

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA ROZVOJOVÝCH STUDIÍ

Jan Švarc

Hurikány, jejich dopad na životní prostředí a karibskou společnost

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Jan Macháček

Olomouc 2014

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Jana Macháčka na základě uvedené literatury v informačním pramenu.

V Olomouci dne 4. května 2014

Podpis

Děkuji Mgr. Janu Macháčkovi za odborné vedení mé bakalářské práce a za věcné rady, které mi pomohly při tvorbě práce. Rád bych také poděkoval ostatním zúčastněným, kteří se podíleli na finální korektuře práce.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
Přírodovědecká fakulta
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan ŠVARC**
Osobní číslo: **R11381**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Mezinárodní rozvojová studia**
Název tématu: **Hurikány, jejich dopad na životní prostředí a karibskou společnost**
Zadávající katedra: **Katedra rozvojových studií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Předložená práce se zabývá problematikou hurikánů v Karibské oblasti. Hlavním cílem je analýza rizik hurikánů a jejich následných dopadů, environmentálních a společenských. Práce se dále věnuje samotnému vývoji hurikánů, pozornost je také věnována lokalizaci nejpostiženějších oblastí regionu a historicky významným událostem.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **10 - 15 tisíc slov**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- 1. Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 32: Assessing the Potential Consequences of Climate Destabilization in Latin America.** 1. vyd. The World Bank, 2009. Walter Vergara. Dostupné z: <http://irispublic.worldbank.org/85257559006C22E9/All%20Documents/85257559006C>
- 2. Hurricane Vulnerability in Latin America and The Caribbean: Normalized Damage and Loss Potentials.** [online]. s. 101-114 [cit. 2013-05-09]. DOI: 10.1061/ASCE/1527-6988(2003)4:3(101). Dostupné z: <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/Landsea/NHR-Cuba.pdf>
- 3. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years.** [online]. s. 686-688 [cit. 2013-05-09]. DOI: 10.1038/nature03906. Dostupné z: <http://www.atmosedu.com/ENVS109/articles/Emanuel05-hurricanes.pdf>

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Jan Macháček**
Katedra rozvojových studií

Datum zadání bakalářské práce: **9. května 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. dubna 2014**

L.S.

Prof. RNDr. Juraj Ševčík, Ph.D.
děkan

Doc. RNDr. Pavel Nováček, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 9. května 2013

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá problematikou hurikánů v Karibské oblasti. V úvodních kapitolách je rozebírán samotný vývoj hurikánů a faktory mající vliv na intenzitu hurikánových sezon v severním Atlantiku. Hlavním cílem práce je analýza rizik a jejich následných dopadů environmentálních a společenských. Vzhledem k úzké specifikaci jednotlivých rizik v rámci celého Karibiku, byla vypracována případová studie Portorika, která reprezentuje jednotlivá rizika v jedné z nejpostiženějších oblastí. V neposlední řadě se práce také zaměřuje na jednotlivé historicky významné události a vztah chudoby k dopadům bouří na společnost a životní prostředí.

Klíčová slova:

hurikán, Karibik, Portoriko, dopady, životní prostředí, společnost

Abstract:

This bachelor thesis is focused on hurricanes in Caribbean region. The first chapter analyses the formation of hurricanes and factors which affect the intensity of hurricane seasons in the North Atlantic region. The main objective of the thesis is to analyse risks and their subsequent environmental and social impacts. Due to the narrow specification of individual risks throughout the Caribbean, was developed a case study of Puerto Rico which represents individual risks in one of the worst affected area. Finally, the work focuses on individual historically significant events and the correlation between poverty and storm impacts on society and environment.

Key words:

hurricane, Caribbean region, Puerto Rico, impacts, environment, society

Obsah

| | |
|---|----|
| Seznam zkratk | 10 |
| Seznam obrázků, grafů a tabulek | 11 |
| Úvod | 12 |
| Cíle a metodika práce | 13 |
| 1 Základní charakteristika oblasti | 14 |
| 1.1 Geografické vymezení oblasti | 14 |
| 1.2 Geografické charakteristiky oblasti | 14 |
| 1.3 Hydrologické charakteristiky | 15 |
| 2 Faktory ovlivňující vznik a intenzitu tropických cyklon | 16 |
| 2.1 Teplota povrchových vod | 16 |
| 2.1.1 Teplotní odchylky SST | 16 |
| 2.2 Atlantická multidekadální oscilace | 17 |
| 2.2.1 Proměnlivost hurikánových sezon vzhledem k aktuálním fázím oscilací | 18 |
| 2.2.2 Slabé sezony | 18 |
| 2.2.3 Silné sezony | 19 |
| 3 Tvorba tropických cyklon, charakteristika hurikánové sezony | 20 |
| 3.1 Vývoj tropické cyklony v Atlantiku | 20 |
| 3.1.1 Vznik tropické deprese | 20 |
| 3.1.2 Tropická bouře | 20 |
| 3.1.3 Tropická cyklona, hurikán | 21 |
| 3.1.4 Slábnutí cyklon | 21 |
| 3.2 Trasy hurikánů | 21 |
| 3.2.1 Lokalizace jednotlivých oblastí a šance na zasažení bouřemi | 21 |
| 3.3 Časové rozložení bouří během sezony | 22 |
| 4 Hazardy spojené s přechodem hurikánů | 24 |
| 4.1 Vzednutí hladiny a vlnobití | 24 |
| 4.2 Vítr | 24 |

| | |
|--|----|
| 4.3 Srážky | 25 |
| 5 Chudoba, vztah k dopadům na společnost a životní prostředí | 27 |
| 5.1 Materiální škody..... | 27 |
| 5.1.1 Vliv rozdílné vyspělosti společnosti na materiální škody | 28 |
| 5.2 Oběti na životech | 30 |
| 5.3 Vliv chudoby ve vztahu k dopadům hurikánů na společnost a životní prostředí..... | 31 |
| 5.3.1 Rostoucí populace, migrace do měst | 31 |
| 5.3.2 Deforestace a využívání půdy..... | 33 |
| 5.3.3 Vnímání bouří společností, varovný systém, evakuace | 35 |
| 6 Případová studie, Portoriko..... | 36 |
| 6.1 Základní geografické a geologické charakteristiky ostrova..... | 36 |
| 6.2 Základní klimatické charakteristiky | 37 |
| 6.3 Tropické bouře a hurikány | 38 |
| 6.3.1 Směr příchodu bouří..... | 39 |
| 6.3.2 Časové rozložení bouří v průběhu sezony | 39 |
| 6.3.3 Intenzita bouří | 40 |
| 6.4 Hazardy spojené s přechodem hurikánů..... | 42 |
| 6.4.1 Sesuvy půdy..... | 42 |
| 6.4.2 Srážky | 44 |
| 6.4.3 Vítr..... | 45 |
| 6.5 Charakteristika společnosti | 48 |
| 6.6 Škody spojené s přechodem tropických bouří v Portoriku | 49 |
| 6.7 Oběti na životech | 52 |
| Závěr..... | 54 |
| Seznam použité literatury | 55 |
| Přílohy | 60 |

Seznam zkratek

| | |
|--------|--|
| AMO | Atlantic Multidecadal Oscilation |
| AOML | Atlantic Oceanographic Meteorological Laboratory |
| ESR | Earth System Research |
| DLS | Deep Layer Shear |
| FEMA | Federeal Emergency Managment Agency |
| HRD | Hurricane Research Division |
| HURDAT | The North Atlantic hurricane Database |
| IFRCSC | International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies |
| NAO | North Atlantic Oscilation |
| NOAA | National Oceanographic and Atmospheric Administration |
| NCDC | National Climatic Data Center |
| NHC | National Hurricane Center |
| PDO | Pacific Decadal Oscilation |
| SST | Sea Surface Temperature |
| USAID | United States Agency for International Development |
| USCB | United States Census Bureau |
| WMO | World Meteorological Organization |

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Četnost výskytu bouří v neaktivnějším měsíci sezony září a jejich lokalizace | 23 |
| Obrázek 2: Rozložení srážek během hurikánu Flora v roce 1963..... | 26 |
| Obrázek 3: Fyzicko-geografická mapa Portorika..... | 37 |
| Obrázek 4: Klimadiagram hlavního města San Juan | 38 |
| Obrázek 5: Nejvíce exponované svahy vůči sesuvům půd v Portoriku | 43 |

Seznam grafů

| | |
|---|----|
| Graf 1: Teplotní odchylky Karibského moře v letech 1950 – 2013 | 16 |
| Graf 2: Počet bouří vytvořených v severním Atlantiku, 1995 – 2013 | 17 |
| Graf 3: Počet bouří během negativní fáze AMO v období 1900 – 1930 | 19 |
| Graf 4: Počet bouří během kladné fáze AMO trvající v období 1930 – 1965..... | 19 |
| Graf 5: Porovnání rozsahu materiálních škod sedmi nejničivějších hurikánů v USA a na Kubě (v mld. USD)..... | 29 |
| Graf 6: Rozsah škod páchaných hurikány v jednotlivých sezonách | 30 |
| Graf 7: Sezony s nejvyšším počtem úmrtí v období 1991 – 2013 | 31 |
| Graf 8: Růst populace vybraných států Karibiku v období 1950 – 2013 | 32 |
| Graf 9: Plocha zemědělské půdy vybraných států Karibiku v období 1961 – 2010 | 34 |
| Graf 10: Směr příchodu bouří na Portoriko v období 1960 – 2013..... | 39 |
| Graf 11: Časové rozložení hurikánů během sezony v období 1960 – 2013 | 40 |
| Graf 12: Intenzita bouří v Portoriku, 1960 – 2013 a jejich kategorizace..... | 41 |
| Graf 13: Tropické bouře a hurikány v Portoriku s nejvyššími srážkami, v období 1959 – 2013..... | 45 |
| Graf 14: Nejničivější bouře v Portoriku, 1960 – 2012 | 51 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1: Analýza intenzity sezon, obětí a škod páchaných hurikány v Karibiku v období 1991 – 2013 včetně nejnebezpečnějších hurikánů jednotlivých sezon..... | 28 |
| Tabulka 2: Urbanizace vybraných zemí Karibiku a její vývoj od roku 1950 – 2010..... | 33 |
| Tabulka 3: Procentuální vyjádření pokrytí půdy lesním porostem ve vybraných zemích Karibiku v období 1990 – 2010..... | 34 |
| Tabulka 4: Základní charakteristiky přechodu jednotlivých bouří včetně jejich stupně vývoje..... | 50 |

Úvod

Karibská oblast patří mezi oblasti nejintenzivněji zasahované tropickými cyklony v rámci celého světa vůbec. Místní pojmenování tropických cyklon – hurikán pustoší oblast několikrát ročně a dokáže působit nejen rozsáhlé materiální škody, ale i oběti na životech. Příhodná poloha mezi 10 – 30° s. š. umožňuje nejen dostatečné prohřívání povrchových vod, ale i působení Coriolisovy síly, která napomáhá roztočení celé cirkulace bouře do stádia hurikánu. Ostrovní charakter oblasti pak přispívá k poměrně dlouhé životnosti jednotlivých bouří, které výrazně slábnou až při střetu s kontinentální pevninou. Zejména hurikány Cape-Verdského typu pak mohou projít trasou až několika tisíců kilometrů než zeslábnou a ztratí svou schopnost páchat škody.

Ostrovní charakter oblasti a nížinné pobřeží střední Ameriky rychle stoupají v strmé svahy centrální Kordillery, ani to příliš nezlehčuje situaci při přechodu hurikánů. Takto exponované oblasti jsou vystavovány přírodním hazardům, které působí nejen značné materiální, ale i environmentální škody. Mezi nejčastější hazardy spojené s přechodem bouří pak můžeme zařadit vlnobití v pobřežních oblastech, které v extrémních případech může dosáhnout i výšek vyšších 6 metrů. Vůbec nejfrekventovanějšími hazardy souvisejícími s přechodem hurikánů, jsou bleskové záplavy a sesuvy půdy. Oba hazardy mají společného viníka – přívalové srážky. V rámci jednotlivých hurikánů mohou srážkové úhrny dosahovat několika stovek až tisíců milimetrů vody na m², s čímž si místní půdy dokážou poradit jen těžko.

Mimo geografických charakteristik oblasti hraje důležitou roli i poměrně chudá rozvíjející se společnost. Oblasti i nadále, až na výjimky, dominují vysoké přirozené přírůstky a rostoucí urbanizace. Migrace chudiny z venkova do měst nutí k rozšiřování aglomerací do exponovaných oblastí. Tento negativní faktor tak ještě více zvyšuje zranitelnost společnosti vůči hazardům. Odstrašujícím příkladem budiž hurikán Mitch, který v roce 1998 zavinil smrt více než 18 000 lidí. Ničivost hurikánu tkvěla právě v zasažení hustě zalidněné oblasti východního pobřeží Hondurasu a Nikaraguy. Dalším typicky rozvojovým problémem, se kterým se potýká většina zemí je vysoká úroveň deforestace. V souvislosti s rostoucím podílem zemědělské půdy klesají retenční schopnosti krajiny a zvyšuje se tak riziko sesuvů půdy či bleskových povodní.

Výše zmíněné charakteristiky a problémy pak daly vzniknout stanovení základních cílů této bakalářské práce.

Cíle a metodika práce

Hlavním cílem práce je analýza dopadů na společnost a životní prostředí v Karibiku vzhledem k rizikům spojených s přechodem hurikánů. Práce se ve své úvodní fázi zabývá charakterizováním hurikánových sezon a faktorů ovlivňujících jejich intenzitu. Jádro práce tvoří analýza dopadů na společnost a životní prostředí v Karibiku. Za účelem detailnějšího pohledu na jednotlivé dopady byla zpracována případová studie na ostrovní stát Portoriko. V práci není opomenut ani faktor chudoby, který hraje zásadní roli v možnosti ovlivnění výše škod a počtu obětí vázaných na jednotlivé události spojené s přechodem bouří.

Práce byla zpracována jak na základě kvalitativních, tak kvantitativních metod. Obě metody se v průběhu celé práce prolínají. Práce obsahuje ve své kvantitativní části řadu grafů, které doplňují kvalitativní část. Hlavní metodou je sběr, analýza a kompilace dat především ze zahraniční literatury. Velká část práce a zejména pak její kvantitativní složka se opírá o data z databází organizace National Hurricane Center, která zaštiťuje veškerý komplexní sběr dat v oblasti. Čerpáno bylo jednak z reportů jednotlivých bouří a sezon, ale i z databáze HURDAT, která kompletuje veškerá meteorologická data. Doplnující informace poskytly jednotlivé webové stránky organizací zabývajících se problematikou tropických cyklon v Karibiku a jejich dopady. Kvalitativní složka práce se opírá o jednotlivé studie a práce zainteresovaných autorů.

1 Základní charakteristika oblasti

1.1 Geografické vymezení oblasti

Karibská oblast má ve světovém povědomí poměrně široké vymezení, které se v závislosti na různých kritériích liší. V práci bylo použito vymezení mírně upravené vzhledem k vlivu tropických cyklon postupujících z Atlantského oceánu. Oblast je v rovnoběžkovém směru vymezena souostrovím Malých Antil s nejvýchodnějším ostrovem Barbados. Na západě tvoří pomyslnou hranici mexické pobřeží a středoamerické republiky. Na jihu vymezuje oblast severní pobřeží Jižní Ameriky, které ač minimálně bývá také ovlivněno bouřemi postupujícími z Atlantiku. Jižní a jihovýchodní pobřeží USA pak spolu s poloostrovem Florida tvoří severní hranici oblasti, vzhledem k významnému vlivu hurikánů v oblasti.

1.2 Geografické charakteristiky oblasti

Jádro oblasti tvoří souostroví Velkých Antil se stejným geologickým původem jako pevninská Amerika. Souostroví tvoří čtyři velké ostrovy Kuba, Hispanola, Jamajka, Portoriko a menší Kajmanské ostrovy ležící jižně od Kuby. Vyjma Kajmanských ostrovů jsou pro všechny ostrovy charakteristické centrální hřebeny dosahující výšek nad 1000 m n. m. Svahy jsou charakteristické poměrně příkrým sklonem s úhly převyšující 14°, které jsou náchylné k sesuvům půdy. Souostroví patří spolu s poloostrovem Florida mezi oblasti nejtvrději zasahované v rámci celého Karibiku. Souostroví Malých Antil je tvořeno převážně menšími ostrovy. Členitost souostroví je daleko vyšší než u Velkých Antil. Poslední větší souostroví celek v rámci Karibiku tvoří Bahamy. Souostroví tvoří 29 ostrovů rovinatého charakteru rozlohou nijak zvláště velkých. Nejvyšší body dosahují 15–20 m n. m. což může činit problémy při větších vlnobitích spojených s příchodem tropických cyklon.

Pobřeží středoamerických republik je charakteristické nížinnými oblastmi přecházejícími v strmé hřebeny centrální Kordillery dosahující výšek přes 3000 m n. m. Centrální hřebeny Kordillery činí pro hurikány nepřekonatelnou překážku. Je téměř nemožné, aby se bouře dostala z atlantské strany pobřeží na stranu pacifickou. Naopak jižní a jihovýchodní pobřeží USA je charakteristické rozlehlými nižšími polohami bez výraznějších horských hřebenů. Celé pobřeží je obklopené soustavou mělkých zálivů táhnoucích se ze severního Mexika až po New Orleans. V oblasti New Orleans a na poloostrově Florida se navíc nacházejí četné mokřady. Celá oblast je charakteristická nízkým sklonem pobřeží, který je činí náchylným vůči vlnobití.

1.3 Hydrologické charakteristiky

Vzhledem k tomu, že se Karibská oblast nachází mezi 10° – 30° severní šířky, místní vody se prohřívají dostatečně na to, aby vytvořily potenciální zdroj energie pro tropické cyklony. Z hydrologického hlediska oblast tvoří jednak otevřené vody Atlantského oceánu a jednak uzavřenější Karibské moře a Mexický záliv. Teplota vody jak v Mexickém zálivu, tak v Karibském moři se pohybuje v průběhu hurikánové sezony od 25 do 28°C s mírnými anomáliemi způsobenými oceánskými cykly, které jsou zmíněny níže.

2 Faktory ovlivňující vznik a intenzitu tropických cyklon

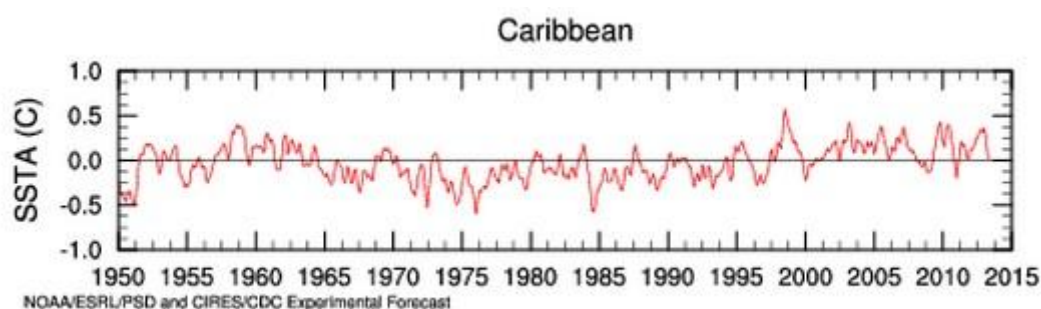
2.1 Teplota povrchových vod

Za povrchové vody jsou považovány rozsáhlé plochy oceánů a moří v jejich svrchní vrstvě. Konkrétní specifikace závisí na metodologii měření. Obecně je považována za svrchní vrstvu vrstva v rozsahu 1 mm až 20 m pod hladinou moře (Earth System Research, 2014). Teplota povrchových vod je ovlivňována oceánskými proudy, dále také slunečním zářením a v neposlední řadě i přechodem vzdušných mas. Ty dle svého původu a fyzikálních vlastností přijímají nebo odejímají teplo povrchových vod. Dostatečně vysoká teplota povrchových vod, (dále jen SST z anglického Sea Surface Temperature) je jednou ze základních podmínek tvorby tropických cyklon. Představuje totiž zdroj energie pro tvorbu a následný vývoj tropické cyklony.

2.1.1 Teplotní odchylky SST

Stejně jakoostatní klimatologické veličiny i SST je značně proměnlivá veličina. Teplotní odchylky v ekvatoriální části Atlantiku se v dlouhodobých obdobích pohybují mezi $-1,5^{\circ}\text{C}/+1,5^{\circ}\text{C}$. V Karibiku je rozpětí nižší $-0,5/+0,5^{\circ}\text{C}$ oproti normálu, viz obrázek níže (Earth System Research Laboratory, 2014). Aktuální fluktuace ale mohou být daleko vyšší, až kolem $4-6^{\circ}\text{C}$ (příloha č. 1). Stejně tak geografická variabilita, která je větší v kratších epizodách než v dlouhodobých trendech. Následné odchylky pak mají vliv jednak na samotný rozvoj, ale i na intenzitu tropických cyklon (Barale, 2010).

Graf 1: Teplotní odchylky Karibského moře v letech 1950 – 2013

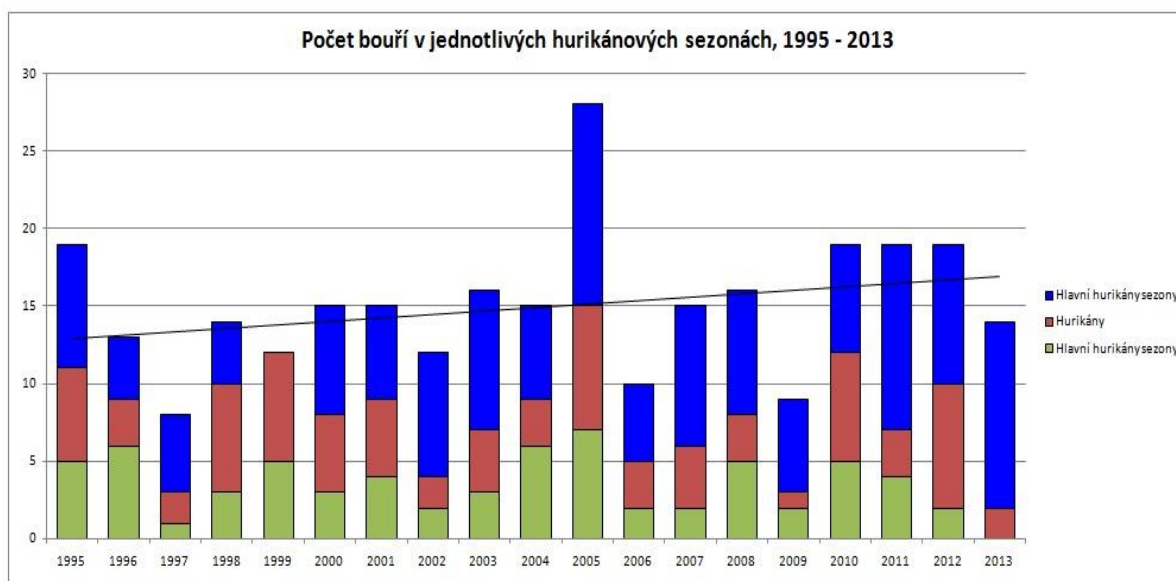


Zdroj: Earth System Research Laboratory

Chladnější SST negativně ovlivňuje intenzitu hurikánové sezony. Vyšší teplota povrchových vod prokazatelně zvyšuje intenzitu tropických cyklon. V teplejších obdobích se vyskytuje jak více hurikánů, tak tzv. hlavních hurikánů sezony (Pielke, 2003). V roce 2005, kdy se odchylka SST dostala až na $+1,2^{\circ}\text{C}$, zasáhlo Karibskou oblast sedm intenzivních hurikánů, přičemž průměrný rok přinese

intenzivní hurikány dva. Celkový počet hurikánů se za celou sezonu dostal na číslo 15 v porovnání s průměrným rokem, kdy zasáhne oblast šest hurikánů (National Hurricane Center, 2014). Období od poloviny 90. let je charakteristické právě růstem SST v centrálním Atlantiku i Karibské oblasti. Kladná fáze AMO společně s vyšší teplotou SST, má vliv na intenzitu i počet bouří během sezony. Z trendové křivky následujícího grafu je dobře patrné zvyšování počtu bouří a jejich intenzity během druhé poloviny 90. let 20. století.

Graf 2: Počet bouří vytvořených v severním Atlantiku, 1995 – 2013



Zdroj: National Hurricane Center. Černá křivka zobrazuje stoupající trend v rámci celého období.

2.2 Atlantická multidekadální oscilace

Mimo základní podmínky, které jsou charakteristické a nutné pro vznik tropických cyklon, se vyskytují ještě další faktory ovlivňující sílu a frekvencovanost hurikánů během sezony. Vědci nedávno zjistili, že se opakují asi 30 – 40leté fáze, které se projevují buď zvýšeným, nebo sníženým počtem bouří během sezony.

Atlantická multidekadální oscilace (dále jen AMO) je nejdůležitější oscilací ovlivňující intenzitu sezony v Karibiku (Veraga, 2003). AMO je definována jako dlouhodobá přirozená změna teploty povrchových vod v Atlantiku (Cílek, 2010). Střídají dvě stejně dlouhé 30–40leté chladné a teplé fáze (AOOL, 2014). Během teplé fáze se dostávají teplejší vody z jihu dále na sever. Zvyšuje se teplota povrchových vod oceánu, a to i v oblastech dále od rovníku, což dává předpoklad nejen k zintenzivnění hurikánů, ale prodlužuje se tím jejich životnosti.

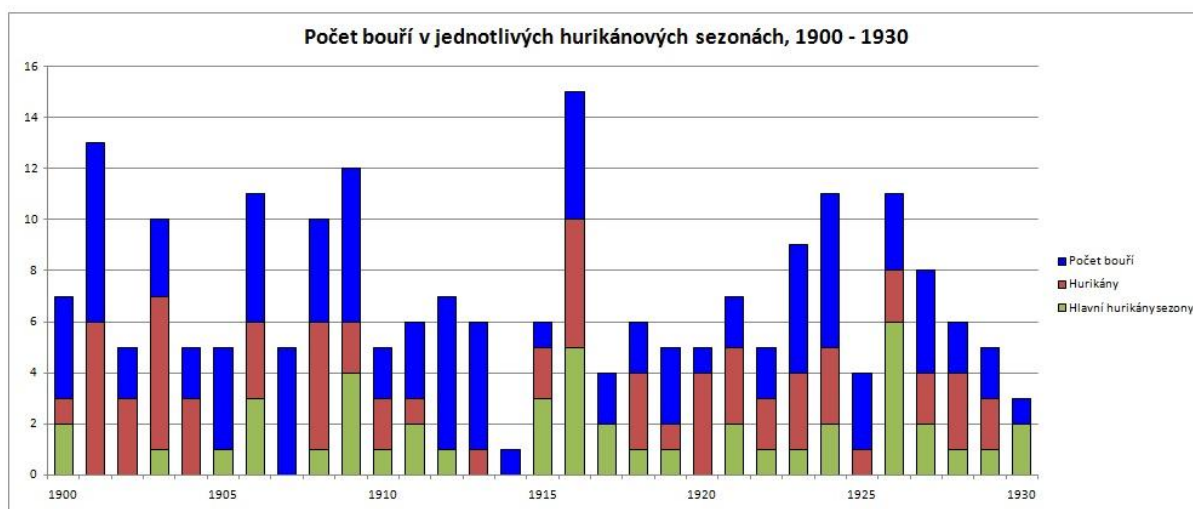
2.2.1 Proměnlivost hurikánových sezon vzhledem k aktuálním fázím oscilací

Aktivita a intenzita hurikánové sezony není nahodilá, závisí především na oceánských oscilacích. Objevují se období silnějších hurikánových sezon a období chudší. Ze studie Potential Economic Impacts of Hurricanes in Mexico, Central America, and the Caribbean ca. 2020–2025 vyplývá, že nejdůležitějším cyklem určujícím intenzitu hurikánové sezony v Karibiku je AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation). Méně významnými jsou pak ENSO (El Niño), PDO (Pacific Decadal Oscillation) a NAO (North Atlantic Oscillation). V průběhu jednotlivých fází může docházet k fluktuacím a i v obdobích s větší frekvencí tvorby bouří může nastat několik roků s nižším výskytem bouří než je průměr daného období. I přes fluktuace je však pozorovatelný jasný trend odlišující intenzivnější období od těch méně intenzivních. (Veraga, 2003)

2.2.2 Slabé sezony

Pro období slabých sezon je charakteristická chladná fáze AMO. Odchyly SST se v extrémních případech mohou dostat krátkodobě 2 – 3°C pod průměr. Bereme-li v úvahu období od roku 1900 – 2013, pak právě do roku 1930 převažovala chladná fáze AMO. Právě toto období je považováno za vůbec nejchudší v historii. Průměrně se vyskytlo pouze sedm bouří během sezony, z čehož v průměru 1,5 dosáhlo stádia hlavního hurikánu sezony. Od počátku 60. let byl již zřetelný další trend slábnutí hurikánových sezon, který se naplno začal projevovat od poloviny 60. let, kdy se i AMO překlápí do své chladné fáze. Slabší roky přetrvávaly až do poloviny 90. let (Veraga, 2003). Průměrně se vytvořilo 9,5 bouře na sezonu, což je o 1 méně než v předcházejícím teplém období. Stádia hlavního hurikánu sezony dosáhlo 1,7 bouře, zatímco v předešlém období to bylo 2,8 bouře na jednu sezonu. Nižší výskyt počtu hurikánů dobře reflektují i velmi nízké hodnoty SST, které byly v období 1968–1977 zaznamenány (Earth System Research Laboratory, 2014).

Graf 3: Počet bouří během negativní fáze AMO v období 1900 – 1930

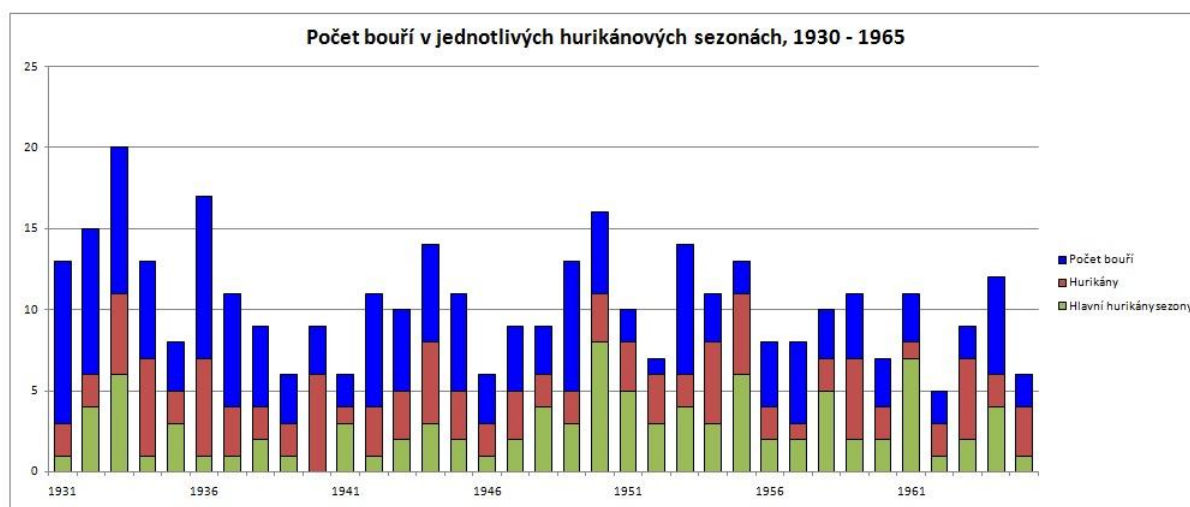


Zdroj: National Hurricane Center

2.2.3 Silné sezony

Během kladné fáze AMO se dostávají masy teplé vody od rovníku dále na sever, což zvyšuje SST, která představuje energii pro tvorbu bouří (Cílek, 2010). Po slabších letech na počátku 20. století, kdy se AMO nacházela v chladné fázi, se roku 1930 překlápí do své teplejší fáze, která trvá až do roku 1965. Toto období je charakteristické abnormálním zvýšením počtu hurikánů, a to zejména do roku 1942. Důvodem je překrytí kladné fáze AMO a PDO s negativní fází NAO (Pielke, 2003). Období bohaté na hurikány končí počátkem 60. let. Další výraznější epizodou, kdy se schází vliv AMO a NAO, nastává v polovině 90. let minulého století a trvá dodnes (Veraga, 2003). Období od roku 1995 do roku 2013 zatím vychází jako neaktivnější v celé historii.

Graf 4: Počet bouří během kladné fáze AMO trvajícím v období 1930 – 1965



Zdroj: National Hurricane Center

3 Tvorba tropických cyklon, charakteristika hurikánové sezony

Začátek hurikánové sezony připadá na 1. června, konec pak na 30. listopadu. Tento časový interval byl NHC (National Hurricane Center) vybrán z důvodu 97% výskytu bouří během tohoto období (NHC, 2014). Je potřeba ale počítat s tím, že bouře se objevují i mimo vybraný časový interval. Nejaktivnější období pak připadá na měsíce srpen až říjen, během nichž se utvoří průměrně až 87 % bouří sezony, přičemž za vrchol sezony je považována druhá zářijová dekáda (NHC, 2014). Během sezony se vytvoří průměrně 10,1 tropické bouře. Pouze 5,9 bouře dosáhne stupně hurikánu, z čehož jen 2,5 hurikánu bude spadat do tzv. hlavních hurikánů sezony se stupněm vývoje 3 a vyšší (NHC, 2014).

3.1 Vývoj tropické cyklony v Atlantiku

V Atlantiku dojde k vytvoření průměrně 10 bouří ročně. Aby mohl hurikán vzniknout, musí být splněno několik důležitých podmínek. Samotný proces má několik vývojových stupňů, které jsou níže popsány.

3.1.1 Vznik tropické deprese

Tropické bouře v Atlantiku vznikají v zeměpisných šířkách mezi 10 – 20° severní a jižní zeměpisné šířky, v prostoru mezi Afrikou a Jižní Amerikou. Teplota povrchové vody zde dosahuje 26 – 27°C, což představuje energetický zdroj pro užití tropické bouře (WW 2010). Díky teplému a vlhkému klimatu dochází k intenzivnímu výparu. Tropická zóna konvergence pak zajišťuje sbíhavost proudění v přízemních vrstvách atmosféry a instabilitu prostředí (NOAA). V instabilním prostředí, kde klesá prudce teplota vzduchu s výškou, dochází k ochlazení vodních par, kondenzaci a následné tvorbě konvektivní oblačnosti. Oblast kolem tropické zóny konvergence je charakteristická nižším vertikálním gradientem stříhu větru, tzv. DLS (z anglického deep layer shear), což je dalším předpokladem k rozvoji organizované tropické cyklony. Bouřková činnost se seskupuje do stádia tropické deprese, která má již organizované povrchové proudění. Prozatím nedochází k vytvoření spirály či oka bouře. Síla větru v tropické depresi je omezena na rychlosti nižší než 17 m/s (WW, 2010).

3.1.2 Tropická bouře

Během následující fáze multicelární bouřky nad teplým mořským povrchem dále sílí a Coriolisova síla postupně dodává impuls k rotačnímu pohybu celého bouřkového systému. Prozatím nedochází k vytvoření oka cyklony (WW 2010). Rychlosti větru v bouřkách jsou stanoveny v intervalu mezi 17 – 33 m/s, což už jsou dostatečné rychlosti pro napáchání škod na majetku nebo ohrožení

lidských životů (WW 2010). Bouřkovou činnost kromě silného větru doplňuje i intenzivní srážková činnost v podobě přívalových srážek.

3.1.3 Tropická cyklona, hurikán

Nejvyšším stádiem bouří vyskytujících se v Atlantiku je stádium tropické cyklony, jež má v Karibiku místní pojmenování hurikán. Systém již tvoří spirálovitý vír rozsáhlý několik stovek kilometrů (viz příloha č. 2). V centru se vytváří oko bouře, kde panuje bezoblačné počasí s přechodným uklidněním větru. Relativní klid a bezoblačné počasí je dáno sesedavými pohyby v rámci chladnějšího vzduchu, který tvoří oko v rámci celé cirkulace bouře. Nejvyšší rychlosti větru v rámci celého systému jsou dosahovány při centru bouře. V tropické cykloně dosahují rychlosti větru více než 33 m/s (WW 2010). Hurikán je doprovázen rozsáhlou bouřkovou činností spojenou s intenzivními srážkami. Srážkové úhrny dosahují v exponovaných místech i několika stovek mm během 24 hod. Ve výjimečných případech pak mohou celkové úhrny dosáhnout i více než 1000 mm (Roth, 2007).

3.1.4 Slábnutí cyklon

Hurikán zpravidla slábne ve chvíli, kdy naráží na pevninu nebo se dostane do chladnějších vod Atlantského oceánu. Při přechodu hurikánu nad pevninou dochází k většímu tření se zemským povrchem a hurikán tak ztrácí energii na další regeneraci. Nedostatek energie se tedy stává podnětem pro rychlý rozpad hurikánu.

3.2 Trasy hurikánů

V rámci tras jednotlivých bouří existuje vysoká variabilita. I přes vysokou proměnlivost jednotlivých bouří existují oblasti, které jsou náchylnější na zasažení, a oblasti, které jsou zasahovány spíše zřídka.

3.2.1 Lokalizace jednotlivých oblastí a šance na zasažení bouřemi

Nejnáchylnější oblastí celého Karibiku se zdá být severovýchodní část souostroví Bahamy. Oblast má během sezony 20% šanci na střet s hurikánem (Pielke a kol., 2003). Naštěstí Bahamy nepatří s hustotou zalidnění 23 osob na km² mezi hustěji osídlené oblasti a tak škody páchané hurikány nejsou tak velké (Factbook, 2014). Daleko problematičtější se v tomto ohledu jeví oblast jižního pobřeží Floridy, která má dle studie Pielkeho a kol. (2003) 15% šanci na zasažení hurikánem. Rozsáhlá pobřežní aglomerace Miami a také Tampa, které nastřádají téměř 9 milionů obyvatel, bývají nejčastěji zasahovanými velkými metropolemi v rámci celé karibské oblasti (USCB, 2014).

Dále je tu rozsáhlá oblast, které připadá ročně asi 10% šance zasažení hurikánem. Oblast se rozšiřuje od ostrova Martinik v Malých Antilách dále k severozápadu přes Panenské ostrovy až k Portoriku (Pielke a kol., 2003). Právě severní část souostroví Malých Antil a Portoriko tvoří jakýsi pomyslný nárazník pro hurikány přicházející jakožto tropické poruchy od afrického pobřeží. Populace v této oblasti je tak často první, která bývá konfrontována s přímým střetem s bouří přijetí cestě přes Atlantik na západ. Oblast se dále rozšiřuje přes Dominikánskou republiku, Haiti a Kubu dále k severozápadu (Pielke a kol., 2003).

Střední Amerika, zde myšleno především Belize, Honduras a Mexiko, mívají šanci na zasažení o něco nižší v rámci, a to 5 – 10 %. Do této kategorie spadá ještě Jamajka, východní a centrální část Kuby, severní pobřeží Haiti a jižní část souostroví Bahamy. V Malých Antilách se jedná o ostrovy nacházející se v linii Grenada, Svatá Lucie, včetně Barbadosu (Pielke a kol., 2003). Ačkoliv je tato oblast frekventovaná méně než předešlé tři, pravdou je, že právě v této chudší části Karibiku bývají zaznamenávány nejvyšší počty obětí na životech. Hurikán Mitch v roce 1998 zavinil zejména ve střední Americe smrt více než 18 000 lidí a zařadil se tak mezi nejtragičtější hurikány v tomto ohledu (IFRCRCS 1999; U.S. House of Representatives Committee on International Relations, 1999). Podobně náchylné na vyšší počet obětí bývají i chudé státy jako Haiti a Dominikánská republika, potažmo Kuba.

Oblast na perimetru vlivu hurikánů tvoří zejména jižní část Karibiku. Trinidad a Tobago stejně jako Nikaragua, Kostarika a severní pobřeží Jižní Ameriky mají šanci na zasažení hurikánem pouze 1 – 5 % (Pielke a kol., 2003).

3.3 Časové rozložení bouří během sezony

Dle oficiálních dat NHC začíná hurikánová sezona v Atlantiku počínaje 1. červnem a končí 31. listopadu (HRD, 2014). Bouře se ovšem s různou frekvencí vyskytují v průběhu celého roku.

Období od prosince do května bývá označováno za období klidu, vzhledem k velmi ojedinělému výskytu bouří. Od roku 1851 se v prvních čtyřech měsících roku vyskytlo pouze pět bouří za celou dobu pozorování (HRD, 2014). V tomto ohledu je na tom podobně i květen. Průměrně se v květnu utvoří pouze jedna bouře za 10 let.

Začátek sezony odstartovaný červnem také nebývá zvláště impulzivní. Rychlost rozvoje prvních bouří závisí na kladných odchylkách SST a jiných termodynamických cyklech (Gray a Klotzbach, 2005). Díky chladnějším vodám ze zimních a jarních měsíců dochází k tvorbě bouří pouze jednou za dva roky. Červenec v tomto ohledu pokračuje v relativním klidu s pouze 70% šancí na vytvoření bouře (HRD, 2014). Nejpravděpodobnějším místem výskytu bouře v červnu je Mexický záliv, v červenci se přidává i oblast Malých Antil (NHC, 2014).

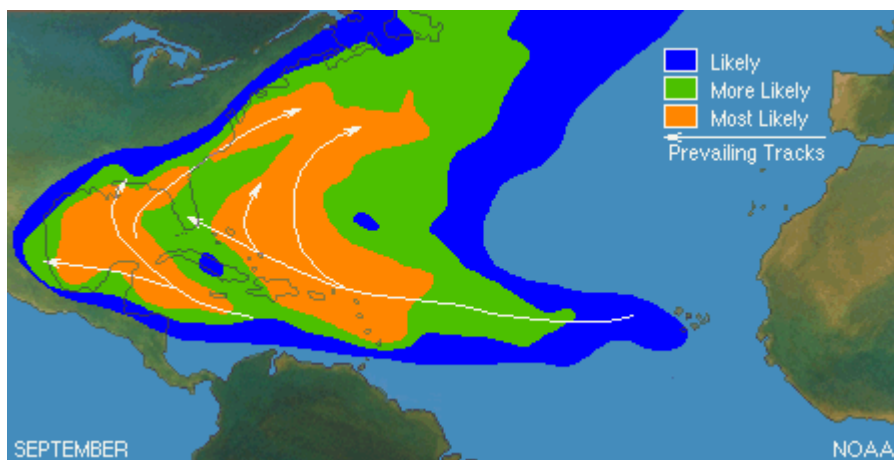
Díky zmírnění silného stříhu větru, který se přesouvá do vyšších zeměpisných šířek, dochází k nárůstu hurikánové aktivity (Aiyyer a Thorncroft, 2006). Srpen platí s průměrnými 2,3 bouřemi za druhý nejméně aktivní měsíc v sezoně. Od roku 1851 bylo během tohoto měsíce zaznamenáno 350 bouří, z čehož 234 se vyvinulo do stádia hurikánu (HRD, 2014). Oblast působnosti bouří zahrnuje téměř celý Karibik vyjma střední Ameriky, kde bouře zasahují zpravidla pouze poloostrov Yucatán. Nejčastěji bývají zasahovány Malé Antily, Portoriko a Bahamy (NHC, 2014). Pomyslný vrchol v počtu bouří během sezony tvoří září s 3,5 bouře během měsíce. Od počátku pozorovaného období bylo zaznamenáno 560 bouří, z toho 390 hurikánů (HRD, 2014). Na vině jsou nejvyšší teploty povrchových vod během sezony a slabý stříh větru, který nekomplikuje rozvoj bouře (Aiyyer a Thorncroft, 2006).

Pole působnosti hurikánů pokrývá celý Karibik včetně východního pobřeží USA. Nejčastěji zasahovanými územími jsou dvě rozsáhlé oblasti. První oblast pokrývá Malé Antily, Portoriko, Bahamy a východní pobřeží USA. Druhá oblast se soustředí na Mexický záliv a přilehlá pobřeží kontinentální Ameriky (NHC, 2014).

Trojici nejméně aktivních měsíců uzavírá říjen, během něhož se vytvoří průměrně dvě bouře. Setrvávající vysoké teploty povrchových vod tvoří živnou půdu pro bouře. S postupujícím datem však dochází k nasouvání vyššího stříhu větru a tím i snižování aktivity bouří (Gray a Klotzbach, 2005). Mezi nejpostiženější oblasti patří Kuba, Mexický záliv a jihovýchodní pobřeží USA včetně Bermud (NHC, 2014).

S listopadem dochází k pozvolnému útlumu hurikánové činnosti. Aktivita bouří se dostává přibližně na úroveň června (HRD, 2014). Pole působnosti bývá omezeno výhradně na Bahamy, případně částečně i na severní pobřeží Kuby (NHC, 2014).

Obrázek 1: Četnost výskytu bouří v nejméně aktivním měsíci sezony září a jejich lokalizace



Zdroj: National Hurricane Center

4 Hazardy spojené s přechodem hurikánů

Hurikány jakožto jeden z nejnebezpečnějších přírodních hazardů v oblasti Karibiku sebou přináší tři hlavní nebezpečné projevy spojené s přechodem bouří. Jedná se o vzednutí hladiny oceánu a následné vlnobití, intenzivní srážky a silný vítr. Projevy hurikánové činnosti mají rozdílnou povahu jak v páchání škod, tak v jejich lokalizaci. Obecně platí, že největší škody jsou páchany při pobřeží. S postupující trasou přes pevninu bouře slábnou a jejich projevy již nejsou tak silné.

4.1 Vzednutí hladiny a vlnobití

Vzednutí hladiny a vlnobití spojené s příchodem bouře ohrožuje primárně pobřežní oblasti. Jejich rozsah záleží jednak na intenzitě bouře, ale i na sklonu pobřeží. K vzednutí hladiny dochází ve dvou krocích. Pokud je hurikán dostatečně daleko, dochází k ústupu mořské hladiny, s příchodem bouře pak silné větry rotující bouře ženu masu vody zpět na pobřeží (Pielke, 1997). Přílivové vlny bývají často několik metrů vysoké, za silné vlnobití se považuje již vlnobití o výšce 3 metry. V nejsilnějších bouřích dochází k růstu hladiny až o 6 metrů a více, což má na pobřeží oblasti fatální následky (Pielke, 1997). V ojedinělých případech se mohou vyskytnout i vlnobití vyšší než 12 metrů jako tomu bylo v roce 1980 v případě hurikánu Allen (příloha č. 3) (HURDAT, 2014). Přílivová vlna téměř smetla severovýchodní pobřeží Jamajky. K vlnobití dochází i v případě, že bouře nezasáhne pevninu přímo, ale prochází paralelně s ní (Xie a Pietrafesa, 1995). Díky rozsáhlé cirkulaci bouře tak není zasažena jen oblast v bezprostřední blízkosti středu bouře, ale i oblasti stovky kilometrů vzdálené. Rozsah území zasaženého vlnobitím záleží jednak na členitosti pobřeží, zástavbě, ale i sklonu pobřeží. Nejvíce ohrožené jsou v tomto ohledu nízké ostrovy a pobřežní oblasti s nízkým sklonem terénu (Pielke, 1997). V urbanizovaných oblastech vlna po prvotním nárazu se zástavbou páchá rozsáhlé škody, ale poměrně rychle slábne, jelikož zástavba měst ji tříští a rozptyluje. V takovémto případě je vlna omezena na nejbližší okolí pobřeží a pláží. V případě rozsáhlých rovin s nízkým sklonem, typických pro Mexický záliv, se vlna dostává dále do vnitrozemí. Výška přílivové vlny se v takovém případě snižuje o 0,3 – 0,6 metru každou míli. Při silném vlnobití je vlna schopna se dostat až 16 km do vnitrozemí (Pielke, 1997). V případě hurikánu Audrey v roce 1957 pronikla přílivová vlna 40 km do vnitrozemí státu Louisiana, kde s ní spojené záplavy měly na svědomí 390 obětí (Moore, 1957).

4.2 Vítr

Dalším nebezpečným jevem doprovázejícím bouře je silný vítr, který může v nejsilnějších bouřích dosahovat i rychlostí nad 240 km/h. Nejvyšší rychlost větru v severoatlantickém hurikánu byla zaznamenána u hurikánu Allen, a to 305 km/h (NHC, 2014). Doposud se jedná o jediný hurikán

s naměřenou rychlostí větru vyšší než 300 km/h. Na rozdíl od vlnobití páchá vítr škody i hlouběji ve vnitrozemí (Pielke, 1997). Síla větru samozřejmě přirozeně klesá se slábnutím hurikánu, obdobně jako u většiny projevů spojených s přechodem bouře.

Nejvyšší rychlosti větru jsou zaznamenávány v horských oblastech na hřebenech jednotlivých pohoří nebo na plochých rovinatých površích. V takovýchto polohách jsou nárazy větru až o 35 % vyšší než v zastavěných oblastech (Pielke, 1997). V zastavěných oblastech je rychlost větru více ovlivňována turbulentností vzhledem k okolní zástavbě. Rozsah škod páchaných větrem je poměrně široký. Silné nárazovité větry s rychlostmi přesahujícími 170 km/h již páchají rozsáhlé škody na lesních porostech a můžou působit rozsáhlé polomy (Boose a kol., 2004). Naopak poměrně nižší rychlosti větru okolo 100 km/h dokážou ve spojení s intenzivními srážkami páchat škody v zemědělství. Materiálně nejvyšší škody jsou spojené s poškozením elektrického vedení a ničením lidských obydlí (Pielke, 1997). Jako velmi problematické se jeví stavby chatrných chýší a obydlí chudiny v rozvojových státech Karibiku. Nedokonalá konstrukce takovýchto chýší a budov je pak silným větrem rozmetávána do vzduchu a působí další škody včetně ohrožení lidských životů.

4.3 Srážky

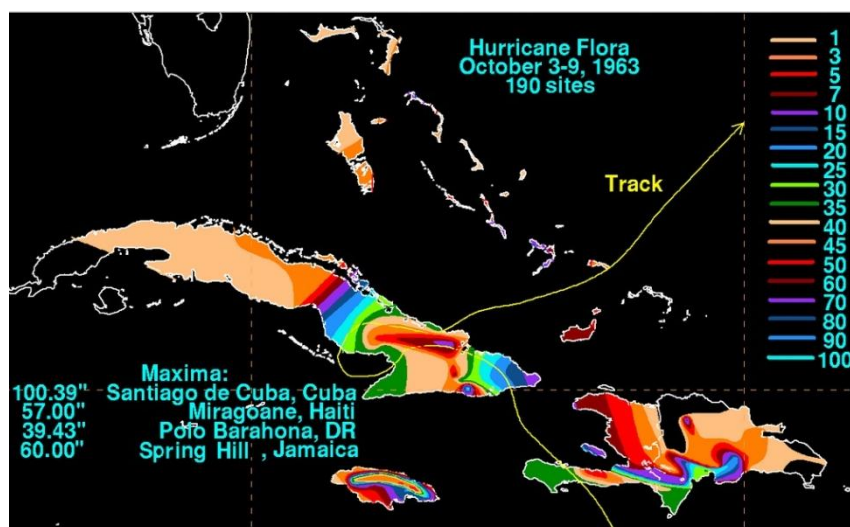
Srážkotvorné procesy, které probíhají v rámci cirkulace hurikánů, přináší do zasažených oblastí intenzivní srážky v rámci několika stovek milimetrů (Roth, 2012). Ojedinele může při pomalém pohybu bouře spadnout i více než 1000 mm. Vůbec nejvyšší srážkový úhrn byl zaznamenán během hurikánu Flora v roce 1963. V Santiagu de Cuba spadlo 2550 mm (Roth, 2008). Podobný úhrn spadl i v roce 1909 na Jamajce, kdy celková srážková sumarizace ukázala 2451 mm (Roth, 2008). Takto vysoké srážkové úhrny jsou dosahovány díky vysoké vlhkosti vzduchotropického pásma. Zásadní roli v rozložení srážek zde hraje orografická činnost, která ještě více zvyšuje množství spadené vody (Pielke, 1997). Návětrné svahy vůči řídicímu proudění bouře bývají vystavovány několikanásobně vyšším srážkovým úhrnům než závětrné strany. Při postupu hurikánů do mírnějších zeměpisných šířek může dojít ke střetu s chladnějším vzduchem z mírných zeměpisných šířek. Střetovou odlišných vzduchových mas pak zpravidla vyvolává regeneraci srážkotvorných procesů a jejich následné zesílení (Pielke, 1997). Ačkoliv intenzita hurikánů ve vyšších zeměpisných šířkách velmi rychle klesá až na stadium tropických bouří či depresí, mohou zde vyvolat bohaté srážkové epizody, během kterých spadne i několik stovek milimetrů vody. V tomto ohledu bývají intenzivní srážky jediným výrazným projevem bývalých hurikánů (Pielke, 1997).

Nebezpečné mohou být i relativně slabší bouře, jestliže došlo v období bezprostředně předtím k nasycení půdy jinou bouří. Nasycená půda těžko absorbuje další srážky a dochází k záplavám i při relativně nižších úhrnech (Rippey, 1997). Vysoké srážkové úhrny s sebou často přináší

bleskové povodně. Dochází ke stékání velkého množství vody po povrchu a sesuvům podmáčené půdy. V Karibské oblasti je kritická doba padávání srážek kratší v rámci několika desítek hodin až dnů, na rozdíl od vyšších zeměpisných šířek, kde takovéto epizody mohou trvat i okolo sedmi a více dnů. Od toho se odvíjí i intenzita srážek, která je zpravidla vyšší v nižších zeměpisných šířkách (Larsen a Simon, 1993).

Kromě negativních aspektů a ohrožení společnosti přináší srážky i jeden pozitivní efekt. V subtropických a mírných zeměpisných šířkách dokážou ukončit dlouhotrvající období sucha a zachránit tak zemědělské plodiny před uschnutím (Pielke, 1997). To byl případ hurikánu Dolly, který v roce 1955 okrajově zasáhl jižní Texas a zachránil tak úrodu před úplným seschnutím (Pielke, 1997).

Obrázek 2: Rozložení srážek během hurikánu Flora v roce 1963



Zdroj: Roth. Údaje uvedeny v palcích.

5 Chudoba, vztah k dopadům na společnost a životní prostředí

Celá oblast Karibiku zasahovaná hurikány a četnými tropickými bouřemi pociťuje jejich dopady v různých ohledech. Některé oblasti jsou vystaveny vyšší frekvenci bouří, jiné se zase potýkají s přelidněním a chudobou či nebezpečnými environmentálními riziky jako jsou sesuvy půd či bleskové povodně. Všechny tyto faktory ovlivňující sílu dopadu bouří jsou níže rozebrány.

5.1 Materiální škody

Za účelem zjištění rozsahu škod soudobé karibské společnosti byla vypracována analýza škod spojených s přechodem bouří mezi lety 1991 – 2013. Toto období je zatím vůbec neaktivnějším jak v počtu bouří, tak jejich intenzitě a napáchaných škodách. Během posledních 22 let bylo zaznamenáno 318 tropických bouří a hurikánů, přičemž průměrně se jich za stejné období vytvoří asi 233 (HURDAT, 2014). Procentuální nárůst bouří tedy činí 34 %, což se promítá navýšením frekvence bouří a s ní spojenými šancemi na zasáhnutí jednotlivých oblastí. Tento faktor se spolu se zvýšenou technologickou úrovní společnosti promítá v posledním období v nárůstu škod (Pielke, 2003). Mezi nejsilnější sezony se v tomto ohledu řadí dvojice sezon 2004 a 2005, následně pak roky 2008 a 2010, které způsobily enormní škody v řádech desítek miliard dolarů. Roku 2005 patří primát téměř ve všech ohledech. Bylo zaznamenáno rekordních 28 bouří, z čehož 15 dosáhlo stádia hurikánu (příloha č. 4). Sedm bouří se vyvinulo do kategorie 3 a vyšší. Celková suma škod se vyšplhala na více než 138,6 miliardy dolarů (Knabb a spol, 2008). S tímto rokem jsou spojena i nechvalně známá jména hurikánů jako Katrina, Rita, Wilma, Emily (vše hurikány 5. kategorie), či Dennis (HURDAT, 2014). Škody v rozmezí 40 – 70 miliard dolarů přinesly roky 2004, 2008 a 2010, které se v tomto ohledu taktéž vymykaly ostatním sezonám daného období. Při bližší analýze zjistíme, že ve všech čtyřech případech došlo k přechodu hurikánu přes území USA, s čímž souvisí i vyšší rozsah škod.

Tabulka 1: Analýza intenzity sezon, obětí a škod páchaných hurikány v Karibiku v období 1991 – 2013 včetně nejnebezpečnějších hurikánů jednotlivých sezon

Oběti a škody páchané hurikány v Karibiku, období 1991 - 2013

| | Počet bouří | Počet hurikánů | Hlavní hurikány | Škody v miliardách dolarů | Oběti na životech | Nejvyšší škody | Nejvíce obětí |
|------|-------------|----------------|-----------------|---------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| 1991 | 8 | 4 | 2 | 1,5 | 17 | Bob | Bob |
| 1992 | 7 | 4 | 1 | 26 | 28 | Andrew | Andrew |
| 1993 | 8 | 4 | 1 | 0,3 | 276 | Gert | Bret |
| 1994 | 7 | 3 | 0 | 1,4 | 1 175 | Gordon | Gordon |
| 1995 | 19 | 11 | 5 | 10,7 | 126 | Marilyn | Opal |
| 1996 | 13 | 9 | 6 | 4,6 | 151 | Fran | Cesar |
| 1997 | 8 | 3 | 1 | 0,1 | 6 | Danny | Danny |
| 1998 | 14 | 10 | 3 | 13,3 | 19 028 | Mitch | Mitch |
| 1999 | 12 | 8 | 5 | 7,4 | 98 | Floyd | Floyd |
| 2000 | 15 | 8 | 3 | 1,0 | 54 | Debby | Gordon |
| 2001 | 15 | 9 | 4 | 7,8 | 93 | Allison | Allison |
| 2002 | 12 | 4 | 2 | 2,2 | 23 | Lili | Lili |
| 2003 | 16 | 7 | 3 | 4,0 | 49 | Isabel | Isabel |
| 2004 | 15 | 9 | 6 | 48,2 | 3 129 | Charley | Jeane |
| 2005 | 28 | 15 | 7 | 138,6 | 3 399 | Katrina | Katrina |
| 2006 | 10 | 5 | 2 | 0,5 | 5 | Ernesto | Ernesto |
| 2007 | 15 | 6 | 2 | 1,7 | 413 | Dean | Noel |
| 2008 | 16 | 8 | 5 | 42,6 | 738 | Ike | Hanna |
| 2009 | 9 | 3 | 2 | 1,5 | 47 | Ingrid | Ingrid |
| 2010 | 19 | 12 | 5 | 70,9 | 355 | Sandy | Sandy |
| 2011 | 19 | 7 | 4 | 18,6 | 114 | Irene | Irene |
| 2012 | 19 | 10 | 2 | 12,3 | 306 | Karl | Matthew |
| 2013 | 14 | 2 | 0 | 0,06 | 6 | Bill | Bill, Claudete |
| | 318 | 161 | 71 | 415,3 | 29 636 | | |

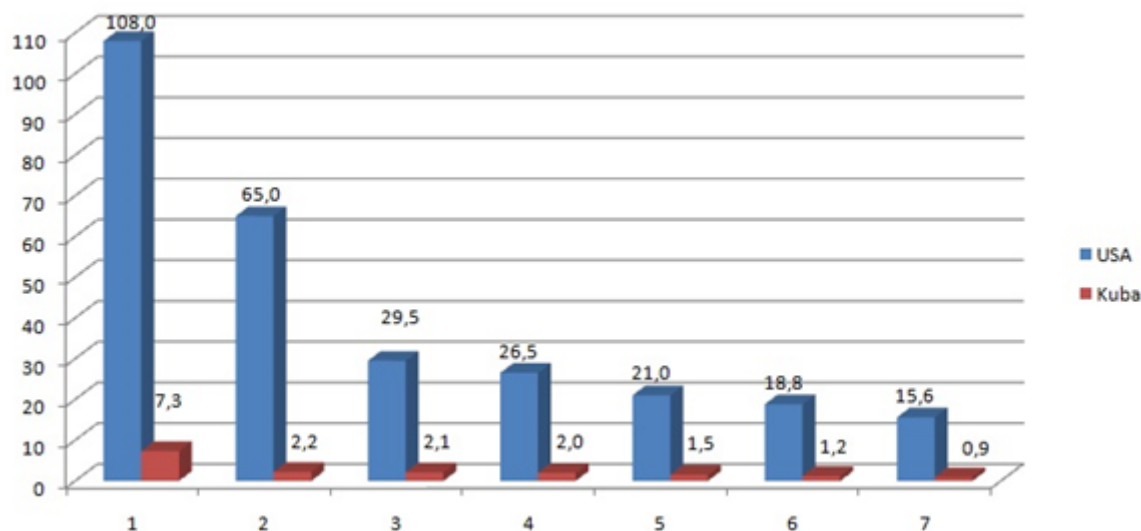
Zdroj: National Hurricane Center, reporty jednotlivých sezon a jednotlivých bouří

5.1.1 Vliv rozdílné vyspělosti společnosti na materiální škody

Za účelem zjištění rozdílu v páčání škod bylo provedeno porovnání rozvinuté země s rozvojovou zemí. Za zemi reprezentující rozvojové země Karibiku byla zvolena Kuba. Za rozvinuté země pak USA, respektive jihovýchodní pobřeží ovlivňované hurikány. U obou zemí bylo vybráno 7 nejničivějších bouří, přičemž se ukázalo, že v USA byly napáchány mnohonásobně vyšší škody než na Kubě. Celková suma škod ze sedmi nejničivějších bouří činí pro USA 284,3 miliardy dolarů, zatímco pro Kubu tato suma činí 17,2 miliardy dolarů (National Hurricane Center, 2014; World Meteorological Organisation, 2005). Nejničivějším hurikánem kubánské historie se stal hurikán 4. kategorie Ike, který v roce 2008 napáchal škody za 7,3 miliardy dolarů (Brown a kol., 2009). Ani tento rozsah škod však nebyl vyšší než u 7. nejničivějšího hurikánu historie USA, Irene, která způsobila škody za 15,6 miliardy dolarů (Avila a Cangialosi, 2011). Vůbec nejničivějším hurikánem se stala veřejnosti dobře známá Katrina, která dosáhla 5. kategorie a zaplavila New Orleans (příloha č. 5). Katrina v USA způsobila škody v rozsahu 108 miliard dolarů (Knabb a spol, 2005). Ukázalo se, že

materiální škody jsou v méně rozvinutých zemích daleko nižší než v rozvinutých zemích (Pielke, 2003).

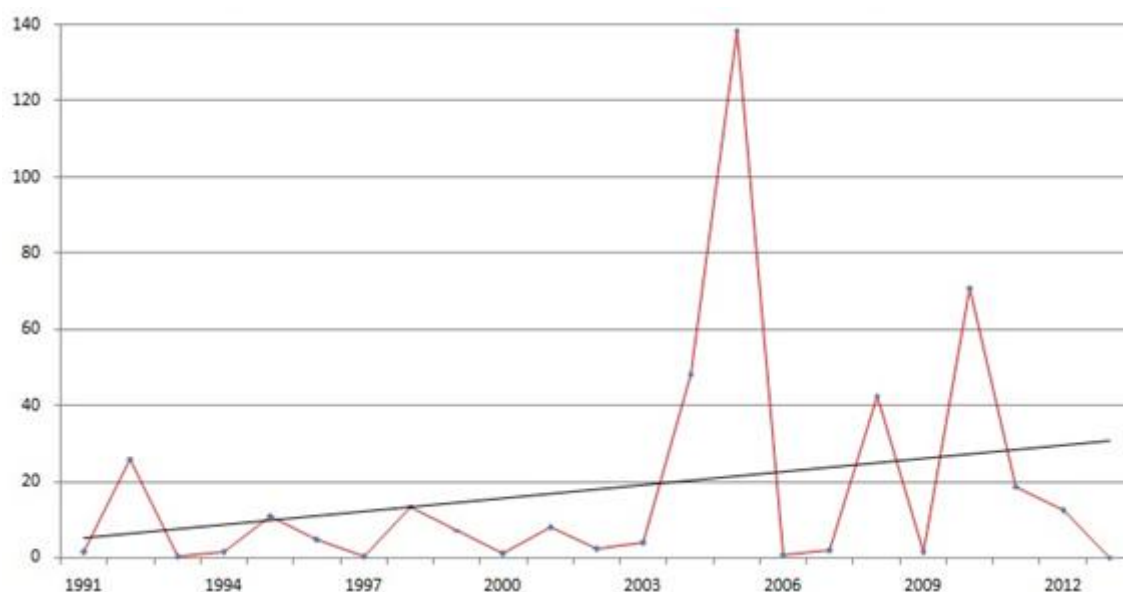
Graf 5: Porovnání rozsahu materiálních škod sedmi nejničivějších hurikánů v USA a na Kubě (v mld. USD)



Zdroj: National Hurricane Center – reporty jednotlivých sezon a bouří

Rozdílná suma škod je dána odlišnou technologickou úrovní společnosti. Obecně však platí, že čím více majetku v oblasti je, tím větší škody jsou v konečném rozsahu napáchány (Pielke, 2003). Potenciál pro páchaní větších majetkových škod je tedy vyšší v zastavěných oblastech rozvinutých společností než v rozvojových a chudších oblastech. Tento rozdíl může být mnohonásobně vyšší, což je patrné i z grafu sedmi nejničivějších hurikánů historie USA a Kuby. Ukázalo se, že s rozvojem a další modernizací společnosti roste i náchylnost ke škodám způsobených bouřemi, a to i v průběhu klidnějších sezon, během negativní fáze AMO v období 1965 – 1995 (Pielke, 2003). I přesto, že každá sezona bývá odlišná v rozsahu páchaných škod, je z grafu uvedeného níže patrný trend (černá křivka) zvyšování škod během aktuální kladné fáze AMO.

Graf 6: Rozsah škod páchaných hurikány v jednotlivých sezonách



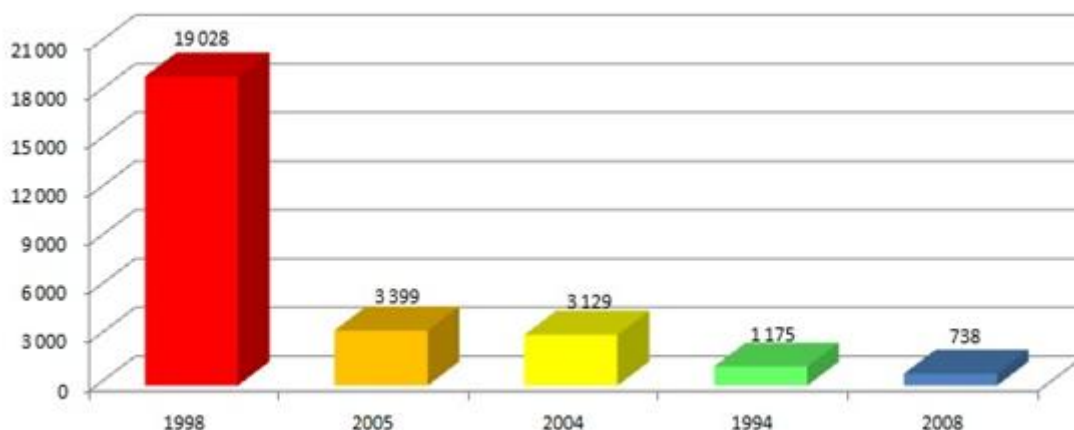
Zdroj: National Hurricane Center – reporty jednotlivých sezon a bouří

5.2 Oběti na životech

Ničivá síla hurikánů dokáže svou sílu demonstrovat nejen na rozsáhlých škodách na majetku a životním prostředí, ale bohužel i ztrátami na lidských životech. Nejničivější hurikány za sebou nechávají stovky, v těch nejhorších případech i tisíce mrtvých, zejména v chudších zemích Karibiku. Podobně jako u materiálních škod, i zde byla vypracována analýza za účelem zjištění počtu obětí během jednotlivých sezon v Karibiku v letech 1991 – 2013. Za posledních 22 let zemřelo na následky přechodu bouří a jevy s nimi spojenými téměř 30 tisíc lidí (NHC, 2014). Mezi nejtragičtější sezony se zařadily roky 1994, 1998, 2004 a 2005. Zmíněné čtyři sezony se výrazně vymykaly ve srovnání s ostatními sezonami v počtu obětí, jelikož v každé ze sezon bylo zaznamenáno více než 1000 mrtvých. Nejtragičtější byl v tomto hledu rok 1998, kdy přišlo o život více než 19 000 lidí, přičemž přibližně 18 500 z nich zavinil hurikán Mitch přecházející přes státy střední Ameriky (The International Disaster Database, 2014). Velmi tragickou událostí byl i přechod hurikánu Jeanne v roce 2004, který způsobil na Haiti více než 3000 úmrtí (Lawrence a Cobb, 2005). Na vině byly intenzivní srážky, následné bleskové povodně a sesuvy půdy (příloha č. 6), které jen v Gonaïves zabily 2800 lidí (USAID, 2007). Podobně tragický v tomto ohledu byl i rok následující, který měl na svědomí okolo 4000 obětí. Nejvíce ztrát na lidských životech způsobil hurikány Katrina a Stan. Katrina velmi tvrdě udeřila na jižní pobřeží USA, kde způsobil 1833 úmrtí spojených převážně se záplavami (Knabb a spol, 2005). Hurikán Stan zasáhl Guatemalu, Mexiko a Salvador, kde bylo nahlášeno přibližně 2000 obětí (Pasch a Roberts, 2006). Mimo tyto čtyři nejtragičtější sezony se vyskytlo ještě dalších 8 sezon, během nichž

zemřelo 100 – 700 obětí. Loňský rok se v tomto ohledu zařadil mezi ty vůbec nejkřivnější s pouhými šesti oběťmi.

Graf 7: Sezony s nejvyšším počtem úmrtí v období 1991 – 2013



Zdroj: National Hurricane Center – reporty jednotlivých sezon a jednotlivých bouří

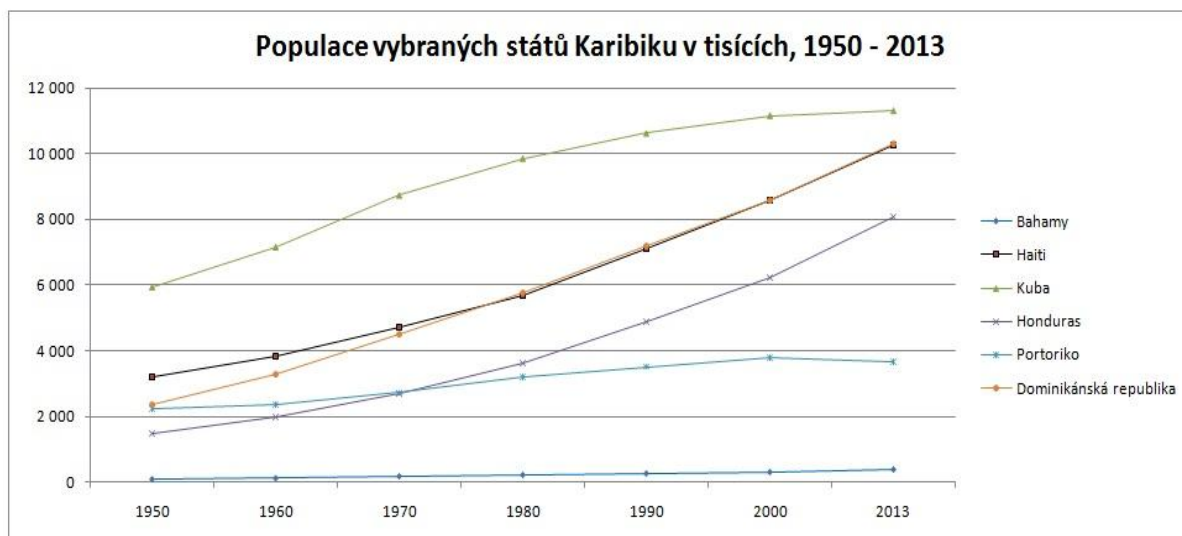
5.3 Vliv chudoby ve vztahu k dopadům hurikánů na společnost a životní prostředí

5.3.1 Rostoucí populace, migrace do měst

Při podrobnější analýze zjistíme, že nejvíce obětí bývá zpravidla zaznamenáno v chudých oblastech, viz případ hurikánu Mitch a Stan. Chudoba v tomto ohledu hraje negativní roli ve snižování počtu obětí. Chudé státy Karibiku trápí typické problémy rozvojových zemí jako je rostoucí populace, nevhodné využívání půd či nadměrná deforestace území (Pielke, 2003).

Pro větší část Karibiku, zejména pro jeho středoamerickou část, jsou i nadále charakteristické vysoké přirozené přírůstky a s tím spojený nárůst populace v již tak zalidněných oblastech. V některých oblastech se od počátku 20. století zvýšila populace i více než desetkrát. Například v Kostarice se oproti roku 1900 zvýšila populace dvanáctkrát, v Dominikánské republice až čtrnáctkrát (Pielke, 2003). Populační růst vybraných zemí Karibiku od roku 1950 je uveden v grafu níže. Byli vybráni jak zástupci rozvojových zemí, tak zástupce rozvinutější společnosti, v tomto případě Portoriko. U případu Portorika je vidět trend stagnace růstu populace v posledních letech na rozdíl od ostatních vybraných států.

Graf 8: Růst populace vybraných států Karibiku v období 1950 – 2013



Zdroj: Karibská rozvojová banka

Chudoba má vliv i na rozmístění obyvatelstva. Z chudých rurálních oblastí migruje obyvatelstvo do měst za vidinou ekonomického výtěžku a uživení rodiny (Vermeinen, 1989). V Portoriku se zvedla míra urbanizace z 40,6 % v roce 1950 na 98,8 % v roce 2010. V jedné z nejchudších zemí Karibiku – na Haiti vzrostla urbanizace z 20 % v roce 1970 na 50 % v roce 2010 (Karibská rozvojová banka, 2014). Obdobné to je u většiny států Karibiku. Migrující chudé obyvatelstvo přichází do měst často bez peněz a tak jejich příbytky tvoří často jen chatrné přístřešky, chýše či menší budovy náchylné vůči přírodním hazardům (Vermien, 1989). Silný vítr nemá problém takovéto příbytky likvidovat a metat vzduchem. S rostoucí migrací obyvatelstva se města rozšiřují do míst vystavených přírodním hazardům. Chudinské čtvrti rostou na úpatí strmých kopců náchylných vůči sesuvům půdy spojenými s nadměrnými srážkami. Zástavba se rozšiřuje i do záplavových zón vodních toků a pobřežních oblastí náchylných k vlnobití a vzedmutí hladiny (Lavell, 1994). Urbanizace v takto exponovaných polohách se jeví jako značně riziková a zvyšuje následné oběti spojené s přechodem bouří.

Hurikán Mitch, který zasáhl střední Ameriku v roce 1998, způsobil v novodobé historii největší katastrofu, co se týče počtu obětí (The International Disaster Database, 2014). Jeho ničivost tkvěla v zasažení hustě zalidněné oblasti chudých států střední Ameriky. Nejtvrději byly zasaženy státy Honduras, Nikaragua, Guatemala a Salvador (Guiney a Lawrence, 1999). Většina obětí zemřela právě na následky rozsáhlých sesuvů půdy a povodní. V Nikaraguy byla pod náporom mohutných bahnotoků a sesuvů půdy z příkrých svahů vulkánu Casita (příloha č. 7) pohřbena města El Provenir a Rolando Rodriguez. Zemřelo více než 2000 lidí z celkových 3800 (NCDC, 2014). Ještě horší byla situace v Hondurasu, kde na následky sesuvů půdy a rozsáhlých záplav zemřelo téměř 15 000 lidí (The

International Disaster Database, 2014). Jen v Nikaraguy a Hondurasu zdevastoval Mitch na 70 000 obydlí. V Hondurasu byly škody tak rozsáhlé, že celková suma 3,8 miliardy dolarů tvořila asi 70 % ročního hrubého domácího produktu země (Economic Commission for Latin America and the Caribbean, 1999).

Tabulka 2: **Urbanizace vybraných zemí Karibiku a její vývoj od roku 1950 – 2010**

Urbanizace vybraných zemí Karibiku v procentech

| | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Bahamy | 52,1 | 59,7 | 66,7 | 73,1 | 79,8 | 82,0 | 84,1 |
| Kuba | ... | ... | 60,1 | 68,3 | 71,7 | 74,7 | 77,4 |
| Haiti | ... | ... | 19,6 | 24,8 | 31,5 | 39,0 | 47,7 |
| Honduras | ... | ... | 29,0 | 34,9 | 40,4 | 45,3 | 50,5 |
| Portoriko | 40,6 | 44,5 | 58,3 | 66,9 | 72,2 | 94,6 | 98,8 |
| Dominikánská republika | ... | ... | 40,2 | 50,5 | 55,0 | 61,8 | 68,7 |
| Karibik | 36,9 | 40,2 | 45,6 | 51,8 | 55,8 | 61,3 | 66,6 |

Zdroj: Karibská rozvojová banka

5.3.2 Deforestace a využívání půdy

Dalším závažným problémem zvyšujícím zranitelnost společnosti vůči bouřím je pokročilá deforestace (Pielke, 2003). Odlesněná půda má horší retenční schopnosti a je náchylnější k erozi. Intenzivní srážky spojené s přechodem bouří tak stékají po povrchu a mohou způsobit bleskové povodně. Při dlouhodobějších srážkách dochází k promáčení svrchní části půdy a jejím následným sesuvům na nestabilních a prudce ukloněných svazích. Problémem je, že s rostoucí urbanizací se až na výjimky nedaří tento nepříznivý trend kácení lesních ploch snižovat (Pielke, 2003). S modernizací společnosti dochází i k rozvoji infrastruktury a rozšiřování elektrických sítí, s čímž souvisí další kácení lesních porostů (Thrupp, 1993). V Hondurasu pokleslo procento zalesnění z 73 % v roce 1990 na 46 % v roce 2010 (Karibská rozvojová banka, 2014). Takto vysoké úbytky lze pozorovat zejména v oblasti střední Ameriky. Ještě větší problém má v tomto ohledu Haiti, kde z pouhých 4,2 % kleslo zalesnění ostrova na 3,7 %. Takováto úroveň zalesnění už hraničí s okrajovými oblastmi pouští (Pielke, 2003). Haiti je tak velmi náchylné nejen na intenzivní srážky, ale i vítr, který nemá přirozenou bariéru v podobě lesů snižujících alespoň částečně jeho rychlost.

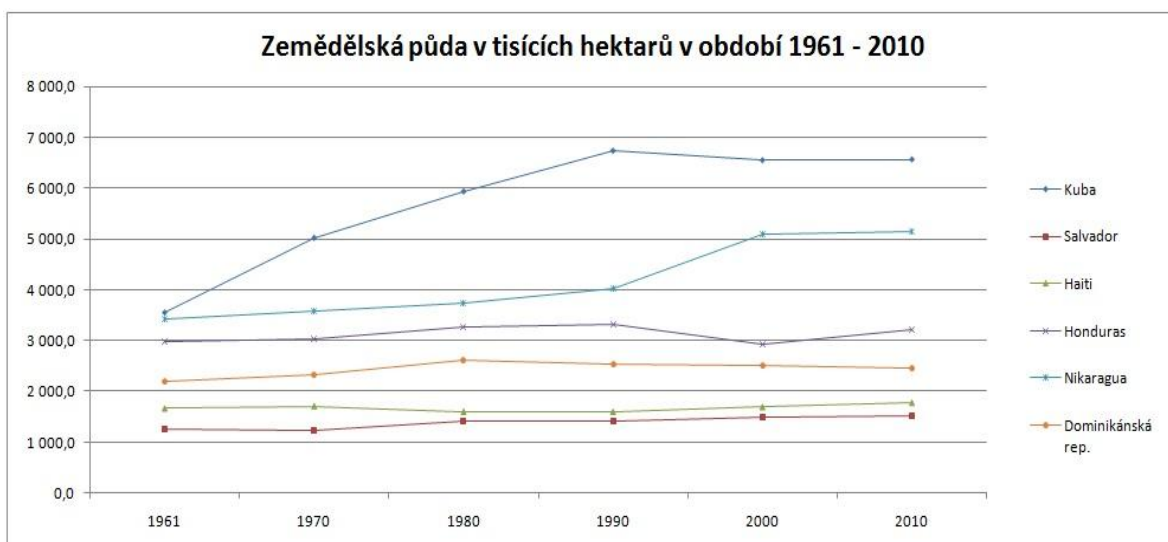
Tabulka 3: Procentuální vyjádření pokrytí půdy lesním porostem ve vybraných zemích Karibiku v období 1990 – 2010

| | 1990 | 2000 | 2005 | 2010 |
|------------------------|------|------|------|------|
| Salvador | 18,2 | 16,0 | 14,9 | 13,9 |
| Haiti | 4,2 | 4,0 | 3,8 | 3,7 |
| Honduras | 72,7 | 57,1 | 51,8 | 46,4 |
| Nikaragua | 37,2 | 31,4 | 28,5 | 25,7 |
| Dominikánská republika | 40,8 | 40,8 | 40,8 | 40,8 |

Zdroj: Karibská rozvojová banka

Na zvyšující se deforestaci má vliv mimo jiné i využití půdy k agrárním účelům. Plantáže na pěstování kávy, banánovníků, bavlny či jiných komodit se neustále zvětšují na úkor zalesněných oblastí. Ve státech střední Ameriky se často využívají údolní plochy k intenzivní pastvě dobytka (Dewalt, 1999). Na Kubě se plocha využívaná k zemědělským účelům zvětšila o 46 % během období 1970 – 2011. V Nikaraguy došlo za stejné období k nárůstu o 33 % (Karibská rozvojová banka, 2014). Problematická je i distribuce půdy. Velké koncerny a velkostatkářské farmy vytlačí menší rolníky, kteří tak ztrácejí práci a obživu pro vlastní rodinu. Nezbyvá jim nic jiného než se odstěhovat do výše položených a ne tak úrodných poloh s vyšším sklonem svahů náchylných k erozi a sesuvům půdy (Pielke, 2003). Další možností je přestěhování do chudinských čtvrtí měst, čímž se dále zvyšuje urbanizace. V Hondurasu má k dispozici 63 % malých farmářů a rolníků pouhých 6 % půdy (Karibská rozvojová banka, 2014).

Graf 9: Plocha zemědělské půdy vybraných států Karibiku v období 1961 – 2010



Zdroj: Karibská rozvojová banka

5.3.3 Vnímání bouří společností, varovný systém, evakuace

Velmi důležité pro vnímání bouří ve společnosti je i jejich četnost v rámci dané lokality. Jak bylo zmíněno výše, existují oblasti s častějším výskytem bouří a oblasti, kde se hurikány objevují spíše sporadicky. Na společnost, která čelí dopadům bouří téměř každoročně, je vyvíjen daleko větší nátlak na její transformaci (Pielke, 1997). Lidé v těchto oblastech budou pravděpodobně na zásahy hurikánů poměrně zvyklejší a jejich reakce budou pohotovější a komplexnější. Předpovědní centra v oblasti Karibiku jsou tlačena ke zdokonalování svých předpovědí, které se od dob zavedení satelitních měření stále více zpřesňují (Pielke, 1997). Právě díky satelitním snímkům a výpočtům počítačových modelů lze dnes již téměř spolehlivě vymežit trasu, kudy bude hurikán v následujících dnech procházet. Daleko složitější pro předpovědní centra je ale určování intenzity bouře a její životnosti (Pielke, 1997).

Nátlak je činěn i na vlády jednotlivých států v oblasti, které musí neustále zdokonalovat varovný systém a následně i evakuační plány, které už jsou spíše v rukou místních samospráv. Dobře sestavený evakuační i varovný systém může zabránit obětem na lidských životech (Pielke, 1997). Tvorba evakuačního plánu by měla být pokud možno co nejvíce komplexní. Vlády si nechávají vypracovávat jednotlivé studie, které i díky GIS technologiím dokážou přehledně vyznačit exponované polohy. V první řadě by měla mít daná lokace sestavený územní plán s vyznačením exponovaných ploch náchylných k úderu hurikánu (Pielke, 1997). Jedná se zejména o pobřežní oblasti níže položených míst čelících vzednutí hladiny spojené s příchodem bouře a následným vlnobitím. Dále by do takovýchto oblastí měly být zahrnuty oblasti s náchylností k sesuvům půdy tak typické právě pro karibskou oblast. V neposlední řadě by měla být vymezena i záplavová území jednotlivých vodních toků. Důležitým prvkem evakuace je i kvalitní infrastruktura, skrze kterou jsou lidé evakuováni do bezpečí (Pielke, 1997). Oběti na životech jsou ve vyspělejších zemích nižší díky lépe zvládnutým evakuačním plánům a kvalitnější infrastruktuře. Vůbec nejdůležitější v předcházení obětí na lidských životech je dobrá informovanost veřejnosti a správně fungující varovný systém, bez kterého by výše zmíněná opatření nemohla veřejnost efektivně využít (Pielke, 1997).

6 Případová studie, Portoriko

Oblast zasahovaná hurikány severního Atlantiku je poměrně rozsáhlá a jen těžko by se daly specifikovat jednotlivé dopady na společnost a životní prostředí v rámci celého Karibiku. Za tímto účelem byla zpracována případová studie ostrovního státu Portoriko. Portoriko spadá do souostroví Velkých Antil, které bývá jednou z nejtvrději zasahovaných oblastí v rámci celé oblasti. Portoriko bylo vybráno nejen z důvodu geografické podobnosti s ostatními ostrovními státy, ale i vzhledem k podobným společenským dopadům. Dalším kritickým důvodem výběru byla dostupnost kvalitních dat, která v jiných oblastech Karibiku nejsou samozřejmostí.

6.1 Základní geografické a geologické charakteristiky ostrova

Portoriko je nejmenším ostrovem souostroví Velkých Antil. Nachází se mezi 18 – 19° s. š a hlavním městem San Juan prochází 66. poledník západní délky. Ostrov je 180 km dlouhý ve směru od západu k východu a širokých pouhých 65 km od severu k jihu (WelcometoPuertorico, 2014). Jeho rozloha činní spolu s teritoriálními vodami 13 790 km², a to včetně přidružených ostrovů na východě, kterými jsou Isla de Culebra a Isla de Vieques. V Monském zálivu, který odděluje Portoriko od Hispanoly leží ostrov Isla de Mona, který také patří pod portorickou správu. Pobřeží ostrova není nijak zvláště členité a měří 501 km (Factbook, 2014). Reliéf ostrova je poměrně hornatý s výrazným hřebenem pohoří Centrální Kordillery s nejvyšším bodem ostrova Cerro de Punta (1338 m n. m.). Na severovýchodě země se nachází masiv Sierra de Luquillo s nejvyšší horou El Yunque (1065 m n. m.). Severní i jižní pobřeží je charakteristické rovinatými plochami přecházejícími mírně ukloněnými svahy do podhůří Centrální Kordillery, na rozdíl od západního pobřeží, kde hřebeny přechází strmě do moře. (Factbook, 2014). Hydrologická síť je poměrně hustá díky celoročně vysoké vlhkosti a bohatým srážkám. Na ostrově se nachází desítky menších toků. Řeky odvodňující severní část ostrova jsou vodnatější s vyššími vodními průtoky i větší délkou toku. Řeky odvodňující jih ostrova nedosahují tak vysokých vodních průtoků díky závětrnosti centrálního hřebene.

Obrázek 3: Fyzicko-geografická mapa Portorika



Zdroj: Embassyworld.com

Jádrem ostrova tvoří vulkanické horniny, převážně tufy. Vulkanické jádro pak doplňují sedimentární horniny ať už zerodované, jako je pískovec, prachovce, či jiné konglomeráty. Ostrov je charakteristický mírně až prudce ukloněnými svahy, v nichž vyvěrají díky vlhkému klimatu prameny potoků či řek s poměrně strmými údolními svahy (Mona UWI, 2014). Na horních tocích řek dochází díky sklonitosti terénu k obrušování hornin a následné erozi svahů. Vysoké teploty a hlavně vlhké klima napomáhá erozi a nestabilitě půd. Podobně jako u většiny ostrovů v Karibiku, i v Portoriku je velký problém deforestace. Kvůli intenzivnímu zemědělství a plantážnictví v minulých stoletích bylo v roce 1935 plných 90 % deforestováno. S přechodem portorické společnosti do industriální doby se deforestace pomalu začala snižovat. Díky aktuální orientaci průmyslu na industriální a služební sektor se situace mírně zlepšila. Odhaduje se, že aktuálně zůstává 60 % ostrova nezalesněno (Larsen a Simon, 1993).

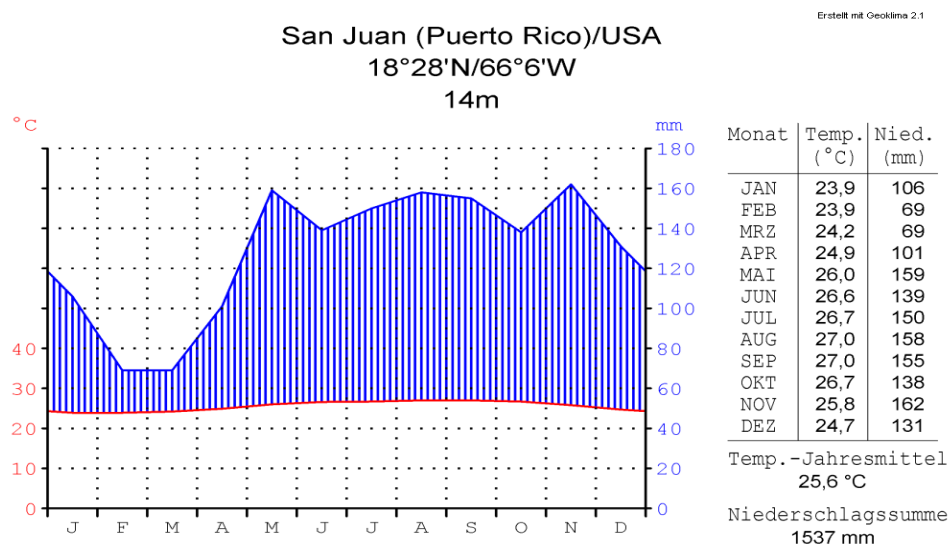
6.2 Základní klimatické charakteristiky

Vzhledem ke své poloze ve východní části souostroví Velkých Antil mají vliv na charakter klimatu severovýchodní pasáty. Ovlivňují přísun vlhkosti během vlhké části roku, tedy od května do prosince. V tomto období přecházejí přes ostrov jednotlivé tropické poruchy, bouře nebo hurikány, které přinášejí až dvě třetiny celkového ročního srážkového úhrnu. Zbývajících 25–30% srážek přináší studené fronty propadající se z kontinentální Ameriky dále k jihu do Karibské oblasti (Larsen a Simon, 1993). Ostrov je ze srážkového hlediska rozdělen na dvě odlišné části. Severní část ostrova je návětrná. Sušší období trvá pouze od února do března, kdy spadne méně než 100 mm srážek za měsíc. Na jižní části ostrova se podepisuje závětrnost hřebenu Centrální Kordillery. V průběhu roku je

snadno rozpoznatelné suché období. Zatímco průměrné srážkové úhrny se na jižním pobřeží pohybují kolem 750 mm za rok (příloha č. 8), severní pobřeží je díky pasátům na srážky bohatší. Například v pobřežním městě San Juan spadne 1537 mm, což představuje zhruba dvojnásobný úhrn srážek oproti jižnímu pobřeží (Geoklima, 2014). Na ostrově se uplatňuje silná orografická činnost, zejména na hřebenu Centrální Kordillery díky efektu orografického zesílení srážek spadne i přes 5000 mm za rok (Larsen a Simon, 1993).

Vzhledem k tomu, že se Portoriko nachází v ekvatoriálním pásu, platí, že teploty jsou v průběhu roku vyrovnané a nedochází k větším teplotním výkyvům. V horských polohách se průměrná roční teplota pohybuje kolem 19°C. Pobřeží jsou teplejší s průměrnou teplotou kolem 27°C (Larsen a Simon, 1993). Použijeme-li klimadiagram z San Juan je patrné že roční amplituda průměrných teplot je opravdu nízká a činní pouhých 3,1°C (Geoklima, 2014).

Obrázek 4: Klimadiagram hlavního města San Juan



Zdroj: Geoklima

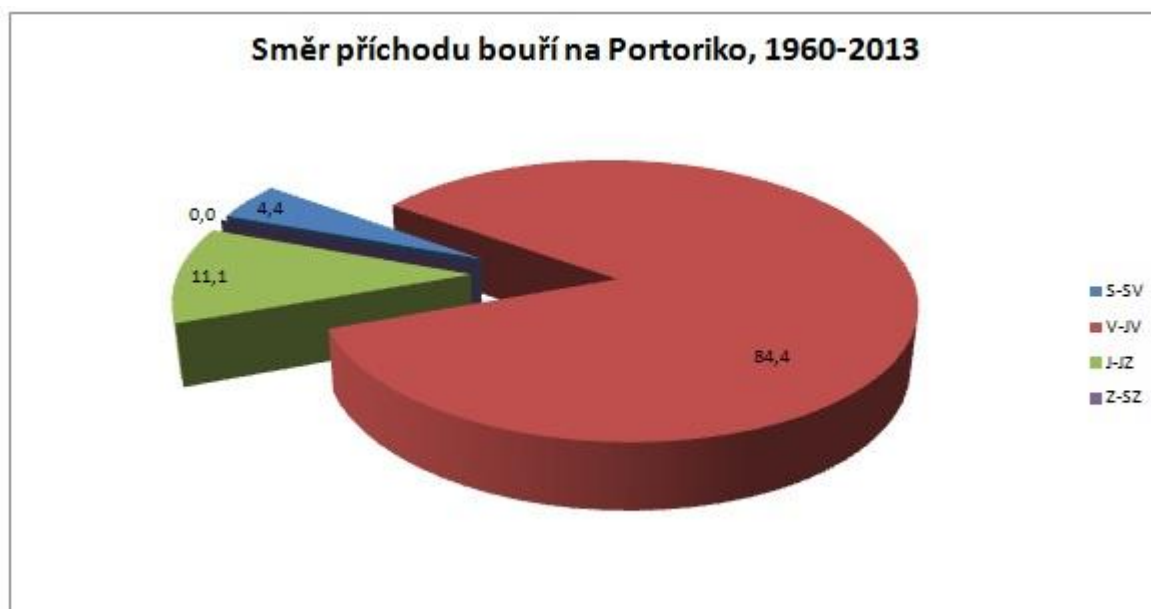
6.3 Tropické bouře a hurikány

Poloha ostrova na 18. rovnoběžce severní šířky vystavuje portorickou společnost četným událostem, které jsou spojeny s příchodem tropických poruch a bouří. Portoriko je v tomto ohledu velmi zranitelné, vzhledem k tomu, že v tomto směru postupu bouře nemusí překonávat větší ostrovní celky. Menší ostrovy Malých Antil sílu hurikánu příliš neoslabují a tak prvním větším ostrovem stojícím bouři v cestě je až Portoriko. Byla vypracována analýza přechodu bouří v období 1960–2013, které je níže rozebrána.

6.3.1 Směr příchodu bouří

Během analýzy bylo zjištěno, že bouře postupující od jihovýchodu – východu k západu až severozápadu patří v Portoriku k nejpočetnější skupině bouří. Ostatní směry jsou zastoupeny spíše sporadicky (HURDAT, 2014). Hned 38/45 (84,4 %) bouří ve studovaném období zasáhlo Portoriko právě z tohoto směru. Od jihu–jihozápadu přišlo pouhých 11,1 % bouří. Ze západních a severních směrů se bouře nad Portoriko dostaly pouze sporadicky. Oněch 84,4 % jasně ukazuje, že největšímu riziku bývá vystavováno východní pobřeží Portorika. Ovšem síla dopadů bouří závisí nejen na stupni vývoje a trase příchodu bouře, ale i na její vzdálenosti od ostrova. Přímých střetů, kde střed bouře přešel přes ostrov, bylo od roku 1960 zaznamenáno dvanáct (NOAA, 2014). Většina těchto bouří přicházela z východního směru. Dalších 18 bouří, které nezpůsobily přímý střet s pevninou, prošlo kolem východního pobřeží. Jižní pobřeží Portorika pak ovlivnilo 14 bouří (HURDAT, 2014).

Graf 10: Směr příchodu bouří na Portoriko v období 1960 – 2013



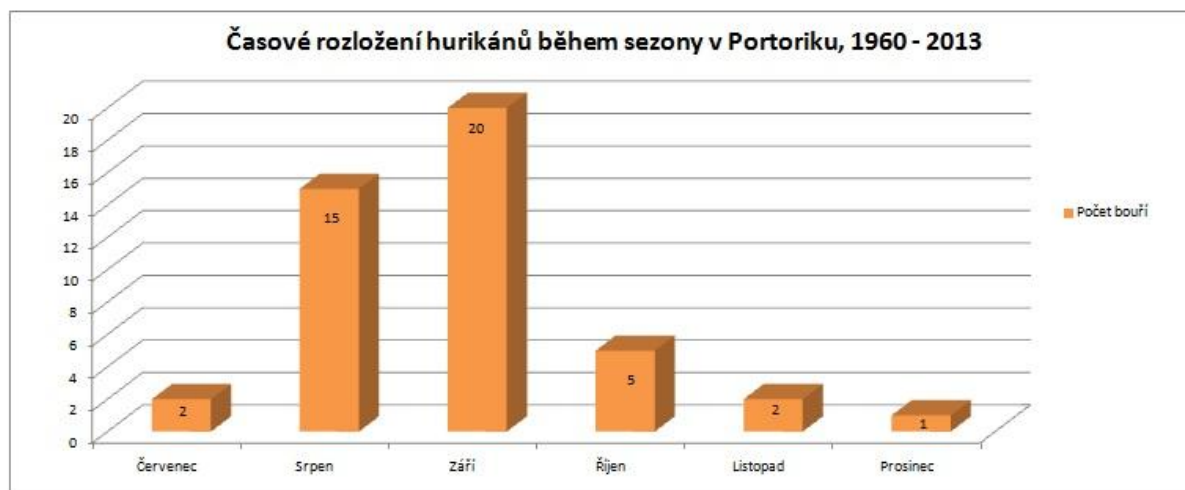
Zdroj: National Hurricane Center

6.3.2 Časové rozložení bouří v průběhu sezony

Hlavní hurikánová sezona probíhá v Portoriku obdobně jako v Karibiku od začátku června do konce listopadu. Od roku 1960 se mimo toto období vyskytla pouze jediná bouře. Jednalo se o tropickou bouři Olga, která zasáhla východní pobřeží Portorika dne 11.12.2007 (HURDAT, 2014). Tropická bouře přinesla přívalové srážky zejména v centrální části ostrova, kde spadlo kolem 200 mm srážek (Roth, 2007). Vrchol sezony v Portoriku přichází během srpna a září, což odpovídá i vrcholu hurikánové sezony v Karibiku. Od roku 1960 bylo 35 z 45 bouří zaznamenáno právě v těchto dvou

měsících. Doznívání nejintenzivnější části sezony se projevuje ještě v říjnu, během něhož bylo zaznamenáno pět bouří (NOAA, 2014).

Graf 11: Časové rozložení hurikánů během sezony v období 1960 – 2013



Zdroj: National Hurricane Center

6.3.3 Intenzita bouří

Intenzita bouří je jedním z dalších důležitých kritérií dopadů hurikánů nejen na společnost, ale i na životní prostředí. Bouře byly rozčleněny do šesti kategorií od tropických bouří až po hurikán páté kategorie (National Hurricane Center, 2014). Z analyzovaného období vychází jako jasně nejfrekventovanější tropické bouře, kterých se během období 1960 – 2013 vyskytlo 22. Jedná se o nižší stupeň vývoje bouře s již dobře definovatelným přízemním prouděním (WW, 2010). Jelikož bouře ještě není dostatečně dynamická, je její pohyb ve srovnání s hurikány zpravidla pomalejší. Pro tropické bouře v Portoriku jsou charakteristické škody páchané přívalovými srážkami spojenými s bohatou bouřkovou činností. Škody páchané větrem a vlnobitím nejsou tak časté.

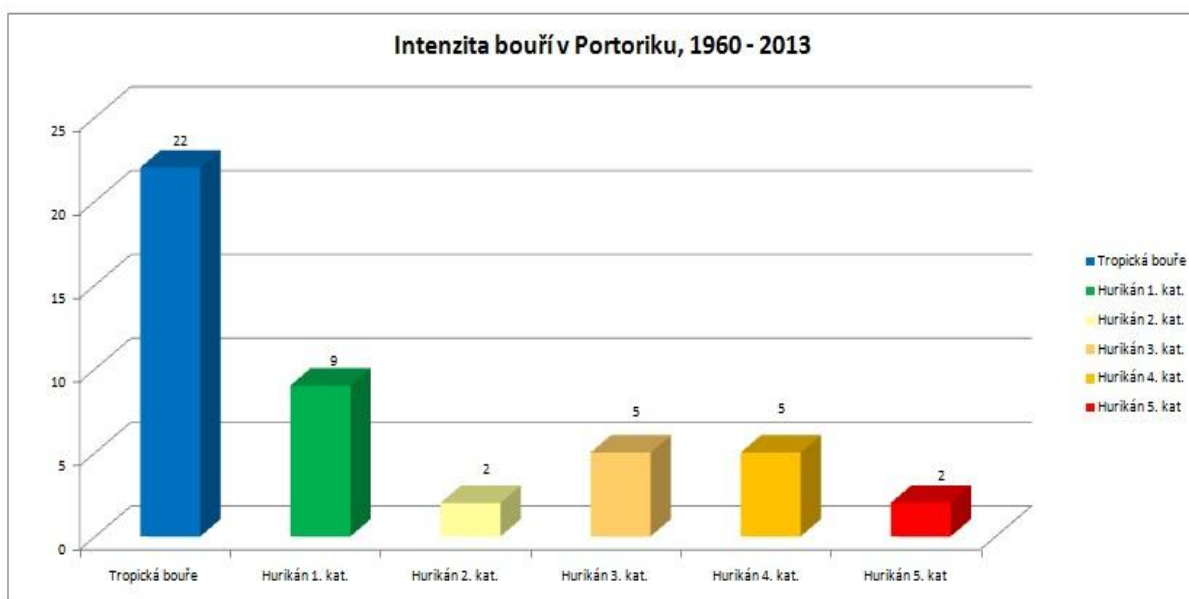
Dalších 23 bouří v pozorovaném období dosáhlo stádia hurikánu, z čehož 12 se vyvinulo v tzv. hlavní hurikány sezony (HURDAT, 2014). Nejpočetněji zastoupenou skupinou jsou hurikány 1. kategorie, jichž bylo zaznamenáno devět. Nejničivějším v této kategorii se stal hurikán Irene, který prošel Portorikem od jihovýchodu k severozápadu a nad Bahamskými ostrovy zesílil až na hurikán 3. kategorie. Způsobil škody za více než 500 milionů dolarů a zanechal za sebou jednu oběť (Elnuevodia, 2011). V tomto ohledu se Irene zařadila mezi tři nejničivější hurikány ve studovaném období. Za nejničivější hurikán v historii Portorika je možné označit hurikán Georges, který přešel ostrov jako hurikán 2. stupně (příloha č. 9). Od 19. – 23.9.1998 páchal hurikán škody na majetku v rozsahu až 1,9 bilionu dolarů (Huracanado, 2014). Intenzivní srážky zasáhly celý ostrov s nejvyššími úhrny na úpatí Centrální Kordillery. Na většině území ostrova spadlo okolo 250 mm srážek. V Jaynya

to bylo dokonce až 775 mm srážek (Roth, 2007). Právě rozsáhlé intenzivní srážky spojené s bouřkovou činností spustily rozsáhlé záplavy a sesuvy půdy. Ty způsobily zablokování některých důležitých cest a jejich přetrhání. Pro Portoriko Georges znamenal národní katastrofu, z které se ostrov vzpamatoval ještě několik let.

Od roku 1960 ovlivnilo Portoriko 12 tzv. hlavních hurikánů sezony včetně dvou hurikánů nejvyšší, 5. kategorie. V nedávné minulosti se jednalo o hurikán Dean, který v roce 2007 způsobil rozsáhlé škody v západní části souostroví Velkých Antil a v Mexiku. Hurikánu padlo v Karibiku za oběť na 40 lidí a škody se vyšplhaly na více než 1,5 miliardy dolarů (Franklin, 2008). Díky přechodu bouře jižně od ostrova byly škody v Portoriku pouze minimální. Druhý hurikán, který dosáhl nejvyššího stupně vývoje, dostal jméno David. Jednalo se o jeden z nejničivějších hurikánů v Karibiku v druhé polovině 20. století. David způsobil více než 2000 úmrtí a škody dosáhly úrovně srovnatelné s hurikánem Dean (Hebert, 1979). Nejintenzivněji byla zasažena jižní část Portorika, kde bylo nahlášeno 7 obětí a škody ve výši 70 milionů dolarů (Huracanado, 2014). Vůbec nejničivějším z kategorie hlavních hurikánů sezony, které zasáhly ostrov, byl hurikán Hugo, který v Portoriku způsobil národní katastrofu.

Z 12 studovaných hlavních hurikánů sezony způsobily větší problémy spojené s rozsáhlými materiálními škodami a oběťmi na životech pouze čtyři bouře. Prokazatelně největší dopad měly hurikány, které prošly v bezprostřední blízkosti ostrova nebo přímo přes něj. Domnívám se tedy, že vzdálenost hurikánu od ostrova má zásadní vliv na rozsah způsobených škod.

Graf 12: Intenzita bouří v Portoriku, 1960 – 2013 a jejich kategorizace



Zdroj: National Hurricane Center

6.4 Hazardy spojené s přechodem hurikánů

6.4.1 Sesuvy půdy

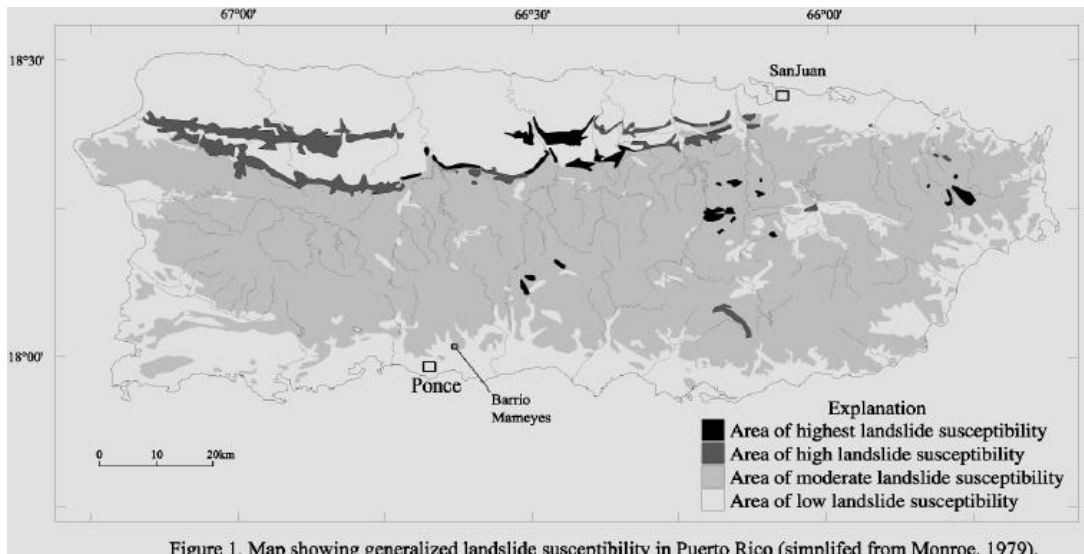
Portoriko podobně jako většina ostrovních států Karibiku trpí častými sesuvy půdy. Tento nebezpečný přírodní hazard má na Portoriku příhodné podmínky. Jak bylo zmíněno výše, ostrov je ovlivňován pasátovými větry a tudíž i bohatou srážkovou činností, která přináší místním půdám nadměrnou vlhkost. Druhým důležitým faktorem je poměrně velký sklon místních svahů zejména v Centrální Kordilleře. Dalším negativním faktorem napomáhajícím frekventovanějším sesuvům půdy je stále zvyšující se urbanizace a s ní spojená lidská činnost. Průměrně zasáhne Portoriko 1,2 sesuvu půdy během roku (Larsen a Simon, 2014).

6.4.1.1 Vliv sklonu svahu, nadmořské výšky, orientace svahu na sesuvy půdy

Ostrov se vyznačuje poměrně úzce vymezeným, několik kilometrů širokým pobřežím. Pobřeží ostrova poměrně rychle přechází přes mírně ukloněné svahy podhůří s hustou zástavbou do prudkých svahů Centrální Kordillery. Příkré svahy Kordillery často překračují úhel 12° , který byl Larsenem vyhodnocený jako kritická hodnota při určování citlivosti sklonu svahu k sesuvům půdy. Ve studii bylo prokázáno, že frekventovanost sesuvů u svahů se sklonem převyšujícím 12° je vyšší než u mírně ukloněných svahů (Larsen a Simon, 2014). Na frekventovanost sesuvů půdy má vliv kromě sklonu svahů i nadmořská výška. Vyšší polohy Portorika, nad 400 m n. m. jsou charakterizovány častějšími a intenzivnějšími srážkami než pobřežní oblasti. Se stoupající nadmořskou výškou je spojena i vyšší oblačnost počasí, což má podstatný vliv na evapotranspiraci. Půdy ve vyšších elevacích tak obsahují větší vlhkost než půdy při pobřeží. Ve výsledku jsou půdy 2 – 4 krát náchylnější k sesuvům než v pobřežních oblastech (Larsen a Torres-Sánchez, 1997).

Dalším faktorem v mikro měřítku ostrova je naklonění svahu vůči převažujícímu proudění. Orografie ostrova má zásadní vliv na rozložení srážek i v malém měřítku jednotlivých svahů. Vzhledem k působení severovýchodních pasátů jsou nejohroženější svahy ukloněné k severovýchodu až jihovýchodu. Srážky mohou být na závětrné straně i v rámci jednotlivých hřebenů poloviční. Během událostí spojenými s tropickými bouřemi se tento efekt ještě více umocňuje (Larsen a Torres-Sánchez, 1997). Jihovýchodní směr byl doplněn kvůli častým přechodům tropických bouří přes východní pobřeží Portorika (HURDAT, 2014). Spirála cyklony přecházejících k severozápadu pak způsobuje návětrnost jihovýchodních svahů. Z tohoto hlediska nám vychází jako nejnáchylnější příkré svahy ve východní a centrální části Kordillery ukloněné k severovýchodu až jihovýchodu. Velmi náchylný se z hlediska tras přechodu bouří přes ostrov jeví i masiv Sierra de Luquillo.

Obrázek 5: **Nejvíce exponované svahy vůči sesuvům půd v Portoriku**



Zdroj: Monroe

6.4.1.2 Vliv využívání půdy na sesuvy půdy

Zdá se, že rozvíjející se zástavba měst do podhůří a s tím související deforestation inkriminovaných oblastí značně zvyšuje zranitelnost společnosti vůči sesuvům půdy. S rozšiřováním je spojena nejen samotná stavba rezidencí či obytných jednotek, ale i udusání půdy v rámci lidské činnosti probíhající v okolí. Takto udusané půdy mají daleko nižší schopnost vsakování a odvádění vody, čímž se velmi rychle zasytí přízemní vrstva půdy vodou (Larsen a Torres-Sánchez, 1997). Nevhodná lokalizace obytných čtvrtí v podhůří pak dělá tyto oblasti velmi rizikovými. Ještě rizikovějším se jeví výstavba obydlí na patách či zlomech svahů. Tyto případy naštěstí nejsou tak frekventované jako předchozí případ. Stabilitu svahu narušuje i nevhodně řešená infrastruktura, jak se o tom přesvědčila vláda v 70. letech minulého století. Silnice v horských oblastech jsou často zařezávány do prudkých svahů, které mají při narušení podloží vyšší tendence k sesuvům. Během výstavby Route 52 bylo zaznamenáno 5 – 8krát více sesuvů půdy než je obvyklé (Larsen a Parks, 1997). Obdobným případem byla i výstavba Route 930, která se nejen časově prodloužila na dvojnásobnou dobu, ale i třikrát prodražila. I přes již dnes kvalitní technologie výstavby silnic ale nelze zabránit destrukci silnic. Route 191 na severovýchodě ostrova byla uzavřena na 25 úsecích, které byly roztrhány během ničivých sesuvů v 70. letech (Dames a Moore, 1991). Z výše uvedených případů vyplývá, že je výstavba infrastruktury v podhůřích a horských oblastech značně riziková a musí se počítat s možnými poškozeními.

Dnes již ne tolik zásadní roli jako dřív hraje zemědělství. Odlesňování ostrova se v posledních desetiletích zastavilo, dokonce dochází k regeneraci lesních systémů. Nicméně dřívější vykácení lesů

má dodnes vliv na retenční schopnosti půdy. Dříve odlesněné půdy mají dodnes sníženou retenční schopnost. To samé lze říci o většině půd využívaných k pěstování plodin. Plodiny nemají dostatečný kořenový systém, který by udržel celistvost půdy během intenzivních srážek. Z tohoto hlediska se jako nejrizikovější jeví svahy v údolních oblastech ležící proti převažujícímu proudění (Larsen a Torres-Sanchez, 1997).

6.4.2 Srážky

Místní půdy a toky jsou zatěžovány nadměrným množstvím srážek. Průměrně v centrálním pohoří spadne 2000–5000 mm za rok, vyskytne se kolem 1600 srážkových událostí a 209 dní v roce spadne více než 3 mm srážek za 24 hodin. Larsenem a Simonem zpracovávali srážkové charakteristiky pro období 1959 – 1990, které jsou využity níže v textu. Portoriko zasáhlo celkem 42 bouří, které způsobily sesuvy půdy (Larsen a Simon, 2014). Více než polovina bouří byla svým původem charakterizována jakožto tropické poruchy (tropické vlny, tropické deprese a hurikány) (HURDAT, 2014). Další čtvrtinu obstaraly lokální bouřky a silnější deště s menším rozsahem. Pouhou pětinu bouří pak tvořily bouřky na studených frontách propadajících se ze Severní Ameriky do Karibiku. Díky kolizní dráze ostrova s tropickými poruchami zasáhlo 25 z 41 bouří ostrov během hurikánové sezony (Larsen a Simon, 2014). Většinu z 25 bouří pak obstarávají měsíce srpen – říjen jak patrné i z grafu v kapitole o časovém rozložení bouří. Z výše uvedených faktů tedy vyplývá, že naprostá většina srážkově významných situací se odehraje během hurikánové sezony. Frekvence sesuvů půdy tedy přímo koreluje s hurikánovou sezonou.

6.4.2.1 Přívalové srážky

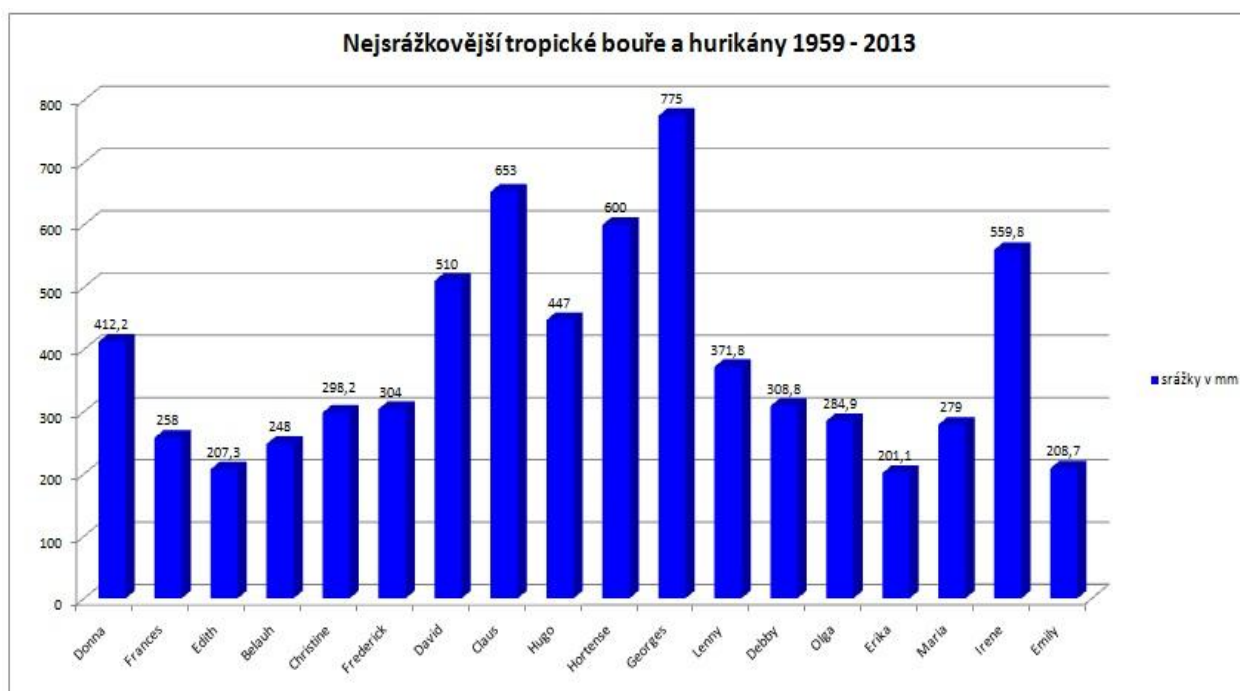
K sesuvům půdy a bleskovým povodním dochází buď při krátkých extrémních srážkových situacích, nebo během dlouhých vytrvalých intenzivních dešťů. V případě krátkodobých srážkových situací bylo zjištěno, že intenzita srážek musí dosáhnout minimálně 13,8 mm/h po dobu alespoň 10 hodin (Larsen a Simon, 2014). S klesajícím časem bouří musí být intenzita srážek přirozeně vyšší. Takováto situace se vyskytla v 80 % z případů, které byly většinou vázány na tropické poruchy nebo hurikány. Hned u 34 z 41 bouří během daného období. Nejvyšší srážkový úhrn do 100 hod. byl zaznamenán u bouřek na studené frontě 11. 12. 1981, a to 740 mm (Calvesbert, 1970). Intenzivní srážky způsobily sesuvy půdy na 36 % území. Události s dobou trvání mezi 10–100 hod. jsou charakteristické průměrnou intenzitou srážek většinou mezi 3–10 mm/h jen výjimečně se průměrná intenzita přehoupne přes 10 mm/h (Larsen a Simon, 2014).

Naopak bouře s dobou trvání do 10 hodin se vyznačují velmi intenzivním průběhem a jejich průměrné intenzity se pohybují převážně mezi 20– 100 mm/h. Vůbec nejintenzivnější bouří

s průměrnou intenzitou 110,5 mm/h byla lokální bouře, ve které za dvě hodiny spadlo 221 mm srážek (Larsen a Simon, 2014). Nejintenzivnější z hurikánů se stal hurikán Hugo s průměrnou intenzitou srážek 37,5 mm/h. V Rio Blanco spadlo během 17. – 20. 9. 1989 447 mm srážek (Roth, 2007). Následné sesuvy půdy zasáhly 11 % území.

Od roku 1959 – 2013 se vyskytlo celkem 18 bouří a hurikánů, u kterých srážkové úhrny překročily hranici 200 mm (Roth, 2007). Sedm bouří překročilo hranici 400 mm. Všechny bouře způsobily ať už lokální nebo i rozsáhlejší povodně a sesuvy půdy v závislosti na rozložení srážek v rámci ostrova. Nejvyšší úhrn srážek byl zaznamenán na tropické bouři Eloise, která zasáhla ostrov 14. – 17. 9. 1975 (HURDAT, 2014). V Dos Bocas bylo naměřeno 845,6 mm (Roth, 2007). Poměrně nestandardně bylo kromě jihovýchodního pobřeží zasaženo i jihozápadní pobřeží, kde na velké ploše spadlo kolem 400 mm srážek (Roth, 2007). Následné sesuvy půd a povodně na sebe nenechaly dlouho čekat. Více než 6000 lidí muselo opustit své domovy a následné škody se vyšplhaly na desítky milionů dolarů. Extrémní srážkové úhrny přinesly i bouře Claus, Irene, David a další zmíněné v grafu níže.

Graf 13: Tropické bouře a hurikány v Portoriku s nejvyššími srážkami, v období 1959 – 2013



Zdroj: National hurricane center, Roth

6.4.3 Vítr

Nejnebezpečnějším projevem bouří v Karibiku je bezpochyby silný vítr. Vítr byl užít i jako hlavní parametr při stanovení síly hurikánu v Saffir-Simpsonově stupnici. V nejsilnějších hurikánech

může průměrná minutová rychlost větru překračovat i 280 km/h a působit tak značené problémy nejen na moři, ale i na pevnině (National Hurricane Center, 2014). Při přechodu přes pevninu vítr i celá bouře postupně slábne díky tření se zemským povrchem. Vliv pevniny na slábnutí bouře a větrů spojených s bouří je na Portoriku nižší vzhledem k jeho poloze nejvýchodnějšího ostrovu Velkých Antil. Otevřenost z východních směrů vůči Atlantskému oceánu tak vystavuje Portoriko četnému výskytu bouří (HURDAT, 2014). Z tohoto hlediska bývá silným větrem nejvíce sužována východní část ostrova, která čelí prvotnímu nárazu hurikánu s pevninou.

6.4.3.1 Lokalizace náchylných oblastí

Nejpostiženější oblasti se liší bouře od bouře. Mohou se vyskytnout anomálie, které nekorespondují s převládajícími trendy. Faktem je, že z několika desítek bouří vychází jako nejfrekventovanější východní pobřeží spolu s ostrovy Isla de Culebra a Isla de Vieques (HURDAT, 2014). Velmi náchylné je i pohoří Sierra de Luquillo a zejména svahy ve vyšších polohách exponované od severozápadu k východu. Poměrně často zasahovaná je i oblast kolem hlavního města San Juan a centrální část Portorika (Boose a kol., 2004). Lokalizace nejpostiženějších oblastí je dána trasou přechodu bouří, která velmi často směřuje kolem východního pobřeží dále k severozápadu. Spirálovité stáčení proudění kolem oka bouře potom způsobuje návětrnost severních svahů. Naopak obdobně jako u srážkových charakteristik jižní svahy zůstávají závětrné a i škody způsobené větrem na nich jsou daleko nižší. Jihozápadní část ostrova je často chráněna centrálním pohořím a škody spojené se silou větru bývají daleko nižší. I frekventovanost bouří bývá zhruba třetinová (Boose a kol., 2004).

6.4.3.2 Dopady působení silného větru na ekosystém a na společnost

Kromě samotné trasy přechodu bouře má vliv na škody i lidská činnost. Rozrůstající se společnost, s ní spojená urbanizace, závislost na elektrickém proudu, rozvinutá infrastruktura, to vše činí dnešní společnost zranitelnější (Rodríguez, 2014). Dokonalejší technologie sebou sice přináší snižování bezpečnostních rizik, ale v případě opravdu silné bouře i daleko vyšší materiální škody. Rozrůstající se telekomunikační sítě a sítě elektrického vedení sice zvyšují kvalitu života, ale také zvyšují hustotu pokrytí stožáry vysokého vedení, čímž zvyšují pravděpodobnost stržení některé z linek. S deforestací ostrova v minulém století souvisí i daleko větší citlivost lesů na silný vítr. Menší nekompaktní lesní systémy jsou daleko náchylnější k poškození. Stejně tak i vyšší stromy v nižších polohách oproti zakrslým stromům a keřům na hřeben Centrální Kordillery (Boose a kol., 2004). Na škody napáchané větrem byla vypracovaná studie Boosem a kol. *Landspace and Regional Impact of Hurricanes in Puerto Rico*. Boose vymezil pro rozsah škod první čtyři stupně Fujitovy stupnice, které jsou pro Portoriko modifikovány.

6.4.3.3 Intenzita a četnost výskytu silných větrů

První stupeň F0 většinou nepůsobí žádné výrazné škody. Škody jsou charakteristické spíše lámáním jednotlivých větví na lesních porostech či vyvracením starých nemocných stromů. Nejnáchylnější v tomto případě bývají zemědělské plodiny, které často buď slehávají k zemi, nebo se v případě vyšších plodin lámou. Nárazový vítr dokáže ničit i chatrče chudší části společnosti (Boose a kol., 2004). Maximální nárazy větru pro stupeň F0 byly stanoveny na 90 km/h. Takovéto rychlosti jsou charakteristické pro tropické deprese či slabší tropické bouře. Jde o vůbec nejčastější charakter škod zaznamenávaných v průběhu jednotlivých hurikánových sezon.

Při stupni F1 vítr působí jak větší materiální škody, tak rozsáhlejší škody na lesních porostech. Horní hranice rychlosti větru je omezena na 126 km/h. Tyto rychlosti větru se vyskytují při přechodu ze stádia tropické bouři k hurikánu 1. kategorie (National Hurricane Center, 2014). Vítr je již schopný páchat škody nejen na zemědělských plodinách a lesních porostech, ale i na lidských obydlích. Nestabilní chatrče chudiny bývají ve velkém srovnávány se zemí. Ze zděných domů s taškovou střechou bývají velmi často strhávány tašky, v jednotlivých případech dochází i k strhnutí střechy (Boose a kol., 2004). Ve městech se objevují škody spojené se stržením elektrické sítě, semaforů, radiokomunikačních sítí či pohybu aut. V přístavech bývají unášeny či potopeny menší čluny. Četnost výskytu stupně F1 je na východním pobřeží asi každé 4 roky. Na jihozápadně země pak asi každých 6 let (Boose a kol., 2004).

Stupeň F2 je charakterizován již rozsáhlými škodami jak na lesních porostech a zemědělské půdě, tak materiálními škodami v řádech několika desítek milionů dolarů. Vítr dosahuje rychlostí až 170 km/h, což je již ekvivalentní hodnota pro označení hurikány 2. kategorie (NHC, 2014). Situace se stupněm F2 se opakují jednou za asi 15 let na východním pobřeží, na západě je to pak jednou za 33 let. Na lesních porostech jsou značné polomy, zemědělská půda je plošně ničena. Vysoké škody se objevují zejména v obydlených oblastech, kde jsou strhávány střechy a domy s nižší stabilitou. Vítr začíná dosahovat rychlostí, kdy je schopen metat kolem sebe trámy, tašky či jednotlivé lehčí předměty, čímž může docházet k obětem na životech. Spadané stromy na dráty vysokého vedení působí škody v energetice a dochází k odříznutí tisíců až deseti tisíců lidí od elektřiny (Boose a kol., 2004).

Největší škody působí vítr v kategorii F3, kde rychlosti větru dosahují 170 km/h a více (National Hurricane Center, 2014). Tyto události jsou spíše výjimečné a vyskytují se jednou za 50 – 150 let v závislosti na geografické poloze v rámci ostrova (Boose a kol., 2004). Hurikány 3. – 5. kategorie dokážou působit škody v rámci stovek milionů dolarů až několika miliard. Proti takovéto síle větru se společnost může jen těžko bránit. Lesní porosty jsou postiženy rozsáhlými polomy, silné vlnobití ničí přístavy a lodě v nich. Značné jsou i škody v obydlených oblastech na dobře

konstruovaných budovách. Vítr dokáže metat do vzduchu i těžké předměty, které následně ničí objekty v okolí a ohrožují lidské životy (Boose a kol., 2004). Tyto události bývají často označovány jako živelné katastrofy národního rozsahu. Rekonvalescence z těchto událostí trvá několik let, u lesních porostů i několik desítek let.

6.5 Charakteristika společnosti

Vyjma přírodních podmínek působí v charakteru dopadů na společnosti lidský faktor, který může taktéž ať už negativně, či pozitivně ovlivnit dopady jednotlivých bouří. Lidskou činnost na rozdíl od přírodních podmínek může portorická společnost alespoň částečně ovlivnit. Portoriko patří mezi prosperující státy s poměrně vysokou životní úrovní na rozdíl od ostatních států Karibiku. Hrubý domácí produkt 23 678 USD napovídá o poměrně vysoké úrovni místní společnosti. V rámci celého Karibiku je Portoriko na 10. místě v tomto ukazateli (WB, 2013). Nicméně tento ekonomický ukazatel nevyjadřuje příliš dobře ekonomickou profilaci Portoričanů. V portorické společnosti jsou velké rozdíly mezi prosperující částí populace a chudší složkou. Až 45 % Portoričanů žije na hranici chudoby v chatrných dřevěných nebo nestabilních chatrčích málo odolných vůči přírodním hazardům (Rodriguez, 2014). Až 160 tisíc portorických rodin žije bez hlavy rodiny, což se negativně projevuje v nerovnoměrném příjmu rodin, jelikož i na Portoriku má mužská část populace vyšší příjem než ženy. Čtvrtina domácností nevlastní telefon, téměř třetina rodin nemá automobil, což ztěžuje případnou evakuaci v případě ohrožení (Rodriguez, 2014).

Chudoba místních má vliv i na pojištění budov proti živelným událostem. Existuje velmi vysoké procento, především v chudých složkách společnosti, které nemají svůj majetek proti živelným událostem pojištěný, což se v takto rizikové oblasti může jevit jako velký problém. Obyvatelé jsou po zničení svých příbytků odkázáni na pomoc neziskových a charitativních organizací či státem zřízených fondů na pomoc při živelných katastrofách. Díky své přídruženosti k USA se v oblasti často angažují i různé americké fondy na obnovu po živelných katastrofách, například Federální agentura pro zvládnání krizí (FEMA z anglického Federeal Emergency Managment Agency) (FEMA, 2014).

Portoriko se v druhé polovině 20. století, ostatně jako celý Karibik, potýkalo s rychlým nárůstem populace. Během druhé poloviny 20. století se populace zdvojnásobila. Růst populace se samozřejmě projevil i na rostoucí urbanizaci ostrova. Z původních 500 tisíc bytových jednotek v roce 1960 se jejich počet více než zdvojnásobil na 1,4 milionu v roce 2000 (Rodriguez, 2014). Rozšiřující se zástavba do rizikových oblastí přispívá k větším škodám páchaným hurikány a s nimi spojenými přírodními hazardy. Téměř polovina obyvatelstva obyvatel žije v záplavových nebo rizikových oblastech (Rodriguez, 2014). Nutno dodat, že geografické rozložení ostrova s prudkými svahycentrálního pohoří mnoho jiných možností na budování obydlí neposkytuje. I přesto hustota

zalidnění 418 obyvatel/km² se zdá být příliš vysoká (USCB, 2010). Naštěstí pro portorickou společnost se zdá, že demografický růst dosáhl na počátku 21. století vrcholu.

Během první dekády století ubylo Portoriku 76 218 obyvatel (Rodriguez, 2014). Jako problém se ale může v tomto ohledu jevit stárnutí populace. Věkový medián činí 32,1 roku z roku 2000 oproti 18,5 z roku 1960 (Rodriguez, 2014). Odhady pro letošní rok se ovšem pohybují až kolem 38,7 roku (Factbook, 2014). V důchodovém věku se v roce 2000 nacházelo 11,2 % populace, což je opět více než dvojnásobný nárůst oproti roku 1960. V roce 2014 dosáhla populace lidí v důchodovém věku dalšího nárůstu až na 16,4 % (Factbook, 2014). Stárnoucí populace sebou samozřejmě mimo negativních aspektů na ekonomický růst nese i rizika spojená s horší flexibilitou při živelných katastrofách.

6.6 Škody spojené s přechodem tropických bouří v Portoriku

V období 1960–2012 se vyskytlo celkem 45 bouří, které prošly v bezprostřední blízkosti ostrova (NOAA, 2014). Celkem 21 bouří způsobilo alespoň nižší materiální škody v řádu statisíců dolarů v závislosti na síle bouře a její vzdálenosti od ostrova. Z oněch 21 bouří nastalo 16 událostí, během nichž se vyskytly materiální škody vyšší než 1 milion dolarů. Škála rozsahu škod je však velmi široká od několika milionu dolarů až po nejničivější bouři historie, hurikán Georges, který způsobil škody v rozsahu až 1,9 miliardy dolarů (Bennet a Mojica, 2008). Z níže uvedené tabulky vyplývá, že vyšší materiální škody se začínají vyskytovat až na konci 20. století. Tento trend je spojen jednak s vyšší frekvencí bouří během kladné fáze AMO, ale i s rostoucím životním standardem portorické společnosti. Osm nejničivějších bouří, jejichž škoda přesáhla 100 milionů dolarů, se vyskytlo od roku 1989 – 2012. Sedm z těchto bouří se vyskytlo po roce 1995, tedy v kladné fázi AMO.

Tabulka 4: Základní charakteristiky přechodu jednotlivých bouří včetně jejich stupně vývoje

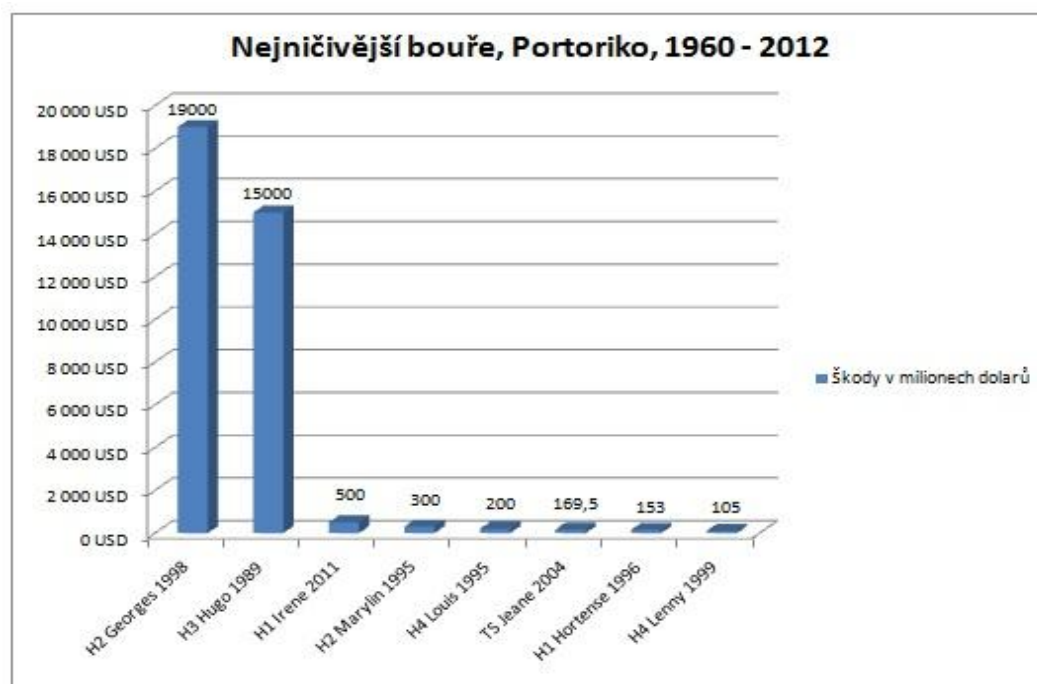
| | Počet bouří během sezony | Kategorie | Oběti | Škody milionech dolarů | v Směr příchodu bouře | Lokalizace přechodu bouře | Měsíc |
|------|--------------------------|------------|-------|------------------------|-----------------------|---------------------------|----------|
| 1960 | 1 | H4 | 107 | | JV | SV | 9 |
| 1961 | 1 | TS | | | JV | JZ | 10 |
| 1963 | 1 | H1 | | 0,2 | J | L | 9 |
| 1964 | 1 | H3 | | | V | J | 8 |
| 1965 | 1 | TS | | | J | V | 8 |
| 1966 | 2 | H3, H1 | | | V, V | J, SV | 9; 8 |
| 1967 | 1 | H3 | | | JV | JZ | 9 |
| 1973 | 1 | TS | 1 | | JV | V | 9 |
| 1974 | 1 | TS | | 2,0 | V | J | 8 |
| 1975 | 1 | TS | 44 | 60,0 | V | S | 9 |
| 1979 | 3 | TS, H5, TS | 8 | 70,8 | V, JV, V | L, J, L | 9; 8; 7 |
| 1981 | 2 | TS, TS | | | JV, JV | L, SV | 9; 9 |
| 1984 | 1 | TS | | | JZ | L | 11 |
| 1987 | 1 | H3 | | | JV | JZ | 9 |
| 1988 | 1 | H1 | | 0,2 | JV, | J | 9 |
| 1989 | 2 | H3, H1 | 12 | 15000,0 | JV, V | L, V | 9; 8 |
| 1990 | 1 | TS | | | JV | SV | 10 |
| 1993 | 1 | TS | | | JV | J | 8 |
| 1995 | 3 | TS, H2, H4 | 3 | 500,0 | SV, JV, V | JZ, L, SV | 10; 9; 9 |
| 1996 | 2 | H1, H1 | 21 | 160,5 | J, JV | L, SV | 9; 7 |
| 1997 | 1 | H1 | 2 | 10,0 | JV | SV | 9 |
| 1998 | 1 | H2 | 7 | 19000,0 | JV | L | 9 |
| 1999 | 2 | H4, TS | | 105,2 | SV, JV | JV, SV | 11; 10 |
| 2000 | 1 | H1 | 1 | 0,5 | JV | L | 8 |
| 2001 | 1 | TS | | 7,7 | JV | V | 8 |
| 2004 | 1 | TS | 8 | 169,5 | JV | L | 9 |
| 2007 | 2 | TS, H5 | 1 | | V, V | L, J | 12; 8 |
| 2008 | 1 | H4 | 1 | | JZ | V | 10 |
| 2009 | 2 | TS, TS | | | V,V | J, V | 9; 8 |
| 2010 | 1 | H4 | | | V | SV | 8 |
| 2011 | 3 | TS, H1, TS | 1 | 506,3 | JV,JV, JV | SV, L, J | 9; 8; 8 |
| 2012 | 1 | TS | 1 | | V | J | 8 |

TS = Tropická bouře, H1 – H5 = hurikány 1. – 5. kategorie. Ve sloupci lokalizace přechodu bouře je vyjádřena světová strana, kterou hurikán míjel ostrov. V případě písmene L =z anglického Landfall došlo k přímému střetu bouře s pevninou.

Zdroj: National Hurricane Center – reporty jednotlivých bouří, reporty jednotlivých sezon, databáze HURDAT

V drtivé většině případů se jednalo o hurikány. Pouze v roce 1994 způsobila tropická bouře Jeanne škodu 169,5 milionu dolarů (NOAA, 2014). Všechny tyto bouře znamenaly velký zásah do života Portoričanů, z kterých se společnost oklepávala ještě další roky. Zgrafu níže je patrné, že dvě bouře se v tomto ohledu úplně vymykaly a způsobily několikrát vyšší škody. Jednalo se o hurikán 2. kategorie Georges a hurikán 3. kategorie Hugo.

Graf 14: Nejničivější bouře v Portoriku, 1960 – 2012



Zdroj: National hurricane center

Hurikán Georges napáchal jen na infrastrukturu škody za 22 milionů dolarů. Sesuvy půdy, silný vítr a vlnobití vysoké 3 – 6 metrů poničily na 72 tisíc budov a dalších 28 tisíc bylo úplně zlikvidováno. Portoriko zažilo kompletní black out, kdy se až 96 % lidí ocitlo bez dodávek elektrické energie. Celkem bylo poničeno okolo 50 % veškerých rozvodných sítí na ostrově. Velmi problematickou záležitostí byla i dostupnost pitné vody, ke které mělo přístup asi jen 25 % obyvatelstva. V zemědělském sektoru enormní srážky a silný vítr napáchaly škody za 213 milionů dolarů. Nejtvrději byly zasaženy na vítr citlivé banánové plantáže, které byly z 95 % poničené. Tvrdý dopad pocítili kávové plantáže, které utrpěly poničení 75 % všech plodin. Celkem hurikán poničil více než 50 % veškerých zemědělských plodin. Konečné číslo škod se vyšplhalo až na 1,9 bilionu dolarů. (Bennet, Mojica, 2008).

Hurikán Hugo zasáhl východní pobřeží Portorika 17.9. 1989 jakožto hurikán 3. kategorie. Rychlosti větru dosahovaly v nárazech až 200 km/h, což působilo obrovské škody nejen na budovách ale i v zemědělství (HURDAT, 2014). Těsně před sklizní byla zlikvidována podstatná část banánů

směřující na Evropský trh, což místní ekonomice způsobilo další nemalé škody. Nejtvrději bylo postiženo východní pobřeží a přilehlé ostrovy Culebra a Isla de Vieques, kde bylo zdevastováno až 80 % obytných kapacit. Více než 87 000 lidí se tak ocitlo bez domova. Intenzivní srážky způsobily zejména na východním pobřeží bleskové povodně a poničení infrastruktury včetně stržení několika důležitých mostů. Celkové škody dosáhly 1,5 miliardy dolarů (Washingtonpost – York, 1989).

6.7 Oběti na životech

Od roku 1960 zasáhlo ostrov 15 bouří, které zapříčinily ztráty na životech ať už přímého, nebo nepřímého charakteru. V níže uvedených údajích jsou zahrnuty i nepřímé oběti na životech. Nejčastěji se jedná o oběti spojené s evakuací před bouří, s dopravní nehodou či s jinou příhodou spojenou s příchodem bouře. Jak bylo zmíněno výše, intenzita bouří byla až do poloviny 90. let nižší díky chladné fázi atlantické multidekadální oscilaci, která ochlazovala povrchové vody Atlantiku. Portoriko zasáhlo do roku 1994, tedy za 34 let, celkem 23 bouří, za posledních 18 let bylo zasaženo hned 22 krát (HURDAT, 2014). Frekvencovanost bouří a jejich intenzita, která byla vyjádřena způsobenými škodami popsanými výše, byla tedy v prvním sledovaném období daleko nižší.

Během prvního období se vyskytlo pouze pět bouří, které způsobily úmrtí. Tehdejší nedokonalé předpovědní systémy, které by dokázaly určit včas trasu a intenzitu bouře, příliš nenapomohly snížení rizik spojených s příchodem bouře. Proto i přesto, že se během 34 let vyskytlo pouze pět událostí spojených s úmrtím občanů, znamenalo to pro Portoriko vysoké ztráty na životech. Těchto pět událostí v celkovém počtu vyjadřuje 79 % veškerých obětí na životech od roku 1960 – 2013. Tři ze čtyř nejsmrtelejších bouří se vyskytly během prvního období. Vůbec nejsmrtelejších se stal hurikán 4. kategorie Donna, který usmrtil 107 lidí, a to v důsledku bleskových povodní a sesuvů půdy. Hurikán zasáhl ostrov 5. září 1960 jakožto hurikán Cape-Verdského typu a pokračoval dál jako hurikán 5. stupně nad Hispanolu, Bahamy a Floridu, kde působil další škody (HURACANADO, 2014). Podobně jako další hurikány Cape-Verdského typu byl charakteristický rozsahem svých škod na velké ploše, úplně se rozpadl až nad Kanadou. Dne 13. září 1975 zasáhla ostrov tropická bouře Eloise, jež se ve vodách Mexického zálivu transformovala na hurikán 3. kategorie. Na ostrov přinesla silné srážky spojené se záplavami, během nichž utonulo 44 lidí. Nejintenzivněji byla zasažena jihozápadní část ostrova, kde spadlo až 845 mm. V počtu obětí se tak tropická bouře Eloise řadí na druhé místo za hurikán Donna. Dalších 12 obětí si připsal hurikán Hugo, zmiňovaný již výše jako jeden z nejdestruktivnějších hurikánů. Sedm obětí přinesl jeden z nejničivějších hurikánů 20. století, hurikán 5. kategorie Dave, který našťastí Portoriko minul jižně. Po jedné oběti pak přinesly ještě tropické bouře Frederick a Christine (HURACANADO, 2014).

Od roku 1995, kdy se AMO překlápí do své kladné fáze, dochází ke zvýšení frekvence bouří. Nicméně v druhém období byla zaznamenána necelá čtvrtina obětí oproti období prvnímu. Od roku 1995 tak portorické úřady evidují 46 obětí na životech. Nižší čísla i přes vyšší frekvenci bouří jsou dána především kvalitnější předpovědní službou a dobrou koordinací při evakuačních situacích. Ani tak se ostrov nevyvaroval významným událostem, jako byl hurikán Hortense, který zasáhl ostrov 9.9.1996 (HURDAT, 2014). Hurikán 1. stupně, který se později vyvinul až do 4. kategorie, způsobil na ostrově záplavy, kvůli nimž muselo být evakuováno více než 10 tisíc osob, a zanechal za sebou 18 mrtvých (Avila, 1996). Další osm obětí si vyžádala tropická bouře Jeanne, která se později vyvinula v hurikán 3. kategorie. Opět byly na vině bleskové povodně (Cobb, 2005). Pouze sedm obětí připadá na vrub nejničivějšímu hurikánu Georges. Právě na tomto případě lze dobře pozorovat progres předpovědní služby a evakuačních plánů místní samosprávy. I přes přímý zásah pevniny a rozsáhlé povodně dokázala místní správa evakuovat a připravit obyvatelstvo na přímý střet s nejničivější bouří posledních desetiletí (Guiney, 1999).

Celkově se v posledních 18 letech vyskytlo 11 bouří, které způsobily ztráty na životech.

Závěr

Oblast Karibiku bývá každoročně díky své geografické poloze zasahována několika hurikány, které způsobují rozsáhlé škody jak společnosti, tak na životním prostředí. Místní společnost se vždy potýkala s dopady jednotlivých bouří rozdílně v závislosti na stupni rozvoje. Určující a poměrně nepříznivé jsou v tomto ohledu i geografické a topografické charakteristiky oblasti, které snižování dopadů hurikánů příliš nepřispívají.

Hlavní účelem práce bylo analyzování dopadů na společnost, životní prostředí a lokalizování nejpostiženějších oblastí v rámci regionu. V práci byly klasifikovány tři primární projevy bouře, které dávají za vznik přírodním hazardům. Jedná se o vlnobití spojené s přechodem bouře, které páchá škody v úzkém několikakilometrovém pobřežním pásu. S tímto hazardem bývají spojeny zejména materiální škody přístavních měst. Další dva projevy bouře, nárazovitý vítr a intenzivní srážky, jsou schopné páchat škody i hlouběji ve vnitrozemí. Jako nejrizikovější ze všech projevů spojených s přechodem bouří vychází intenzivní srážky. Srážkové úhrny v rámci několika stovek až tisíců milimetrů podmácejí místní půdy a způsobují bleskové povodně. Vzhledem k velkému sklonu svahů pak dochází k sesuvům půd, které páchají materiální škody, škody na životním prostředí, ale i oběti na životech. Nutno říci, že některé faktory charakteristické pro rozvojové státy, jako vysoká koncentrace obyvatel do měst, deforestace či nevhodné využití zemědělských ploch, přispívají ke zvyšování škod a k obětem na životech.

Za účelem detailnějšího zpracování jednotlivých hazardů byla vypracována případová studie zabývající se těmito jevy v Portoriku. Ačkoliv Portoriko patří mezi jedny z vyspělejších států v oblasti, potýká se i nadále s problémy, jako jsou vysoká úroveň deforestace či vysoká míra urbanizace, kdy až 98 % obyvatel žije ve městech. Bylo zjištěno, že nejfrekventovanější z hlediska přechodu bouří je východní pobřeží ostrova. Tento fakt je dán obecným postupem bouří od východu k severozápadu. Jako nejméně rizikové z hlediska ostrova bylo vyhodnoceno jeho západní pobřeží. Z hlediska přírodních hazardů působí největší škody přivalové srážky spojené s povodněmi a sesuvy půdy na úpatích centrálních hřebenů. V tomto ohledu se projevuje i exponovanost svahů vůči řídicímu proudění.

V neposlední řadě byl zkoumán vliv chudoby na rozsah materiálních škod a na počet obětí. Byla provedena analýza sedmi nejničivějších bouří u zástupce rozvinuté země (USA) a zástupce rozvojové země, v tomto případě Kuby. Bylo zjištěno, že k vyššímu počtu obětí dochází v rozvojových zemích, zatímco materiálně vyšší rozsah škod bývá páchán vzhledem k technické vyspělosti společnosti v rozvinutých zemích.

Seznam použité literatury

Knižní zdroje

- Aiyyer, Anatha R. a Chris Thorncroft. *American Meteorological Society*. [online]. roč. 2006, 2969 – 2983 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <<http://www4.ncsu.edu/~aiyyer/papers/aiyyer-CT-2006.pdf>>.
- Avila, Lixion A. a John Cangialosi. *Tropical Cyclone Report: Hurricane Irene*. [online]. 2011, 1 – 55 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL092011_Irene.pdf>.
- Barale, V. *The Past, Present, and Future of the AVHRR Pathfinder SST Program*. [online]. 2009, 323 – 341 [cit. 2014-05-05]. DOI: 10.1007/978-90-481-8681-5_16. Dostupné z: <http://www.nodc.noaa.gov/SatelliteData/pathfinder4km/OFS_21_Cas_09Dec2009.pdf>.
- Bennett, Shawn P. a Rafael Mojica. *Hurricane Georges Preliminary Storm Report: From the Tropical Atlantic to the United States Virgin Islands and Puerto Rico*. [online]. 2008 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.srh.noaa.gov/sju/?n=1998_georges>.
- Berg, R. *Tropical Cyclone Report: Hurricane Ike*. [online]. 2009, 1 – 55 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.nhc.noaa.gov/pdf/TCR-AL092008_Ike_3May10.pdf>.
- Boose, Emery R., Mayra I. Serrano a David R. Foster. *Landscape and Regional Impacts of Hurricanes in Puerto Rico. Harvard Forest, Harvard University, Petersham, Massachusetts 01366 USA* [online]. 2004, 335 – 352 [cit. 2014-05-06].
- Calvesbert, R.J., *Climate of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands*. U.S. Dept. of Commerce, Climatography of the U.S. 60 – 52 29, 1970, [cit. 2014-05-05].
- Cílek, Václav. *Odložené globální oteplování?: Oceánské proudění a třicetileté chladné epizody* [online]. 89. vyd. Vesmír, 2010 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <<http://www.vesmir.cz/clanek/odlozene-globalni-oteplovani>>.
- Dames, Moore, *Report on the Rehabilitation of R'io Blanco Hydroelectric Project for Puerto Rico Electric Power Authority*. Houston, TX, Job No. 11905-002-14, 1980, [cit. 2014-05-05].
- Degraff, Nicholas. *NATURAL HAZARDS AND DISASTERS: LANDSLIDES IN PUERTO RICO. Unit for Disaster Studies: UWI, Mona, Jamaica* [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.mona.uwi.edu/uds/Land_Puerto_Rico.html>.
- Dewalt, B. R., *Hurricane Mitch: Human causes of a natural catastrophe. IAI Newsletter, Issue 19, July, 1999, 39–43* [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <<https://groups.yahoo.com/neo/groups/carib-ngo-forum/conversations/messages/59>>.

- Franklin, James L. *Tropical Cyclone Report: Hurricane Dean*. [online]. 2008, 1 – 23 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z:<http://www.nhc.noaa.gov/pdf/TCR-AL042007_Dean.pdf>.
- Gray, William M., Philip J. Klotzbach a William Thoroson. *Summary of 2005 Atlantic tropical cyclone activity and verification of author's seasonal and monthly forecasts*. [online]. 2005 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: Hurricane research division. NOAA. [online]. 2014 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <<http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/E17.html>.
- Guiney, John L. a Miles B. Lawrence. *Preliminary report: Hurricane Mitch*. [online]. 1999 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z:<<http://www.nhc.noaa.gov/1998mitch.html>>.
- Honduras: Assessment of the damage caused by hurricane Mitch, 1998. Implications for economic and social development and for the environment. *Economic Commission for Latin America and the Caribbean* [online]. 1999, 21 – 98 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://www.eclac.org/publicaciones/xml/6/15506/L367-2-EN.pdf>>.
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, *Central America: Hurricane Mitch Emergency relief, transitional relief and first phase rehabilitation*. [online]. 2000 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <<http://www.ifrc.org/docs/appeals/99/029904f.pdf>>.
- Knabb, Richard D., Jamie R. Rhome a Daniel P Brown. *Tropical Cyclone Report: Hurricane Katrina*. [online]. 2005, 1 - 43 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.nhc.noaa.gov/pdf/TCR-AL122005_Katrina.pdf>.
- Larsen, Matthew C. a Andrew Simon. A RAINFALL INTENSITY-DURATION THRESHOLD FOR LANDSLIDES IN A HUMID-TROPICAL ENVIRONMENT, PUERTO RICO. *U.S. Geological Survey, Cascades Volcano Observatory 5400 MacArthur Blvd., Vancouver, WA* [online]. 1993, 13 – 23 [cit. 2014-05-06]. DOI: 00936-4424.
- Larsen, Matthew C. a Angel J. Torres-S'anchez. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. *U.S. Geological Survey, GSA Center, 651 Federal Blvd., Guaynabo, 00965, Puerto Rico*[online]. 1997, 309 – 331 [cit. 2014-05-06].
- Larsen, Matthew C. a J. E. Parks. How wide is a road? The association of roads and mass-wasting disturbance in a forested montane environment. *Earth Surf. Processes Landforms* 22 [online]. 1997, 835 – 848 [cit. 2014-05-06].
- Lavell, A., Prevention and mitigation of disasters in Central America: Vulnerability to disasters at the local level. *Disasters, development, and environment*, 1994, A. Varley, ed., Wiley, New York, 49–63 [cit. 2014-05-06].

- Lawrence, Miles B. a Hugh D. Cobb. *Tropical Cyclone Report: Hurricane Jeanne*. [online]. 2005 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://www.nhc.noaa.gov/2004jeanne.shtml>>.
- Pasch, Richard J. a David P. Roberts. *Tropical Cyclone Report: Hurricane Stan*. [online]. 2006, 1 – 12 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.nhc.noaa.gov/pdf/TCR-AL202005_Stan.pdf>.
- Pielke , Rodger A. Jr. a kol. Hurricane Vulnerability in Latin America and The Caribbean: Normalized Damage and Loss Potentials. *Natural Hazards Review* [online]. 2003, 101 – 114 [cit. 2014-05-05]. DOI: 10.1061/~ASCE!1527-6988~2003!4:3~101!. Dostupné z: <<http://www.aoml.noaa.gov/hrd/Landsea/NHR-Cuba.pdf>>.
- Pielke, Roger A. Jr. a Roger A. Sr. Pielke. *Hurricane their Nature and Impacts on Society* [online]. 1. vyd. London: John Wiley and Sons Press, 1997 [cit. 2014-05-06]. ISBN 0-471-97354-1. Dostupné z: <http://sciencepolicy.colorado.edu/admin/publication_files/1997.14.pdf>.
- Riphey, B., Weatherwatch - August 1996. *Weatherwise*, 1997, 49 – 53 [cit. 2014-05-06].
- Rodríguez, Havidán. Population Composition, Geographic Distribution, and Natural Hazards: Vulnerability in the Coastal Regions of Puerto Rico. *CISA, Universidad de Puerto Rico, DRC - UDeI* [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.seagrantpr.org/research/research_files/symposiums/second_symposium/presentations/Diaz.pdf>.
- Ross, Robert B. a Maurice D. Blum. 1957. Hurricane Audrey. *Monthly weather review* [online]. 221 – 227 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/mwr_pdf/1957.pdf>.
- Thrupp, L. A. 1997. *Green guidance for Latin America and the Caribbean*. Bureau for Latin America and the Caribbean, United States Agency for International Development: Center for International Development and Environment, World Resources Institute, Washington, D.C., [cit. 2014-05-06].
- Veraga Walter. 2003. *Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 32: Assessing the Potential Consequences of Climate Destabilization in Latin America* [online]. 18 – 35 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://unfccc.int/files/adaptation/application/pdf/world_bank_furtherinfo_working_paper_2009.pdf>.
- Vermeiren, Jan C. *Natural disasters: Linking economics and the environment with a vengeance*. [online]. 1989, 1 – 15 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Abril-Mayo2005/CD2/pdf/eng/doc1610/doc1610-contenido.pdf>>.

Xie, L. a L.J. Pietrafesa. 1995: *Modeling the flooding around the Pamlico-Albemarle sounds caused by hurricanes, Part II: Predicting the flooding caused by Emily*. Pre prints, 21st Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Miami, FL, American Meteorological Society, 445 – 447.

Ostatní zdroje

Atlantic oceanographic and Meteorological Laboratory: National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA. [online]. 2014 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.aoml.noaa.gov/phod/amo_faq.php>.

Caribbean Development Bank. [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://www.caribank.org/>>.

Earth System Research Laboratory: Serving Society through Science [online]. 2014 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <<http://www.esrl.noaa.gov/>>.

EM – DAT: The International Disaster Database. [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://www.emdat.be/>>.

Federal Emergency Management Agency. U.S. DEPARTMENT OF HOMELAND SECURITY. [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://www.fema.gov/>>.

Hurican Research Division. [online]. 2014 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/Data_Storm.html>.

KlimadiagrammeWeltweit. [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://www.klimadiagramme.de/>>.

National Hurricane Center. NOAA. [online]. 2014 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <<http://www.nhc.noaa.gov/>>.

National Weather Service Weather Forecast Office: San Juan, PR. NOAA. [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://www.srh.noaa.gov/sju/?n=tropical02>>.

ROTH, David. Tropical Cyclone Rainfall Data. NOAA. [online]. 2012 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://www.hpc.ncep.noaa.gov/tropical/rain/tcrainfall.html>>.

United States Census Bureau. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. [online]. 2014 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <<http://www.census.gov/#>>.

The Puerto Rico Hurricane Center. [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://huracanado1.tripod.com/georges.html>>.

The World Bank. [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://www.worldbank.org/>>.

The World Factbook. CIA. [online]. 2014 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>>.

Welcome to Puerto Rico. [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://welcome.topuertorico.org/>>.

World Meteorological Organization. [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.wmo.int/pages/index_en.html>.

WW 2010[online]. 2010[cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/home.xml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/home.xml)>.

Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1 Geografická variabilita teplotních odchylek v rámci severního Atlantiku 8. 5. 2013

Příloha 2 Satelitní snímek hurikánu Andrew

Příloha 3 Vlnobítí hurikánu Allen v roce 1980, Corpus Christi, USA

Příloha 4 Hurikánová sezona 2005

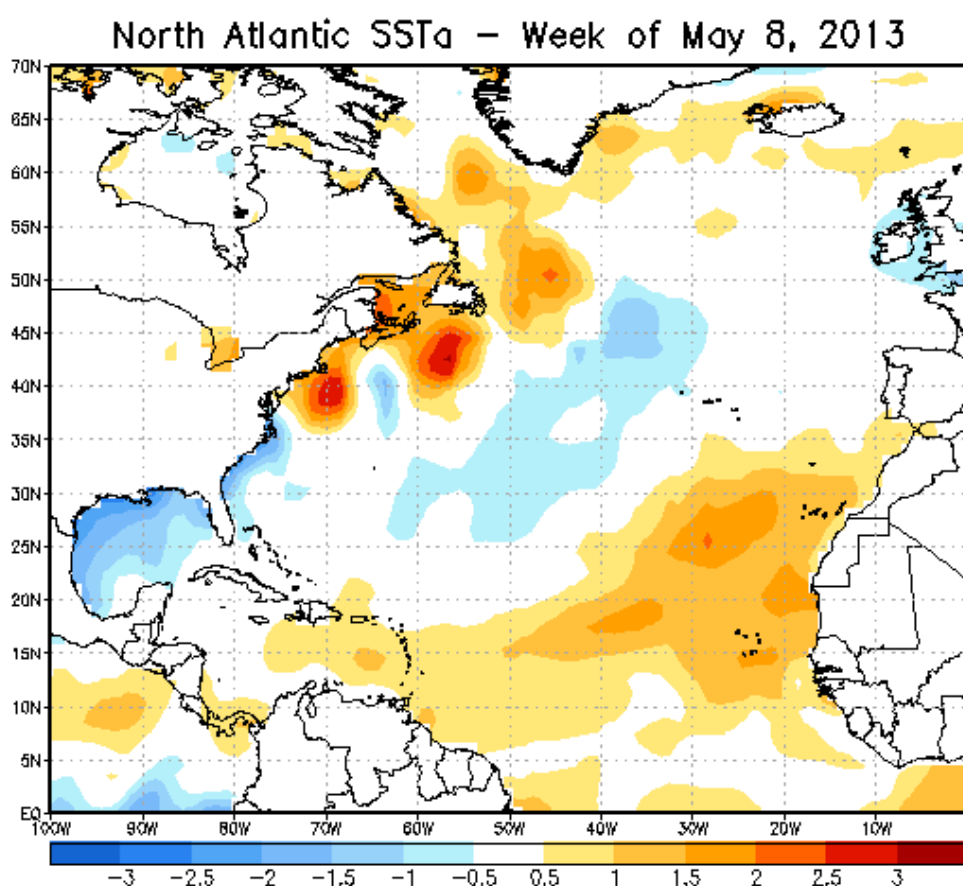
Příloha 5 Zaplavené New Orleans hurikánem Katrina v roce 2005

Příloha 6 Povodně a sesuvy půdy v Gonaives, Haiti, 2008

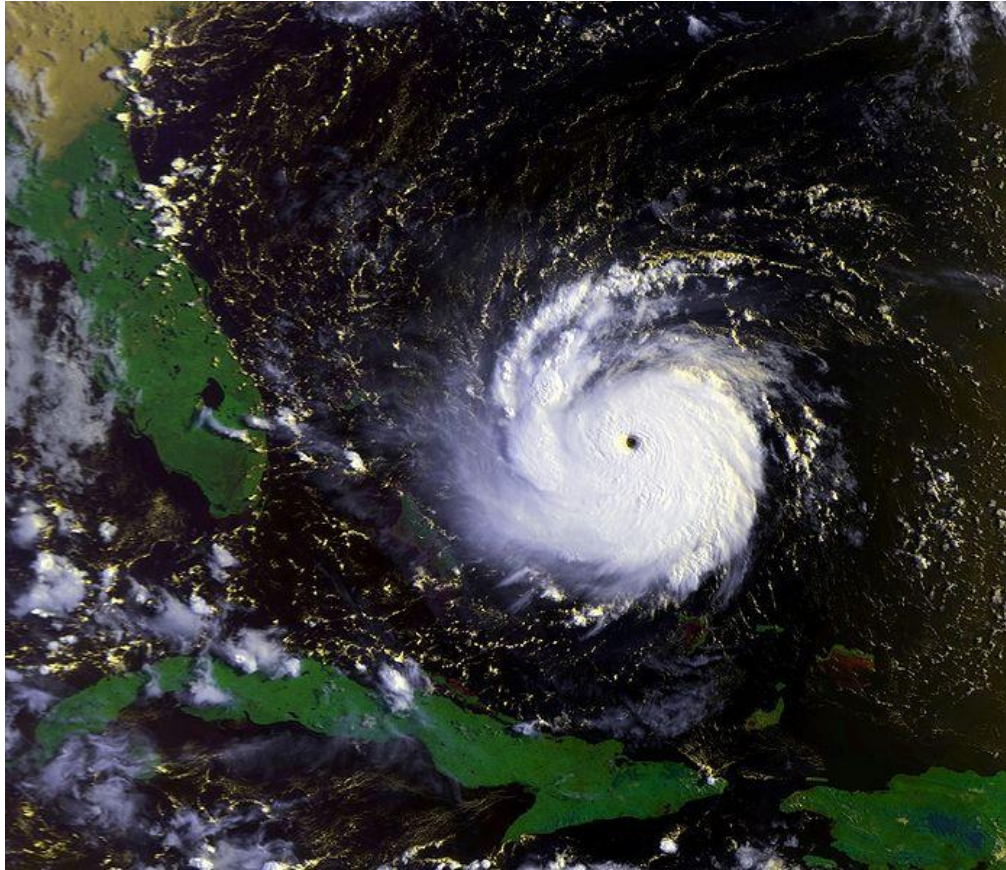
Příloha 7 Sesuvy bahna po svazích vulkánu Casita

Příloha 8 Rozložení průměrných ročních srážek v Portoriku

Příloha 9 Trasa přechodu hurikánu Georges



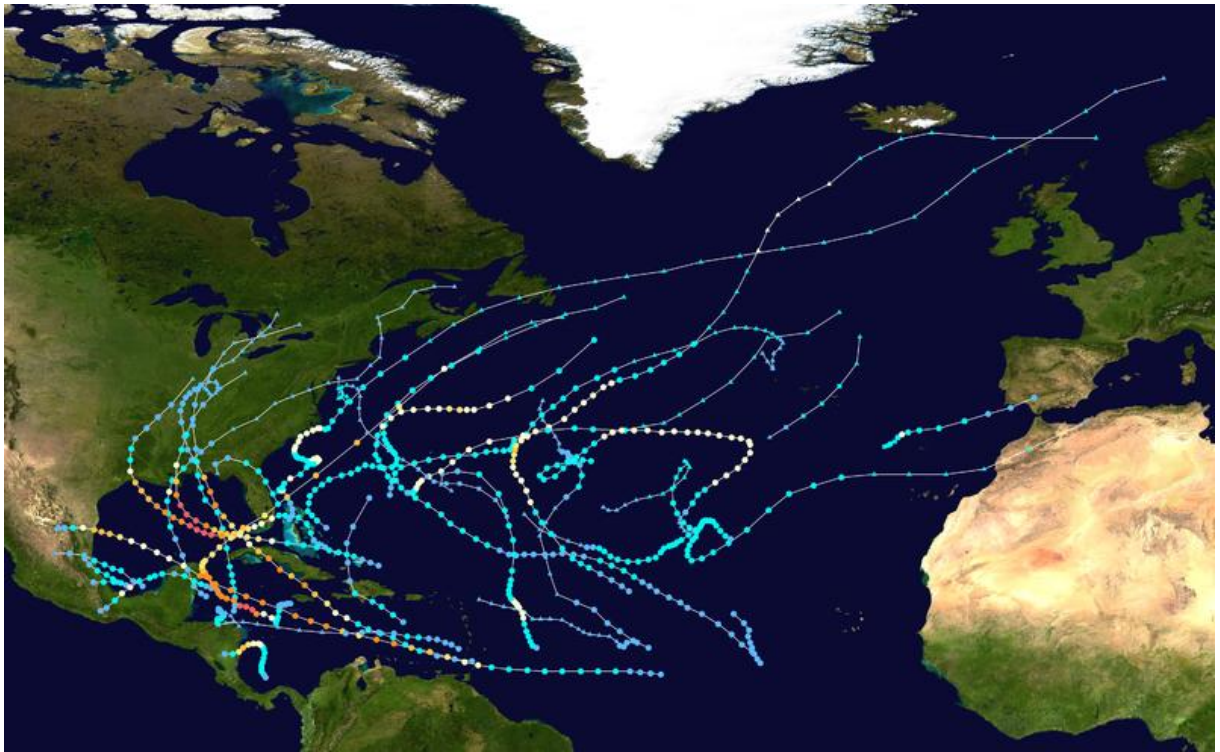
Geografická variabilita teplotních odchylek v severním Atlantiku (Zdroj: Earth system research laboratory, 2014)



Satelitní snímek hurikánu Andrew s dobře definovaným spirálovitým prouděním a vyvinutý okem bouře. (Zdroj: National Oceanographic and Atmospheric Administration, 2014)



Hurikán Allen přinesl do pobřežního města Corpus Christi na jihu USA rozsáhlé záplavy spojené s vzedmutím hladiny. Pobřežní oblasti se ocitly 1,5 m pod vodou. (Zdroj: Caller, 2014)



Trasy jednotlivých bouří v sezoně 2005 včetně jejich intenzity. Modré barvy nezorňují vývojová stádia tropické deprese a tropické bouře. Ostatní barvy stádium hurikánu. Červená barva patří nejvyšší 5. kategorii. (Zdroj: National hurricane center, 2014)



Protržení ochranných hrází New Orleans způsobilo zaplavení města. (Zdroj: Wikipedia, 2014)

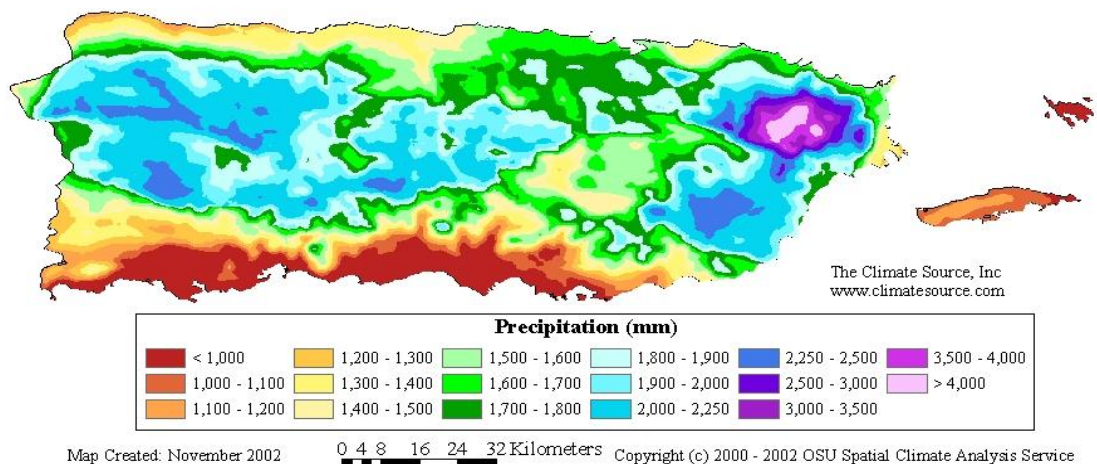


Intenzivní srážky hurikánu Jeanne vyvolaly v Gonaïves mohutné sesuvy půdy a záplavy. Ty způsobily na 2800 obětí. (Zdroj: Flickr – United Nations Photo, 2014)



Hurikán Mitch způsobil v celém Nicaragui rozsáhlé sesuvy půd. Sesuvy bahna z příkrých svahů vulkánu Casito však pohřbily města El Provenir a Ronaldo Rodriguez a způsobily tak více než 2000 z celkových 3800 obětí ve státě Nikaragua. (Zdroj: Hurrificanescience, 2014)

PRISM 1963 - 1995 Mean Annual Precipitation, Puerto Rico



Rozložení průměrných ročních srážek v Portoriku. Z mapy je dobře čitelná závětrná jižní část ostrova, kde se vyskytují nejnižší srážkové úhrny. Naopak na severovýchodě návětrné straně ostrova dosahují srážkové úhrny i nad 4000 mm za rok. (Zdroj: Climate source, 2014)

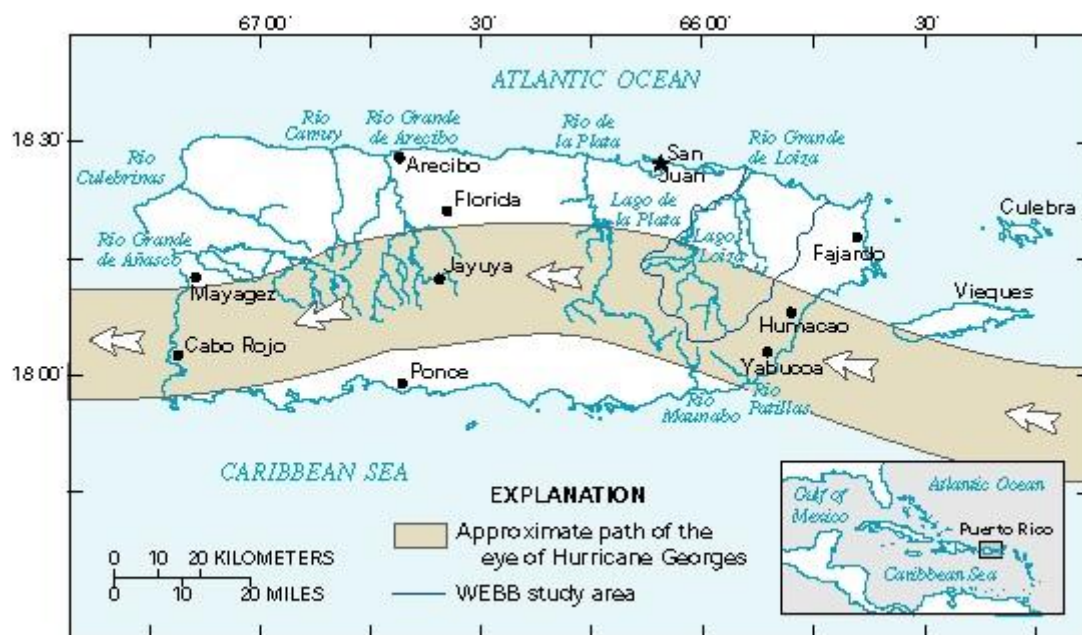


Figure 1. Path of Hurricane Georges in relation to Puerto Rico and USGS study sites.

Trasa přechodu hurikánu Georges. Hurikán na ostrově způsobil rozsah škod v podobě národní katastrofy. (Zdroj: USGS Science for Changes Word, 2014)