avšak z důvodu malého nebo žádného vertikálního pohybu mořského dna nebyla žádná tsunami vytvořena. Tsunami, která jsou tedy tvořena pouze za předpokladu přímého nebo opačného posunu mořského dna mají nejčastější výskyt podél hranic subdukčních desek, podél oceánských příkopů. Z toho důvodu je častým místem výskytu tsunami zemětřesením takzvaný ohnivý kruh což je pásmo okolo Tichého oceánu, které je obklopen právě těmito hranicemi subdukčních desek a je charakteristické častým výskytem projevů vulkanické činnosti a zemětřesení. V této oblasti se odehrává přibližně 90 % všech zemětřesení na planetě. (Nelson, 2016).



Obrázek 2. Obrázek vyznačuje hranice subdukčních desek (Tectonic Plate Boundaries) v ohnivém prstenci který se nachází na okraji Tichého oceánu (Pacific Ocean). Tato oblast je nejaktivnější seismickou zónou na světě.

(<https://www.worldvision.org/disaster-relief-news-stories/earthquake-tsunami-facts>)

Sopečná erupce

Sopky, které se vyskytují podél pobřežních zón, jako v Japonsku a ostrovních obloucích po celém světě, mohou způsobit několik efektů, které by mohly způsobit tsunami. Výbušné sopečné erupce mohou vytvořit pyroklastický proud, eruptivní sesuvy a laviny trosek, které se obrovskou rychlostí řítí do vody. Společně s kolapsem sopky, který tvoří kaldery, což jsou kotlovité prohlubně tvaru kotle, vyvrhující převážně bazickou lávu mohou způsobit vznik tsunami.

Erupce sopky Krakatoa, která leží na ostrově Anak Krakatau v Sundském průlivu mezi ostrovy Jáva a Sumatra, vytvořila v roce 1883 přinejmenším tři tsunami, která si vyžádala více než 35 000 lidských životů. Je stále nejisté, co přesně způsobilo tsunami, ale je známo, že několik událostí, ke kterým došlo během erupce mohlo způsobit tsunami (Nelson, 2016).

Sesuvy půdy

Sesuvy půdy, které se valí do oceánů, zátok nebo jezer, mohou také způsobit tsunami. V padesátých letech, bylo objeveno že jedno z největších tsunami, které bylo zaznamenáno bylo způsobeno obřími podmořskými sesuvy půdy. Ty rychle přemistují

velký objem vody, protože energie přecházející do vody má mnohem větší rychlost, než dokáže voda absorbovat. Jejich existence byla potvrzena v roce 1958, kdy obrovský sesuv půdy v zátocě Lituya Bay na Aljašce způsobil nejvyšší vlnu, která byla kdy zaznamenána. Byla vysoká přes 524 metrů. Většina takových sesuvů je způsobena zemětřesením nebo sopečnými erupcemi.

Jsou různé tvrzení o tom, že velké sesuvy od sopečných ostrovů například na Kanárských ostrovech, by mohly být schopné vytvářet mega-tsunami, které by se mohlo pohybovat přes oceány. Obecně však platí, že se sesuvy půdy valí do vody hlavně v mělkých částech pobřeží tam, kde se dají sesuvy půdy předpokládat. Nejčastěji tak tyto sesuvy ovlivňují vodu v uzavřených zátokách a jezerech (Pararas-Carayannis, 1999).

Podvodní výbuchy

Tsunami mohou být ve výjimečných případech vytvořena i podvodními výbuchy. Tsunami tohoto typu byla vytvořena jaderným testováním na Marshallových ostrovech, které leží ve střední části Tichého oceánu, které prosluly jako pokusné střelnice americké armády ve čtyřicátých a padesátých letech devatenáctého století.

Vliv meteoritu

Doposud nejsou žádné historické příklady, které by dokazovali vznik tsunami dopadem meteoritu nebo jiného mimozemského tělesa do oceánu. Patrně však taková událost nastala na konci křídového období, asi před 65 miliony lety poblíž dnešního Yucatánského poloostrova. Způsobená tsunami zanechali usazeniny po celém pobřeží Mexického zálivu a ve Spojených státech amerických (Nelson, 2016).

Tabulka 2. Příčiny vzniku tsunami v Tichém oceánu a ve východní oblasti Indického oceánu za posledních 2000 let. (Bryant, 2014)

Příčina tsunami	Počet událostí	% všech událostí	Počet obětí	% všech obětí
Sesuvy půdy	66	4,4	14 661	2
Zemětřesení	1242	83	644 880	90
Sopečné erupce	67	4,5	51 643	7,3

Neznámé	122	8,1	5 364	0,7
Celkem	1 497	100	716 548	100

2.1.2 Výskyt tsunami

Riziko je často definováno jako kombinace nebezpečí, které představuje mimořádnou událost, zranitelnost lidí vůči mimořádné události a pravděpodobnost výskytu mimořádné události. Pokud žijete podél pobřeží v nebezpečné zóně tsunami, jste ohroženi mimořádnou událostí v podobě tsunami. Všechny oceánské oblasti světa mohou zažít tsunami a tsunami může nastat kdykoliv, ať je den nebo noc. Všechny nízko položené pobřežní oblasti mohou být zasaženy tsunami, z nichž některé mohou být velmi velké. Jejich výška může být až 10 metrů nebo více a mohou se pohybovat několik set metrů do vnitrozemí, v závislosti na sklonu země (International Tsunami Information Center, 2019).

Podle zpráv z Laboratoře pro studium tsunami, která sídlí v Novosibirsku uprostřed Sibíře, bylo za posledních 101 let zaznamenáno v okolí Tichého oceánu 796 tsunami, z nichž 117 způsobilo ztráty na lidských životech a devět z nich mělo destruktivní vliv na celé pobřeží Tichého oceánu. Od roku 1938, ve kterém bylo zaznamenáno 19 tsunami, a který byl historicky nejbohatší na vzniklá tsunami, neproběhl ani jeden rok bez registrovaného tsunami (Jakeš, 2005).

Podle statistických údajů nejvíce tsunami má svůj původ v okolí Japonska (17 %), v Jižní Americe je to 15 %, Nová Guinea a Šalamounovy ostrovy 13 %, Indonésie 11 % (!!!), Kurilské ostrovy a Kamčatka 10 %, Mexiko a Střední Amerika 10 %, Filipíny 9 %, Nový Zéland a Tonga 7 %, Aljaška, západní pobřeží Kanady a Spojených států 7 % a Havaj 3 %. Tyto údaje jsou jenom o oblastech původu tsunami, nikoliv o následných škodách. Tsunami zřejmě postihují nejčastěji, ale s oslabenou intenzitou Havajské ostrovy, právě pro jejich polohu ve střední části Pacifického oceánu. (Jakeš, 2005, p. 46)

Tabulka 3. *Procentuální výskyt tsunami ve světových oceánech a mořích.* (Bryant, 2014)

Oblast	Výskyt v %
--------	------------

Tichý oceán	25,4
Východní Indie	20,3
Japonsko a Rusko	18,6
Karibská oblast	13,8
Středozevní moře	10,1
Východní pobřeží Pacifiku	8,9
Východní pobřeží Atlantiku	1,6
Bengálský záliv	0,8
Západní pobřeží Atlantiku	0,5

Podle procentuálního výskytu tsunami ve světových oceánech a mořích, který je vyjádřen v tabulce, je zřejmé, že nejčastějšími místy vzniku tsunami jsou oblasti kolem Východní Indie, Tichého oceánu, Japonska a Ruska. Naopak velice malý výskyt vzniku tsunami je v oblastech Západního a Východního pobřeží Atlantiku ale i v oblasti bengálského zálivu. Oblasti Jižního a Severního pobřeží Atlantiku jsou pak prakticky bez tsunami.

Stupnice velikosti tsunami podle projevů a účinků

Tak jako máme škálu pro velikost a intenzitu zemětřesení, máme i škály pro velikost tsunami. Japonci, kteří snad znají tsunami nejlépe, si vypracovali svou škálu (je pětistupňová a srovnána s velikostí zemětřesení). Pěknou škálu navrhl britský seizmolog N. N. Ambraseys:

I – tsunami velmi slabé – vlna zaznamenána jen na mareografu (přístroj měřící výšku mořské hladiny).

II – slabé tsunami – může zaplavit ploché přímoří. Zpozorují je ti, co znají moře.

III – středně silné tsunami – zpozorováno všemi, ploché přímoří zaplaveno. Lehké lodi mohou být zaneseny na břeh. V nálevkovitých ústích řek proud obrácen dočasně k pevnině. Menší škody na přístavních zařízeních.

IV – silné tsunami – přímoří zaplaveno, umělé březní konstrukce poškozeny. Velké plachetnice a malé motorové lodi vrženy na břeh a pak zpět do moře. Přímoří zaneseno úlomky a odpadky.

V – velmi silné tsunami – přímoří zaplaveno. Vlnolamy a mola těžce poškozeny. I větší lodi vrhány na břeh. Škody i hluboko ve vnitrozemí. Vše zaneseno úlomky. V ústí řek velké bouřlivé přílivy. Silný hluk vln. Oběti na životech.

VI – katastrofální tsunami – úplné poničení březní a přímořské oblasti. Zaplavení pevniny do značné hloubky. Největší lodi poškozeny. Mnoho obětí. (Kukal, 1982, p. 110)

2.2 Vybraná tsunami ve světě

2.2.1 Lisabon 1755

Dne 1. listopadu 1755 zničilo Portugalské město Lisabon obrovské zemětřesení následované ničivou vlnou tsunami a řadou požárů. Tyto mimořádné události zapříčinili tisíce úmrtí lidí, kteří zahynuli v plamenech nebo pod troskami budov. Zničeno bylo mnoho domů, včetně některých z nejvýznamnějších kostelů, paláců a královské budovy Portugalského soudu (Belo, 2004).

Zemětřesení, které dosahovalo síly Rychterovi stupnice v rozmezí 8,5 až 9 stupňů v kombinaci s následnými požáry a tsunami téměř zničilo Lisabon. Avšak Lisabon nebyl jediným místem postiženým katastrofou. Celý jih země byl postižen dopadajícími vlnami tsunami, které ničili hlavně pobřežní oblasti. Celkový odhadovaný počet obětí, které si katastrofa vyžádala, se pohybuje v rozmezí 60 000 až 100 000 obětí (Thiebot & Gutscher, 2006).

2.2.2 Krakatau 1883

Erupce Krakatoa, nebo Krakatau, v srpnu 1883 byl jeden z nejvíce smrtících sopečných erupcí moderní historie. Odhaduje se, že zemřelo více než 36 000 lidí. Mnozí zemřeli v důsledku popálenin způsobených výbuchem a mnoho dalších bylo obětí tsunami. Stěna vody, téměř 120 stop vysoká, byla vytvořena pádem sopky do moře. Tato stěna úplně zaplavila malé blízké ostrovy. Obyvatelé pobřežních měst na Jávě a Sumatře uprchli směrem k vyšším oblastem, kde museli se svými sousedy bojovat o místo na

útesech. Sto šedesát pět pobřežních vesnic bylo zničeno. Erupce také ovlivnila klima a způsobila pokles teplot po celém světě (Bagley, 2017).

2.2.3 Chile 1960

Zemětřesení z května 1960 je doposud nejsilnější zemětřesení, které bylo kdy zaznamenané na Zemi. Naměřená síla zemětřesení byl 9.5 stupňů Rychterovi stupnice. Zemětřesení generovalo obrovské vlny tsunami, někdy nazývané tele-tsunami, které může putovat přes celé oceány. Velké chilské zemětřesení nastalo v odpoledních hodinách a jeho výsledné tsunami, které dosahovalo, až 10,7 metrů ovlivnilo jižní Chile, Havaj, Japonsko, Filipíny, východní Nový Zéland, jihovýchodní Austrálii a Aleutské ostrovy na Aljašce. Tsunami zničilo nebo poškodilo více než 500 domů a podniků v centru města a zabilo 61 lidí a 282 lidí bylo těžce zraněno. Úsek Hilo známý jako Wakea byl téměř kompletně zbourán a musel být po tsunami obnoven. Škody byly odhadnuty na 75 milionů dolarů. V Japonsku, přišlo tsunami asi 22 hodin po zemětřesení a 138 lidí bylo zabito. Tsunami také udeřilo na Filipíny, kde zahynulo 32 lidí (SMSTSUNAMIWARNING, 2019).

2.2.4 Sumatra 2004

Velké tsunami, které vzniklo v Indickém oceánu v roce 2004, bylo způsobeno podmořským zemětřesením. S velikostí 9,3 Rychterovi stupnice se řadí mezi největší zemětřesení zaznamenané na seismografu na světě. Zemětřesení mělo trvání okolo 10 minut, to způsobilo vibrace po celé planetě a vznik dalších zemětřesení v jiných oblastech. Odhaduje se, že zemětřesení na Sumatře uvolnilo energii 23 000 atomových bomb typu Hirošima. Během několika hodin zemětřesením vzniklé obrovské vlny narazily na pobřeží 11 zemí Indického oceánu, poškodily země od východní Afriky po Thajsko, zabily více než 230 000 lidí ve čtrnácti zemích a zaplavily pobřežní komunity, přičemž vlny dosahovaly výšky až 30 metrů. Jednalo se o jednu z nejsmrtelejších přírodních katastrof ve zaznamenané historii. Indonésie byla nejvíce zasaženou zemí, následovaná Srí Lankou, Indií a Thajskem. Navzdory zpoždění až několika hodin mezi zemětřesením a dopadem tsunami na pobřeží byli téměř všechny oběti zcela překvapeny, jelikož v Indickém oceánu nebyly v Indickém oceánu žádné systémy varování před tsunami, které by odhalily tsunami nebo varovaly obyvatele žijící v okolí oceánu (SMSTSUNAMIWARNING, 2019).

2.2.5 Japonsko 2011

Japonské nebo také velké zemětřesení v Tóhoku je jednou z největších přírodních katastrof, ke kterým došlo v severovýchodním Japonsku v roce 2011. Původ zemětřesení byl mimo severovýchodní pobřeží ostrova Honšú asi 130 metrů od města Sendai na dně Tichého oceánu. Zemětřesení dosahovalo síly 9 RichtEROVY stupnice, což způsobilo následné až 38 metrů vysoké vlny tsunami které zasáhly severovýchodní pobřeží Japonska, obzvláště oblast Tóhoku, avšak zemětřesení vyvolalo i tsunami která se pohybovala směrem k Havaji a Severní Americe. Navzdory dobré připravenosti obyvatel na tsunami způsobilo právě tsunami největší škody, jelikož obrovské vlny, které se valily na pobřeží, předčily všechna očekávání, a tak je nemohly zastavit ani ochranné valy. Zničeno bylo okolo 44 000 budov a dalších 150 000 vážně poničeno, přičemž odhadovaná škoda činí 300 miliard amerických dolarů. Odhadovaný počet obětí je okolo 10 000 úmrtí a dalších 4000 pohřešovaných. Výrazně byla poničena také infrastruktura oblastí. Silnice a železniční tratě byly poškozeny a elektrická energie byla vyřazena z provozu stejně jako rozvody vody a kanalizace. Výrazný zájem po šoku z tsunami byl stav čtyř jaderných elektráren. Z nichž nejhorší následky nesla jaderná elektrárna Fukušima, ve které selhalo nouzové chlazení, důsledkem čehož uvnitř vybuchl nahromaděný vodík. Z oblasti okolo elektrárny bylo evakuováno více než 150 000 lidí (Pletcher & Rafferty, 2019).

3 Cíle

Cílem této práce je charakterizovat přírodní jev tsunami, jeho výskyt a příčiny jeho vzniku. Dále objasnit informovanost a ochranu obyvatelstva proti tsunami, a popsat předpověď šíření tsunami, varovné systémy, signály, symboly a ochranné prostředky proti tsunami.

4 Metodika

Při zpracování bakalářské práce jsem použil sběr a následné zpracování shromážděných dat a informací. Důležitým bodem práce bylo především získání informací a jejich zpracování.

4.1 Zpracování dat

Při zpracovávání dat pro mou bakalářskou práci jsem použil programy Microsoft Office Word 2016 a Microsoft Excel 2010. Pomocí těchto programů jsem vytvořil potřebné tabulky.

V této práci čerpám z odborných publikací, článků a webových stránek.

4.2 Rešerše literatury

Ve své práci jsem nejprve nejvíce čerpal z knih od českých autorů Václava Cílka (2006), Petra Jakeše (2005) a Zdeňka Kukala (1983), kteří se ve svých dílech zabývají základními pojmy o tsunami a poskytli mi tak předlohu pro první část bakalářské práce. Tuto předlohu jsem podpořil informacemi, které jsem čerpal z internetových zdrojů od zahraničních autorů jako Liu (2009), Nelson (2016), Bryant (2014) a Pararas-Carayannis (1999), kteří se taktéž zaměřují na tuto problematiku.

Ve druhé části mi pro popis jednotlivých událostí sloužily jako předloha informace, které jsem čerpal z internetových stránek od autorů Belo (2004), Thiebot & Gutscher (2006), Bagley (2017), Pletcher & Rafferty (2019). Tito autoři mi poskytli informace k popsání vybraných tsunami ve světě. V bakalářské práci jsem také uvedl několik tabulek, které jsem převzal od Edwarda Bryanta (2014).

V poslední části jsem nejčastěji čerpal z webových stránek International Tsunami Information Center a NOAA Center for Tsunami Research, které mi poskytly potřebné informace pro zhodnocení ochrany obyvatelstva proti tsunami ve světě, a pro popsání prostředků ochrany obyvatelstva proti tsunami. V této části jsem dále čerpal od českého autora Petra Jakeše (2005) a od zahraničního autora Papadopoulose (2016).

5 Výsledky

5.1 Ochrana obyvatelstva proti tsunami

Ochrana obyvatelstva před tsunami spočívá v první řadě v celosvětové informovanosti obyvatel, hlavně pak obyvatel nejčastěji postihovaných území touto živelnou pohromou. S informovaností jde ruku v ruce připravenost, za kterou se dá považovat předpověď, varovné systémy, využití krajiny v pobřežních oblastech a výstavba ochranných staveb, díky kterým se dá zachránit majetek obyvatel ale hlavně jejich životy.

Tabulka 4. *Největší počet obětí v oblasti Tichého a Indického oceánu při tsunami za posledních 2000 let. (Bryant, 2014)*

Datum	Počet úmrtí	Lokace
26.12. 2004	228 432	Indonésie-Indický oceán
22.5. 1782	50 000	Taiwan
27.8. 1883	36 417	Krakatoa, Indonésie
28.10. 1707	30 000	Nankaido, Japonsko
15.6. 1896	27 122	Sanriku, Japonsko
20.11. 1498	26 000	Nankaido, Japonsko
13.8. 1868	25 674	Arica, Chile
11.3. 2013	23 295	Sendai, Japonsko
27.5. 1293	23 024	Sagami, Japonsko

4.2. 1976	22 778	Guatemala
29.10. 1746	18 000	Lima, Peru
21.1. 1917	15 000	Bali, Indonésie
21.5. 1792	14 524	Unzen, Japonsko
24.4. 1771	13 486	Rjúkjú, Japonsko
22.11. 1815	10 253	Bali, Indonésie
11.8. 1976	8 000	Moro Gulf, Filipíny

Obyvatelé západní polokoule, kteří jsou zvyklí sledovat živé televizní zpravodajství z celého světa, jako jsou například teroristické útoky, válečné konflikty, vraždy a jiné zločiny si často nejsou schopni uvědomit a mnohdy se jenom diví tomu, že naprostý kolaps komunikace při mimořádné události je vůbec v dnešní době možný. Jelikož se ale nedá zemětřesením, sopečným erupcím a dalším přírodním katastrofám vyhnout nedá se také vyhnout vzniku tsunami. Avšak v případě při výskytu zemětřesení se dá předpovědět, zda vznikne tsunami, jeho případnou intenzitu a směr kterým se bude šířit, popřípadě vymezit místa které budou postiženy.

Účinkům tsunami jde v jisté míře předcházet, jde však především o pomoc lidí, kteří mají s tsunami zkušenosti, samotné tsunami zažili a přežili a také lidí kteří vypracovali varovný systém. V oblastech s největší ohrožeností je poučení, informovanost a vzdělání co nejširší vrstvy obyvatel tím nejzákladnějším a nejdůležitějším a také nejlevnějším způsobem, jak předejít všem potenciálním škodám které by mohlo tsunami napáchat (Jakeš, 2005).

Jednou z hlavních událostí, která výrazně rozhýbala vývoj ochranných opatření proti tsunami, bylo katastrofální tsunami o Vánocích 2004. Krátce po tom, co tato katastrofa v podobě obrovského tsunami, které za sebou nechalo obrovské škody na majetku a životech spousty lidí se přírodní katastrofa nazývaná tsunami, dostala do

podvědomí spousty lidí na celém světě. V návaznosti na to byla v únoru 2005 v Bruselu vytvořena první pracovní skupina nazývaná Group on Earth Observation (GEO), která si dala za úkol dohled na tsunami. Tato skupina se zaměřila zejména na přezkoumání proběhlých tsunami, určení mezer při ochraně obyvatelstva, a právě tam soustředit své úsilí. Hlavní téma, které bralo GEO na zřetel, bylo usnadnění koordinace mezinárodních programů na prevenci proti přírodním pohromám, rozvoj krizového štábu a varovných systémů. Další bod, na který se GEO zaměřila, byla pomoc při zajištění infrastruktury obranných kapacitních budov a informovanost lidí ve všech zemích.

5.1.1 Předpověď šíření tsunami

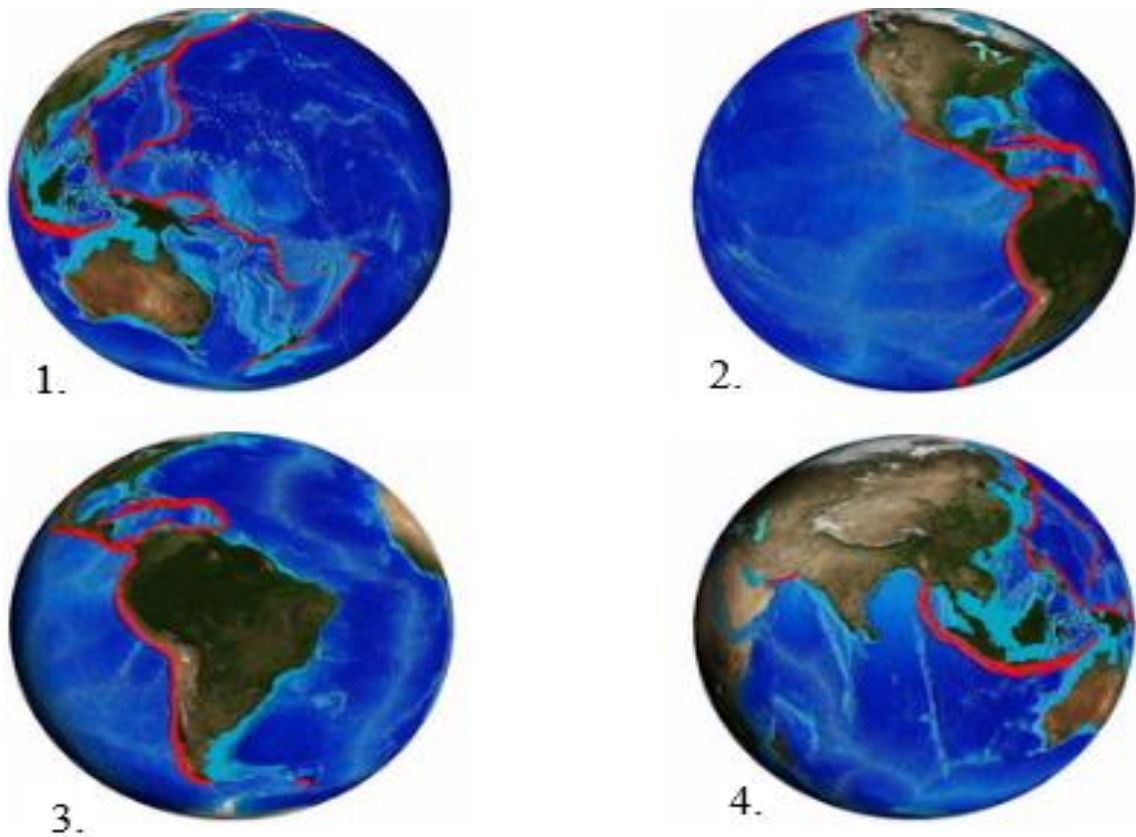
Nouzoví manažeři a další úředníci naléhavě potřebují operační nástroje, které budou poskytovat přesnou prognózu tsunami jako vodítko pro rychlá a kritická rozhodnutí, v nichž jsou ohroženy životy a majetek osob. Čím jsou včasnější a přesnější varování, tím účinnější opatření mohou místní havarijní manažeři podniknout a tím více životů a majetku lze ušetřit.

Žádná technologie nemůže dělat svou práci sama, z toho důvodu byly nedávné pokroky v oblasti měření tsunami a technologie numerického modelování propojeny tak, aby se vytvořil účinný systém prognózování tsunami. Není možné, aby byly pozorovací sítě hustě rozprostřeny po celém oceánu, jelikož se jedná o obrovský prostor a údržba monitorovacích stanic je velmi nákladná a obtížná, zejména v hluboké vodě. I tak mohou v současné době poskytnout kombinované, měřicí a modelovací techniky spolehlivé prognózy tsunami. Pro předvídaní záplav z časných vln tsunami se používají odhady seizmických parametrů a pro měření tsunami se používá třídění prostřednictvím předem vypočítané databáze generování prognóz a výběr vhodné lineární kombinace scénářů, které nejvíce odpovídají pozorovacím údajům. To produkuje odhady charakteristik tsunami v hluboké vodě, které pak mohou být použity jako počáteční podmínky pro místně specifický nelineární záplavový algoritmus.

Databáze předpovědi šíření tsunami (Forecast Propagation Database)

Databáze předpovědi šíření je soubor vytvořených variant šíření tsunami, které byly předem spočítány pro určení zdroje tsunami na vybraných místech podél známých a potenciálních zón zemětřesení. Tyto předem vypočítané události mohou být kombinovány lineárně, aby simulovaly libovolné scénáře zemětřesení, které poskytují velmi rychlou předpověď během aktuálně vzniklé události tsunami. Přesnost databáze předpovědi šíření byla potvrzena údaji ze sedmnácti tsunami, z nichž osm bylo

hodnoceno v reálném čase během událostí. Databáze šíření je klíčovou součástí operačního systému pro předpovídání tsunami známého jako Short-term Inundation Forecasting for Tsunami (SIFT), který Národní centrum pro výzkum tsunami (NOAA NCTR) vyvíjí pro nasazení v centrech varování Tichého oceánu, Aljašky a celého západního pobřeží Spojených států amerických.

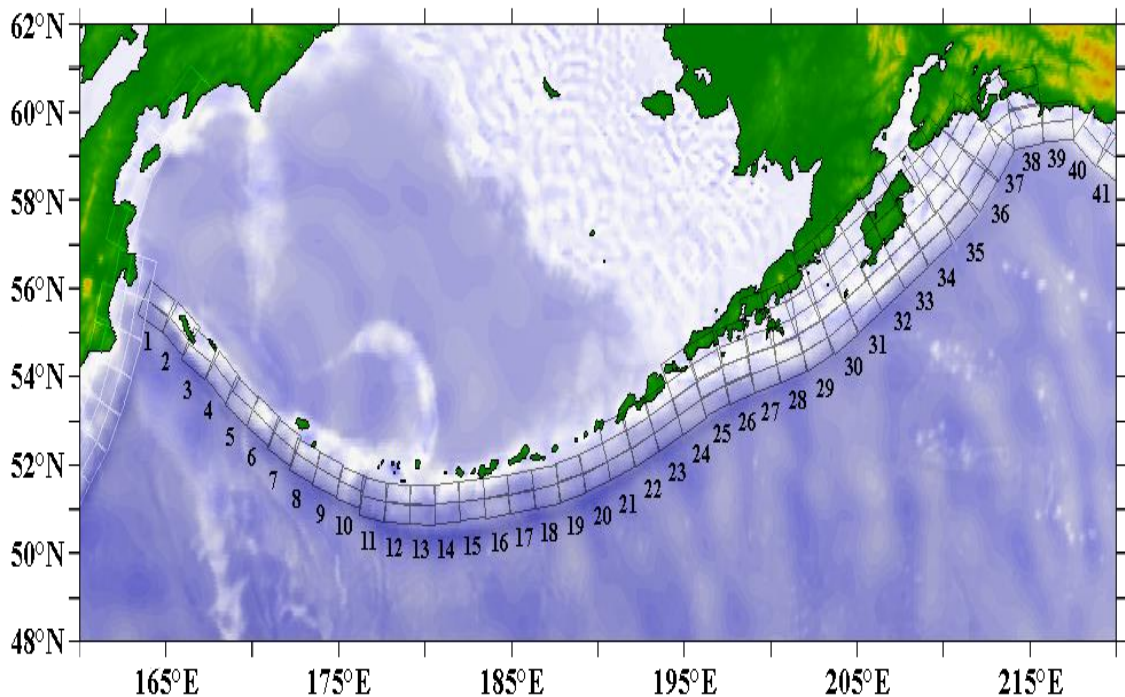


Obrázek 3. Lokality umístění jednotlivých zdrojů pro předem vypočtenou simulaci při zemětřesení v databázi předpovědi šíření. Ty mohou být kombinovány tak, aby poskytovaly velmi rychlou prognózu během aktuální události tsunami. (1. Západní Pacifik, 2. Východní Pacifik, 3. Atlantský oceán, 4. Indický oceán). (<https://nctr.pmel.noaa.gov/propagation-database.html>)

Předdefinování jednotkového zdroje tsunami

Cílem je definovat počáteční funkce tsunami tak, aby konečná kombinace předem vypočteného modelu tsunami mohla vytvořit co nejpravděpodobnější časovou posloupnost šíření aktuální události. To je proveditelné z důvodu linearit dynamiky vzniku a šíření tsunami. Každý předdefinovaný zdroj v databázi předpovědi šíření je označován jako jednotkový zdroj. Každý jednotkový zdroj odpovídá velikosti deformace způsobené zemětřesením s délkou rozsahu 100 kilometrů, šířkou rozsahu 50 kilometrů a

hodnotou sesuvu 1 metr, což odpovídá velikosti momentového magnituda 7,5. Jsou vytvořeny dva základní řádky jednotkových zdrojů, jeden pro mělké oblasti a druhý pro hlubší oblasti. Další řádky mohou být dodělané v závislosti na charakteristice určité oblasti. Tyto jednotkové zdroje jsou umístěny podél známých poruchových zón pro celou Pacifickou pánev, Karibik a pro oblast Atlantického a Indického oceánu.



Obrázek 4. Jednotkové zdroje podél Aleutských ostrovů
(<https://nctr.pmel.noaa.gov/propagation-database.html>)

Použití databáze šíření tsunami

Operační systém SIFT (Short-term Inundation Forecasting for Tsunami) pro předpovědi tsunami používá databázi šíření pro výpočet rychlé předběžné předpovědi šíření tsunami v oceánu jako lineární kombinace zdrojů vybraných tak, aby zobrazovaly počáteční parametry zemětřesení. Tato prognóza poskytuje podklad pro pozorování tsunami v hlubokém oceánu. Vzhledem k tomu že je k dispozici více seismických informací, mohou být provedeny úpravy výběru jednotkových zdrojů tak, aby lépe reprezentovaly skutečnou seismickou událost a opakovaly lineární kombinaci, pro získání zlepšené předběžné předpovědi. Další využití databáze je použití lineárních kombinací předem vypočtených událostí v databázi šíření jako vstup pro modely předpovědi zaplavení, které numericky předpovídají výšku vlny tsunami, aktuální rychlost a rozsah

zaplavení pro konkrétní pobřežní oblast. Tato schopnost je také zahrnuta do operačního systému prognózování tsunami v rámci programu SIFT. Databáze předpovědi může být využívána pro předpovídání pobřežní výšky vln tsunami na jakémkoliv určeném místě v Tichém, Atlantském a Indickém oceánu. U konkrétních oblastí se dá maximální vlnová délka, rychlost a doba přesunu vlny určit velice rychle, je také možné určit výšku vytvořených pobřežních vlny pro celý Tichý, Atlantský a Indický oceán a graficky znázornit pobřežní oblasti, kterým hrozí nejvyšší riziko při vzniku tsunami (NOAA Center for Tsunami Research, 2019).

Předpovědní modely zaplavení při tsunami (Forecast Inundation Models)

Cílem vývoje předpovědního záplavového modelu je poskytnout v reálném čase předpovědi tsunami s vysokým rozlišením pro vybrané lokality, zatímco se tsunami šíří otevřeným mořem dříve, než se vlny dostanou na pobřeží. Předpovědní modely zaplavení budou začleněny do systému varování před tsunami v USA pro použití v centrech varování Tichého oceánu, Aljašky a celého západního pobřeží Spojených států amerických. Předpovědní záplavové modely kombinují model předpovědi tsunami s topografií s vysokým rozlišením a batymetrií, která byla optimalizována pro rychlý výpočet pro vybrané pobřežní komunity. Tyto modely předpovědi mohou být použity ve spojení s databází předpovědi šíření tsunami v hlubokých vodách, aby byla zajištěna výška vlny v reálném čase a aktuální předpovědi pro konkrétní komunitu během vzniklé události tsunami. Vývoj modelu předpovědi je odvozen z počátečního modelu zaplavení s vysokým rozlišením a je typicky rozdělen do čtyř hlavních fází.

První fáze: Vytvoření referenčního modelu s vysokým rozlišením

Vytvoření referenčního záplavového modelu inundace s vysokým rozlišením pro studovanou oblast je prvním krokem ve vytvoření modelu předpovědi pro komunitu. Tyto modely lze použít například při výpočtech tsunami v reálném čase, například k určení inundačních linií z potenciálních událostí. Pokrytí záplavového modelu musí být takové, aby bylo použito dostatečné rozlišení pro přesné řešení dynamiky vln v hlubokých i mělkých oblastech. Hranice pokrytí by měly také zasahovat do dostatečně hlubokých vod, aby se umožnil bezproblémový přechod vln z databáze předpovědi šíření tsunami fungující v hluboké vodě do místního modelu zaplavení s vysokým rozlišením. Tyto požadavky obecně nepředstavují problém ve vývoji referenčního modelu s vysokým rozlišením, protože tyto referenční modely nejsou určeny pro provoz v reálném čase ani za žádných časových omezení. S přihlédnutím k provozní povaze navrhovaného modelu

prognózy by však měla být věnována zvláštní pozornost tomu, aby bylo zajištěno, že pokrytí sítě bude dostatečné k zahrnutí všech kritických infrastruktur v konkrétní komunitě.

Druhá fáze: Validací zkoušky

Platnost a přesnost modelu s vysokým rozlišením konstruovaného během prvního vývojového stupně je testována porovnáním rozsahu zaplavení a pozorování přílivu a odlivu při dobře dokumentovaných historických událostech. Tento proces může zahrnovat definici zdroje tsunami pro konkrétní událost, pokud není k dispozici, měl by být ideálně založený na měření hladiny moře v hlubokém oceánu pomocí systému DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis).

Třetí fáze: Předpověď inundačního modelu

Poté, co je referenční model s vysokým rozlišením vyhodnocen a testován na přesnost, je model optimalizován tak, aby rychle běžel a poskytoval předpověď v reálném čase. Je provedeno snížení pokrytí sítě, v oblastech, které byly původně pokryty sítí referenčního modelu s vysokým rozlišením, ale s malým vlivem na celkovou dynamiku vln jsou z nového pokrytí sítě vyloučeny. Oblasti, které umožňují snížení rozlišení sítě na základě buď hloubky vody, nebo vlnové délky tsunami, jsou sub-samplovány pro snížení lokálního rozlišení sítě a urychlení výpočtů. Simulace stejných událostí tsunami, které byly dříve použity ve validaci referenčního modelu s vysokým rozlišením, jsou pak prováděny na základě prognózovaného inundačního modelu a výsledky obou sérií jsou porovnány. Zvláštní pozornost je věnována sledování rozsahu inundace, a zhoršení časové řady přílivu a odlivu při použití nižšího modelu prognózy rozlišení. Očekává se jistá ztráta přesnosti, ale celkové chování vln by mělo být stále přesně zohledněno ve výsledcích předpovědi inundačního modelu.

Čtvrtá fáze: Robustnost a stabilita prognózovaného inundačního modelu

Poslední etapa vývoje předpovědního modelu vyžaduje testování vyvinutého modelu předpovědi pro robustnost, aby bylo zajištěno správné fungování modelů předpovědi v operačním prostředí, ve kterém jsou možné tsunami jakéhokoliv rozsahu, které mohou přijít z jakéhokoliv směru. Všechny vyvinuté záplavové modely předpovědi jsou podrobeny sérii testů robustnosti, jejichž reakce na soubor velkých syntetických tsunami vyvolaných hypotetickými seizmickými událostmi je o velikosti momentového magnituda (M_w), $M_w \sim 9.3$ a $M_w \sim 7.5$, a které jsou umístěny podél různých subdukčních

zón Tichého oceánu. Tyto umělé seizmické události mají představovat nejhorší případ a mikro scénáře a jsou simulovány v každém rozvinutém místě předpovědního záplavového modelu po celodenní činnosti při působení tsunami. Modely musí zůstat stabilní během celé simulace pro všechny události (NOAA Center for Tsunami Research, 2019).

5.1.2 Tsunami varovné systémy a ochranné prostředky proti tsunami

Systém varování před tsunami (TWS) se používá k detekci tsunami a vydávání varování, aby se zabránilo ztrátám na životech a škodám na majetku. Skládá se ze dvou stejně důležitých složek. Síť senzorů pro detekci tsunami a komunikační infrastruktury pro vydávání včasných alarmů umožňujících evakuaci pobřežních oblastí. Existují dva odlišné typy systémů varování před tsunami, mezinárodní a regionální (Yadav, 2017).

Díky počítačovým technikám, které umožňují zaznamenat a okamžitě zpracovat až tisíce údajů vznikla neuvěřitelně spolehlivá síť sledování zemětřesení v reálném čase. Seismické stanice jsou propojeny, mají jednotný čas a jejich spojení umožňuje jednoduchým geometrickým postupem zjistit ohnisko zemětřesení, respektive jeho epicentrum. Ze seismického záznamu lze také zjistit, zda se zemětřesení odehrálo daleko od seismické stanice nebo v její blízkosti. K přesnému určení místa pak stačí údaje ze tří seismických stanic a na hrubý výpočet je potřeba pár minut. Ze seismického záznamu lze vyčíst i intenzitu zemětřesení a stanovit jeho magnitudo. Téměř okamžitě jsou pak k dispozici údaje, z nichž lze předpovědět i tsunami, jejich vznik, možnou intenzitu a směr šíření. Pravděpodobnost vzniku tsunami stoupá se zvyšujícím se magnitudem zemětřesení. Takto dobře fungující systém je velice důležitý pro varování obyvatelstva, díky kterému mají lidé dostatek času na záchranu životů. Čím dále od místa vzniku tsunami tím více času na evakuaci. Obvykle stačí evakuace jeden či jeden a půl kilometru do vnitrozemí, a to i na plochém pobřeží.

Dnes jsou v USA dvě pracující centra, která jsou pod patronací Národního úřadu pro oceány a atmosféru (NOAA), který řídí meteorologickou službu. Tyto centra jsou běžně dostupná mezinárodnímu společenství. Jedno z center pracuje na Havaji a jmenuje se Pacific Tsunami Warning Center (PTWC). ATWC je odpovědné za mezinárodní a národní varování. Druhé středisko Alaska Tsunami Warning Center (ATWC) je na Ajašce a je odpovědné za státy Aljaška, Britská Kolumbie, Washington, Oregon a Kalifornie. Obě střediska sledují možné indikace vzniku tsunami, a jakmile se příznaky objeví, vydají varování, ve kterých předvídají příchod tsunami na pobřeží a jejich možnou intenzitu.

Varování předává i Coast Guard což je pobřežní služba Spojených Států Amerických a meteorologický rozhlasový systém.

V šedesátých letech dali Američané celý systém k dispozici mezinárodní organizaci pro vzdělávání a vědu UNESCO. Dnes je součástí tohoto systému více než 25 států lemujících Tichý oceán. Tato oblast je typická přítomností sopek, díky čemuž se jí říká Ohnivý prstenec, je to také oblast častých zemětřesení, kvůli čemuž je to kritická zóna vzniku tsunami. Pod patronací UNESCO vzniklo Mezinárodní informační centrum pro tsunami (ITIC-International Tsunami Information Center), které nemá žádnou síť stanic, ale měla by se starat o koordinaci vědeckého výzkumu s potřebami praxe a s obyvateli, aby se předešlo nebezpečím, která s sebou tsunami přináší (Jakeš, 2005).

Operace varování před tsunami jsou podporovány řadou různých systémů, jako jsou, instrumentální sítě, algoritmy, databáze, komunikační technologie a empirické nástroje. Nejdůležitějším regionálním systémem je severovýchodní Atlantik a Středomořský systém varování před tsunami, která je založena na řadě vnitrostátních středisek pro varování před tsunami a je koordinována Mezivládní koordinační skupina pro Tichomořský systém varování a zmírnění tsunami (ICG/PTWS), Mezivládní koordinační skupina pro systém včasného varování a zmírnění tsunami v severovýchodním Atlantiku, Středomoří a souvisejících mořích (ICG/NEAMTWS), Mezivládní oceánografické komise (IOC) a UNESCO s aktivní spoluprací více než 30 členských zemí. Aktivity NEAMTWS jsou podporovány vzdělávacími programy Informačního tsunami centra pro severovýchodní Atlantik a středomoří (NEAMTIC). Zvláštní význam má také program JRC jako výzkumné středisko Evropské komise, který podporuje budování infrastruktur, algoritmů, databází a vzdělávacích aktivit v nouzových postupech. Objevuje se stále více a více nových technologií, které slibují výrazné zlepšení služeb včasného varování v příštích letech. Obzvláště důležité jsou také cvičení chování při tsunami, komunikační testy, vzdělávací a tréninkové aktivity a další akce zaměřené na zmírnění rizika při vzniku tsunami (Papadopoulo, 2016).

NOAA Tsunami Program

Národní program pro správu oceánů a atmosféry (NOAA) Tsunami je mezinárodní agentura se snahou minimalizovat dopady tsunami. Spravováno Národním meteorologickým servisem (NWS), program využívá možností dalších operačních kanceláří NOAA, včetně Úřadu pro oceánský a atmosférický výzkum (OAR), National

Ocean Service (NOS) a National Environmental Satellite, Data, a informační služby (NESDIS).

Již více než 50 let mají NOAA a její předchozí agentury provozní odpovědnost za americký systém varování před tsunami. Dnešní end-to-end systém funguje ve spolupráci s federálními, státními, územními, mezinárodními a místními organizacemi. Mezi hlavní komponenty patří:

1. Pozorovací systémy k rychlému odhalení zemětřesení a tsunami způsobujících tsunami.
2. Modely pro předpověď dopadů tsunami.
3. Včasné a přesné zasílání zpráv.
4. Služby na podporu rozhodování v průběhu akcí ke zlepšení reakce komunity.
5. Přípravenost a zmírňující aktivity, které zvyšují reakci na hrozbu tsunami a snižují nebo eliminují potenciální dopady.

Pacific (PTWC) a Alaska Tsunami Warning Center (ATWC)

Jako primární operační velitelství pro Pacific Tsunami Warning System, PTWC poskytuje varování pro Tichomořské teletsunami, což jsou tsunami, které mohou způsobit škody daleko od jejich zdroje v téměř každé zemi kolem Pacifiku a většiny tichomořských ostrovních států. Tato funkce je prováděna pod záštitou Mezinárodní koordinační skupina pro Tichomoří (UNESCO/IOCI). Několik destruktivních teletsunami jsou generovány každé století velkými zemětřeseními kolem Tichého oceánu. Takové tsunami se mohou šířit po celém Pacifiku za méně než 24 hodin a způsobují rozsáhlé škody podél břehů, které se nacházejí tisíce mil od zdroje. Se stále rostoucí populací a rozvojem podél většiny pobřežních oblastí dochází k odpovídajícímu nárůstu rizika. Poslední destruktivní teletsunami došlo v roce 1964 po velkém zemětřesení na Aljašce.

Jako americké národní centrum pro varování před tsunami, PTWC poskytuje varování pro teletsunamis pro Havaj, Guam, americkou Samou, Ostrov Wake, Johnstonův ostrov, Společenství severní Mariany, Federativní státy Mikronésie, Republika Marshallových ostrovů a všechny ostatní zájmy USA v Pacifiku které se nacházejí mimo oblast odpovědnosti Alaska Tsunami Warning Center (ATWC). PTWC slouží jako záloha pro ATWC a také slouží jako prozatímní středisko varování pro národy sousedící s Jihočínským mořem.

Jako Havajské regionální středisko varování před tsunami, PTWC poskytuje rychlejší varování pro místní tsunami vytvořené v havajských vodách a v Karibském moři je PTWC prozatímním varovným centrem pro země v systému varování před pobřežními riziky pro karibské a sousední regiony.

ATWC je směrodatné tsunami centrum varování pro západní a východní pobřeží a pevniny Spojených států a Kanady (NOAA's National Weather Service, 2019).

International Tsunami Information Center (ITIC)

Mezinárodní informační centrum Tsunami (ITIC), které se nachází v Honolulu, bylo v listopadu 1965 založeno Mezivládní oceánografickou komisí (IOC) a Organizací spojených národů pro výchovu, vědu a kulturu (UNESCO). ITIC udržuje a rozvíjí vztahy s vědeckými výzkumnými a akademickými organizacemi, agenturami civilní obrany a širokou veřejností, aby uskutečnila své poslání zmírnit rizika spojená s tsunami tím, že zlepší připravenost na tsunami pro všechny národy Tichého oceánu. ITIC rovněž pomáhá při vývoji a zavádění systémů varování a zmírnění tsunami na celém světě.

Povinnosti ITIC zahrnují:

1. Sledování mezinárodních činností v oblasti varování před vlnou tsunami v Tichomoří a jiných oceánech a doporučování vylepšení v oblasti komunikací, datových sítí, získávání a zpracování, metod pro předpovídání tsunami a šíření informací.
2. Informování členských a nečlenských států o systémech varování před tsunami, o záležitostech IOC a ITIC a o tom, jak se stát aktivními účastníky Mezivládní koordinační skupiny pro Tichomořský systém varování a zmírnění tsunami (ICG / PTWS)
3. Pomoc členským státům při vytváření vnitrostátních a regionálních systémů varování a snížení rizika tsunami prostřednictvím komplexních programů.
4. Vystupuje jako finanční centrum pro rozvoj vzdělávacích a přípravných materiálů, sběru dat o událostech a podpoře výzkumu a jeho aplikace k prevenci ztrát na životech.

Působnost ITIC je mezinárodní i vnitrostátní Mezinárodně ITIC poskytuje podporu pro pomoc při rozhodování o dopadu a školení pro země, zejména ty, které se účastní systému varování a zmírnění tsunami v Tichomoří a Tsunami a dalších systémů varování před pobřežními riziky pro Karibik a sousední regiony. Během událostí tsunami poskytuje ITIC v reálném čase podporu vzdáleným zemím, které o ni požádají.

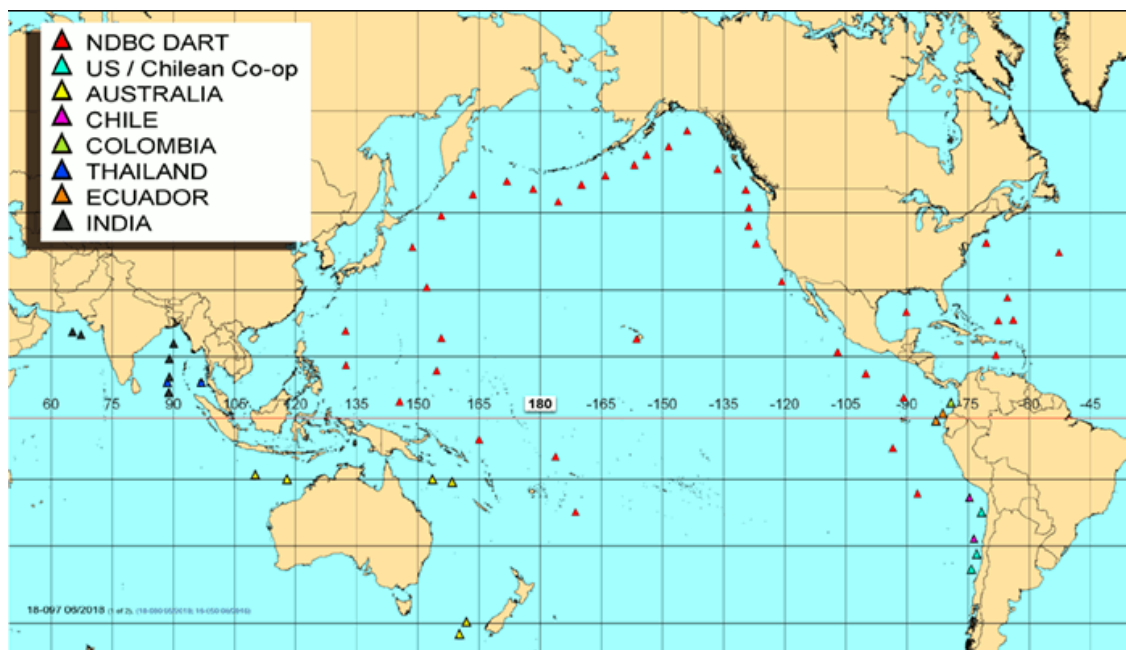
Z vnitrostátních důvodů se ITIC účastní a podporuje americký program na zmírnění ohrožení tsunami, který zahrnuje 28 pobřežních států, území a společenství. ITIC podporuje zejména havajské a pacifické ostrovní státy jako Americká Samoa, Guam a Severní Mariany. Během varovných událostí poskytuje ITIC osobní podporu Havajské agentuře pro nouzové řízení (International Tsunami Information Center, 2019).

Tsunami Hazards Reduction Utilizing Systems Technology (THRUST)

Národní správa oceánů a atmosféry (NOAA) zahájila projekt, snižování rizika tsunami za použití systémové technologie (THRUST), za účelem vytvoření pilotního regionálního systému varování před tsunami. Program THRUST, který je financován Agenturou pro mezinárodní rozvoj (AID) a vyvinutý laboratoří Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL) pro Chile, využívá stávající přístrojové vybavení spojené se satelitní komunikací k vytvoření systému včasného varování (Bernard & Behn, 1985). Systém THRUST je od roku 1986 v testovacím režimu a je umístěn ve městě Valparaiso na pobřeží Chile. Tato oblast je typická vyskytujícími se tsunami s blízkými ohnisky, a je zde proto nutnost maximální rychlosti varovných hlášení. Systém využívá údajů z podmořských detektorů, jejichž signál je přenášen pomocí družic NOAA přímo do lokálního centra, kde se údaje zpřesňují o data ze seismografů. Varování je tak připraveno do 2-3 minut. V budoucnosti je plánováno rozšíření tohoto programu i do dalších oblastí Tichého oceánu (Univerzita Palackého v Olomouci, 2019).

Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART)

Hluboké oceánské posuzování a podávání zpráv o tsunami (DART) je součástí systému varování před tsunami, vyvinuté společností Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL). Systémy DART jsou umístěny na strategických místech po celém oceánu a hrají rozhodující roli v předpovědi tsunami, jelikož umožňují zaznamenávat změny teploty a tlaku na mořském dně a přenáší data přes povrchovou bóji pomocí satelitu na pozemní stanici, tím umožňují okamžité a přesné prognózy o tsunami.



Obrázek 5. Rozmístění stanic systému DART (<https://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml>)

Každá stanice DART se skládá ze systému pro záznam tlaku na dně mořského dna (BPR), který dokáže detekovat tsunami o velikosti 1 cm a navazující bóji pro komunikaci v reálném čase. Pro přenos dat z BPR na mořském dně do povrchové bóje se používá akustické spojení. Data jsou pak přenášena přes satelitní spojení GOES do pozemních stanic, které demodulují signály pro okamžité šíření do středisek varovných tsunami center v NOAA do společnosti PMEL (NOAA Center for Tsunami Research, 2019).



Obrázek 6. Bóje systému DART (<https://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/>)

5.1.3 Informovanost obyvatelstva pro mimořádnou událost tsunami

Ochrana před tsunami spočívá především v připravenosti a informovanosti obyvatel postižených území, v dostatečné předpovědi a varování a v dlouhodobém efektivním využití krajiny v pobřežních oblastech (Říha, 2019).

V návaznosti na tsunami v Indickém oceánu z 26. prosince 2004 vyvinulo mezinárodní informační tsunami centrum (ITIC) mnoho vynikajících materiálů na zvyšování povědomí o vlnách tsunami, zejména na oblastní úrovni s cílem informovat veřejnost a osoby s rozhodovací pravomocí o nebezpečích tsunami, rizicích, připravenosti a zmírňování dopadu tsunami a zdůraznit tsunami jako globální nebezpečí, které vyžaduje zahájení globálního varování obyvatel. Základním materiálem byla DVD, na kterých ITIC nabízí kompilaci obecných a základních informací pro povědomí o vlnách tsunami, které mohou být využity na podporu potřeb vládních organizací, pro pohotovostní sbory a pedagogy. Pro materiály vytvořené ITIC Tsunami, Great Waves, Warning of Tsunami Warning a Tsunami Awareness jsou k dispozici bezpečnostní plakáty a letáky ve formátech, které umožňují jejich přizpůsobení tak, aby splňovaly potřeby, kultury a jazyky zemí a místních komunit (International Tsunami Information Center, 2019).

Bezpečnostní pravidla tsunami

Mezinárodní informační centrum tsunami (International Tsunami Information Center, 2019) uvádí deset základních bezpečnostních pravidel tsunami:

1. Všechna zemětřesení nemusí způsobit tsunami, avšak při větších zemětřeseních je velká pravděpodobnost vzniku tsunami. Proto když se dozvíte o zemětřesení, buďte připraveni na nouzové zprávy o tsunami.
2. Zemětřesení ve vaší oblasti je jedním z přírodních varovných signálů vzniku tsunami. Proto při silnějším zemětřesení nezůstávejte v nízko položených pobřežních oblastech.
3. Většinu tsunami předchází znatelný pokles hladiny moře, kdy oceán ustoupí směrem k moři a odhalí mořské dno. Dalším přírodním varovným signálem je hlasitý hluk připomínající přijíždějící vlak, který může být někdy slyšen, když se vlna blíží směrem k břehu.
4. Tsunami není jen jedna jediná vlna, ale řada vln nesoucí masivní objem vody, která může proudit a zaplavovat pobřeží celé hodiny. První vlna nemusí být největší. Z tohoto důvodu zůstaňte na bezpečném místě do doby, oficiálního vyhlášení stavu bezpečí patřičným orgánem.
5. Malé tsunami na břehu může být o několik kilometrů dál extrémně velká. Nedovoľte, aby jedna malá vlna, ovlivnila váš respekt ke všem dalším vlnám.
6. Všechna varování pro veřejnost je třeba brát velmi vážně, i když nejsou všechna určena pro vážné události. Tsunami v květnu 1960 zabilo 61 lidí v Hilo na Havaji, protože si někteří lidé mysleli, že šlo o falešný poplach.
7. Všechny tsunami jsou potenciálně nebezpečné, i když nemusí poškodit každé pobřeží, na které udeří.
8. Nikdy nejezděte dolů na břeh sledovat tsunami. Když vidíte vlnu, jste příliš blízko na to, abyste jí utekli. Většina tsunami jsou jako přívalové povodně plné trosek. Vlny tsunami se obvykle nevlíní a nelámou, za žádných okolností se po nich nesnažte surfovat.
9. Dříve nebo později postihne tsunami každé pobřeží v Pacifiku a všech oceánech. Pokud žijete v pobřežní oblasti, buďte na tuto situaci připraveni a přesvědčte se, že znáte všechny přírodní varovné tsunami signály.
10. Během mimořádné události při tsunami se vaše místní civilní obrana, policie a další nouzové organizace pokusí zachránit váš život. Snažte se o spolupráci.

Pravidla chování před tsunami

Mezinárodní informační centrum tsunami (International Tsunami Information Center, 2019) uvádí šest pravidel chování, která určují, co dělat před vznikem tsunami:

1. Buďte si vědomi možností vzniku tsunami. Tyto znalosti vám mohou zachránit život!
2. Sdílejte tyto znalosti s rodinou a přáteli. Mohlo by to zachránit jejich životy!
3. Určete, zda žijete, pracujete, hrajete nebo se pohybujete v pobřežním nízko položené oblasti nebo v evakuační zóně tsunami
4. Řiďte se pokyny místních nouzových a správních orgánů. Nevracejte se, dokud to místní úřady nevyhlásí za bezpečné.
5. Držte se dál od oceánu. Pokud jste na pláži nebo v blízkosti oceánu, a cítíte, že se země třese, okamžitě se přesuňte do vnitrozemí do vyvýšených míst. Nečekejte, až bude vydáno varování tsunami. Držte se dál od řek a potoků, které vedou k oceánu kvůli silným proudům a vlnám způsobených tsunami.
6. Ukryjte se. Pokud žijete v evakuační zóně tsunami a uslyšíte, že je varování tsunami, měla by vaše rodina evakuovat váš dům. Běžte spořádaně a klidě na evakuační stanoviště nebo na bezpečné místo mimo evakuační zónu. Pokud jste ve škole a slyšíte, že je varování tsunami, měli byste se řídit radami učitelů a dalších pracovníků školy. Pokud se nedokážete rychle přesunout do vnitrozemí, pak vám může poskytnout bezpečné útočiště vysoká, víceposchod'ová nejlépe železobetonová budova ve třetím patře a výše.

Pravidla chování během tsunami

Při vzniklém tsunami je nejdůležitější umět rozpoznat výstražné značky ať ty přírodní tak oficiální. Když pocítíte silné nebo dlouhé pobřežní zemětřesení, uvědomte si, že byla vytvořena tsunami, která dorazí během několika minut. Okamžitě se evakuujte do vnitrozemí do vyvýšených míst. Nečekejte na oficiální evakuační rozkazy. Když se objeví tsunami, které od vás vzniklo daleko, buďte ostražití vůči svému národnímu varovnému centru pro tsunami a místním správním orgánům. Pokud vědci věří, že existuje skutečná hrozba tsunami, centra pro varování před tsunami vydají varování pro tsunami. Připravte se na evakuaci tím, že budete mít připravené evakuační zavazadlo, vyhledáte rodinné příslušníky, přezkoumáte evakuační trasy a v případě, že to čas dovolí, zajistíte nezachycené objekty v okolí vašeho domova. Úředníci pro nouzové řízení nebo

civilní obranu vydají evakuační rozkazy, které určí postup veřejnosti při evakuaci z nebezpečných zón tsunami. Postupujte podle jejich pokynů.

Centra pro varování před tsunami zruší varování o tsunami, když se na pobřeží přestanou valit destruktivní vlny, což však neznamená, že je pro veřejnost bezpečné znovu vstoupit, jelikož poničené budovy stejně jako elektrické vedení mohou být nebezpečné. Z toho důvodu se vraťte domů až poté, co vám místní správní orgán dá vědět, že je to bezpečné. Tsunami je série vln, které mohou pokračovat po mnoho hodin. Nepředpokládejte, že po jedné vlně nebezpečí skončí. Další vlna může být větší než první (International Tsunami Information Center, 2019).

Pravidla chování po tsunami

Po tsunami je nejdůležitější zjistit, zda je možné se vrátit zpět do postižené oblasti, popřípadě kdy to bude možné. Událost tsunami může být destruktivní nebo nedestruktivní. Pokud je událost nedestruktivní, mohou místní složky pro řízení nouzových a mimořádných situací vydat prohlášení "all clear" což znamená, že je bezpečné vrátit se do pobřežních oblastí. Došlo-li k destruktivní události, nemusí být vydáno prohlášení "all clear" po celé hodiny až dny. V tomto případě budou okamžitě zahájeny nouzové, pátrací a záchranné operace na souši i na moři. Pobřeží by mohlo být pokryto záplavami vody, poškozenými domy a budovami, troskami, požáry a nebezpečnými látkami. Je také možné, že budou nefunkční systémy užitkových životních sítí (elektrické, telekomunikační, silniční plynovody atd.) Veřejnost nebude moci znovu vstoupit na pobřežní přinejmenším tak dlouho, dokud nebudou z vozovky odstraněny trosky a jiné nečistoty. Pokud byla tsunami způsobena lokálním zemětřesením, dávejte pozor na následné otřesy a zůstaňte naladěni na místní rozhlasové a televizní vysílání pro nouzové informace. Dodržujte oficiální pokyny, používejte rádia napájená bateriemi. Pamatujte si, že je důležité držet se dál od pobřeží, dokud místní správní orgán nevydá prohlášení "all clear" pro znovuotevření oblasti (International Tsunami Information Center, 2019).

Pravidla chování při vlastnění lodi

Mezinárodní informační centrum tsunami (International Tsunami Information Center, 2019) uvádí šest pravidel chování, která určují, co dělat při vlastnění lodi při mimořádné události tsunami:

1. Pokud jste na moři a bylo vydáno varování tsunami, nevracejte se do přístavu, protože vlny tsunami nelze na otevřeném oceánu vidět. Přístav

může být poškozen a pokryt nebezpečnými nečistotami. Poslouchejte rádiové zprávy námořníků, abyste, věděli zda, popřípadě kdy je bezpečné vrátit se do přístavu.

2. Tsunami může způsobit rychlé změny hladiny vody a nepředvídatelné nebezpečné proudy, které se v přístavech zvětšují. Zničující vlnová aktivita může pokračovat po mnoho hodin od počátečního dopadu tsunami. obraťte se na přístavní úřad nebo si poslechněte zprávy námořního rádia. Ujistěte se, že podmínky v přístavu jsou bezpečné pro navigaci a kotvení.
3. Lodě jsou ve větším bezpečí při kotvení v hlubokém oceánu nad 100 metrů než v přístavu. Ale neriskujte svůj život pokusem o dopravení své lodi do hluboké vody, když je vlna na cestě k vám. Musíte počítat se zpožděním kvůli zácpě, kterou mohou vytvořit ostatní jachtaři, kteří míří do moře.
4. V případě lokálně generovaného tsunami nebude čas dopravení lodi do hluboké vody, protože vlny mohou přijít na břeh během několika minut. Nechte svůj člun na molu a sám se přesuňte na vyvýšená místa.
5. V případě tsunami vytvořené daleko, kdy bude více času, alespoň jedna nebo více hodin budete mít čas pro dopravení lodi do hluboké vody. Poslouchejte oficiální odhady času příchodu vln tsunami a podle toho plánujte.
6. Většina velkých přístavů je pod kontrolou přístavního úřadu nebo systému lodní dopravy. Tyto úřady řídí operace v období zvýšené pohotovosti, včetně nuceného pohybu plavidel, pokud to považují za nezbytné. Při vydávání varování tsunami udržujte kontakt se správnými úřady.

5.1.4 Varovné signály a symboly tsunami

Informační tabule

Informační tabule mohou být využity k poskytování informací veřejnosti o tsunami a jejich dopadu. Na informačních tabulích mohou být poskytnuty různé užitečné informace o varováních a evakuaci při tsunami, o tom, jak by měla veřejnost reagovat při tsunami nebo, o místní historii tsunami a minulých fotografiích dopadů tsunami (International Tsunami Information Center, 2019).

Tsunami - Are you ready?

What is a tsunami?

Tsunamis are a series of waves most commonly generated by major disturbances of the sea floor, usually caused by undersea earthquakes, landslides, or volcanic eruption. Tsunamis can occur at any season of the year and at any time, day or night. Some tsunamis can be very large and can rapidly and violently inundate coastlines, causing loss of life and property damage. Others can be small and dangerous to those near or in the water.

Tsunami Facts

New Zealand's entire coast is at risk of tsunami.

- The biggest tsunamis in New Zealand are likely to be caused by events close to our shore and can arrive within only a few minutes.
- Some tsunamis can travel thousands of kilometres and still be big enough on arrival here cause loss of life and damage.
- The first waves may not be the largest.
- Large waves may come after a series of small waves. The largest waves from distant sources may take many hours to arrive.
- There may be many waves separated by up to an hour, or more.
- Tsunamis can travel around corners, up coastal rivers and streams.
- Over land tsunamis pick up debris and can knock down houses. The force of tsunamis is enormous.
- Harbours, bays and inlets often amplify tsunami waves.

Tsunami history

At least three tsunamis with run-up heights of 10 m or more have occurred in the last 145 years. Two of these tsunamis were generated by local earthquakes (1855 and 1947), the other by a large South American earthquake (1960). Tsunamis with run-up height of 30 m or more have been found in the geological (prehistoric) record of the last 6,000 years. New Zealand also has a big plate-boundary faultline offshore east of the North Island, similar to the boundary offshore of Indonesia which caused the Indian Ocean tsunami in 2004.

The 1855 earthquake, which ruptured the Wairarapa fault, generated a tsunami with a maximum known run-up of 10 m in eastern Palliser Bay and up to 45 m in several locations in Wellington and along the northern Marlborough coast.

In 26 March 1947 tsunamis were experienced on the coast north of Gisborne, where the waves reached 10 m above sea-level, a small part of Hawke's Bay north of Mahia Peninsula was also affected.

In May 1960 a massive magnitude 9.5 earthquake in southern Chile generated a Pacific-wide tsunami that caused the deaths of thousands in Chile and several hundreds in Hawaii, Japan and the Philippines. It also resulted in damage throughout New Zealand. Water levels possibly reached over 4 m above high tide mark, even though this tsunami occurred at low tide. It would have been far more damaging if it had occurred at high tide.

How an earthquake-generated tsunami forms

Remains of a 4-room cottage, in which three people survived that large tsunami surge on 26 March 1947. In the distance, the tsunami reached 10 m vertically above sea-level, breaching a bridge from its foundations, and driving it 500 m upstream. (NZ Weekly News, 7 April 1947)

In 1947 50 m of the Southbridge to West Street was torn away and the power and gas lines along it were broken. 1700 m³ of sand were moved from the West Harbour. (Daily Telegraph, also mentioned, para. 24, May 1948)

DRAFT TSUNAMI EVACUATION ZONES

Obrázek 7. Informační tabule na Novém Zélandu (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Značky evakuačních zón, tras a bezpečných míst

Značky evakuačních zón, tras a bezpečných míst ukazují umístění zón, které mají být evakuovány během varování tsunami, poskytují instrukce, pokyny nebo trasy pro evakuaci a identifikují místa, která jsou při vzniku tsunami bezpečná (International Tsunami Information Center, 2019).



Obrázek 8. Značka Riskantní zóny tsunami v Chile (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)



Obrázek 9. Značka Evakuační cesty v Indonésii (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)



Obrázek 10. Značka vstupu do evakuační oblasti tsunami na Havaji (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Mezinárodně schválené tsunami symboly ISO a ITSU

Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) schválila v roce 2008 mezinárodní značení pro zóny ohrožení tsunami, evakuační prostory a evakuační budovy. ISO 20712 o vodních bezpečnostních značkách a vlajkách pro bezpečnost na pláži poskytuje vodítko k bezpečnostním značkám, které poskytují informace o nebezpečí pro vodní prostředí a opatření nezbytných k tomu, aby se těmto rizikům zabránilo, včetně značení pro nebezpečné oblasti tsunami (International Tsunami Information Center, 2019).



Obrázek 11. Značka zóny nebezpečí tsunami (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)



Obrázek 12. Značka Evakuační oblasti tsunami (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)



Obrázek 13. Značka evakuační budovy tsunami (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Následující mezinárodní značky byly přijaty v roce 2003 mezinárodním informačním tsunami centrem.



Obrázek 14. Značka zóny nebezpečí tsunami (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)



Obrázek 15. Značka evakuační cesty (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Varovné sirény

Tsunami sirény a jejich stroboskopická světla jsou silným signálem pro hledání více informací. Když dojde k tsunami varování, siréna zní přerušovaně. Stroboskopické světlo bude během události blikat od začátku do konce.

Tsunami sirény nutně neznamenají, že musíte oblast evakuovat. Je to znamení, že musíte zjistit, jaká je aktuální míra ohrožení. Můžete to udělat tak, že zapnete televizor nebo rádio.



Obrázek 16. Varovná siréna tsunami v USA (https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/tsunami-warning-signs#.XO_12tIza9J)

5.1.5 Mořská stěna

Mořská stěna nebo hradba je forma pobřežní obrany konstruována tam, kde mají mořské a pobřežních procesy přímý vliv na pobřeží. Účelem mořské stěny je chránit obydlené oblasti lidí, a jejich volnočasové aktivity před působením přílivových a odlivových vln.

Mořská stěna funguje tak, že odráží dopadající energii vlny zpět do moře, čímž snižuje energii a erozi, které by jinak bylo pobřeží vystaveno. Konstrukce a typ stěny, která je vhodná, závisí na konkrétních aspektech místa, včetně okolních procesů eroze.

Vertikální typ mořské stěny

Vertikální mořské stěny jsou stavěny na obzvláště nechráněných místech, na odražení energie vln. Za bouřkových podmínek se může vytvořit nezničitelný vlnový vzorec, což má za následek stabilní vlnu, která se pohybuje nahoru a dolů, ale necestuje vodorovně. Tyto vlny podporují erozi na špičce stěny a mohou způsobit vážné poškození mořské stěny. V některých případech se umísťují před stěnu hromady, aby se mírně snížila energie vlny.



Obrázek 17. Vertikální typ mořské stěny

(<https://sites.google.com/site/structuralengineerflorida/home/sea-walls>)

Zakřivený nebo stupňovitý typ mořské stěny

Zakřivené nebo stupňovité mořské stěny jsou navrženy tak, aby umožnily rozlomení vlny, rozptýlení vlnové energie a odrazení vlny zpět do moře. Zakřivení může také zabránit vlnění překrývající stěnu a poskytuje dodatečnou ochranu špičky stěny.



Obrázek 18. Zakřivený nebo stupňovitý typ mořské stěny

(<https://sites.google.com/site/structuralengineerflorida/home/sea-walls>)

Valový typ mořské stěny

Mořské stěny valového typu, používající navážení a zpevnování kameny či pískem jsou použity v méně náročných prostředích, kde hrozí jen nižší energetické a erozní procesy.



Obrázek 19. Valový typ mořské stěny

(<https://sites.google.com/site/structuralengineerflorida/home/sea-walls>)

6 Závěry

Na základě získaných informací bylo zjištěno, že tsunami je přírodní jev v podobě obrovských vln o vlnové délce až 500 kilometrů, dosahující rychlosti až 950 kilometrů za hodinu. Tyto vlny mají velice často ničivé až katastrofální dopady, přičemž dochází k velkým škodám na majetku, ale především ve spoustě případů k velkému počtu obětí, řádově až k stotisícům.

Dále bylo zjištěno, že ochrana obyvatelstva proti tsunami závisí na celkové rychlosti provádění předpovědi, pro kterou se používá databáze předpovědi šíření tsunami. Tato rychlost předpovědi a následná rychlost informovanosti obyvatelstva pomocí varovných systémů, která se používá k detekci tsunami v podobě bójí na strategických místech v oceánu a vydávání varování pomocí rozhlasu nebo rádiového vysílání při vzniku mimořádné události tsunami, hrají velkou roli v minimalizaci ztrát na životech obyvatel. Tato minimalizace ohrožení na životech také závisí na následné rychlosti a smysluplnosti chování obyvatel ať při řízené evakuaci tak při samovolném opuštění ohrožené oblasti, jelikož při vzniku tsunami záleží na každé sekundě.

Je nepochybné, že přesto že je tsunami výraznou hrozbou pouze pro pobřežní oblasti a nám v České republice relativně žádná taková hrozba nehrozí, je dobré mít základní informace o tomto přírodním jevu alespoň v případech, kdy cestujeme do zahraničních pobřežních oblastí a být informovaní o možnostech ohrožení tsunami a nevystavit se tak náhlému překvapení.

7 Souhrn

V první části jsou popsány a vysvětleny jednotlivé základní pojmy. Vysvětlen je pojem tsunami jakožto vlny katastrofického rázu představující nebezpečí pro všechny přímořské oblasti světa. Bylo zjištěno, že původ slova pochází z Japonska a popisuje velké vlnové kmity uvnitř přístavu během události tsunami. Dále jsou uvedeny jeho základní a fyzikální vlastnosti a vysvětlena pravděpodobnost vzniku tsunami podle velikosti magnituda zemětřesení, podle které bylo objasněno, že zemětřesení s magnitudem větším než 7,3 vyvolává tsunami téměř vždy. Další část práce je zaměřena na nejčastější výskyt tsunami a příčiny vzniku tsunami. V této pasáži je uvedeno, jak vlastně tsunami vypadá, když vzniká, proč vzniká a v kterých oblastech vzniká nejčastěji. Jako prvním znakem postřehnutelným okem před tsunami je popsán charakteristický ústup moře a zvuk příboje, který je prvním varováním před blížící se obrovskou vlnou, která se valí směrem k pobřeží. Dále bylo zjištěno, že základním předpokladem pro vznik tsunami je změna objemu oceánu, kdy jednou z hlavních příčin je zemětřesení a nejčastější oblastí vzniku tsunami je Tichý oceán. V závěru první části jsou uvedeny a popsány vybrané události tsunami jejich vznik, příčiny a následky.

V druhé části práce je uvedena ochrana obyvatelstva proti tsunami. V práci je vysvětlena předpověď šíření tsunami a fungování a činnost varovných systémů a ochranných prostředků proti tsunami, jakožto získávání prognózy pomocí technologií za účelem včasného varování obyvatelstva v ohrožených územích. Také bylo zjištěno, že i přesto, že není možné, aby byly pozorovací sítě hustě rozmístěny po celém oceánu kvůli vysokým nákladům a složité údržbě, poskytují měřicí a modelovací techniky spolehlivé předpovědi tsunami, které pomáhají k včasnému varování obyvatel. V další části práce je shrnuta informovanost obyvatelstva při mimořádné události tsunami a jsou popsány bezpečnostní pravidla pro chování před, během a po tsunami, ale také pravidla chování při vlastnění lodi při tsunami. Dále jsou popsány varovné signály a symboly tsunami, které slouží k poskytnutí užitečných informací o tsunami jako informační tabule, k ohrazení různých zón tsunami jako značky, a v případě varovných sirén k oznámení mimořádné události. V závěru práce jsou popsány typy mořských stěn, které slouží k pobřežní ochraně před tsunami.

8 Summary

The first part describes and explains the basic concepts. The term tsunami is explained as a catastrophic wave representing a danger to all seaside areas of the world. It was found that the origin of the word originated in Japan and describes the large wave oscillations within the port during the tsunami event. Next are described basic and physical properties of tsunami based of probability of earthquake magnitude and it has been clarified that an earthquake with magnitude greater than 7.3 causes tsunamis almost always. The next part of the thesis is focused on the most common occurrence of tsunami and causes of tsunami. In this passage it is stated how the tsunami actually looks when it comes, why it is originates and in which areas it is most common. The first sign perceptible to the eye before tsunami is the characteristic retreat of the sea and the sound of the surf, which is the first warning of the approaching giant wave rolling toward the coast. Next it has been found that the prerequisite for tsunamis is a change in ocean volume, where one of the main causes is the earthquake and the most common tsunami area is the Pacific Ocean. At the end of the first part, are described selected tsunami events, their origin, causes and consequences.

In the second part of the thesis is described civic defense. Thesis explains the tsunami spread prediction and the functioning and operation of tsunami warning systems and safeguards, as a technology-based forecasting for early warning of populations in vulnerable areas. It has also been found that, measurement and modeling techniques provide reliable tsunami predictions to help early warning of the population even though its not possible to have observative systém across the whole ocean because of the big costs. The next part of the thesis summarizes the awareness of the population during the tsunami emergency and describes the safety rules for behavior before, during and after the tsunami, as well as the rules of behavior when owning a ship during tsunami. Next are described tsunami warning signals and symbols which provide useful information about the tsunami as an information board, to delimit different tsunami zones as signs, and to alert an emergency in the case of warning sirens. At the end of the thesis, are described the types of sea walls that are used for coastal tsunami protection.

9 Referenční seznam

- Bagley, M. (2017). Krakatoa Volcano: Facts About 1883 Eruption. Retrieved 18.6. 2019 from the World Wide Web: <https://www.livescience.com/28186-krakatoa.html>
- Belo, A. (2004). Between History and Periodicity: Printed and Hand-Written News in 18th-Century Portugal. Retrieved 17.6. 2019 from the World Wide Web: https://www.brown.edu/Departments/Portuguese_Brazilian_Studies/ejph/html/issue4/html/belo_main.html
- Bernard, E., & Behn, R. (1985). Regional tsunami warning systém (THRUST). *OCEANS '85 - Ocean Engineering and the Environment*, 215-219. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.1985.1160268>
- Bryant, E. (2014). *Tsunami: The Underrated Hazard*. Basilej, Švýcarsko: Springer Nature. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-06133-7>
- Bryant, E. (2005). *Natural Hazards: Second Edition*. NY, USA: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811845>
- Cílek, V. (2006). *Tsunami je stále s námi*. Praha, Česká republika: Alfa Publishing.
- Goff, J., Terry, J., Chagué-Goff, C., & Goto, K. (2014). What is a mega-tsunami?. *Marine Geology*, (358), 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.013>
- International Tsunami Information Center (2019). Safety Rules. Retrieved 30.5. 2019 from the World Wide Web: http://itic.ioc.unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1169&Itemid=1169
- International Tsunami Information Center (2019). Before a tsunami. Retrieved 30.5. 2019 from the World Wide Web: http://itic.ioc.unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1017&Itemid=1017
- International Tsunami Information Center (2019). During a tsunami. Retrieved 30.5. 2019 from the World Wide Web: http://itic.ioc.unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=2013&Itemid=2312

International Tsunami Information Center (2019). After a tsunami. Retrieved 30.5. 2019 from the World Wide Web: http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1018&Itemid=1018

International Tsunami Information Center (2019). About ITIC. Retrieved 2.6. 2019 from the World Wide Web: http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1173&Itemid=1173

International Tsunami Information Center (2019). Signs & Symbols. Retrieved 2.6. 2019 from the World Wide Web: http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406

Jakeš, P. (2005). *Vlny hrůzy: Zemětřesení, Sopky a Tsunami*. Praha, Česká republika: Lidové noviny.

Kukal, Z. (1983). *Přírodní katastrofy*. Praha, Česká republika: Horizont.

Liu, P.L.-F. (2009). Tsunami. In H. J. Steele, S. A. Thorpe, & K. K. Turekian (Eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences* (pp. 127-140). Amsterdam: Elsevier ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00613-5>

National Geophysical Data Center / World Data Service (2013). *NCEI/WDS Global Historical Tsunami Database, 2100 BC to Present*. Retrieved 4.5.2019 from the World Wide Web: <https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ngdc.mgg.hazards:G02151>

NOAA Center for Tsunami Research (2019). Forecast Inundation Models. Retrieved 25.5.2019 from the World Wide Web: <https://nctr.pmel.noaa.gov/sim.html>

NOAA Center for Tsunami Research (2019). Tsunami Forecasting. Retrieved 25.5.2019 from the World Wide Web: <https://nctr.pmel.noaa.gov/tsunami-forecast.html>

NOAA Center for Tsunami Research (2019). Forecast Propagation Database. Retrieved 25.5.2019 from the World Wide Web: <https://nctr.pmel.noaa.gov/propagation-database.html>

NOAA Center for Tsunami Research (2019). PTWC Responsibilities. Retrieved 1.6.2019 from the World Wide Web: <https://nctr.pmel.noaa.gov/sim.html>

NOAA Center for Tsunami Research (2019). About DART® tsunami monitoring buoys. Retrieved 2.6.2019 from the World Wide Web: <https://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/>

NOAA's National Weather Service (2019). Pacific Tsunami Warning Center. Retrieved 25.5.2019 from the World Wide Web: <https://ptwc.weather.gov/ptwc/responsibilities.php>

Northland REGIONAL COUNCIL (2019). Tsunami signs and alerting. Retrieved 2.6.2019 from the World Wide Web: <https://www.nrc.govt.nz/civildefence/how-to-get-ready/emergencies-likely-in-northland/tsunami/tsunami-warnings/>

Papadopoulos, G. (2016). Chapter7 - Tsunami Early Warning Systems and Risk Mitigation. *Tsunamis in the European-Mediterranean Region*, 179–226. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420224-5.00007-7>

Pararas-Carayannis, G. (1999). The Mega-Tsunami of July 9, 1958 in Lituya Bay, Alaska. *DISASTER PAGES*. Retrieved 19.4.2019 from the World Wide Web: <http://www.drgeorgepc.com/Tsunami1958LituyaB.html>

Pletcher, K., & Rafferty, J. (2019). Japan earthquake and tsunami of 2011. Retrieved 18.6.2019 from the World Wide Web: <https://www.britannica.com/event/Japan-earthquake-and-tsunami-of-2011>

SMSTSUNAMIWARNING (2019). Tsunamis: warning signs. Retrieved 1.6.2019 from the World Wide Web: https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/tsunami-warning-signs#.XO_12tIza9J

SMSTSUNAMIWARNING (2019). 1960 Valdivia Earthquake or Great Chilean Earthquake. Retrieved 18.6.2019 from the World Wide Web: <https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/tsunami-chile-1960#.XQjudtIza9I>

SMSTSUNAMIWARNING (2019). 1960 Tsunami Sumatra 2004, Andaman Indonesia. Retrieved 18.6.2019 from the World Wide Web: <https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/tsunami-sumatra-2004#.XQj8DdIza9I>

SlidePlayer (2019). Zemětřesení, tsunami kpt.Ing. Milan Říha, DiS. Retrieved 10.6.2019 from the World Wide Web: <https://slideplayer.cz/slide/14030857/>

Structuralengineerflorida (2019). SEA WALLS. Retrieved 2.6. 2019 from the World Wide Web: <https://sites.google.com/site/structuralengineerflorida/home/sea-walls>

Thiebot, E., & Gutscher, M.-A. (2006). The Gibraltar Arc seismogenic zone (part 1): Constraints on a shallow east dipping fault plane source for the 1755 Lisbon earthquake provided by seismic data, gravity and thermal modeling. *Tectonophysics*, 426(1), 135–152. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2006.02.024>

Univerzita Palackého v Olomouci (2019). Tsunami a varovne_ systémy. Retrieved 2.6. 2019 from the World Wide Web:

https://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/PPR/Tsunami%20a%20varovne_syste my.pdf

World Vision (2019). Eartquakes and Tsunamis: Facts, FAQs, and how to help. Retrieved 30.5. 2019 from the World Wide Web: <https://www.worldvision.org/disaster-relief-news-stories/earthquake-tsunami-facts>

Yadav, V. (1999). TSUNAMI WARNING SYSTEM. *SlideShare*. Retrieved 29.5.2019 from the World Wide Web: <https://www.slideshare.net/VineetYadav30/tsunami-warning-system-75961780>

10 Seznam obrázků

Obrázek 1. Ilustrace chování tsunami od ohniska zemětřesení tedy místa vzniku tsunami až k pobřeží. Původní délka vlny tsunami se zkracuje v závislosti na zmenšující se hloubce moře, současně se snižuje i rychlost šíření tsunami. Z původní rychlosti 840 km za hodinu klesá na 50 km za hodinu. (Jakeš, 2005 p. 48)

Obrázek 2. Obrázek vyznačuje hranice subdukčních desek (Tectonic Plate Boundaries) v ohnivém prstenci který se nachází na okraji Tichého oceánu (Pacific Ocean). Tato oblast je nejaktivnější seismickou zónou na světě.

(<https://www.worldvision.org/disaster-relief-news-stories/earthquake-tsunami-facts>)

Obrázek 3. Lokality umístění jednotlivých zdrojů pro předem vypočtenou simulaci při zemětřesení v databázi předpovědi šíření. Ty mohou být kombinovány tak, aby poskytovaly velmi rychlou prognózu během aktuální události tsunami. (1. Západní Pacifik, 2. Východní Pacifik, 3. Atlantský oceán, 4. Indický oceán)

(<https://nctr.pmel.noaa.gov/propagation-database.html>)

Obrázek 4. Jednotkové zdroje podél Aleutských ostrovů

(<https://nctr.pmel.noaa.gov/propagation-database.html>)

Obrázek 5. Rozmístění stanic systému DART (<https://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml>)

Obrázek 6. Bóje systému DART (<https://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/>)

Obrázek 7. Informační tabule na Novém Zélandu (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Obrázek 8. Značka Riskantní zóny tsunami v Chile (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Obrázek 9. Značka Evakuační cesty v Indonésii (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Obrázek 10. Značka vstupu do evakuační oblasti tsunami na Havaji (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Obrázek 11. Značka zóny nebezpečí tsunami (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Obrázek 12. Značka Evakuační oblasti tsunami (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Obrázek 13. Značka evakuační budovy tsunami (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Obrázek 14. Značka zóny nebezpečí tsunami (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Obrázek 15. Značka evakuační cesty (http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1406&Itemid=1406)

Obrázek 16. Varovná siréna tsunami v USA (https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/tsunami-warning-signs#.XO_12tIza9J)

Obrázek 17. Vertikální typ mořské stěny
(<https://sites.google.com/site/structuralengineerflorida/home/sea-walls>)

Obrázek 18. Zakřivený nebo stupňovitý typ mořské stěny
(<https://sites.google.com/site/structuralengineerflorida/home/sea-walls>)

Obrázek 19. Valový typ mořské stěny
(<https://sites.google.com/site/structuralengineerflorida/home/sea-walls>)