

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Zuzana Rulfová

Tropické cyklóny - co o nich dnes víme a jak je umíme předpovídat

Katedra meteorologie a ochrany prostředí

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Michal Žák, Ph.D.

Studijní program: Fyzika
Obecná fyzika

2008

Děkuji dr. Petru Pišoftovi za to, že mě naučil základy práce s Te χ em.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsal(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 25. 5. 2008

Zuzana Rulfová

Obsah

Úvod	1
1 Životní cyklus tropické cyklóny	2
1.1 Struktura a velikost	2
1.2 Podmínky pro formování	6
1.3 Mechanismus	7
1.4 Stádia vývoje	8
1.5 Pohyb a dráha	9
1.6 Zeslabení a zánik	10
1.7 Účinky	11
2 Oblasti výskytu	13
2.1 Atlantský oceán	13
2.2 Severovýchodní Tichý oceán	15
2.3 Severozápadní Tichý oceán	15
2.4 Australsko/jihozápadní Tichý oceán	16
2.5 Jihozápadní Indický oceán	16
2.6 Australsko/jihovýchodní Indický oceán	16
2.7 Severní Indický oceán	17
2.8 Neobvyklé oblasti výskytu	17
3 Klasifikace a pojmenování tropických cyklón	20
3.1 Klasifikace podle intenzity	20
3.2 Pojmenování tropických cyklón	22

4	Sledování a předpověď tropických cyklón	29
4.1	Sledování	29
4.2	Centra pro monitorování a předpověď	31
4.3	Předpověď	32
4.4	Předpovědní modely	33
4.5	Úspěšnost předpovědí	36
5	Přehled významných tropických cyklón	41
5.1	Historické záznamy	41
5.2	Rekordy	42
5.3	Nejsilnější tropické cyklóny	43
	Závěr	47
	Literatura	48

Název práce: Tropické cyklóny - co o nich dnes víme a jak je umíme předpovídat

Autor: Zuzana Rulfová

Katedra (ústav): Katedra meteorologie a ochrany prostředí

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Michal Žák, Ph.D.

e-mail vedoucího: Michal.Zak@mff.cuni.cz

Abstrakt: Tato práce shrnuje současné informace o životním cyklu tropické cyklóny a jejích účincích na moři a při dosažení pevniny. Jsou zde popsány nejčastější oblasti výskytu, jejich pojmenování v jednotlivých oblastech a jejich klasifikace podle intenzity. Dále obsahuje sledovací a předpovědní metody a jejich úspěšnost. Na konci práce je uveden přehled významných tropických cyklón.

Klíčová slova: tropická cyklóny, cyklogeneze, pozorování, předpověď

Title: Tropical cyclones - what do we know about them and how can they be forecasted?

Author: Zuzana Rulfová

Department: The Department of Meteorology and Environment Protection

Supervisor: Mgr. Michal Žák, Ph.D.

Supervisor's e-mail address: Michal.Zak@mff.cuni.cz

Abstract: This thesis summarizes the recently information about life cycle of tropical cyclone and its effects out at sea and before and after landfall. There are described the most common areas of occurrence of tropical cyclones, their naming in these areas and their intensity classifications. Then this thesis includes observation and forecasting methods and their successfulness. In the end of this thesis is summary of notable tropical cyclones.

Keywords: tropical cyclone, cyclogenesis, observation, forecasting

Úvod

Tropická cyklóna je meteorologický výraz pro systém nízkého tlaku, který je charakteristický okem ve středu obrovské rotující oblasti oblaků s vysokými rychlostmi větru a prudkými srážkami. Adjektivum "tropický" se vztahuje k zeměpisnému původu těchto systémů, které se vytváří skoro výhradně v tropických oblastech a rozvíjí se v masách mořského tropického vzduchu. Slovo "cyklóna" popisuje bouři cyklónické povahy, která je levotočivá na severní polokouli a pravotočivá na jižní polokouli. V závislosti na místě výskytu a síle jsou tropické cyklóny nazývány různými jmény, například: hurikány, tajfuny, cyklóny, tropické bouře a tropické deprese.

Tropické cyklony se vyznačují mimořádnými horizontálními tlakovými gradienty (rozdílem tlaku vzduchu na jednotku vodorovné vzdálenosti). V jejich středu bývá výrazně nižší tlak vzduchu než v cyklonách mimotropických. Dne 12. 10. 1979 byl v oku tropické cyklony, pojmenované *Tip*, v západním Tichomoří naměřen tlak vzduchu 870 hPa, což je dosud nejnižší na světě změřená hodnota tlaku vzduchu na úrovni mořské hladiny.

Tropické cyklóny jsou známé svými ničivými účinky. Způsobují škody na moři a zejména na pevnině. Nejvíce škody způsobují silné větry, vlny, jenž zaplavují pobřeží, a prudké deště, jenž způsobují záplavy ve vnitrozemí.

Kapitola 1

Životní cyklus tropické cyklóny

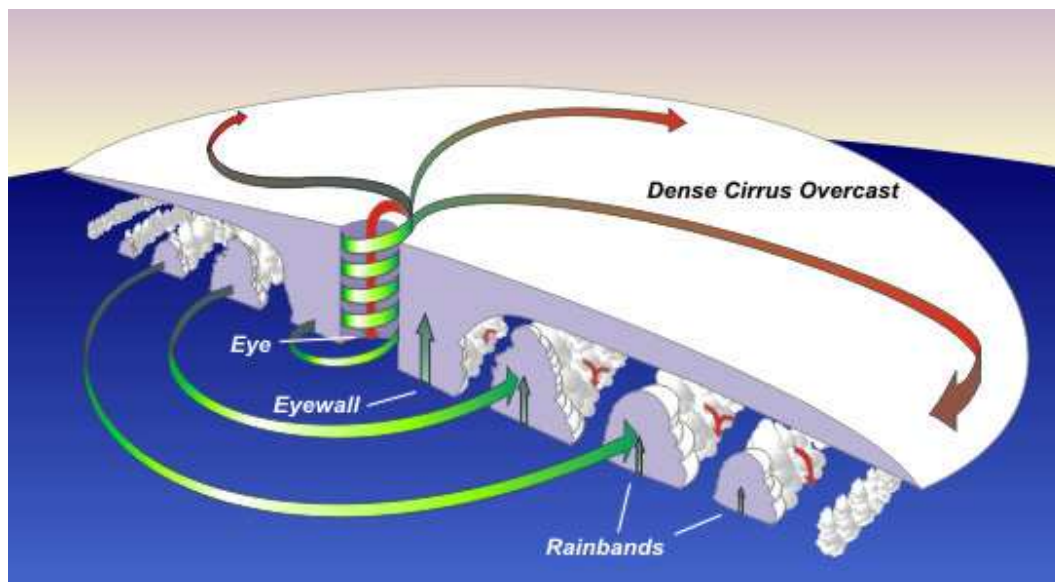
Tropická cyklóna je definována jako nefrontální systém nízkého tlaku synoptického měřítká, jenž se rozvíjí nad teplými oceánskými vodami, má organizovanou konvekci a přetrvávající¹ rychlost větru nad 118 km/h.[2] Každá cyklóna je charakteristická svou proměnlivostí ve svém životním cyklu, intenzitě, pohybu, velikosti a také svým účinkem (vítr, bouřková vlna, záplavy atd.). Může žít tři hodiny až tři týdny. Většinou je životnost tropické cyklóny pět až deset dní. [1]

1.1 Struktura a velikost

Hlavní části tropické cyklóny jsou oko cyklóny (*eye*), stěna oka (*eyewall*) a dešťové pásy (*rainbands*), které můžeme vidět na obrázku 1.1 (převzatého z [3]). Velikostně mohou dosahovat v průměru kolem 1000 km a na výšku asi 15 km.

Tropická cyklóna má oblast nejnižšího přízemního tlaku vzduchu v centru cirkulace. Pokud dosahuje maximální přetrvávající rychlost větru nad 119 km/h, může se tato oblast vyvinout v **oko** cyklóny. Oko je relativně klidná oblast klesajícího vzduchu zpravidla s jasnou oblohou a se slabým prouděním vzduchu, jenž obvykle nepřesahuje rychlost 24 km/h. Oko je také nejteplejší oblastí tropické cyklóny. Teplota vzduchu v oku může být ve výšce 12 km o více jak 10°C vyšší než v okolním

¹Světová meteorologická organizace (WMO) definuje "přetrvávající vítr" jako vítr s zprůměrovanou rychlostí alespoň z 10 minut. Tuto definici používá většina zemí. Nicméně, několik málo zemí používá jiné definice, například v USA se za přetrvávající větry považují 1-minutové průměry větru měřeného v 10 metrech nad povrchem.

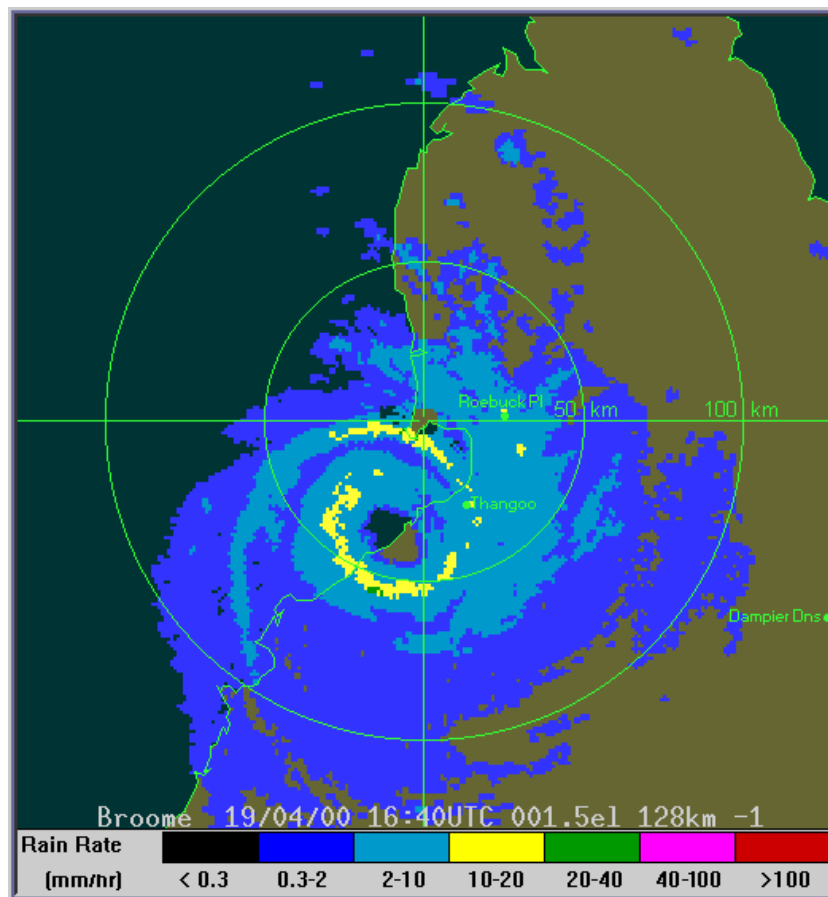


Obrázek 1.1: Řez cyklónou: oko cyklóny (*eye*), stěna oka (*eyewall*) a dešťové pásy (*rainbands*)

prostředí. Ale u povrchu je teplejší pouze o 0–2°C. Velikost oka může dosahovat od 8 km do 200 km, ale nejčastěji poloměr bývá 30–60 km.[3, 4]

Proč se vytváří oko cyklóny zatím ještě není přesně známo, ale pravděpodobně je to způsobeno kombinací odstředivé síly a zákona zachování momentu hybnosti. Čím je vzduch blíže k centru rotace, tím má větší rychlost, a pokud se blízko centra nahromadí velká masa rotujícího vzduchu, je vytlačena z centra rotace díky odstředivé síle, čímž vznikne oko cyklóny. Silný vtok vzduchové hmoty ve středu tropické cyklóny způsobuje vystupující proudy blízko centra, které mohou dosahovat výšek 16–32 km. Čímž se kolem oka vytvoří stěna oka. Rychlá rotace dále vytváří podtlak vzduchu v centru, který pak způsobuje, že část vzduchu, jenž vystoupí na vrchol stěny oka se pak vrací zpět a klesá okem cyklóny, čímž nahrazuje ztráty vzduchové hmoty blízko centra. Toto klesající proudění zamezuje vytváření oblaků, takže je v oku cyklóny zpravidla jasná obloha.[3]

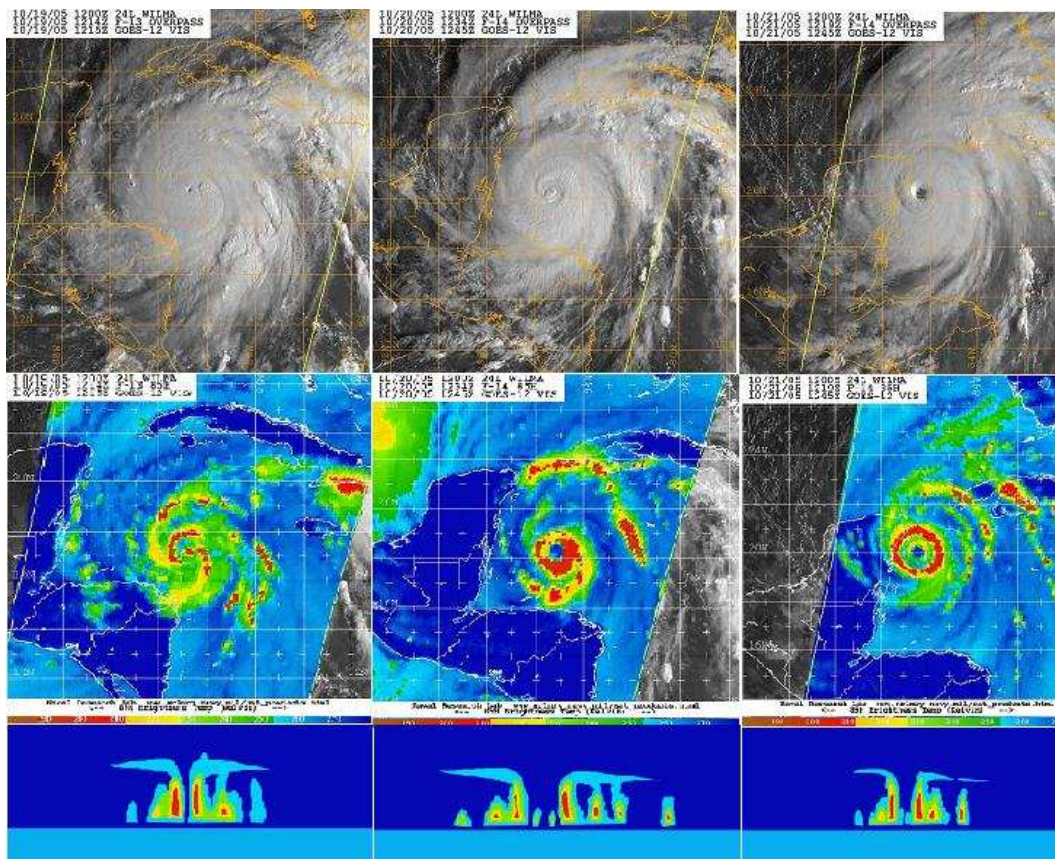
Oko cyklóny je obklopeno hustým prstencem z vysokých mraků druhu cumulonimbus, jenž tvoří **stěnu oka**. Je to nejnebezpečnější část tropické cyklóny, protože se zde vyskytují ty nejsilnější větry a jsou zde výrazné srážky, jak je vidět na obrázku 1.2



Obrázek 1.2: Satelitní snímek cyklónu Rosita (*Broome, duben 2000*) s patrným vyvinutým okem obklopeným stěnou oka s výraznými srážkami

(převzato z [5]).

Změny ve struktuře oka a stěně oka mohou způsobit změny v rychlosti větru, jenž je ukazatelem síly bouře. U silných bouří se obvykle vyskytují cykly nahrazování stěny oka. Když tropická cyklóna dosáhne vrcholné intenzity, stěna oka a oblast maximálních větrů se uzavírají do malé oblasti (kolem 10–25 km). Vnější dešťové pásy se mohou seskupit do vnějšího prstence oblaků, který se pomalu pohybuje směrem k centru tropické cyklóny a oslabuje vnitřní stěnu oka (viz obrázek 1.3 převzatý z [4]). Když se oslabí tato vnitřní stěna, oslabí se i celá tropické cyklóna (tj. sníží se maximální rychlosti vzduchu a vzroste tlak v centru bouře). Vnější stěna pak zcela nahradí vnitřní a bouře znovu nabude na síle, kterou měla předtím nebo i větší.[4]



Obrázek 1.3: Nahrazovací cyklus stěny oka

Dešťové pásy jsou spirálovité pásy oblaků, jenž směrem od centra bouře slábnou. V těchto pásích se vyskytují silné větry a srážková činnost. Mezi jednotlivými pásy se nacházejí "mezery", což jsou oblasti bez srážek a s malými rychlostmi větru.[3] Dešťové pásy jsou vlastně pásy uspořádané konvekce. Teplý a vlhký vzduch se nad hladinou moře sbíhá, vystupuje přes dešťové pásy, nahoře diverguje a po obou stranách pásů opět sestupuje. Při sestupu vzduchu dochází k adiabatickému ohřívání, při němž se vzduch vysušuje. Protože je subsidence koncentrována na vnitřní straně pásů, a tím je zde i silnější adiabatické ohřívání vzduchu, vzniká uvnitř pásů velký pokles tlaku, která je způsoben tím, že teplý vzduch na jedné straně pásu je lehčí než studenější vzduch na druhé straně. Kvůli poklesu tlaku na vnitřní straně pásu se v tropické cyklóně zvětšuje tlakový gradient a díky němu roste tečná složka rychlosti

větru.[4]

Velikost tropické cyklóny se dá charakterizovat pomocí několika měřítek. Jedna míra velikosti tropických cyklón je určena měřením vzdálenosti nejkrajnější uzavřené izobary od centra cirkulace, také známé jako ROCI (*Radius of Outer Closed Isobar*). Jestliže je poloměr menší než 2° zeměpisné šířky (nebo 222 km), pak je cyklóna *velmi malá* nebo *trpaslík*, například cyklóna Tracy (Austrálie, 1994). Poloměr $3\text{--}6^\circ$ zeměpisné šířky (nebo 333–666 km) je považován za *průměrnou velikost*. Cyklóny s poloměrem $6\text{--}8^\circ$ (nebo 666–888 km) jsou *velké*. A *velmi velké* jsou tropické cyklóny, které mají poloměr větší než 8° zeměpisné šířky (nebo 888 km), což byl například tajfun Tip (Japonsko, 1979).[6]

Další způsob, jak lze určit velikost tropických cyklón, je měření poloměru větrů síly vichřice (gale-force: 63 km/h), což bývá typicky 100–500 km od centra, nebo měření poloměru, v němž se pole relativní vorticity snižuje na $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. [7] Velikost tropické cyklóny ovšem nesouvisí s její intenzitou nebo mírou ničivého účinku. Lze docela běžně nalézt malou tropickou cyklónu s extrémně vysokými maximálními rychlostmi větru, stejně jako velkou cyklónu s menšími maximálními rychlostmi větru.

1.2 Podmínky pro formování

Odborný výraz popisující vývoj a zesilování tropických cyklón v atmosféře se nazývá tropická cyklogeneze. Mechanismy, během nichž dochází k tropické cyklogeneze jsou zřetelně odlišné od těch, při nichž vznikají cyklóny mimotropické, jelikož tropická cyklóna je tzv. bouře s teplým jádrem a vzniká následkem významné konvekce v příznivém atmosférickém prostředí, zatímco mimotropické cyklóna je tzv. bouře se studeným jádrem a získává svou energii z horizontálního teplotního gradientu v atmosféře.

Ačkoli je formování tropických cyklón námětem rozsáhlého a stále pokračujícího výzkumu, už teď je známo šest hlavních podmínek, jenž jsou nutné, ale ne dostačující pro tropickou cyklogeneze. Jsou to dostatečně teplé povrchové mořské vody, atmosférická nestabilita, relativně vysoká vlhkost vzduchu ve spodní a střední tro-

posfěře, dostatečná Coriolisova síla pro rozvoj centra nízkého tlaku, již dříve existující ohnisko nízkého tlaku a malý vertikální stříh větru.[8]

Pro udržení tropické cyklóny se odhaduje kritická minimální teplota mořské vody 26,5°C zasahující do určité hloubky (zatím se odhaduje přinejmenším do 50 m). Tyto teplé vody jsou potřebné k udržení teplého jádra, jenž pohání tropickou cyklónu.[8]

Tropické cyklóny jsou známy tím, že se mohou zformovat, i když nejsou splněny obvyklé podmínky. Například chladnější teploty ve vyšší nadmořské výšce (např. 500 hPa, nebo 5,9 km) mohou vést k tropické cyklogenezi i při nižších teplotách vody než je již zmíněných 26,5°C. Důvodem je to, že pro tropickou cyklogenezi je požadována určitá nestabilita atmosféry², která pak napomáhá konvekci a tím přenosu tepla z oceánu do tropické cyklóny. Pro vlhkou atmosféru činí tento teplotní gradient 6,5°C/km, zatímco pro atmosféru s relativní vlhkostí pod 100% je požadovaný teplotní gradient 9,8°C/km.

Většina tropických cyklón se vytváří v pásu $\pm 30^\circ$ okolo rovníku, avšak jen zřídka dochází k formování tropické cyklóny v pásu do 5° od rovníku. Důvodem je působení Coriolisovy síly, jenž nejprve rozpohybuje a posléze udržuje rotaci cyklónů (na severní polokouli proti směru a na jižní polokouli po směru hodinových ručiček). Její velikost závisí na zeměpisné šířce a v blízkosti rovníku je prakticky nulová.

Dalším důležitým faktorem pro tropickou cyklogenezi je již existující slabé napětí v atmosféře s dostačující vorticitou a konvergencí, protože tropické cyklóny se nemohou vytvořit samovolně. Pro svůj rozvoj potřebují slabě organizovaný systém se značnou rotací a malým přítokem. Takovým počátečním ohniskem se mohou stát malé víry z blízkosti ITCZ (intertropická zóna konvergence), východní vlny nebo poruchy v monzunové brázdě.[2, 8]

Základní vzdušný proud, ve kterém se formují tropické cyklóny by měl mít vertikální stříh větru menší než 36 km/h mezi povrchem a tropopauzou. Velký vertikální stříh větru zpomaluje rozvoj víru a může dokonce cyklónu "rozfoukávat", protože odsunuje střední vrstvy teplého jádra do povrchových oblastí a vysouší střední vrstvy troposféry. To je hlavní důvod, proč se tropické cyklóny nevyvíjí v období asijských

²atmosféra musí mít dostatečný teplotní gradient = dostatečné klesání teploty s výškou

letních monzunů při jejich plné síle.[2]

1.3 Mechanismus

Primárním zdrojem energie tropické cyklóny je latentní teplo uvolněné při kondenzaci vodní páry, jenž se vypařuje z teplých oceánských vod. Při vypařování oceánské vody se jistá část energie spotřebuje na uvolnění vazeb mezi molekulami vody. Pokud vodní pára kondenzuje, uvolňuje se latentní teplo kondenzace. Čím je vzduch vlhčí, tím rychleji kondenzuje a ohřívá okolní vzduch. V tropických cyklónách se energie uvolněná z kondenzace nevyužívá na další ohřívání, ale na pohyb vzduchových hmot. Naštěstí jen 2%–4% této energie je přeměněno na pohybovou energii. Další část energie je využita na stoupání vzduchových hmot a růst oblaků v tropické cyklóně. Větší rychlosti větru v tropické cyklóně způsobují zvýšené povrchové vypařování, čímž se zvětšuje i kondenzace vodní páry.

Když stoupá teplý a vlhký vzduch, expanduje a ochlazuje se, takže není schopen udržet takové množství vodní páry. Vodní pára kondenzuje a začínají vypadávat srážky. V některých částech tropické cyklóny může vypadávat kolem 2,5 cm srážek za hodinu. Což u velkých tropických cyklón může tvořit až 20 miliard tun srážek za den. Při kondenzaci takového množství vodní páry je uvolněna značná energie. Udává se, že tropická cyklóna uvolňuje denně asi 2400 miliard kilowatthodin, což odpovídá spotřebě Spojených států amerických za jeden rok.[1]

1.4 Stádia vývoje

Moderní meteorologie rozlišuje čtyři stádia tropických cyklón: tropická porucha, tropická deprese, tropická bouře a vrcholné stádium, jenž je v různých oblastech označováno jinými názvy.

Tropická porucha je tropický povětrnostní systém organizované konvekce nefrontálního charakteru. Vzniká z východních vln a má životnost den i více. Na snímcích z meteorologických družic se projevuje nespojitou konvekční oblačností.[4, 10]

Tropická deprese je systém nízkého tlaku, jenž má organizovaný systém ob-

laků a konvekčních bouří s cyklonálním prouděním a přetrvávající rychlostí větru menší než 63 km/h. Nemá ještě vytvořené oko a typické spirálovité uspořádání silné bouře.[4, 10]

Tropická bouře je organizovaný systém silných konvekčních bouří s cyklonálním prouděním a přetrvávající rychlostí větru mezi 63 a 118 km/h. V tomto stádiu se začíná vytvářet typický cyklónový tvar, ale oko není ještě vyvinuto. Pokud bouře dosáhne takového stádia, dostává jméno.[4, 10]

Vrcholné stádium neboli **tropická cyklóna** je intenzivní tropický povětrnostní systém silných konvekčních bouří s dobře definovanou cirkulací a převládající rychlostí větru nad 118 km/h. Má charakteristickou strukturu spirálovitých ramen s centrálním okem uprostřed. V oku panuje bezvětří obklopené nejsilnějšími větry cyklóny, obloha je bez oblaků.[4, 10]

Vrcholné stádium tropické cyklóny je v různých oblastech nazýváno rozdílně, třebaže se jedná o stejný druh bouře. Mezi nejznámější označení patří: *hurikán - hurricane* (severní Atlantský oceán, severovýchodní Tichý oceán východně od datové linie, nebo jižní Tichý oceán východně od 160° východní délky), *tajfun - typhoon* (severozápadní Tichý oceán západně od 160° východní délky nebo jihovýchodní Indický oceán východně od 90° východní délky), *tropická cyklóna - tropical cyclone* (severovýchodní Indický oceán), *silná tropická cyklóna - severe tropical cyclone* (jihozápadní Tichý oceán západně od 160° východní délky nebo jihovýchodní Indický oceán východně od 90° východní délky), *silná cyklónová bouře - severe cyclonic storm* (severní Indický oceán) a *willy-willy* (jižní polokoule v oblasti Austrálie).[4]

1.5 Pohyb a dráha

Tropické cyklóny se na obou polokoulích pohybují v rychlostech řádově 5–40 km/h (viz [1]) nejprve k západu a mírně na sever a později se mohou stáčet zpět na východ. Jejich pohyb je z velké části ovlivněn všeobecnou cirkulací atmosféry. Za převládající západní směr tropických cyklón jsou zodpovědné pasáty, což jsou tropické větry, jenž proudí na západ. Za pohyb směrem k pólům mohou dva faktory. Jedním je přítomnost rozsáhlých oblastí klesajícího vzduchu, tzv. subtropické výše, vyskytující

se severně od pasátů. Tyto oblasti vysokého tlaku mají anticykonální cirkulaci, takže větry na západním okraji těchto systémů uchylují bouře směrem k pólům. Druhým faktorem je coriolisona síla, která má s vzrůstající zeměpisnou šířkou větší sílu. Což u dostatečně velkých tropických cyklón způsobuje, že je severní strana bouře více vychylována na sever.

Tropická cyklóna, jenž se dostane severně od subtropické výše, se začíná pohybovat na východ vlivem západního proudění, jenž se vyskytuje ve středních zeměpisných šířkách. Pokud tropická cyklóna takto změni svůj směr pohybu, říká se, že se bouře otočila nazpátek.

Tropické cyklóny na severní polokouli se mohou pohybovat do vyšších zeměpisných šířek než na jižní polokouli. Což je způsobeno přítomností teplých pravotočivých oceánských proudů, jako Kuroshio a Golfský proud. Golfský proud v severním Atlantiku pomáhá tropickým cyklónám přežívat i ve vyšších zeměpisných šířkách, takže velmi intenzivní tropické cyklóny mohou dosahovat do zeměpisných šířek nad 42° , což odpovídá poloze města Boston. Naopak na západním pobřeží Spojených států se tropické cyklóny nedostávají až k pobřeží, ačkoli se převládající proudění nad severním Tichým oceánem pohybuje od východu k západu. Je to způsobeno tím, že při otočení tropické cyklóny a jejím pohybu na východ se dostanou nad chladnější vody a rychle slábnou.[11]

1.6 Zeslabení a zánik

Tropická cyklóna může přijít o své tropické vlastnosti nebo může dokonce zaniknout několika způsoby. Pokud se tropická cyklóna pohybuje nad pevninou, vzrůstá tření, což ovšem nemusí zeslabovat tropickou cyklónu. Díky tření se sice zeslabují přetrvávající rychlosti větru, ale díky turbulenci rostou nárazy větru.[4] Tropická cyklóna nad pevninou ztrácí příjem teplého vlhkého vzduchu, jenž je dostupný nad oceány. Což způsobí, že ustává konvekce a tropická cyklóna přichází o svůj největší zdroj energie. Teplé jádro nemá schopnost se udržet, protože bouřkové oblaky vznikají dále od centra, klesá tlak v centru a cyklóna se začíná vyplňovat. Během několika hodin může tropická cyklóna velmi zeslábnout a do jednoho nebo dvou dnů nad pev-

ninou zaniká.[2]

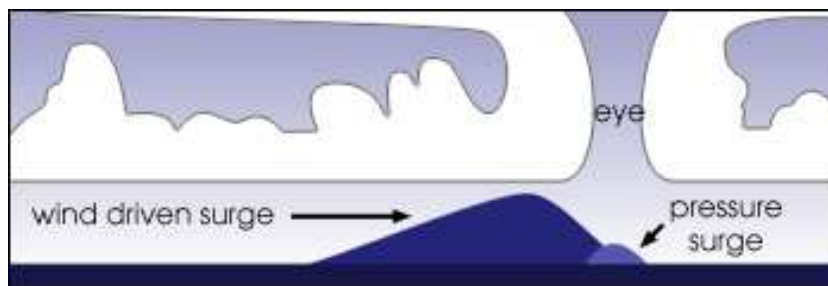
Jsou ovšem výjimky, kdy se může tropická cyklóna udržet i nad pevninou. To může být například, pokud se cyklóna pohybuje nad rozlehlými bažinatými oblastmi, jako je Floridský močál. Pokud se tropická cyklóna po přechodu nad pevninou dostane opět nad oceán, může nabýt znovu na síle. Ovšem jen tehdy, má-li oceán dostatečnou povrchovou teplotu (nad $26,5^{\circ}\text{C}$).[2]

Tropická cyklóna může slábnout i pokud se delší dobu vyskytuje nad stejným místem. Cyklóna totiž způsobuje promíchávání horních vrstev oceánských vod, čímž se na povrch dostávají studenější vody, a povrchová teplota oceánu může klesnout o více jak 5°C . Tropická cyklóna tak ztratí příjem teplého vlhkého vzduchu a začíná se zeslabovat. [12] Z podobného důvodu slábnou i tropické cyklóny, jenž se dostanou nad studené oceánské vody s teplotou pod $26,5^{\circ}\text{C}$. Cyklóna pak ztrácí své tropické vlastnosti a stává se zbytkovou oblastí nízkého tlaku, jenž se může zachovávat i několik dní.

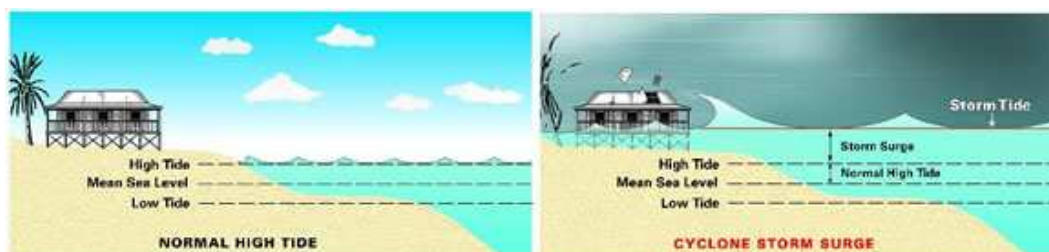
K oslabení nebo zániku tropické cyklóny může dojít při zvýšení vertikálního stříhu větru. Ten způsobuje, že se konvekce a tepelná energie vzdalují od centra bouře.[13] Vzájemné působení vertikálního stříhu větru a západního proudění v mírných zeměpisných šířkách společně s frontální zónou může způsobit, že tropická cyklóna se během jednoho až tří dnů změní na mimotropickou cyklónu. V Tichém oceánu a Atlantiku mohou být mimotropické cyklóny velmi silné a rychlosti větru mohou odpovídat hurikánu nebo tajfunu. Tyto systémy mohou ovlivňovat i Evropu.[12]

1.7 Účinky

Tropické cyklóny způsobují škody na moři i na pevnině. Před příchodem tropické cyklóny na pevninu se k pobřeží blíží bouřková vlna. Nízký tlak v centru bouře vyzdvihuje hladinu moře, což následně způsobuje, že tropická cyklóna před sebou tlačí masu vody (viz obrázek 1.4 převzatý z [14]). S postupem cyklóny se může vytvořit vlna vysoká 6–10 metrů. Pokud se náraz bouřkové vlny na pobřeží shoduje s přílivem, může být ničivý účinek ještě větší (viz obrázek 1.5 převzatý z [15]). Výška bouřkové vlny dále závisí na topografii pobřeží, sklonu kontinentálního šelfu,



Obrázek 1.4: Bouřková vlna: vzniká následkem nízkého tlaku vzduchu v centru bouře, následně je tlačena na přední pravé straně bouře silnými větry



Obrázek 1.5: Bouřková vlna: Na obrázku lze vidět, jak vysoko sahá hladina moře při normálním stavu, při přílivu a odlivu a při přílivu způsobeném bouřkovou vlnou

rychlosti a úhlu dopadu tropické cyklóny.[1, 2]

Kromě pobřežních záplav díky nárazu bouřkové vlny může tropická cyklóna způsobovat i záplavy vnitrozemské spojené s prudkými nebo dlouhodobými srážkami. Silné srážky mohou také zavinit sesuvy půdy a bahna. Spolu s bouří přichází i silné větry, které ničí dopravní prostředky, budovy, mosty a jiné objekty. Další škody mohou napáchat letící projektily. Občas se mohou spolu s tropickou cyklónou vyskytnout i tornáda, která jsou slabší než samostatně se vyskytující tornáda. Vznikají hlavně ve vzdálenějších oblastech od centra bouře v pásích bouřkových oblaků.[1, 2, 3]

Kapitola 2

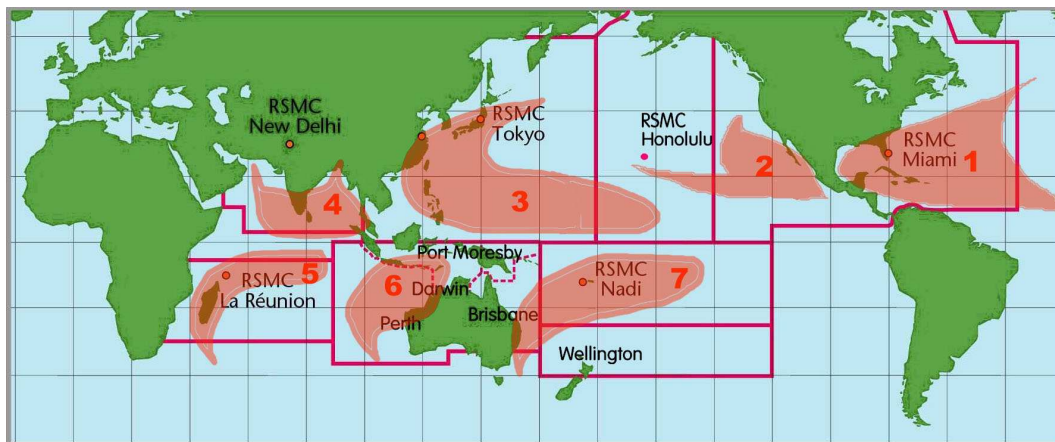
Oblasti výskytu

Tradiční oblasti formování tropických cyklón jsou rozděleny do sedmi částí (viz obrázek 2.1 převzatý z [4]). Jsou to Atlantský oceán, severovýchodní Tichý oceán, severozápadní Tichý oceán, Australsko/jihozápadní Tichý oceán, jihozápadní Indický oceán, Australsko/jihovýchodní Indický oceán a severní Indický oceán. Největší výskyt tropických cyklón je v severozápadním Tichém oceánu a naopak nejméně jich je v severním Indickém oceánu. Ročně se na celé Zemi zformuje průměrně 86 tropických cyklón síly tropické bouře, 47 dosahuje síly hurikánu/tajfunu, a 20 má intenzitu tropické cyklóny (kategorie 3 a vyšší). [16]

Celosvětově vrcholí aktivita tropických cyklón na konci léta, když jsou teploty oceánské vody nejvyšší. Každá oblast ale má své vlastní sezónní rozdělení. Na celosvětovém měřítku je nejméně aktivní měsíc květen, zatímco nejaktivnější je září. Tento jev může být vysvětlen tím, že je na severní polokouli větší četnost výskytu tropických cyklón než na jih od rovníku, což je způsobeno větším množstvím teplejších vod na severní polokouli.[4]

2.1 Atlantský oceán

Tato oblast zahrnuje severní Atlantik, Karibské moře a Mexický záliv. Formování tropických cyklón se zde široce mění rok od roku. Průměrný počet hurikánů je 16 za rok. Severoatlantická hurikánová sezóna je formálně od 1. června do 30. listopadu. Během těchto šesti měsíců se vyskytne přes 97% tropických cyklón. 1. červen je



Obrázek 2.1: Hlavní oblasti výskytu: 1. Atlantský oceán, 2. Severovýchodní Tichý oceán, 3. Severozápadní Tichý oceán, 4. Severní Indický oceán, 5. Jihozápadní Indický oceán, 6. Australsko/jihovýchodní Indický oceán, 7. Australsko/jihozápadní Tichý oceán. Centra s označením RSMC = Regional Specialized Meteorological Centre jsou zodpovědné za distribuci informací, poradenství a varování týkající se specifického programu, sjednané se souhlasem Světové meteorologické organizace.

tradičním začátkem hurikánové sezóny po desetiletí, avšak konečné datum se pomalu přesouvalo z 31. listopadu k 15. prosinci až k dnešnímu datu 30. listopadu. Hurikánová sezóna vrcholí od konce srpna a během září. Statistický vrchol připadá na datum 10. září. [4]

Tato oblast je pod dohledem U.S. National Hurricane Center s centrálou na Floridské mezinárodní univerzitě v Miami. Je součástí National Service's Tropical Prediction Center a je zodpovědná za sledování a předpověď pravděpodobného chování tropických depresí, tropických bouří a tropických cyklón, vydává informační zprávy a dává varovná upozornění před blížícími se bouřemi. Více informací naleznete na [17].

Bouře zformované v severním Atlantském oceánu často postihují pobřeží USA, Mexiko, Střední Ameriku, Karibské ostrovy a Bermudy. Občas zasáhnou Venezuelu, jihovýchod Kanady a Makaronéské ostrovy. Některé atlantské hurikány se změny na mimotropické cyklóny a mohou zasáhnout západní Evropu.[4]

2.2 Severovýchodní Tichý oceán

Severovýchodní Tichý oceán zahrnuje oblast od Mexika po mezinárodní datovou linii. Je to druhá nejaktivnější oblast na výskyt tropických cyklón (průměrně 16 za rok) a má největší počet bouří na jednotku plochy. Hurikánová sezóna začíná koncem května až začátkem června a končí koncem října až začátkem listopadu. Vrcholné období pro tuto oblast je od konce srpna po začátek září. Tato oblast je také monitorována U.S. National Hurricane Center. Střední severní Tichý oceán dále monitoruje Central Pacific Hurricane Center se sídlem v Honolulu na Hawaji.[4]

Bouře, jenž se zde formují, často zasahují západní Mexiko, a méně často kontinentální Spojené státy (zvláště Karifornii), nebo severní Střední Ameriku.[4]

2.3 Severozápadní Tichý oceán

Tato oblast zabírá celé území na sever od rovníku a na západ od mezinárodní datové linie včetně jižního Čínského moře. Severozápadní Tichý oceán je oblast s největším počtem tropických cyklón za rok, průměrně 25 za rok. Tropické cyklóny se zde vyskytují celoročně, s minimem v únoru a první polovině března. Hlavní období je od července do listopadu s vrcholem na konci srpna a na začátku září.[4]

Dohled nad touto oblastí má Japonská meteorologická agentura (Japan Meteorological Agency). Je to vládní meteorologická služba s hlavním ústředím v Tokiu a šesti pobočkami a je zodpovědná za pozorování tropických cyklón, varování před nimi a vydávání informačních zpráv o tropických cyklónách v této oblasti. Více informací na [18].

Tajfuny často zasahují Čínu, Japonsko, Jižní Koreu, Hong Kong, Filipíny a Tchajwan, právě tak jako státy jižní Asie (Vietnam) a části Indonésie, plus četné ostrůvky v Oceánii. Pobřeží Číny je zasahováno největším počtem tropických cyklón na světě a přes Filipíny přechází průměrně 6–7 tropických cyklón za rok.[4]

2.4 Australsko/jihozápadní Tichý oceán

Tato oblast se rozkládá od 142° východní délky po 120° západní délky. Tropická aktivita v tomto regionu převážně zasahuje Austrálii a Oceánii. Tropické bouře zřídka dosáhnou blízkosti Brisbane (Austrálie) a na Nový Zéland, obvykle během nebo po přechodu na mimotropickou cyklónu. Začátek hurikánové sezóny je na konci října až počátku listopadu, dosahuje vrcholu na konci února až počátku března a končí na začátku května. Celá základna má průměrně asi 9 cyklón ročně.[4]

Fiji Meteorological Service je meteorologická organizace se základnou v Nadi (Fidži). Od roku 1995 je zodpovědná za předpovídání tropických cyklón pro velkou část jižního Pacifiku. Více informací na [19]. V této oblasti dále funguje Meteorological Service of New Zealand se sídlem ve Wellingtonu na Novém Zélandu, jenž se specializuje na oblast Tasmánského moře. Zpracovává a vydává předpovědi a úřední povětrnostní varování. Více na [20].

2.5 Jihozápadní Indický oceán

Rozprostírá se od Afriky po 100° východní délky. Výskyt tropických cyklón je nejčastější od konce října až začátku listopadu po konec května. Nachází se zde dvojitě maximum aktivity v polovině ledna a od poloviny února do začátku března. Cyklóny v této oblasti můžou zasáhnout Madagaskar, Mozambik, Mauricius, Réunion, Comoroc, Tanzanii a Keňu. Průměrně se v této oblasti zformuje asi 10 tropických cyklón za rok.[4]

Za tuto oblast je zodpovědné oddělení Météo France se sídlem na ostrovu Réunion. Je to organizace jmenovaná Světovou meteorologickou organizací pro sledování, předpověď a varování před tropickými cyklónami v této oblasti. Více informací na [21].

2.6 Australsko/jihovýchodní Indický oceán

Tato oblast leží mezi 100° východní délky a 142° východní délky. Roční chod je podobný jako v jihozápadním Indickém oceánu. Začátek sezóny je na konci října až počátku listopadu a konec je v květnu. Nachází se zde opět dvojitě maximum aktivity

v polovině ledna a od poloviny února do začátku března. V oblasti se vyskytuje průměrně asi 7 cyklón za rok.[4].

Tropická aktivita v tomto regionu zasahuje Indonésii a Austrálii. Podle Australského úřadu meteorologie je nejčastěji zasahovaná část Austrálie mezi Exmouth a Broome v západní Austrálii.[4].

Australského úřadu meteorologie (Bureau of Meteorology) byl vytvořen v roce 1906 z již existující meteorologické služby. Sídlí v Perth a je zodpovědný za poskytování meteorologických služeb pro Austrálii a okolní oblasti. Více na [22].

2.7 Severní Indický oceán

Tato oblast se rozkládá od Afriky po 100° východní délky. Je rozdělena na dvě oblasti, Bengálský záliv a Arabské moře, s dominujícím Bengálským zálivem (5 až 6-krát větší aktivita). Průměrně se v této oblasti vyskytne 5 tropických cyklón za rok. Sezóna v této oblasti má dvojitý vrchol. Jeden v dubnu a květnu (před počátkem monzunů) a další v říjnu a listopadu (po skončení monzunů). Celkově se zde vyskytují tropické cyklóny od dubna až po prosinec.[4].

Státy zasažené tropickými cyklóny jsou Indie, Bangladěš, Srí Lanka, Thajsko, Myanmar a Pákistán a zřídka je postihnut i Arabský poloostrov. V této oblasti se vytvořila tropická cyklóna Bholá, jenž v roce 1970 zabila 200 000 lidí. Což je zatím největší počet lidí, jenž zemřelo následkem účinků tropické cyklóny. [4].

Dohled nad touto oblastí má Indické meteorologické ministerstvo (India Meteorological Department), jenž sídlí v New Delhi v Indii. Je to indická vládní organizace, která je zodpovědná za předpovídání tropických cyklón v Arabském moři a v Bengálském zálivu. Více naleznete na [23].

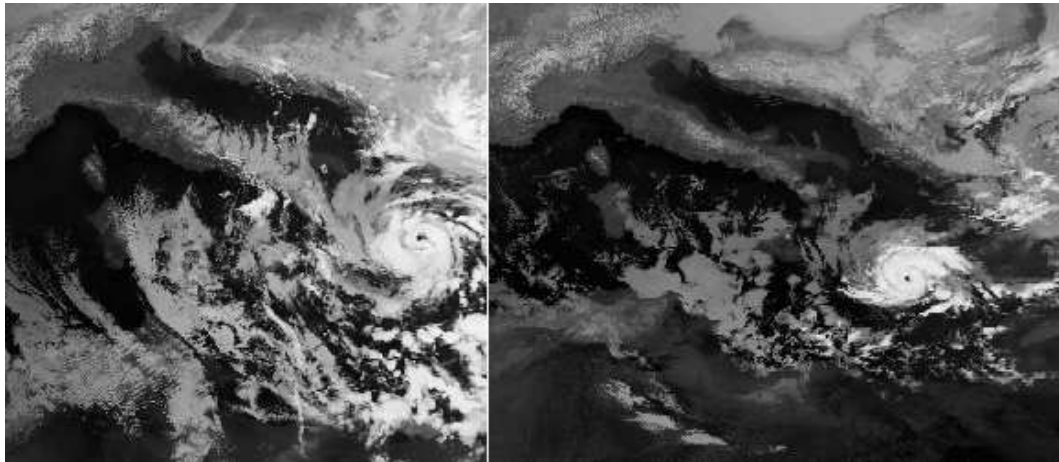
2.8 Neobvyklé oblasti výskytu

Jak již bylo řečeno, tropické cyklóny vznikají nejčastěji v oblasti 5–30° zeměpisné šířky. V oblastech zhruba 30–40° zeměpisné šířky jsou podmínky nepříliš příznivé k utváření a zesilování tropických cyklón a ve vyšších zeměpisných šířkách jsou

tyto podmínky dokonce nepřátelské. Hlavními faktory jsou nízká povrchová teplota mořské vody a relativně vysoký vertikální stříh větru. Najdou se ale případy, kdy se mohou tropické cyklóny vyskytnout i zde. To se stává například při pohybu tropických cyklón z tropických zeměpisných šířek směrem k pólům. Nebo se mohou tropické cyklóny zformovat přímo v těchto oblastech, jako v letech 2004 (hurikán Alex–severní Atlantik) [24], 1988 (tropická bouře Alberto–severní Atlantik) [25] a 1975 (nepojmenovaný hurikán–Tichý oceán) [26].

Tropické bouře přežívající za 50° zeměpisné šířky jsou velmi vzácné. Vyskytují se tu mimotropické cyklóny, než se vyvinuly z tropických cyklón. Ve vzácných případech se mohou vyskytnout tropické cyklóny i do 5° zeměpisné šířky, kde je nedostatečná Coriolisova síla. Například v prosinci 2001 se v jižním Čínském moři zformoval tajfun Vamei, jenž poprvé dosáhl pevniny v Malajsii.[27]

Mezi další oblasti, kde je omezený výskyt tropických cyklón, patří také jihovýchodní Tichý oceán. Tropické cyklóny tu vznikají většinou v době události El Niño nebo se sem dostávají z jihozápadního Tichého oceánu. Během události El Niño v letech 1982/83 byla francouzská Polynésie zasažena dokonce šesti cyklónami během pěti měsíců.[28]



Obrázek 2.2: "Tropická bouře" nad Středozezemním mořem ze dne 15. a 16. ledna 1995.

Kombinací vysokého stříhu větru a nedostatku tropických poruch z ITCZ se stává jižní Atlantik velmi nepříznivým pro tropickou cyklogenezi. Zatím zde byly

pozorovány tři tropické cyklóny - slabá tropická cyklóna v roce 1991 u pobřeží Afriky blízko Angoly, cyklóna Catarina (označována jako Aldonca), která dosáhla pevniny v Brazílii roku 2004 o síle kategorie 1 [29], a menší bouře v lednu 2004 východně od Salvádoru (Brazílie), u které se dle měření větru z radaru uvažuje, že mohla dosáhnout síly tropické bouře.



Obrázek 2.3: Bouře s oku podobnou strukturou, jako mívají tropické cyklóny.

Bouře, jenž se v září 1947, září 1969, lednu 1982, září 1983 a lednu 1995 (viz obrázek 2.2 převzat z [30]) vyskytly ve Středomoří měly podobnou strukturu jako tropické cyklóny. Debatuje se, zda tyto bouře byly tropické povahy a lze je považovat za tropické cyklóny.[4, 30] Nad Černým mořem se příležitostně formují bouře začínající cyklónickou rotací a zdají se být podobné těm ve Středomoří (viz obrázek 2.3 převzat z [30]).

Kapitola 3

Klasifikace a pojmenování tropických cyklón

3.1 Klasifikace podle intenzity

Tropické cyklóny jsou rozděleny na několik kategorií podle maximálního přetrvávajícího větru podle několika stupnic. Organizace jako Světová meteorologická organizace, U.S. National Hurricane Center a Australský úřad meteorologie používají různé stupnice pro různé oblasti výskytu tropických cyklón.

National Hurricane Center používá pro Atlantik a severovýchodní Tichomoří Saffir-Simpsonovu stupnici pro hurikány. Tato stupnice se využívá pro odhad potenciálních škod způsobených hurikánem. Nejdůležitějším faktorem v této klasifikaci je maximální rychlost větru. Maximální přetrvávající rychlosti větru jsou jednodominutové průměry "povrchových" větrů uvnitř rotujícího systému a měří se ve výšce 10 m na volném prostranství.[4]

Stupnice má pět stupňů, kde první stupeň označuje slabší a pátý stupeň silnější hurikány (viz tabulka 3.1 převzata z [4]). Škody, jenž mohou být způsobeny hurikány jednotlivých kategorií jsou:

- **1 - Minimální:** menší škody hlavně na obytných přívěsech, keřích, stromech, špatně postavených budovách, zaplavení pobřežních komunikací, menší škody na přístavních hrázích

Př: hurikány Allison (1995), Danny (1997), Earl (1998)

Kategorie	Max. přetr. rychlost větru [m/s]	Bouřková vlna [m]
1	33-42	1,0-1,7
2	43-49	1,8-2,6
3	50-58	2,7-3,8
4	59-69	3,9-5,6
5	70 a více	5,7 a více

Tabulka 3.1: Saffir-Simpsonova stupnice pro hurikány: hodnoty výšky bouřkové vlny jsou pouze orientační, neboť výška vlny závisí na konkrétních podmínkách daného pobřeží (viz kapitola 1.7)

- **2 – Mírné:** poškození střech, oken, dveří na budovách, polámané větve stromů, některé stromy vyvráceny, značné poškození přívěsů, hrází, nábřeží, 2–4 hod před příchodem centra hurikánu zaplavení nízko položených částí pobřeží
Př. hurikány Georges (1998), Bonnie (1998)
- **3 – Rozsáhlé:** značné škody na malých stavbách, ze stromů serváno olistění, velké stromy vyvráceny, obytné přívěsy zničeny, nízko položené oblasti zaplaveny 3–5 hod před příchodem centra hurikánu, značné škody na pobřežích, evakuace obyvatel žijících na pobřeží
Př: hurikány Roxanne (1995), Fran (1996)
- **4 - Extrémní:** značné poškození konstrukce budov, střech, keře a stromy vyvráceny, úplná destrukce mobilních obydlí, větší škody v nižších podlažích staveb u pobřeží, oblasti ležící pouze 3 m nad mořskou hladinou zaplaveny, evakuace obyvatel z oblastí cca do 10 km od pobřeží
Př: hurikány Betsy (1965), Luis (1995), Felix (1995)
- **5 - Katastrofální:** úplné zničení střech na mnoha obytných a průmyslových budovách, malé budovy převráceny nebo odneseny, velké škody v nižších podlažích všech budov, 3–5 hodin před příchodem centra hurikánu zaplaveny oblasti ležící pouze 4–5 m nad hladinou moře, hromadná evakuace obyvatel z oblastí do

16 km od pobřeží

Př: hurikány Camille (1969), Gilbert (1988), Mitch (1998)

Hurikány kategorie 3, 4 a 5 jsou souhrnně nazývány jako *major* hurikány nebo *intenze* (silné) hurikány. Tyto major hurikány způsobují přes 83% z celkové škody způsobené hurikány v USA, třebaže odpovídají jen 21% všech tropických cyklón jenž postihnou USA.[4]

Australský úřad meteorologie používá pětistupňovou stupnici *Tropical Cyclone Severity* (viz tabulka 3.2 převzatá z [4]). Na rozdíl od Saffir-Simpsonovy stupnice, je tato založená na odhadovaném maximálním nárazovém větru, který je o 30–40% silnější než desetiminutový průměr přetrvávajících větrů. Tropická cyklóna 2. kategorie je zhruba ekvivalentní k silné tropické bouři nebo hurikánu Saffir-Simpsonovi stupnice kategorie 1.[4]

V severozápadním Tichomoří používá Japonsko, Filipíny, Hong Kong, Macao a Tchaj-wan ke klasifikaci tropických cyklón stupnici uvedenou v tabulce 3.3. Tato stupnice je také využívána ke komunikaci mezi členy WMO Typhoon Committee.[31]

Poznámka: Přetrvávající větry jsou založené na desetiminutových průměrech. Japonsko a Tchaj-wan používají jinou stupnici ve vlastním jazyce. Filipíny při vydávání varovných zpráv slučují kategorie "Severe Tropical Storm" s "Tropical Storm". Čína používá podobnou stupnici, ale používá dvouminutové průměry přetrvávajících větrů.[31]

V dalších oblastech jsou tropické cyklóny řazeny dle mnoha dalších stupnic. Souhrnně jsou uvedeny v tabulce na obrázku 3.1 (převzato z [7]). Klasifikace v oblasti Indického oceánu je dále rozepsána v tabulce na obrázku 3.2 (převzato z [7]).

3.2 Pojmenování tropických cyklón

V západní Indii byly tropické cyklóny po několik staletí pojmenovávány dle svatých, kteří měli v den jejich výskytu svátek. V Portoriku například 26. června 1825 udeřil hurikán Santa Ana a 13. září v letech 1876 a 1928 hurikány San Felipe I. a San Felipe II.[3]

První známý meteorolog, jenž začal přiřazovat jména tropickým cyklónám, byl australský meteorolog Clement Wragge. Před koncem 19. století začal používat písmena

Kategorie	Nejsilnější nárazy větru [km/h]	Typické účinky
1	menší než 125	Zanedbatelné poškození budov. Poškození úrody, stromů a karavanů. Mohou být odvečena kotviště.
2	125–170	Menší poškození budov. Významné poškození značek, stromů a karavanů. Vážné poškození některých plodin. Riziko nedostatku elektřiny. Možnost zničení malých plavidel v kotvišti.
3	170–225	Poškození střech a konstrukcí. Zničeny karavany. Pravděpodobné selhání dodávky elektřiny.
4	225–280	Ztráty střešních krytin a poškození konstrukce. Mnoho karavanů zničeno a odváto pryč. Nebezpečí létajících trosk. Rozsáhlé výpadky elektřiny.
5	větší než 280	Extrémně nebezpečná tropická cyklóna. Rozsáhlé poškození a úplné zničení zasaženého území.

Tabulka 3.2: Tropical Cyclone Severity

řecké abecedy, pak začal používat jména z řecké a římské mytologie, jména politiků, jenž neměl rád, a nakonec používal ženská jména. První západoaustralská pojmenovaná cyklóna byla Bessie, zformovaná 6. ledna 1964.[3, 5]

Během druhé světové války byly tropické cyklóny neformálně pojmenovávány ženskými jmény meteorology amerického letectva a námořnictva, většinou po svých manželkách a přítelkyních. V letech 1950 až 1952 byly tropické cyklóny v Atlantickém oceánu pojmenovávány podle fonetické abecedy (Able–Baker–Charlie–atd.), ale v roce 1953 to americká Meteorologická kancelář změnila na ženská jména. V

Klasifikace	Max. přetr. vítr [km/h]	Beaufortova stupnice
Tropical Depression	méně než 62	silný vítr (méně než 7)
Tropical Storm	63–88	vichřice (8–9)
Severe Tropical Storm	89–117	bouře (10–11)
Typhoon	118 a více	hurikán (12 a více)

Tabulka 3.3: Klasifikace v západním Tichomoří

SOUTHWEST INDIAN OCEAN	NORTH INDIAN OCEAN	WESTERN NORTH PACIFIC	S. PACIFIC/S.E. INDIAN OCEAN	JTWC AREAS OF RESPONSIBILITY	NORTH ATLANTIC/E. NORTH PACIFIC		
Tropical Depression	Low	Tropical Depression	Tropical Depression	Tropical Depression	Tropical Depression	20	
	Depression					40	
	Deep Depression					60	
Moderate Tropical Depression/Storm	Cyclonic Storm	Tropical Storm	Tropical Cyclone with Gale Force Winds	Tropical Storm	Tropical Storm	80	
Severe Tropical Depression/Storm	Severe Cyclonic Storm	Severe Tropical Storm	Tropical Cyclone with Storm Force Winds			100	
Tropical Cyclone	Severe Cyclonic Storm with a Core of Hurricane Winds	Typhoon	Tropical Cyclone with Hurricane Force Winds	Typhoon	Hurricane	140	
Intense Tropical Cyclone			-or-			160	
Very Intense Tropical Cyclone			Severe Tropical Cyclone			-or-	180
			Hurricane			Hurricane	200
				Super Typhoon		240	
						260	

Obrázek 3.1: Porovnání klasifikací tropických cyklón: pro oblast jihozápadního Indického oceánu, severního Indického oceánu, severozápadního Tichomoří, jižního Tichomoří/jihovýchodního Indického oceánu, oblasti, za něž je zodpovědné JTWC, a severní Atlantik/severovýchodní Tichomoří. Klasifikace pro Indický oceán jsou podrobněji uvedeny na obrázku 3.2.

roce 1979 pak WMO a americká Národní meteorologická služba změnila jmenný seznam, který nyní zahrnoval ženská i mužská jména.[4]

V severovýchodním Tichomoří se poprvé použilo ženské jméno v roce 1959 pro bouři blízko Havaje. Od roku 1960 se používala ženská jména pro celou oblast. Od

BANGLADESH	BURMA	INDIA	PAKISTAN	SRI LANKA	THAILAND	
		Low		Low	Tropical	20
	Low				Depression	40
Depression		Depression	Depression	Depression		60
Deep Depression	Depression	Deep Depression	Deep Depression			80
Cyclonic Storm	Cyclonic	Cyclonic Storm	Cyclonic Storm	Cyclonic	Tropical	100
Severe Cyclonic Storm	Storm	Severe Cyclonic Storm	Severe Cyclonic Storm	Storm	Storm	120
						140
Severe Cyclonic Storm of Hurricane Intensity	Severe Cyclonic Storm	Severe Cyclonic Storm With a Core of Hurricane Winds	Severe Cyclonic Storm of Hurricane Intensity	Severe Cyclone	Typhoon or Cyclone or Storm	160
						180
						200
						220
						240
						260

Obrázek 3.2: Klasifikace tropických cyklón: pro oblast Indického oceánu

roku 1978 jsou používána střídavě ženská i mužská jména.[4]

V severozápadním Tichomoří dostávaly tropické cyklóny ženská jména formálně od roku 1945 a ženská i mužská jména od roku 1979. Od 1. ledna 2000 se začal používat zcela odlišný jmenný seznam. Nová jména jsou pouze asijská a jsou stejná pro všechny členské státy *WMO Typhoon Committee*. Nejsou zde osobní jména, kromě několika mužských a ženských jmen, ale jména květin, zvířat, ptáků, stromů i jídla atd. Některá jména jsou popisná přídavná jména. Jména nejsou přidělována abecedně, ale dle příspěvku jednotlivého členského státu. Tabulka jmen pro následující roky viz tabulka 3.4 (převzato z [4]).[4, 3]

Tropické cyklóny v severním Indickém oceánu jsou pojmenovávány od roku 2006. V jihozápadním Indickém oceánu byly poprvé pojmenovány v období 1960/1961. V oblasti Austrálie a jižního Tichomoří (východně od 90° východní šířky a na jih od rovníku), se začala dávat ženská jména bouřím v roce 1964 a ženská i mužská jména 1974/1975.[4]

Od roku 1978 navrhuje WMO a skupina reprezentující 120 různých zemí jmenné

seznamy tropických bouří pro každou oblast světa. Například pro Atlantik existují šestileté seznamy po 21 jménech (viz tabulka 3.5 převzatá z [3]). Pokud se vyskytne tropická cyklóna s výrazným ničivým nebo smrtícím účinkem, je jméno jí příslušící ze seznamu vyřazeno a může být znova použito až za deset let. Vyřazené jméno je nahrazeno jménem začínající stejným písmenem a je stejného rodu (bylo-li ženské, je znovu ženské; bylo-li mužské, je mužské).[4]

Státy	I	II	III	IV	V
Cambodia	Damrey	Kong-rey	Nakri	Krovanh	Sarika
China	Longwang	Yutu	Fengshen	Dujuan	Haima
DPR Korea	Kirogi	Toraji	Kalmaegi	Maemi	Meari
HK, China	Kai-Tak	Man-yi	Fung-wong	Choi-wan	Ma-on
Japan	Tenbin	Usagi	Kanmuri	Koppu	Tokage
Lao PDR	Bolaven	Pabuk	Phanfone	Ketsana	Nock-ten
Macau	Chanchu	Wutip	Vongfong	Parma	Muifa
Malaysia	Jelawat	Sepat	Nuri	Melor	Merbok
Micronesia	Ewinlar	Fitow	Sinlaku	Nepartak	Nanmadol
Philippines	Bilis	Danas	Hagupit	Lupit	Talas
RO Korea	Gaemi	Nari	Changmi	Sudal	Noru
Thailand	Prapiroon	Wipha	Mekkhala	Nida	Kulap
U.S.A.	Maria	Francisco	Higos	Omais	Roke
Vietnam	Saomai	Lekima	Bavi	Conson	Sonca
Cambodia	Bopha	Krosa	Maysak	Chanthu	Nesat
China	Wukong	Haiyan	Haishen	Dianmu	Haitang
DPR Korea	Sonamu	Podul	Pongsona	Mindule	Nalgae
HK, China	Shanshan	Lingling	Yanyan	Tingting	Banyan
Japan	Yagi	Kaziki	Kujira	Kompasu	Washi
Lao PDR	Xangsane	Faxai	Chan-hom	Namtheun	Matsa
Macau	Bebinca	Peipan	Linfa	Malou	Sanvu
Malaysia	Rumbia	Tapah	Nangka	Meranti	Mawar
Micronesia	Soulik	Mitag	Soudelor	Rananin	Guchol
Philippines	Cimaron	Hagibis	Molave	Malakas	Talim
RO Korea	Chebi	Noguri	Koni	Megi	Nabi
Thailand	Durian	Rammasun	Morakot	Chaba	Khanun
U.S.A.	Utor	Matmo	Etau	Aere	Vicete
Vietnam	Trami	Halong	Vamco	Songda	Saola

Tabulka 3.4: Jmenné seznamy pro severozápadní Tichomoří

2008	2009	2010	2011	2012	2013
Arthur	Ana	Alex	Arlene	Alberto	Andrea
Bertha	Bill	Bonnie	Bret	Beryl	Barrz
Cristobal	Claudette	Colin	Cindy	Chris	Chantal
Dolly	Danny	Danielle	Don	Debby	Dorian
Edouard	Erika	Earl	Emily	Ernesto	Erin
Fay	Fred	Fiona	Franklin	Florence	Fernand
Gustav	Grace	Gaston	Gert	Gordon	Gabrielle
Hanna	Henri	Hermine	Harvey	Helene	Humberto
Ike	Ida	Igor	Irene	Isaac	Ingrid
Josephine	Joaquin	Julia	Jose	Joyce	Jerry
Kyle	Kate	Karl	Katia	Kirk	Karen
Laura	Larry	Lisa	Lee	Lestie	Lorenzo
Marco	Mindy	Matthew	Maria	Michael	Melissa
Nana	Nicholas	Nicole	Nate	Nadine	Nestor
Omar	Odette	Otto	Ophelia	Oscar	Olga
Paloma	Peter	Paula	Philippe	Patty	Pablo
Rene	Rose	Richard	Rina	Rafael	Rebekah
Sally	Sam	Shary	Sean	Sandy	Sebastien
Teddy	Teresa	Tomas	Tammy	Tony	Tanya
Vicky	Victor	Virginie	Vince	Valerie	Van
Wilfred	Wanda	Walter	Whitney	William	Wendy

Tabulka 3.5: Jmenné seznamy pro Atlantickou oblast

Kapitola 4

Sledování a předpověď tropických cyklón

Tropické cyklóny byly určitým způsobem pozorovány už po staletí. Dříve se s nimi setkávali hlavně námořníci, například Kryštof Kolumbus, jako první Evropan, popsal tropickou cyklónu, jenž viděl při své druhé plavbě roku 1494.[4] O tom, kde a kdy se vyskytly v minulosti tropické cyklóny, se můžeme dozvědět z historických záznamů a díky objevům paleotempestologie, která se zabývá odhalováním výskytu tropických cyklón z geologických dat.[32]

4.1 Sledování

Před prvním vynálezem telegrafu v první polovině 19. století nebylo moc způsobů, jak by se mohly šířit informace o tropických cyklónách a varování před nimi. Tropické cyklóny se pozorovaly z pozemních stanic a z lodí na moři. Díky dálkovému přenosu radiovým signálem mohly přicházet zprávy o blížící se tropické cyklóně na pevninu z lodí. Od druhé světové války se v pozorování tropických cyklón udělal velký pokrok. Ve 40. letech se začala používat průzkumná letadla, od 50. let radary, od 60. let satelity a dále pak bóje, radiosondy a automatizované přízemní stanice.[4]

Jako hlavní pozorovací přístroje jsou v dnešní době považovány **satelity**. Pokud se ale bouře přiblíží na vzdálenost do 320 km od pobřeží, jsou častěji použita měření radary a dále pak průzkumná letadla, radiosondy a automatické stanice, jenž poskytují na rozdíl od satelitů přímá měření.

Prvním meteorologickým satelitem byl TIROS-1 (Television Infrared Operational Sastem) vypuštěný na oběžnou dráhu 1. dubna 1960 americkou vládní agenturou NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). V dnešní době je využíváno mnoho geostacionárních satelitů sledujících tropické oblasti. Od 70. let 20. století byly satelitní snímky podrobovány **Dvorakově technice**, kterou vyvinul Vern Dvorak. Porovnáváním satelitních snímků s danými vzory: *Curved band*, *Shear*, *Eye*, *Central Dense Overcast (CDO)*, *Embedded Center* nebo *Central Cold Cover* můžeme odhadnout aktuální intenzitu bouře. Pokud jsou k dispozici infračervené snímky oblasti oka, můžeme použít schéma rozdílu teploty oka a okolních oblaků. Čím je větší rozdíl teploty, tím se odhaduje větší intenzita tropické cyklóny.[4]

Od poloviny 90. let 20. století jsou používány snímky odrazivosti v mikrovlnném spektru, na nichž jsme schopni rozeznat centrum bouře zakryté střední nebo vysokou oblačností. Takže není potřeba využívat Dvorakovu analýzu, jenž se ale stále využívá v některých oblastech výskytu tropických cyklón. Ze satelitních snímků můžeme získat informace o povrchové teplotě vzduchu a oceánu, vlhkosti vzduchu, směr a sílu větru z pohybu oblačnosti, množství a výšku mraků, teplotu horních vrstev oblačnosti. Z čehož pak dále můžeme získat třeba odhad srážek.[4, 33] Většinou jsou používány snímky ve viditelné, infračervené, krátkovlnné IR (infrared) oblasti spektra, dále pak snímky, na nichž je vidět vodní pára.[34]

Další informace o rychlosti a směru větru, tlaku, teplotě oceánu a teplotě vzduchu získáváme z **lodních pozorování** a **meteorologických bójí**, jenž se používají od 70. let 20. století. Pozorování z lodí nám také poskytují jediná přímá měření o výšce bouřkové vlny na otevřeném moři.[4, 33]

Od roku 1944 se začala používat **průzkumná letadla** pro hledání tropických cyklón. Byly to jen ojedinělé lety. Dnes jsou k tomuto účelu používána speciálně upravená letadla. Například U.S. Air Force Reserve používá letadla C-130 a NOAA vysílá letadla P-3 Orion. Letadla směřují do centra bouře a měří rychlost a směr větru, teplotu a vlhkost vzduchu a dělají snímky tropické cyklóny a určují přesnou polohu centra bouře. Letadla také shazují **dropsondy** s padáčkem, jenž měří teplotu vzduchu, vlhkost a tlak a pomocí radiového signálu přenáší naměřená data.[4, 33]

Další data získáváme z **radiosond**, které se od dropsond liší tím, že jsou připojeny k meteorologickým balonům. Stoupají atmosférou a měří teplotu vzduchu, vlhkost a tlak a naměřená data přenáší do počítače na povrchu. Data nám poskytují vertikální profil v okolí tropické cyklóny, jenž je důležitý pro předpovědní modely.[33]

Když se tropická cyklóna přiblíží k pobřeží, je monitorována **radary** umístěnými na pobřeží. Radary se začaly používat během druhé světové války k odhalení letadel. V roce 1957 National Weather Service (NWS) ustanovila první radiolokační síť na americkém pobřeží, která mohla dávat upozornění před blížící se tropickou cyklónou. Od 90. let 20. století radary za použití doplerovské technologie poskytují detailní informace o rychlosti a směru větrů, intenzitě srážek, poloze centra tropické cyklóny a jejím pohybu. Což umožňuje NWS možnost krátkodobé předpovědi a varování před záplavami, tornády a silnými větry. Za použití dat z radarů můžeme získat například odhady srážek. Většinou jsou používány snímky odrazivosti, jenž nám dávají možnost získat informace o bouřkových rysech tropické cyklóny, jejím pohybu a intenzitě. Snímky kruhové rychlosti větrů nám dávají informace o rychlosti a směru větru, což umožňuje meteorologům vydávat včasné varování.[33]

Neméně důležitými jsou pozorování a přímá **měření na pevnině**. V první polovině 20. století tvořila spolu s lodními pozorováními a novinami informační síť pro detekci a varování před tropickými cyklónami. V dnešní době se zavádí automatizované stanice (*the Automated Surface Observation Systems (ASOS)*), jichž je například ve Spojených státech amerických nad 850. Pozemní pozorování nám dávají informace o teplotě a tlaku vzduchu, rychlosti a směru větru a množství srážek. Tato data jsou využívána zejména pro zpětnou analýzu průběhu tropické cyklóny.[33]

4.2 Centra pro monitorování a předpověď

Metody používané na předpověď tropických cyklón se v průběhu času dost změnily. První známá předpověď na západní polokouli byla v roce 1847 udělaná poručíkem plukovníkem Williamem Reedem ze Sboru královských inženýrů (*the Corps of Royal Engineers*) na Barbadosu. Pro základ své předpovědi používal měření atmosférického tlaku. Otec Benito Vines, ředitel Belen Collage v Havaně, zavedl systematické schéma

pro předpověď hurikánu a varování před ním použitím pozorování pohybu horních a nižších oblaků. V roce 1870 kongres USA vytvořil národní meteorologickou službu pod záštitou Spojovacích armádních sborů (the Signal Corps of the Army). Tato služba denně přijímala pozorování z ostrovů v a kolem Karibského moře a poskytovala varování před tropickými cyklóny pro východní a jižní Spojené státy.[35]

Dnes jsou vytvořena centra pro pozorování tropických cyklón a varovná centra, jež se specializují na jednotlivé oblasti vyskytu tropických cyklón. Za monitorování a předpověď v Atlantickém oceánu a severozápadním Tichomoří východně od 140° západní délky je zodpovědná Outstanding Accomplishments in Research (OAR) se sídlem v Miami (Florida, USA). Za zbytek severovýchodního Tichomoří až k datové čáře zodpovídá Central Pacific Hurricane Center v Honolulu (Havaj). Na detekci a předpovědi tropických cyklón v severozápadním Tichomoří se podílí Čína, Thajsko, Korea, Japonsko, Filipíny a Hong Kong.[4]

Tropické cyklóny v severním Indickém oceánu jsou předpovídaný Indií, Thajskem, Pákistánem, Bangladéší, Barmou a Srí Lankou a v jihozápadním Indickém oceánu státy jako Réunion, Madagaskar, Mozambik, Mauritius a Keňa. Austrálie a Oceánie poskytují předpovědi pro oblast Austrálie/jihovýchodní Indický oceán. Pro Austrálii/jihozápadní Tichomoří jsou to Austrálie, Papua-Nová Guinea, Fidži a Nový Zéland.[4]

US Joint Typhoon Warning Center (JTWC) navíc vydává varování pro severozápadní Tichomoří, severní a jihozápadní Indický oceán, Austrálii, jihovýchodní Indický oceán a jihozápadní Tichomoří. US Naval Pacific Meteorology and Oceanography Center v Pearl Harboru (Havaj) dělá totéž pro Tichý oceán východně od 180° východní délky.[4]

4.3 Předpověď

U tropických cyklón se zpravidla předpovídá jejich předpokládaná dráha, intenzita, množství srážek, výška bouřkové vlny a možná tornáda.

Dráha tropické cyklóny je ovlivněna zejména Coriolosovou silou a rozložením tlakových útvarů. Chceme-li tedy předpovědět pohyb tropické cyklóny, musíme znát

přesné rozložení tlakových výší a níží a jejich vývoj v čase. Dráhy tropických cyklón se předpovídají pomocí numerických modelů, ve kterých se využívají data získaná ze satelitů, radarů a dalších měření uvedených v kapitole 4.1. Předpověď přesné dráhy je důležitá pro předpovědi dalších jevů souvisejících s tropickou cyklónou.[36]

Pro předpověď **intenzity** je nutná přesná znalost pohybu tropické cyklóny. Vzhledem k mnoha faktorům, jež ovlivňují formování a udržování tropické cyklóny, je zřejmé, že je nutná dobrá znalost podmínek v okolí tropické cyklóny. Tyto podmínky se však mohou prostorově značně lišit. Kolem roku 1988 vytvořil Dr. Kerry Emanuel matematický model Maximum Potential Intensity (MPI), který na základě termodynamických rovnic a za použití výsledků globálních modelů počasí dokáže spočítat maximální intenzitu, jež může daná cyklóna dosáhnout.[37]

Pro předpověď **srážek** se využívá zejména satelitních a radarových snímků. Data získaná z těchto snímků a data z přímých měření jsou pak použita v matematických výpočtech předpovědí. Z odhadovaných srážek, topografie pobřeží a pohybu tropické cyklóny jsou předpovídány možné záplavy a velikost bouřkové vlny.[4]

4.4 Předpovědní modely

Na světě existuje mnoho organizací, které denně používají globální nebo regionální počítačové modely pro předpověď počasí. Tyto modely nám poskytují 5 až 15 denní předpovědi meteorologických parametrů, jako jsou tlak vzduchu, geopotenciální výška, vlhkost vzduchu, teplota, relativní vorticita a vítr. Předpovědi tropických cyklón využívají grafických a numerických výstupů těchto modelů k určení vertikálního stříhu větru a rozsáhlých řídicích proudění, jež ovlivňují pohyb tropické cyklóny. Modely dělíme hlavně na statistické a dynamické.[36]

National Hurricane Center používá pro předpověď dráhy a intenzity tropických cyklón statistické a dynamické počítačové modely, které reprezentují tropickou cyklónu a její okolí ve velmi zjednodušeném chování. Každý z modelů má svoje silné a slabé stránky a vědci neustále pracují na jejich zlepšení.

Pro Atlantickou oblast jsou používány na předpověď dráhy například [4]:

- CLIPER (CLImatology and PERsistence): statistický model, využívá setrvačného

pohybu tropické cyklóny a začleňuje informaci o okolním prostředí. Do 80. let 20. století měl srovnatelné výsledky s numerickými modely.

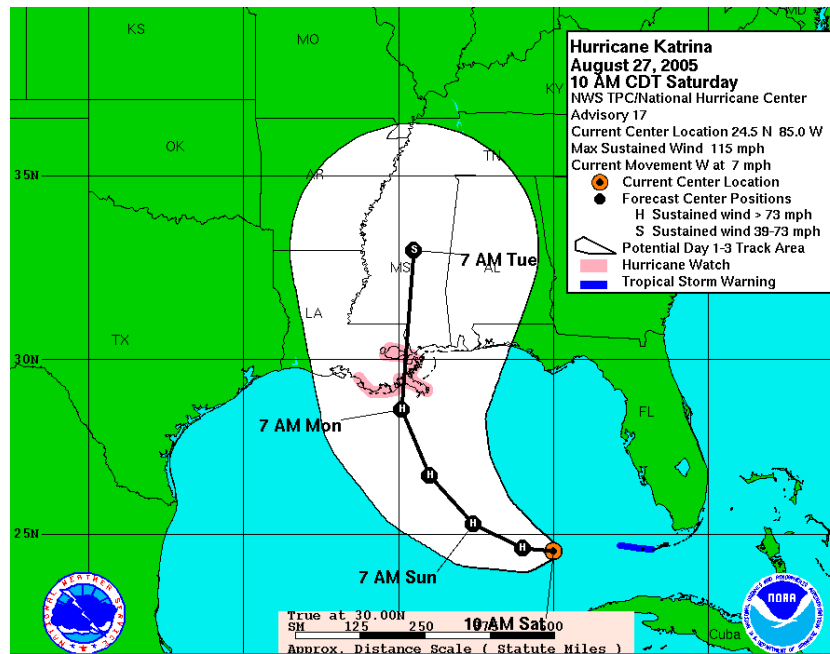
- NHC90: statistický-dynamický model, používá geopotenciální výšku předpovězeno z leteckých modelů; Speciální verze: NHC90, NHC90-LATE fungují od roku 1990, aktualizace z roku 1998 NHC98
- Beta and Advection Model (BAM): sleduje dráhu tropické cyklóny v jednotlivých vrstvách; tři verze tohoto modelu: BAMS (využívá vrstvu 850–700 hPa), BAMB (850–400 hPa) a BAMD (850–200 hPa)
- VICBAR: dynamický barotropický model
- NCEP Aviation a MRF modely: globální modely, používané pro předpověď dráhy od roku 1992
- GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) model: regionální dynamický model, poskytuje předpovědi od roku 1992
- The United Kingdom Meteorological Office's global model (UKMET): používaný na předpověď dráhy tropických cyklón po celém světě, používán od roku 1996
- The United States Navy Operational Global Atmospheric Prediction Systems (NOGAPS): globální numerický model, používán od roku 1996.

Modely na předpověď intenzity tropické cyklóny jsou například [4]:

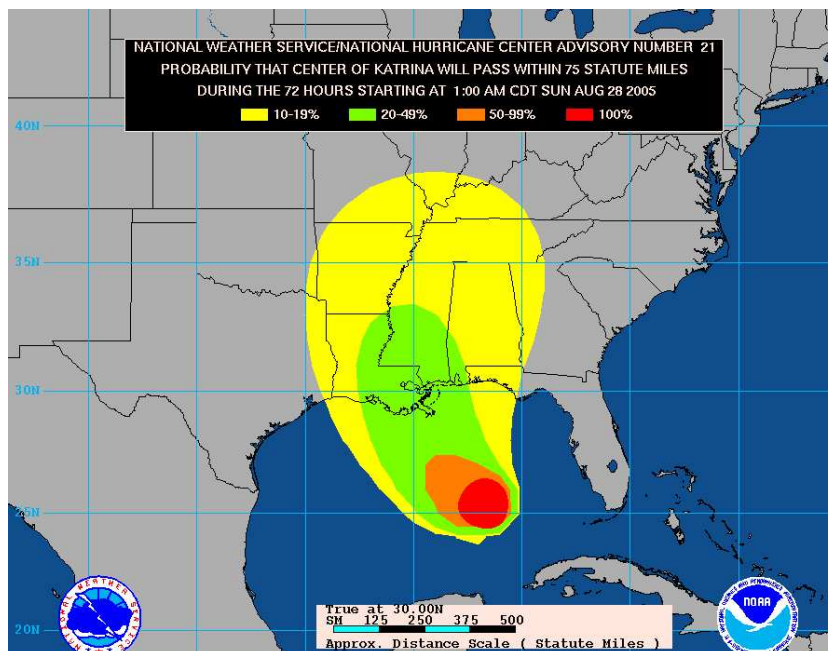
- SHIFOR (Statistical Hurricane Intensity Forecast model): mnohonásobný regresní statistický model, využívá setrvačnost intenzity a začleňuje informace o změně okolí, podobný modelu CLIPER
- SHIPS (Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme): statistický model, používán od poloviny 90. let 20. století, kombinuje informace o teplotě oceánu, vertikálním střihu, vlhkosti, atd. a trendu intenzity tropické cyklóny
- GFDL model: vydává také předpovědi změny intenzity.

Velikost **bouřkové vlny** se předpovídá například pomocí počítačového modelu SLOSH (*Sea, Lake and Overland Surges from Hurricanes*). Využívá znalost pole větrů, tlaku, velikost a rychlost pohybu a směr dráhy tropické cyklóny. Do výpočtů musí být zahrnuty i zvláštnosti jednotlivých pobřeží jako sklon kontinentálního šelfu, hloubka vody, existující zálivy, rozmístění řek, mosty, atd. Model započítává i výskyt běžných slapových jevů. Nepočítá však se srážkami, přítokem vody z řek a vlny poháněné větrem. Pokud je předpověď počítána pro existující tropickou cyklónu, musí být pro 72 hodinovou předpověď vkládána data každých 6 hodin. Tento model má přesnost $\pm 20\%$. Předpověď vlnu 3 m, můžeme ve skutečnosti očekávat vlnu v rozmezí 2,4–3,6 m. Pro určení zaplavení pevniny touto vlnou je nejdůležitější určení přesného místa, kde se tropická cyklóna dostane nad pevninu. Pokud není toto místo známo, používá se SLOSH na předpověď maximální možné vlny pro danou oblast.[4]

Ukázky předpovědí pro hurikán Katrina (2005) můžeme vidět na obrázcích 4.1, 4.2 a 4.3.



Obrázek 4.1: Hurikán Katrina (2005): trojdenní předpověď dráhy tropické cyklóny, obsahuje dále předpokládanou rychlost větru v jednotlivých pozicích



Obrázek 4.2: Hurikán Katrina (2005): předpověď pohybu centra tropické cyklóny. Jednotlivé barevné oblasti znázorňují pravděpodobnost, s níž se centrum bouře vyskytne v dané oblasti

4.5 Úspěšnost předpovědí

NHC vydává předpovědi o pozici centra, maximálních rychlostech větru, poloměru větrů o rychlostech 63 km/h, 92 km/h a 117 km/h ve čtyřech kvadrantech cyklóny (severovýchodní, jihovýchodní, jihozápadní, severozápadní) každých 6 hodin. Od roku 1954 vydává 12 a 24-hodinové předpovědi a od roku 1964 dále předpovědi na 36, 48 a 72 hodin. V roce 2003, byly předpovědi prodlouženy o 96 a 120 hodin.[4]

Všechny oficiální předpovědi jsou ověřeny vzhledem k "best track". Což je sada šestihodinových poloh centra a maximální rychlosti větru. Je to oficiální NHC odhad umístění a intenzity tropické cyklóny, jenž se připravuje pro každou cyklónu jakmile jsou dostupná potřebná data.[4]

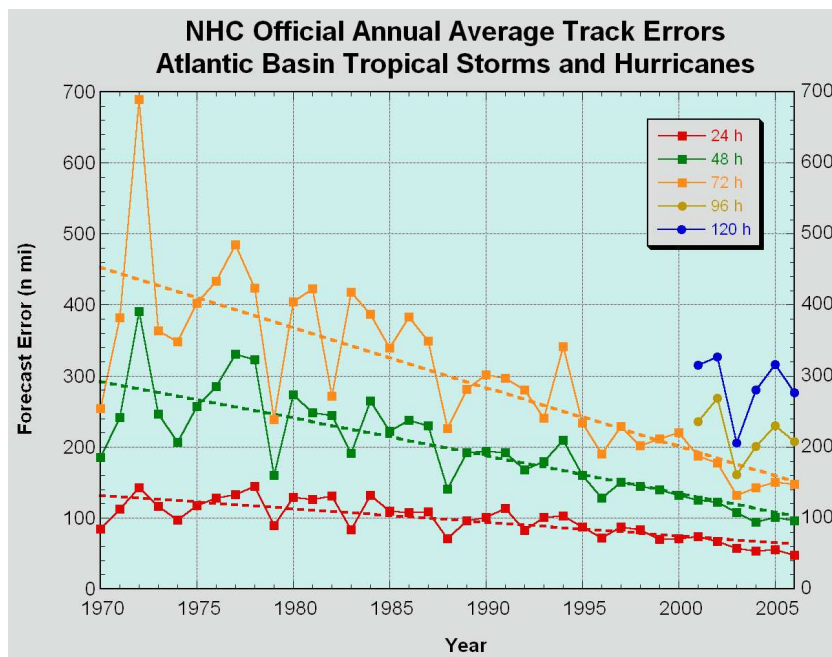
Chyby předpovědi drah jsou průměrně 160 km v 24 h, 260 km v 48 h a 370 km v 72 hodinové předpovědi. Čtyřdenní předpověď má chybu asi 460 km a pětidenní asi 550 km. Předpovědi pro jednotlivé cyklóny mohou být horší, ale i lepší než udává



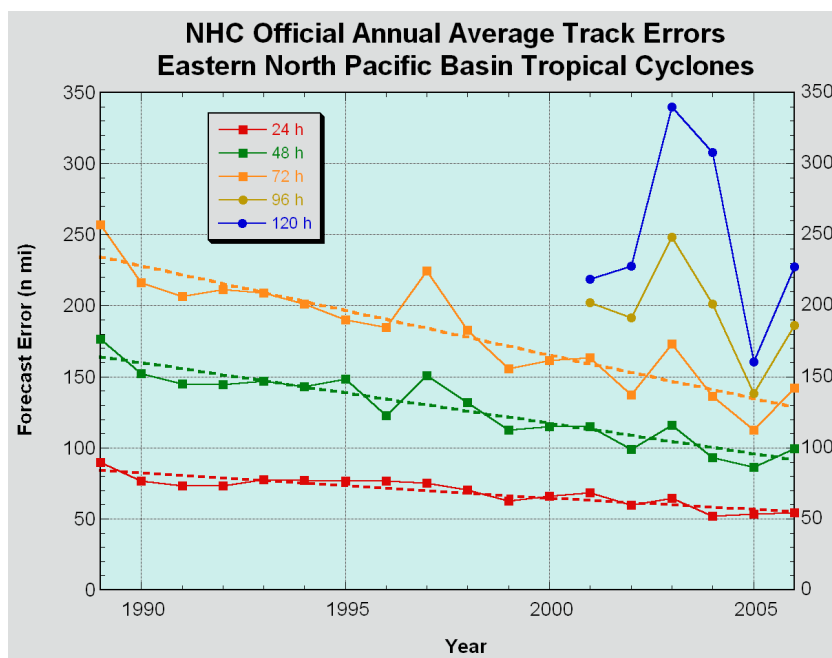
Obrázek 4.3: Hurikán Katrina (2005): červená oblast označuje místa, v nichž budou větry o síle tropické cyklóny (hurikánu), hnědá oblast označuje místa s intenzitou tropické bouře

průměr. Předpovědi se zlepšily především díky většímu množství dat, přesnějším numerickým modelům a lepšímu porozumění fyziky v pohybu tropické cyklóny. V dnešní době jsou trojdenní předpovědi dráhy zhruba stejně přesné jako dvoudenní předpověď na konci 80. let 20. století. Trendy chyb pro předpovědi dráhy tropické cyklóny v rozmezí let 1970–2006 pro Atlantik můžeme vidět na obrázku 4.4 a pro severovýchodní Tichomoří (1989–2006) na obrázku 4.5 (převzato z [38]). Zlepšení dlouhodobějších předpovědí lze vidět na obrázku 4.6 (převzato z [38]).[4]

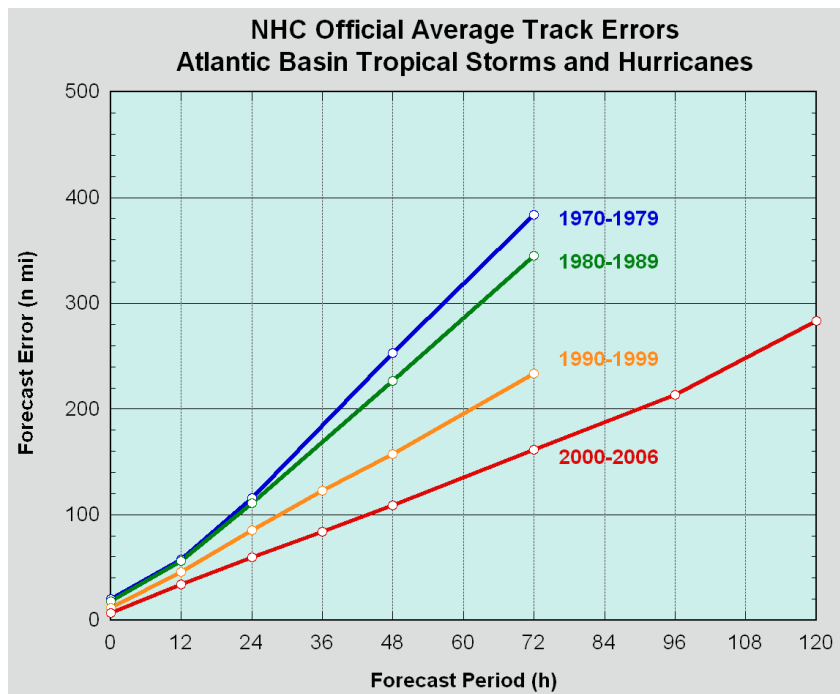
Chyby v určení síly větru (intenzity tropické cyklóny) je asi 17 km/h na 24 h, 28 km/h na 48 h a 35 km/h na 72 hodinovou předpověď. Čtyřdenní předpověď má chybu asi 39 km/h a pětidenní 41 km/h. Jedno- a dvoudenní předpovědi mají dnes asi o 20% menší chyby než tomu bylo v polovině 70. let 20. století. Trojdenní předpovědi ovšem nevykazují značné zlepšení. Trendy chyb pro předpovědi intenzity tropické cyklóny v rozmezí let 1990–2006 pro Atlantik můžeme vidět na obrázku 4.7 a pro severovýchodní Tichomoří na obrázku 4.8 (převzato z [38]).[4]



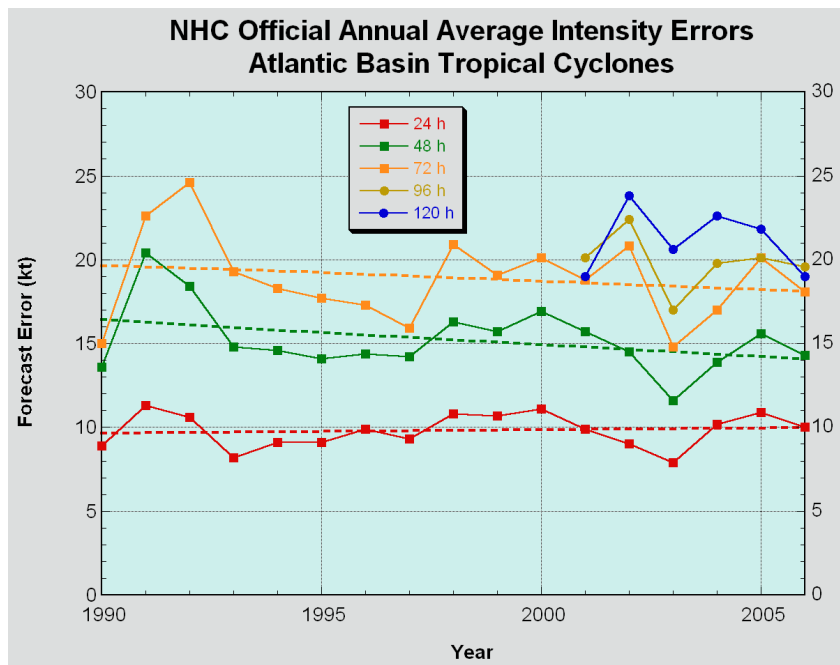
Obrázek 4.4: Atlantický oceán: Chyby určení dráhy (1970–2006)



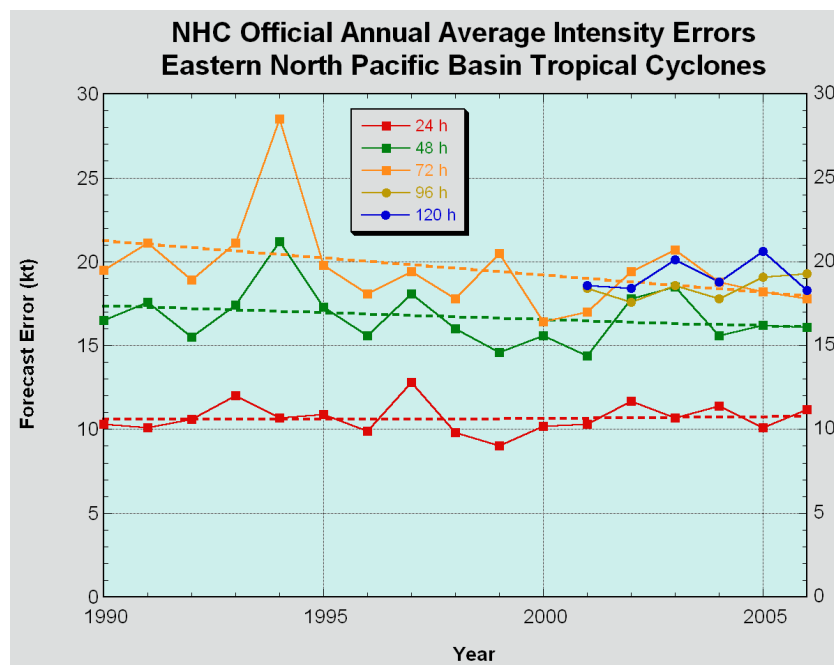
Obrázek 4.5: Severovýchodní Tichomoří: Chyby určení dráhy (1989–2006)



Obrázek 4.6: Atlantický oceán: Chyby určení dráhy na jednotlivé předpovědi v letech 1970–2006



Obrázek 4.7: Atlantický oceán: Chyby intenzity (1990–2006)



Obrázek 4.8: Severovýchodní Tichomoří: Chyby intenzity (1990–2006)

Kapitola 5

Přehled významných tropických cyklón

5.1 Historické záznamy

V historii se vyskytlo několik tropických cyklón, na které lidstvo jen tak nezapomene. Mezi takové patří třeba cyklón v **Bangladéši** roku 1970. Toto území je postihováno přírodními katastrofami často a výrazně. Leží v deltách řek Gangy, Mengy a Brahmaputry a je protkáno řadou vodovodních kanálů, takže jsou zde často záplavy. Nejničivější pohromou pro zemi byla tropická cyklóna, jenž se 13. listopadu 1970 přehnala přes toto území. Obří vlna v noci zaplavila hustě obydlenou deltu řeky Gangy a během dvaceti minut smetla obydlí s 300 tisíci obyvateli. Přes milion akrů rýžovišť a 800 tisíc tun obilí bylo spláchnuto do moře, utopilo se milion kusů dobytka. Ráno byla země zpustošena. Stromy, které náporu hurikánu nepodlehly, byly ověšeny těly lidí a zvířat. Na mnoha malých ostrovech u pobřeží nikdo nepřežil, všechny vesnice zmizely pod vodou. Záchrané akce probíhaly pomalu. Byl nedostatek pitné vody a jídla a lidé umírali hlady. Celkové ztráty na životech se odhadují na půl milionu až milion lidí.[39]

Přístavní město **Haiphong** ležící v severovýchodním Vietnamu bylo 8. října 1881 zasaženo tajfunem. Velké vlny zalily celé pobřeží a prakticky ho smetli do moře. Mnoho přesných informací není o této katastrofě známo, ale odhaduje se, že při ní zemřelo asi 300 tisíc lidí.[39]

Indické město **Kalkata** ležící na břehu řeky Hugli bylo navrženo tak, že velká část

leží pod úrovní přílivového maxima. Dne 7. října 1737 udeřil na toto město cyklón z Bengálského zálivu. Vítr dosahoval rychlosti 200 km/h, moře bylo vzedmuté silným větrem do velké vlny, jež zaplavila tisíce domovů. Přesný počet obětí není znám, ale odhaduje se, že to mohlo být až 300 tisíc lidí. Kalkata byla zasažena cyklóny i v dalších letech, například v roce 1864 zahynulo asi 48 tisíc a v roce 1884 asi 100 tisíc lidí.[39]

Mezi 10. a 16. říjnem 1780 se přes ostrovy Martini, Sant Eustatius a Barbados přehnal bouře, jež jsou dodnes považovány za atlantickou tropickou cyklónu s největším počtem obětí. Tzv. Velký hurikán se přehnal nad Karibským mořem v době americké války za nezávislost, kdy na moři bojovalo loďstvo Velké Británie a Francie. Na Barbadosu bouře řádila dva dny a téměř celý jej srovnala se zemí. O život přišlo asi 22 tisíc lidí, další tisíce zahynuli na otevřeném moři.[39]

5.2 Rekordy

Tropická cyklona s nejmenším zatím naměřeným tlakem vzduchu v centru byl tajfun **Tip**, jež se vyskytl v říjnu 1979 v západním Tichomoří. Dne 12. 10. 1979 byl v oku tropické cyklony naměřen tlak 870 hPa.[2]

Zatím největší tropická cyklóna je tajfun **Tip** (1979), jehož průměr byl 2220 km, a nejmenší cyklón **Tracy** (1974) s průměrem pouhých 96 km.[6]

Za bouři s největší bouřkovou vlnou je považován cyklón *Mahina*, jež se vyskytl v jižním Tichomoří v roce 1899. Vlna o výšce 14,6 m zasáhla pobřeží Austrálie v Bathurst Bay a zalila pevninu asi 5 km do vnitrozemí.[40]

V Atlantiku byla tropická cyklóny s největší bouřkovou vlnou hurikán **Katrina** s výškou vlny asi 8,5 m. Vznikla jako tropická deprese nad Bahamskými ostrovy 23. srpna 2005 a 24. srpna se stala tropickou bouří. Jako tropická bouře postupovala k Floridě. Asi dvě hodiny před příchodem nad pevninu mezi Hallandale Beach a Aventurou se z ní 25. srpna stal hurikán. Nad pevninou bouře zeslábla, ale sílu znovu nabyla nad Mexickým zálivem. Zde bouře zesílila z 3. na 5. kategorii Saffir-Simpsonovy stupnice, což bylo dáno neobvykle teplými vodami v zálivu. Dne 27. srpna se bouře zvětšila téměř na dvojnásobek a udržovala si intenzitu 3. kate-

gorie. Pak znovu zesílila a ráno 28. srpna se stala bouří 5. kategorie s maximálními přetrvávajícími větry 280 km/h a minimálním centrálním tlakem 902 hPa. Jako hurikán 3. kategorie se dostala 29. srpna nad pevninu ve státě Louisiana blízko Buras-Triumph, postupovala nad jihovýchodní Louisianou a Breton Sound až k hranicím se státem Mississippi. Zde si stále udržovala sílu 3. kategorie. Blízko Clarksville v Tennessee zeslabila na tropickou depresi a úplně se rozptýlila 31. srpna v okolí Velkých jezer.

Hurikán zasáhl město New Orleans den 29. srpna. Město bylo zaplaveno vodou z oceánu následkem bouřkové vlny a dále vodou z jezera Pontchartrain, jehož hráz se protrhla. Výška vody dosahovala až 7,6 m. Celkové škody způsobené hurikánem Katrina se odhadují přes 100 miliard dolarů a ztráty na životech asi 2000 lidí.[41]

5.3 Nejsilnější tropické cyklóny

Cyklón **Gonu** je označován za nejsilnější tropickou cyklónou v Arabském moři přinejmenším od roku 1945. Gonu vznikl 1. června 2007 v Arabském moři a rychle se zesílil díky příznivým podmínkám a teplým povrchovým vodám oceánu. Maxima větrů asi 240 km/h dosáhl 3. června. Se slabší intenzitou 5. června dosáhl pevniny na východě Ománu s větry o rychlosti 150 km/h. Dále pokračoval na sever do Ománského zálivu a rozpadl se nad jižním pobřežím Íránu 7. června.

Cyklóny nad Arabským mořem jsou většinou slabé a rychle zanikají. Tato ovšem vydržela celých šest dní a způsobila v Ománu škodu za 4 miliardy dolarů a ztrátu na životech asi 50 lidí a v Íránu zemřelo 23 lidí a škoda se odhaduje na 215 milionů dolarů.[42]

Cyklón **Inigo** je považován za nejintenzivnější tropickou cyklónu, jenž by zaznamenána v Australské oblasti. Vznikla z tropické poruchy, která šla přes Indonésii 26. března 2003 a byla pojmenována 1. dubna. Rychle zesílila a 4. dubna dosáhla minimálního centrálního tlaku 900 hPa. Pak zeslábla a rozptýlila se 8. dubna po dosažení pevniny na západně Austrálie jako tropická bouře.

Ve východní Indonésii se během vývoje Indiga vyskytly prudké deště, jenž způsobily sesuvy půdy a záplavy. Nejméně 50 lidí zahynulo na ostrovech Flores a Besar. Bylo

poškozeno několik tisíc domovů a poškozena byla i infrastruktura a zemědělské plodiny. Škoda se odhaduje na 10 milionů dolarů.[43]

Jako tropická cyklóna, při níž zahynulo v Indickém oceánu nejvíce lidí od události v Bangladéši roku 1991, je považována cyklóna **Orissa**. Bouře totiž udeřila jen týden po jiné bouři, jenž měla sílu 4. kategorie. Orissa vznikla 25. října 1999 jako tropická deprese nad Malejským poloostrovem. Pohybovala se na severozápad a 26. října se stala tropickou bouří. Dále zesilovala a 28. října dosáhla svého maxima. Stala se prudkou cyklónou s rychlostí větrů 260 km/h. Druhý den zasáhla Indii jako cyklóna s rychlostí větru 250 km/h. Zahynulo přes 10 tisíc lidí a došlo k velkým škodám. Bouře se otočila na jihozápad nad otevřené moře, kde 3. listopadu zanikla.[44]

Tajfun **Ioke** byl nejsilnější tropickou cyklónou zaznamenanou ve středním Tichomoří. Tato bouře existovala plných 19 dní a dosáhla 5. kategorie Saffir-Simpsonovi stupnice hned třikrát. Ioke vznikla z ITCZ 20. srpna 2006 poblíž Havaje. Během 48 hodin zesílila na bouři 4. kategorie, což bylo způsobeno kombinací teplých vod a malého stříhu větru. Před průchodem nad Aohnston Atoll 22. srpna zeslabila na bouři 2. kategorie. Pak znovu zesílila a 25. srpna dosáhla síly 5. kategorie. Dne 31. srpna se pohybovala nedaleko Wake Island s rychlostí větru 250 km/h. Jak se stáčela na severozápad a sever, slábla a 6. září se změnila na mimotropickou cyklónu.

Ioke způsobila mírné škody na Wake Island asi za 88 milionů dolarů. Poničila zejména střechy budov a některá obydlí. Výraznější škody způsobila Ioke jako mimotropická cyklóna, jelikož produkovala prudké bouřkové vlny podél pobřeží Aljašky.[45]

Tropická cyklóna **Linda** byla nejsilnějším hurikánem v severovýchodním Tichomoří, s trvalými větry 295 km/h, a nárazy 355 km/h, a centrálním tlakem 90 hPa. Vznikla jako tropická vlna blízko západního pobřeží Afriky 24. srpna 1997. Bez známek vývoje se pohybovala přes Atlantik a Střední Ameriku. Dne 9. září se objevilo slabě vyvinuté centrum. Linda se 9. září stala tropickou depresí asi 740 km jižně od mexického přístavu Manzanillo.

Jako tropická deprese pokračovala na severozápad a 10. září se stala tropickou bouří. Začala rychle sílit a druhý den se stala hurikánem asi 880 km jihovýchodně od jižního cípu Baja California. Rychle sílila a dosáhla svého maxima 12. září. V dalších

několika dnech slábla nad chladnější vodou a zanikla 17. září.[46]

Wilma byla nejsilnější tropickou cyklónou zaznamenanou v Atlantickém oceánu. Vznikla v polovině října 2005 v Karibském moři a 15. října byla označena jako tropická deprese. Směřovala na jihozápad a v příznivých podmínkách zesílila 17. října na tropickou bouři. Následující dva dny Wilma nad Karibským mořem zesilovala a dosáhla svého maxima (5. kategorie) s větry o rychlosti 295 km/h, centrálním tlakem 882 hPa a průměrem oka asi 5 km, což je zatím nejmenší oko v historii atlantických hurikánů. Po nahrazovacím cyklu oční stěny Wilma zeslábla na hurikán o síle 4. kategorie a 21. října dosáhla pevniny na Cozumel s rychlostí větru 240 km/h. Zeslábla nad Yukatánským poloostrovem a pokračovala severozápadně v Mexickém zálivu, kde znovu zesílila a zasáhla mys Romano na Floridě jako major hurikán. Nad pevninou zeslábla a při přechodu nad Atlantický oceán znovu zesílila. 26. října se změnila na mimotropickou cyklónu a následující den byla pohlcena další mimotropickou cyklónou.

Wilma nejvíce zasáhla Yukatánský poloostrov, Kubu a Floridu. Zemřelo nejméně 63 lidí a celková škoda se odhaduje přes 29 miliard dolarů.[47]

Zoe je nejsilnější tropická cyklóna pozorovaná na jižní polokouli. V době svého maxima dosahovaly rychlosti větru 180 km/h a centrální tlak byl 890 hPa. Vznikla z poruchy počasí 23. prosince 2002 a dva dny na to se stala tropickou depresí asi 670 km východně od Funafuti na Tuvalu. Pohybovala se jihozápadně, postupně sílila a 25. prosince se stala tropickou cyklónou. Další dny rychle sílila a 28. prosince dosáhla svého maxima. Během následujících dvou dnů přešla přes některé ostrovy v provincii Temotu na Šalamounských strovech. Od 29. prosince se bouře pohybovala východně a slábla. Na začátku roku měla intenzitu tropické deprese. Pak se Zoe stala extratropickou cyklónou.[48]

Gafilo je považována za nejintenzivnější tropickou cyklónu zformovanou v jihozápadním Indickém oceánu. Vznikla z tropické poruchy 29. února 2004 ve středním Indickém oceánu jižně od Diego Garcia. Stala se tropickou poruchou 2. března, jenž se pohybovala západně a severozápadně. Další den zesílila na tropickou bouři. Začala se stáčet na jih a zesílila na tropickou cyklónu. 5. března se stala tropickou cyklónou

4. kategorie a posouvala se na západ a jihozápad směrem k Madagaskaru. Následující den dosáhla svého maxima. Centrální tlak byl 895 hPa a přetrvávající rychlost větrů asi 260 km/h. Po půlnoci udeřila na severovýchodním pobřeží Madagaskaru nedaleko města Antalaha se silou 5. kategorie. Dále pokračovala na jihozápad a vyskytla se blízko Mozambique Channel o síle 1. kategorie. Oslabená se stočila na jihovýchod a nad jihozápadní Madagaskar přišla jako silná tropická bouře. Zanikla 11. března nad jižním Madagaskarem.

Následkem cyklóny Gafilo celkem zemřelo asi 360 tisíc lidí a škoda je odhadována na 250 milionu dolarů.[49]

Super tajfun Tip je největší a nejintenzivnější zaznamenaná tropická cyklóna. Vyvinul se z poruchy v monzunové brázdě 4. října 1979 blízko Pohnpei v západním Tichomoří. Nejdříve se pohyboval severozápadně a pak dále na sever. Po přechodu nad Guamem zesílil a dne 12. října dosáhl svého maxima s rychlostmi větru 306 km/h a centrálním tlakem pouhých 870 hPa. Dosahoval také největšího průměru asi 2220 km. Pomalu slábl a pokračoval na západ, severozápad a pak to stočil na severovýchod. Poprvé zasáhl pevninu 19. října v jižním Japonsku a krátce na to se změnil v mimotropickou cyklónu. Způsobil rozsáhlé záplavy a zavinil smrt asi 80 lidí.[50]

Závěr

O tropických cyklónách existuje hodně zdrojů. Dříve bylo vydáváno mnoho knih o jejich formování, struktuře i vývoji. V dnešní době můžeme nalézt informace a nové poznatky o těchto projevech tropického počasí v článcích odborných časopisů nebo ve zprávách, jež vydávají jednotlivé organizace zabývající se tropickými cyklónami.

Bohužel je jen málo nově vydaných knih, jež by se uceleně zajímaly o toto téma a zahrnuly i poznatky a objevy posledních deseti až dvaceti let. Ačkoli právě poslední dobou se vyskytlo mnoho skutečností, jež nám pomáhají lépe porozumět těmto jevům a dávají nám možnost lépe a přesněji předpovědět jejich chování.

Dalším problémem zůstává, že většina dostupné literatury je vydávána převážně v anglickém, popřípadě francouzském, portugalském a španělském jazyce. Což je pochopitelné vzhledem k tomu, jaké oblasti jsou cyklónami nejvíce postihnuty. Mně to ale značně ztěžovalo práci, protože pro některé výrazy a názvy zatím neexistují české překlady nebo ekvivalenty.

Literatura

- [1] Garrison T. S.: *Essentials of Oceanography*, Brooks Cole, England, 2006.
- [2] McGregor G. R., Nieuwolt S.: *Tropical climatology*, Wiley, Chichester, England, 1998.
- [3] JetStream - Online School for Weather
<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/> (last visited on May 2008).
- [4] Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory - Frequently Asked Questions
<http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/tcfaqHED.html> (last visited on May 2008).
- [5] Bureau of Meteorology - Frequently Asked Questions
<http://www.bom.gov.au/weather/wa/cyclone/about/faq/> (last visited on May 2008).
- [6] Joint Typhoon Warning Center - Frequently Asked Questions
<http://metocph.nmci.navy.mil/jtwc/menu/JTFAQ.html#tcsize> (last visited on May 2008).
- [7] Bureau of Meteorology Research Center - Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting
http://www.bom.gov.au/bmrc/pubs/tcguide/global_guide_intro.htm (last visited on May 2008).
- [8] Landsea C. W.: *Climate Variability of tropical Cyclones: Past, Present and Future*, Storms (2000) 220-241.

- [9] Derbes D.: *Reinventing the wheel: Hodographic solutions to the Kepler problems*, Am. J. Phys. **69** (2001) 481–489.
- [10] Glossary of NHC Terms
<http://www.nhc.noaa.gov/aboutgloss.shtml> (last visited on May 2008).
- [11] Encyclopedia Britannica - Tropical cyclone tracks
<http://www.britannica.com/eb/article247936/tropical-cyclone#849004.hook> (last visited on May 2008).
- [12] Naval Research Laboratory - Tropical Cyclone Forecasters' Reference Guide
<http://www.nrlmry.navy.mil/~chu/> (last visited on May 2008).
- [13] Chang C.-P.: *East Asian Monsoon*, World Scientific, 2004.
- [14] NASA - Earth Observatory
http://earthobservatory.nasa.gov/Library/Hurricanes/Images/storm_surge.gif(last visited on May 2008).
- [15] Bureau of Meteorology - About Tropical Cyclones
<http://www.bom.gov.au/weather/cyclone/about/abouttropical-cyclones.shtml>(last visited on May 2008).
- [16] NOAA - Climate Variability table
<http://www.aoml.noaa.gov/hrd/Landsea/climvari/table.html>(last visited on May 2008).
- [17] National Hurricane Center
<http://www.nhc.noaa.gov/>(last visited on May 2008).
- [18] Japan Meteorological Agency
<http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>(last visited on May 2008).
- [19] Fiji Meteorological Service
<http://www.met.gov.fj/index.php>(last visited on May 2008).

- [20] Meteorological Service of New Zealand
<http://www.metservice.com>(last visited on May 2008).
- [21] Météo-France
<http://www.meteo.fr>(last visited on May 2008).
- [22] Bureau of Meteorology
<http://www.bom.gov.au>(last visited on May 2008).
- [23] India Meteorological Department
<http://www.imd.ernet.in>(last visited on May 2008).
- [24] National Hurricane Center - Hurricane Alex
<http://www.nhc.noaa.gov/2004alex.shtml?>(last visited on May 2008).
- [25] National Hurricane Center - Tropical Storm Alberto
http://http://www.nhc.noaa.gov/archive/storm_wallets/atlantic/atl1988prelim/alberto/prelim01.gif (last visited on May 2008).
- [26] Wikipedie - Pacific hurricane season
http://en.wikipedia.org/wiki/1975_Pacific_hurricane_season#Unnamed_Hurricane (last visited on May 2008).
- [27] Chang C.-P.,Liu C. H., Kuo H. C.: *Typhoon Vamei: An Equatorial Tropical Cyclone Formation*, Geophys. Res. Let. **30** (2003) 51–54.
- [28] T. S. Cheng: El Nino and Sea Level Changes
<http://www.hko.gov.hk/publica/reprint/r170.pdf>(last visited on May 2008).
- [29] Marcelino E. V., Oliveira Marcelino I. P. V. de, Moreas Rudorff F. de: Cyclone Catarina: Damage and Vulnerability Assessment
http://www.dsr.inpe.br/geu/Rel_projetos/Relatorio_IAI_Emerson_Marcelino.pdf(last visited on May 2008).

- [30] MetOffice - Miscellaneous Images
<http://www.metoffice.gov.uk/weather/tropicalcyclone/tcimages/Misc/>(last visited on May 2008).
- [31] Wikipedie - Tropical cyclone scales
http://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_cyclone_scales(last visited on May 2008).
- [32] Nott J.F.: *Palaeotempestology – a review and implications for risk assessment*, Environment International, **30** (2004) 433-447.
- [33] Central Pacific Hurricane Center - Hurricane Awareness Week
<http://www.prh.noaa.gov/cphc/HAW/observations.php>(last visited on May 2008).
- [34] Central Pacific Hurricane Center - Sattelite Imagery
<http://www.prh.noaa.gov/cphc/pages/csatellite.php>(last visited on May 2008).
- [35] Sheets R. C.: *The National Hurricane Center - Past, Present, and Future*, Monthly Weather Review, **5** (1990) 185–232.
- [36] Naval Research Laboratory - Tropical Cyclone Forecasters' Reference Guide
<http://www.nrlmry.navy.mil/~chu/>(last visited on May 2008).
- [37] Kerry Emanuel - Homepage
<http://wind.mit.edu/~emanuel/home.html>(last visited on May 2008).
- [38] National Hurricane Center Forecast Verification
<http://www.nhc.noaa.gov/verification/>(last visited on May 2008).
- [39] Pollard M.: *100 největších katastrof*, Columbus, Praha, 1998.
- [40] Nott J., Cook J., Hayne M.: *How high was the storm surge from Tropical Cyclone Mahina?*, The Australian Journal of Emergency Management **15** (2000) 10–13.

- [41] NHC - Tropical cyclone report: Hurricane Katrina
http://www.nhc.noaa.gov/pdf/TCR-AL122005_Katrina.pdf(last visited on May 2008).
- [42] NASA Earth Observatory: Tropical Cyclone Gonu
http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/natural_hazards_v2.php3?img_id=14288(last visited on May 2008).
- [43] Bureau of Meteorology - Tropical Cyclone Inigo
<http://ssu1.bom.gov.au/wa/cyf/reports/Inigo/Inigo.htm>(last visited on May 2008).
- [44] Performance of Built Environment in the OCT 1999: Orissa Super Cyclone
<http://www.rmsi.com/PDF/orissasupercyclone.pdf>(last visited on May 2008).
- [45] NOAA - 2006 Tropical Cyclones Central North Pacific
<http://www.prh.noaa.gov/cphc/summaries/2006.php#ioke>(last visited on May 2008).
- [46] NOAA - Preliminary Report: Hurricane Linda
<http://www.nhc.noaa.gov/1997linda.html>(last visited on May 2008).
- [47] NHC - Tropical cyclone report: Hurricane Wilma
http://www.nhc.noaa.gov/pdf/TCR-AL252005_Wilma.pdf(last visited on May 2008).
- [48] Australia Severe Weather - Tropical Cyclone Zoe
<http://australiasevereweather.com/cyclones/2003/zoe.htm>(last visited on May 2008).
- [49] JTWC - Report on Cyclone Gafilo
<https://metocph.nmci.navy.mil/jtwc/atcr/2004atcr/SH/StormSH/SH16.html>(last visited on May 2008).

- [50] Dunnavan G. M., Diercks J.: *An Analysis of Super Typhoon Tip (October 1979)*,
Mon. Wea. Rev. **108** (2001) 1915—1923.