

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ
A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

KORÁLI JAKO INDIKÁTORY
KLIMATICKÝCH ZMĚN
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Bakalant: Kristýna Jankovská

Vedoucí práce: Ing. Jana Soukupová, Ph.D.

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kristýna Jankovská

Územní technická a správní služba

Název práce

Koráli jako indikátory klimatických změn

Název anglicky

Corals as indicators of climate change

Cíle práce

V literární rešerši studentka popíše vývoj korálů a korálových útesů, klimatické katastrofy ve vzdálené minulosti, které vedly k jejich vymírání. Dále se bude věnovat dnešnímu stavu korálových útesů a vlivů, které je ničí. Popíše jak koráli reagují na klima a nastíní budoucnost.

Metodika

Rešeršní část práce se bude věnovat popisu korálů, jejich vývoji. Dále klimatickým katastrofám v minulosti, které vedly k vymírání korálů. Obecně popíše vývoj klimatu v současnosti.

Badatelská část práce bude obsahovat především popis interakcí mezi korálovými útesy a teplotou moře, klimatem obecně a dalšími vlivy. Studentka si obstará nejnovější data mezinárodních společností (NOAA) a pokusí se objasnit vymírání korálů, trendy a budoucnost korálových útesů.

Doporučený rozsah práce

30

Klíčová slova

koráli, korálové útesy, teplota vody, mořské proudy

Doporučené zdroje informací

- Baker, Andrew & Glynn, Peter & Riegl, Bernhard. (2008). Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 80. 435-471. 10.1016/j.ecss.2008.09.003.
- Heron et al. (2017). *Impacts of Climate Change on World Heritage Coral Reefs : A First Global Scientific Assessment*. Paris, UNESCO World Heritage Centre.
- Hoegh-Guldberg, O., Poloczanska, E. S., eds. (2018). *Effects of Climate Change Across Ocean Regions*. Lausanne: Frontiers Media. doi: 10.3389/978-2-88945-502-7.
- Norma Olguin-López, Carolina Gutiérrez-Chávez, Víctor Hugo Hernández-Elizárraga, César Ibarra-Alvarado and Alejandra Rojas- Molina (2017). *Coral Reef Bleaching: An Ecological and Biological Overview, Corals in a Changing World*, Carmenza Duque Beltran and Edisson Tello Camacho, IntechOpen, doi: 10.5772/intechopen.69685.
- Spalding M.D., Ravilious C. and Green E.P. (2001). *World Atlas of Coral Reefs*. Prepared at the UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, USA.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jana Soukupová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 23. 11. 2018

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 11. 2018

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 04. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Jany Soukupové, Ph.D., a že jsem uvedla všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala. Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 23.04.2019

.....

Kristýna Jankovská

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat své vedoucí práce paní Ing. Janě Soukupové, Ph.D., za ochotu, odbornou pomoc a cenné rady při zpracování této bakalářské práce. Poděkování patří také mé rodině za podporu a trpělivost, kterou mi věnovali.

Abstrakt

Korálové útesy jsou často nazývány deštnými pralesy moří právě kvůli své vysoké biologické rozmanitosti. Tato bakalářská práce dává nahlédnout do okrajové problematiky provázanosti globálního oteplování a korálových útesů. Koráli se stali jasným indikátorem toho, že globální oteplování neustále nabývá na intenzitě. Oceány absorbují přibližně 90 % CO₂, v důsledku čehož se mění chemické složení vody a korál se stává náchylným a oslabeným. Korálové útesy jsou celosvětově odbarvovány a zabíjeny zvyšující se teplotou moří. Za posledních 30 let svět přišel o 30 % korálových útesů. V roce 2016 během nejdelší a nejhorší bělicí události přišel Velký bariérový útes o 29 % korálových útesů, Havaj o 25-50 %. Stále zvyšující se četnost a intenzita bělicích událostí bude mít za následek, že koráli nebudou dost silní a zdraví na to, aby se z bělení zotavili a byli schopni se reprodukovat. Při stávajícím trendu globálního oteplování bude v 50. letech 21. století vystaveno 95 % korálových útesů tepelným stresům a potencionálnímu bělení – oceán se stane zcela jiným místem.

Tato práce se zároveň zabývá vývojem klimatu a korálových útesů, od paleozoika až po současnost, rozdělením korálových útesů a vztahem mezi ENSO a korálovými útesy. Práce také popisuje bělicí události jak v minulosti, tak v současnosti.

Klíčová slova: koráli, korálové útesy, teplota vody, mořské proudy

Abstract

Coral reefs are often called marine rainforests because of their high biodiversity. This bachelor thesis gives an insight into the marginal issues of the connection between global warming and coral reefs. The corals have become a clear indicator that global warming is increasing in intensity. The oceans absorb about 90% CO₂, which changes the chemical composition of the water and the coral becomes susceptible and weakened. Coral reefs are bleached and killed worldwide by increasing sea temperatures. Over the past 30 years, the world has lost 30% of coral reefs. In 2016, during the longest and worst bleaching event, the Great Barrier Reef has lost 29% of coral reefs, Hawaii 25-50%. The increasing frequency and intensity of bleaching events causes that corals are not strong enough and healthy enough to recover from the bleaching and being able to reproduce. With the current global warming trend, by 2050, 95% of coral reefs will be exposed to thermal stress and potential bleaching - the ocean will become a completely different place.

This work also deals with the development of climate and coral reefs, from paleozoic to the present, the division of coral reefs and the relationship between ENSO and coral reefs.

Key words: corals, coral reefs, sea surface temperature, sea currents

Obsah

Přehled použitých zkratek	10
Seznam pojmů.....	11
1 Úvod.....	14
2 Cíl práce	15
3 Koráli.....	16
3.1 Druhy korálů.....	17
3.2 Druhy korálových útesů	18
4 Vývoj klimatu a současný stav	19
4.1 Určování klimatu v minulosti.....	19
4.2 Klima v období starohor.....	20
4.3 Klima v období prvohor	20
4.4 Klima v období druhohor	20
4.5 Klima v období třetihor a čtvrtohor.....	20
4.6 Klima posledních tisíciletí a století	21
4.7 Klima posledních sto let.....	22
4.8 Současný stav klimatu	22
5 Vývoj korálů a korálových útesů.....	25
5.1 Paleozoikum – prvohory	25
5.2 Mesozoikum – druhohory	26
5.3 Kenozoikum – třetihory a čtvrtohory	26
6 Globální oteplování	27
6.1 Obecně o globálním oteplování.....	27
6.2 Skleníkový efekt.....	27
6.3 Skleníkové plyny	28
6.3.1 Oxid uhličitý CO ₂	29
6.3.2 Metan CH ₄	31

6.3.3	Oxid dusný – NO ₂	32
6.3.4	Vodní pára – H ₂ O.....	33
6.4	Koráli a korálové útesy jako součást stabilizačních cyklů Země	33
7	ENSO – El Niño a La Niña	34
7.1	El Niño	34
7.2	La Niña	35
7.3	ENSO a korálové útesy	36
8	Globální oteplování a korálové útesy	37
8.1	Bělení korálů a korálových útesů	37
8.2	Události masivního bělení korálů.....	40
8.2.1	Bělení v letech 1982-1983	40
8.2.2	Bělení v letech 1997-1998	41
8.2.3	Bělení v letech 2014-2017	45
8.3	Současnost a budoucnost korálových útesů	47
9	Diskuze.....	49
10	Závěr.....	52
11	Přehled literatury a použitých zdrojů	53
	Seznam obrázků	58
	Seznam grafů.....	61
	Seznam příloh.....	62
	Přílohy	63

Přehled použitých zkratk

CFC	Chlor-fluorované uhlovodíky
CoRis	Coral Reef Information System
CRCP	Coral Reef Conservation Program
DHW	Degree Heating Weeks
ENSO	El Niño Southern Oscillation
GOBE	Global Ordovician Biodiversification
HFC	Fluorované uhlovodíky
CHAMP	Coral Health and Monitoring Program
ICLARM	The International Center for Living Aquatic Resources Management
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ONI	Oceanic Niño Index
OSN	Organizace spojených národů
PETM	Paleocene–Eocene Thermal Maximum
PFC	Perfluorouhlovodíky
SST	Sea Surface Temperature
USCRTF	The United States Coral Reef Task Force
WTO	World Trade Organization

Seznam pojmů

Acidifikace	Proces, při kterém dochází k okyselení půdního nebo vodního prostředí, kvůli zvýšené koncentraci vodíkových iontů, které se do prostředí dostaly atmosférickou depozicí (např. kyselé deště) zejména plyných emisí.
Bělení korálu	Odbarvování korálu je vizuální efekt stresu, který byl vyvolán rozpadem symbiózy korálu a řasy zooxantely.
Biologická rozmanitost	Rozmanitost všech forem života. Rozlišují se tři úrovně: diverzita v rámci druhů, diverzita mezi druhy a diverzita ekosystémů.
DHW	Ukazuje kolik bylo zpozorováno vyvinutého stresu v dané lokalitě za posledních 12 týdnů. Zároveň se stanovují a předpovídají místa, na kterých by mohlo dojít k nárůstu SST a následnému bělení.
Ekosystém	Funkční soustava živých a neživých složek životního prostředí, jež jsou vzájemně spojeny výměnou látek, tokem energie a předáváním informací. Navzájem se ovlivňují a vyvíjejí v určitém prostoru a čase.
El Niño index	Index, který charakterizuje intenzitu jevu El Niño.
Emise	Uvolňování škodlivin do ovzduší.
ENSO	Jižní oscilace, dokáže měnit globální atmosférický oběh, který ovlivňuje teplotu a srážky po celém světě. El Niño a La Niña jsou teplou a chladnou opakující se fází v tropickém Pacifiku. Každá fáze spouští předvídatelné narušení teplot, srážek a větrů. Vyvolané změny narušují rozsáhlé pohyby vzduchu v tropických oblastech, což způsobuje velké množství vedlejších globálních účinků.
Fluorescence	Poslední ochranná fáze korálu před bělením.

Fosilní paliva	Nerostná surovina, která vznikla v dávných dobách přeměnou odumřelých rostlin a těl za nepřístupu vzduchu. Patří sem především ropa, zemní plyn a uhlí.
Fotosyntéza	Biochemický proces, při kterém se mění přijatá energie světelného záření na energii chemických vazeb.
Globální oteplování	Dlouhodobý nárůst průměrné teploty klimatického systému Země zvýšením koncentrací skleníkových plynů v atmosféře.
GOBE	Období v Ordoviku, při kterém docházelo k velkému nárůstu biodiverzity.
Hermatypičtí koráli	Koráli, tvořící korálové útesy. Jejich polypy produkují uhličitán vápenatý, který tvoří podloží korálového útesu.
HotSpots	Místa nejvíce ohrožena bělením.
Kalcifikace	Ukládání vápníku (v podobě vápenatých solí – fosforečnanů nebo uhličitánů) ve tkáních, které normálně nejsou zvápnělé.
Korálnatci	Mořští žahavci ve stádiu polypa.
Osmičetní koráli	Koráli, kteří mají osm přepážek a osm chapadel.
Pasáty	Typ větru vznikající ve skupinách v oblasti kolem zemského rovníku. Vanou z oblastí vysokého tlaku subtropické šířky do oblastí nízkého tlaku nad rovníkem.
PETM	Doba paleocénu a eocénu, při které došlo k extrémnímu globálnímu oteplení.
Polyp	Drobné organismy, které jsou jednou životní fází žahavců. Tělo mají válcovité, prodloužené podél osy těla. Přední část tvoří ústní otvor s chapadly.
Preindustriální období	Období, před zavedením průmyslové výroby.
Salinita	Podíl minerálních látek (solí) ve vodě.

Skeleton	Kostra, která slouží jako opěrná soustava v těle živých organismů.
Skleníkové plyny	Sloučeniny vyznačující se silnou absorpcí dlouhovlnného infračerveného záření. Vyskytují se v různých sférách atmosféry. Jsou nezbytné pro zachování života na Zemi.
Skleníkový efekt	Proces, při kterém dochází k ohřívání planety. Sluneční záření proniká zemskou atmosférou a dopadá na zemský povrch, který je tímto jevem oteplován. Tato energie je zpětně vysílána tepelným zářením, kde jeho část je absorbována molekulami skleníkových plynů a následuje oteplení zemské atmosféry.
SST	Povrchová teplota moře.
Stabilizační cykly Země	Cykly stabilizující teplotu na Zemi (desková tektonika, uhlíkový cyklus, křemičitano – uhličitanový cyklus).
Šestičetní koráli	Koráli, kteří mají počet chapadel a přepážek v násobku šesti.
Teplotní anomálie	Odchylka od normálního stavu teploty vody.
Zooxantela	Jednobuněčná fotosyntetizující řasa z řádu obrněnek. Koráli mají zooxantely v trávících buňkách, poskytují jim ochranu a zooxantely poskytují korálům potravu.
Žahavci	Vodní, převážně mořští bezobratlí živočichové.

1 Úvod

Globální oteplování je v současné době velmi diskutované téma. Změna klimatu už není vzdáleným problémem – děje se teď a přímo před našima očima.

Oteplování má mnoho negativních dopadů; pokud budou současné trendy globálního oteplování pokračovat a svět nebude schopen snižovat emise skleníkových plynů, bude v průběhu století čelit 99 % světových útesů tepelným stresům a pravděpodobnému odbarvení. Zotavení korálů z bělení trvá minimálně 5 let, neustále zvyšující se intenzita a perioda bělicích událostí může zapříčinit, že korál ani nebude schopen se z bělení zotavit. Hrozbu pro ně představuje masivní rybolov, cestovní ruch a obzvláště změna klimatu. Neztrácíme jen korálové útesy, bělení způsobuje zásadní změny v ekosystému. Pokud zmizí koráli, zmizí malé ryby, zmizí velké ryby. Poskytují stovky miliónům lidí zdroj potravy, příjmů a pobřežní ochrany. Vědci to označují jako začátek ekologického kolapsu, nejedná se jen o ohrožení druhu, rodu, čeledi nebo řádu. Hovoří se o možnosti, že vyhyne celá třída organismů.

Teploty oceánu procházejí normálními cykly, odchylky se pohybují okolo průměrné teploty. Nyní se však průměr výrazně změnil a teplota se neustále zvyšuje. Většinu tepla ze skleníkových plynů absorbují oceány (93 %). CO₂ má schopnost zadržovat teplo; čím více je ho tedy v atmosféře, tím více tepla zem zadržuje. Pokud by oceány teplo neabsorbovaly, průměrná teplota na Zemi by byla 50 °C.

„Nejde o to, jestli dochází ke změně. Jde o to, zda to bude zlé, nebo hodně zlé.“

– Prof. Ove Hoegh-Guldenberg

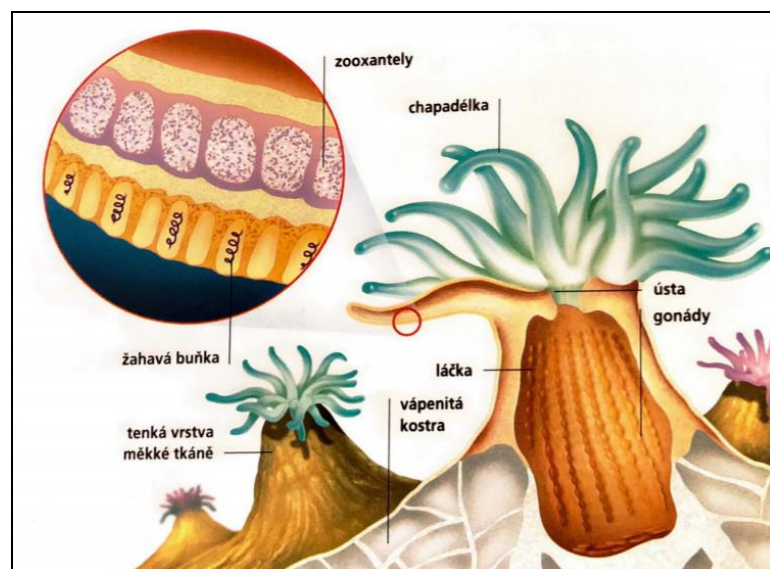
2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je popsat, jak koráli reagují na změnu klimatu a jejich interakce s teplotou moře a dalšími vlivy, které je ohrožují. Dále nastínit jaká je jejich budoucnost při současném trendu globálního oteplování. Popsat průběh historického vývoje korálů a korálových útesů a klimatické katastrofy ve vzdálené minulosti, jež vedly k jejich vymírání.

3 Koráli

Korálové útesy jsou nejvíce různorodé a komplexní ze všech ekosystémů. Najdeme je ve všech oceánech světa, tvoří je převážně zástupci třídy korálnatců (*Anthozoa*), jež patří mezi žahavce (*Cnidaria*) a tvoří obrovské kolonie. Často se vyskytují v symbióze s jinými organismy (Spalding et al., 2001). Mají stovky tisíc druhů, z nichž mnohé ještě zcela nejsou vědecky popsány. Koráli jsou proslulí svou krásou, biologickou rozmanitostí a vysokou produktivitou. Hrají zásadní roli při utváření oceánských ekosystémů právě kvůli vysoké produktivitě (Allen, 1994).

Žahavci procházejí dvěma životními stádii – stádiem nepohyblivého polypa a pohyblivé medúzy. Korálnatci mají stádium polypa a dělí se na dvě skupiny – osmičetní koráli a šestičetní koráli. Osmičetní koráli (*Octocorallia*) mají osm přepážek a osm chapadel. Patří mezi ně například korál červený (*Corallium rubrum*). Šestičetní koráli (*Hexacorallia*) mají počet přepážek a chapadel v násobku šesti. Do šestičetných řadíme sasanky (*Actiniaria*) a větevníky (*Madreporaria*). Koráli jsou drobnými jednotlivci, které nazýváme polypy. Polypy jsou uvnitř propojeny živými tkáněmi a mohou sdílet svou potravu (Allen, 1994). Typicky mají válcové tělo zakončené prstencovým chapadlem, které používají na zachycení potravy z okolní vody (obrázek č. 1). Tělo je vyztuženo uhličitánem vápenatým (CaCO_3). Rozmnožují se především nepohlavně – pučením, většinou jsou hermafroditi. Nově vzniklí jednotlivci se neoddělují, vznikají kolonie (Spalding et al., 2001).



Obrázek 1: Stavba korálu (Fabien, 2006).

Korálové útesy se vyskytují pouze v místech, kam dosáhne sluneční záření (40 m), a v místech, kde je čistá voda. Ovšem existují i hlubokomořští koráli, kteří se vyskytují v hloubkách v řádu stovek až tisíc metrů pod mořskou hladinou, kde je minimum světla a teplota okolo 4 °C. Důležitým faktorem pro tvorbu korálových útesů je teplota vody, která nesmí klesnout pod 22 °C. Někteří koráli jsou velmi odolní – dokážou odolat nárazům příboje, jiní natolik křehcí, že se zlomí ihned a mohou žít jen v tišinách. Některé druhy korálů jsou schopné růst rychleji než ostatní a tvoří domov jedné třetině mořských ryb. I po tom, co polypy na korálu uhynou, skelet korálu se zachová dlouhou dobu a v řádech milionů let potom vytvářejí podloží korálového útesu, na kterém vyrůstají noví a noví koráli (Kadrnožka, 2008).

Mezi korály, kteří vytvářejí korálové útesy, patří mnoho druhů. Tito koráli jsou známí jako hermatypičtí koráli. Podloží korálového útesu je tvořeno uhličitánem vápenatým (Spalding et al., 2001), uhličitán vápenatý produkují polypy hermatypických korálů, proto jsou též známí jako stavební koráli (Miththapala, 2008).

Hermatypičtí koráli jsou omezení na určité teploty vody, proto je můžeme najít v oblastech s teplou a mělkou vodou. I v ideálních podmínkách jsou hermatypičtí koráli pomalu rostoucí, vybudují pouze několik milimetrů ročně. U velmi rychle rostoucích korálů to může být až 150 milimetrů za rok (Spalding et al., 2001).

Největším korálovým útesem je Velký bariérový útes v Austrálii s délkou přibližně 2 030 km a plochou 250 000 km². Byl dokonce prohlášen za národní park, ale bohužel ani toto nařízení není dost účinné pro jeho ochranu. Směrnice mohou ovlivnit pouze turistiku a rybolov, ale bohužel nedokážou ovlivnit globální oteplování, které pro korálové útesy představuje největší hrozbu. Druhou největší korálovou bariéru nalezneme v západní části Karibského moře, v blízkosti Belize – od mexického státu Quintana Roo na poloostrovy Yucatanu až po Honduras (Kadrnožka, 2008).

3.1 Druhy korálů

Korály dělíme na tvrdé a měkké korály. Tvrdí koráli patří mezi hlavní stavitele útesů. Potravu získávají z jednobuněčných organismů nazývaných zooxantely (*Zooxanthellae*), které mají v trávicích buňkách. Zooxantely využívají sluneční záření pro fotosyntézu a 95 % potravy, které vyprodukují, přenášejí na korálové polypy (Allen, 1994). Zooxantely patří do obrněnek (*Dinoflagellata*), mají kulovitý tvar, jenž jim velmi dobře umožňuje žít uvnitř těla korálů a ostatních mořských živočichů. Korál

poskytuje zooxantele ochranu a sloučeniny, které potřebuje k fotosyntéze. Tím se podílejí i na budování korálového útesu, jelikož z hydrouhličitanů odebírají potřebný oxid uhličitý pro fotosyntézu, napomáhají srážení uhličitanu vápenatého (Thurman & Trujillo, 2005).

Hermatypičtí koráli se vyskytují do hloubky menší než 60 m a ve vodách, které mají teplotní rozsah 23 °C až 30 °C. Při vyšších teplotách – nad 33 °C – jsou koráli vystaveni stresu a vypuzují symbiotické řasy zooxantely. Preferují nižší slanost a nízký rozsah zákalu vody, proto potřebují:

- Určitý rozsah teploty vody (23-30 °C)
- Sluneční světlo
- Čistou vodu s nízkým zákalem
- Úzký rozsah slanosti (Allen, 1994)

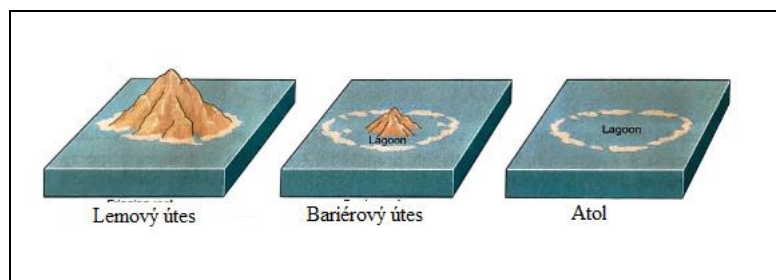
Měkkí koráli postrádají kostru z uhličitanu vápenatého. Nevylučují uhličitan vápenatý, proto mají jen zpevněný skelet s ostnatou nebo zrnitou texturou, která korál chrání. Jejich těla jsou tvořena měkkými částicemi vápníku, které jim poskytují podporu (Miththapala, 2008).

3.2 Druhy korálových útesů

Jak koráli rostou a umírají, zanechávají za sebou své skelety z uhličitanu vápenatého, který později zkamení dohromady a vytvoří korálový útes, na nichž začínají růst noví koráli. Korálové útesy rostou přes několik milionů let (Miththapala, 2008). Někteří vědci (Hutchinson & Lawrence, 2007) odhadují stáří korálových útesů na více než 450 milionů let.

Korálové útesy rozdělujeme na tři druhy – bariérové útesy (bradlové), lemové útesy a atoly (obrázek č. 2). Bariérový útes je od pevniny dělen lagunou nebo průlivem a vyskytuje se na obvodu ostrovů nebo paralelně s pobřežím (Fabien, 2006). Koráli na bariérových útesech rostou na místech, kde rostli koráli ve stejné oblasti, když byla hladina moře nižší. Nejznámějším bariérovým útesem je Velký bariérový útes v Austrálii, který se rozpíná přibližně 2 010 km paralelně s východním pobřežím Austrálie (Miththapala, 2008). Lemový útes nemá hlubokou lagunu a kopíruje pobřeží ostrova či velké části pevniny. Od pobřeží jsou odděleny jen nepatrně nebo

vůbec. Atoly jsou prstence korálových útesů, které uzavírají lagunu. Většina atolů se nachází ve značné vzdálenosti od pevniny (Fabien, 2006).



Obrázek 2: Typy korálových útesů (Pinet, 2016).

Každý typ korálového útesu představuje etapu morfologického vývoje útesu. Nejprve bylo pobřeží ostrova osídleno korálnatci, kteří rostly kolem obvodů. Když se země snížila nebo se zvýšila hladina moře, lemový útes rostl vzhůru, oddělil se od země a následně vytvořil lagunu. Poté když se voda stále prohlubovala, ostrovní hřeben zmizel pod mořskou hladinu a stal se atolem, který obklopoval lagunu (Pinet, 2016).

4 Vývoj klimatu a současný stav

4.1 Určování klimatu v minulosti

Pro určování klimatu je důležité dlouhodobé měření teplot a vlhkosti na odlišných místech naší planety. Z minulého století tyto údaje známe z měření na pevninských stanicích nebo z měření na lodích. Významnou součástí v určování vývoje klimatu na Zemi jsou letokruhy v kmenech stromů. Dle počtu letokruhů v kmeni můžeme odhadnout stáří stromů, zároveň dle šířky daného letokruhu můžeme určit, zda se v případě širokého letokruhu jednalo o příznivý rok pro růst stromu, nebo v případě tenkého letokruhu o nepříznivé podmínky pro růst (Kadrnožka, 2008).

Dalším zdrojem určování klimatu jsou koráli, kteří rostou staletí, jádro korálu je z uhličitanu vápenatého a právě jeho hustota kolísá dle klimatických podmínek a stejně jako letokruhy o stromech poskytuje i korál informace o teplotě a srážkách. Stejně tak nám tyto důležité informace poskytují i krápníky v jeskyních, písečné duny a usazeniny v jezerech a mořích (Kadrnožka, 2008). Dalším významným pramenem jsou dle Houghtona (2015) vrtná jádra z ledovců z oblasti Grónska a Antarktidy. Uvnitř ledu jsou vytvořeny malé vzduchové kapsle, které jsou následně analyzovány a analýza ukáže přítomné prvky v atmosféře té doby.

4.2 Klima v období starohor

Není mnoho geologických nálezů, které by nastínily klima na Zemi v počátku starohor, což bylo zhruba před 2,5 miliardy až 500 miliony let. Na základě ledovcových usazenin, které byly nalezeny v Evropě, Severní Americe, Indii a Africe z doby před 2,3 miliardy let, vyplývá, že v době starohor panovalo celosvětové zalednění. Další prameny odkazující na celosvětové zalednění byly nalezeny celosvětově a pocházejí z doby před 850 až 600 miliony let, čili ke konci období starohor. Přestože byly světadíly v té době uspořádány jinak, než jsou dnes, pravděpodobně byla planeta chladná i v oblasti rovníku. Období mezi těmito celosvětovými zaledněními bylo nejspíše teplé (Kadrnožka, 2008).

4.3 Klima v období prvohor

V první polovině prvohor se zvyšovala hladina moří a oceánů, což svědčí o zvyšování teploty. Také to bylo období velkého rozšíření druhů – kambrická exploze. Typickým živočichem tohoto období byly trilobity a houby. Ke konci kambria bohužel došlo k výraznému vymírání trilobitů v důsledku klimatické změny – ochlazení. Počátkem druhé poloviny prvohor na Zemi začaly růst lesy, vyskytoval se zde hmyz, v jezerech bylo mnoho ryb, obojživelníků a rozšiřovali se i plazi. Poměrně vysoká koncentrace oxidu uhličitého měla za následek skleníkový efekt, který následovala vysoká teplota a intenzivní srážky. Díky tomu v tomto období bujela rostlinná biomota, vznikaly močály plné živé i odumřelé biomasy a to bylo základem pro vznik fosilních paliv – uhlí. Ke konci prvohor nastala poslední doba ledová (Kadrnožka, 2008).

4.4 Klima v období druhohor

V době druhohor panovalo na Zemi velmi teplé klima a došlo pouze k jednomu glaciálnímu období, přibližně před 80 miliony lety. V důsledku tohoto ochlazení došlo k velkému vymírání rostlin a živočichů (Kadrnožka, 2008).

4.5 Klima v období třetihor a čtvrtohor

V třetihorách na Zemi panovalo nejteplejší období za posledních 70 až 80 miliónů let, ale v porovnání s druhohorami docházelo k postupnému ochlazení. V době třetihor se velmi rozšířily jehličnaté a listnaté lesy, které byly základem pro největší tvorbu uhlí v historii Země. Rozšíření těchto lesů mělo za následek snížení

koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší a tím se zmenšoval i skleníkový efekt. Bylo to období, kdy se studené vody dostávaly až do Indického, Tichého a Atlantského oceánu, tam se mísily s tropickými vodami a teplé proudy přinášely na jih teplou vodu, což udržovalo polární oblast bez zalednění. Zalednění Antarktidy proběhlo, až když se oddělila Austrálie a později i Jižní Amerika od Antarktidy a chladné vody začaly proudit kolem Antarktidy (Kadrnožka, 2008).

Pomocí takzvaného kyslíkového datování bylo zjištěno, že docházelo k poklesu průměrné globální teploty i snižování vlhkosti a zvětšování teplotních rozdílů během ročních období. Další pokles teplot nastal před 3 až 4 miliony let, na konci třetihor. Příčinou byly změny v oceánském proudění. Uzavřela se úžina mezi Severní a Jižní Amerikou a vznikla Panamská šíje, která zabraňovala oceánským vodám z Atlantiku, aby se přelévaly do Tichého oceánu. Zároveň zesílil Golský proud, který přemísťoval teplé vody podél východního pobřeží Severní Ameriky směrem na sever (Kadrnožka, 2008).

4.6 Klima posledních tisíciletí a století

Přechod z posledního zalednění do dnešního postglaciálního období byl před 20 až 10 tisíci lety, kdy v jeho průběhu došlo k oteplení přibližně o 5 °C, průměrnou rychlostí 0,05 °C za 100 let. K prudkému ochlazování došlo před 12 700 lety, když se vlivem oteplování protrhla ledová hráz, která zadržovala velké jezero vzniklé táním ledovců. Toto období nízkých teplot trvalo přibližně tisíc let, v té době vládly v Evropě podmínky doby ledové. Další ochlazení bylo před 8 200 lety, způsobené opět protrhnutím ledové hráze v Grónsku, kde se teplota snížila o 5 °C. Klimatickým změnám v této době musel čelit moderní člověk – *Homo sapiens sapiens*. Poté docházelo k postupnému oteplování a přibližovalo se dlouhé léto, které trvalo 8 tisíc let. Díky tomu krajina dozrávala až do té fáze, kdy byla vhodná pro zemědělství – proto se toto období označuje jako klimatické optimum (Kadrnožka, 2008).

Velké teplotní a klimatické změny proběhly na konci prvního i v průběhu druhého tisíciletí nového letopočtu. Klimatické maximum neboli jinak nazývané teplé období trvalo od začátku desátého do poloviny jedenáctého století. Další teplé období bylo na počátku vlády Karla IV., v té době se u nás rozmohlo pěstování vinné révy. Po skončení vyšších teplot se postupně ochlazovalo od počátku čtrnáctého století. Proto v následujících obdobích došlo k lokálním teplotním minimům. Velmi nízká

sluneční aktivita se začala projevovat v devatenáctém století a tento pokles teplot je nazýván jako malá doba ledová. Období malé doby ledové skončilo před rokem 1890 (Kadrnožka, 2008).

4.7 Klima posledních sto let

Počátky osmdesátých a devadesátých let byly neobvykle teplé, z globálního hlediska to bylo nejteplejší dekáda od počátku datování první klimatologie. Toto období bylo také charakteristické četností a intenzitou extrémního počasí a podnebí. V roce 1860 došlo k nárůstu teplot o 0,3 až 0,6 °C, růst teplot nebyl stejnoměrný, ale střídaly se doby oteplování a ochlazování (Houghton, 1995).

Zejména na území Evropy panovaly silné vichřice, například v Londýně a v jihovýchodní Anglii roku 1987 bylo vyvráceno vichřicí přes 15 milionů stromů. V oblasti tropických oceánů se vyskytovaly mnohem intenzivnější jevy, silné hurikány a tajfuny. Velmi ničivý byl hurikán Gilbert, ten v roce 1988 zasáhl Jamajku a mexické pobřeží. Dalším velmi silným hurikánem byl hurikán Andrew, který způsobil značnou řadu škod na Floridě v roce 1992. Mezi ty nejničivější katastrofy řadíme záplavy, které v roce 1970 zasáhly Bangladěš – utonulo přes 250 000 lidí a bylo zasaženo 80 % celé země. Podobný scénář měly záplavy v Číně roku 1991 (Houghton, 1995).

4.8 Současný stav klimatu

Naše klima se mění a je to patrně napříč celým světem. Důkazy o změnách zemského klimatu lze nalézt od vrcholu atmosféry až po hlubiny oceánů. Teploty na zemském povrchu, troposféře a oceánech se v posledních desetiletích zvýšily. Největší nárůst teplot můžeme zaznamenat v blízkosti pólů. Ledovce v Grónsku a na Antarktidě tají a ztrácejí hmotnost, což přispívá ke globálnímu vzestupu hladiny moře. Změny můžeme pozorovat i v délce vegetačního období. Celosvětově pozorované změny jsou doprovázeny zvyšujícím se počtem extrémních teplot, srážek a extrémních přírodních katastrof. V minulosti byla změna klimatu poháněna především přírodními faktory. Přetrvává to dodnes, ale rozdíl je v tom, že od počátku průmyslové revoluce lidstvo stále více ovlivňuje globální klima. Všechny důkazy svědčí o jednom: planeta se otepluje a oteplování je poháněno především lidskou činností – produkováním skleníkových plynů (Melillo et al., 2014). Nejčastější ukazatele oteplování planety jsou zobrazeny na obrázku č. 3.



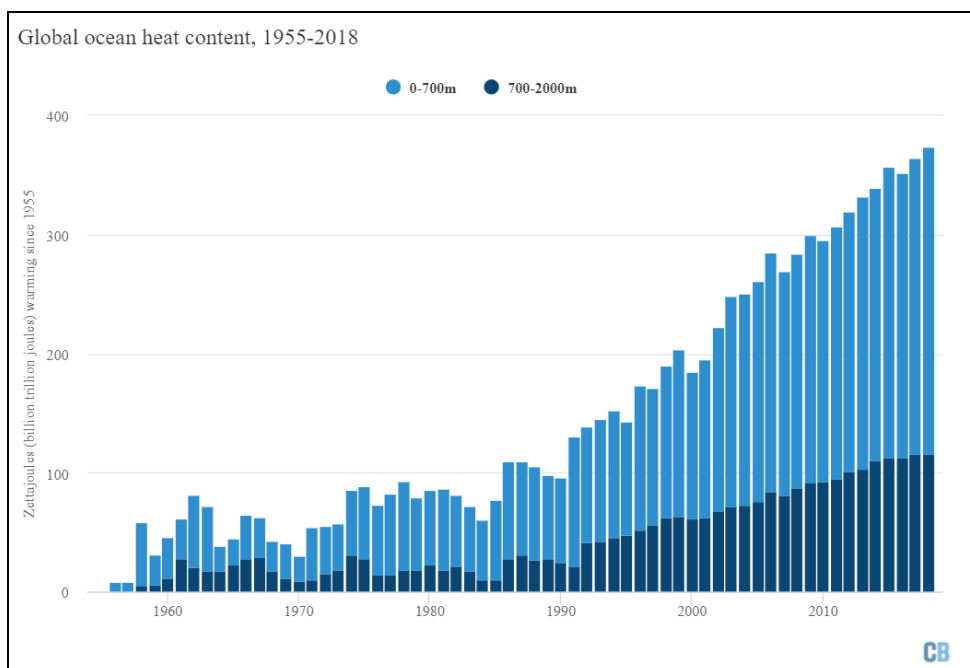
Obrázek 3: Nejčastější ukazatele oteplování planety
<https://nca2014.globalchange.gov/highlights/overview/overview>.

Průměrná globální roční teplota vzrostla v období 1986-2016 o více než 0,7 °C. Nejteplejší byl rok 2016, jeho globální průměrná teplota předčila rok 2015 o 0,16 °C. K rekordnímu teplu v roce 2015 přispěl silný El Niño, to samé se stalo v roce 1998, kde došlo ještě k silnějšímu El Niňu, ale globální teplota byla výrazně nižší (o 0,27 °C) (Wuebbles et al., 2017). Průměrný růst roční globální teploty v roce 2016 byl o 0,94 °C. Toto navýšení v roce 2016 bylo značně ovlivněno silným El Niněm. (NOAA, 2017). Tato skutečnost naznačuje, že oteplování vyvolané člověkem má silnější vliv na výskyt rekordních teplot než jev El Niño (Wuebbles et al., 2017). V roce 2017 se zvýšila průměrná globální teplota o 0,84 °C, což z něj činí třetí nejteplejší rok od roku 1880. Teplotní anomálie v roce 2018 se nepatrně snížila na 0,79 °C. Na obrázku č. 4 můžeme vidět deset nejteplejších let od roku 1880 doposud a jejich teplotní anomálie. Jak bylo již výše zmíněno, nejteplejší byl rok 2016, následoval rok 2015 a jako třetí nejteplejší je považován rok 2017 (NOAA, 2019).

RANK 1 = WARMEST PERIOD OF RECORD: 1880–2018	YEAR	ANOMALY °C
1	2016	0.95
2	2015	0.91
3	2017	0.85
4	2018	0.79
5	2014	0.75
6	2010	0.70
7	2013	0.67
8	2005	0.66
9	2009	0.64
9	1998	0.64

Obrázek 4: Přehled deseti nejteplejších let od roku 1880 až do roku 2018
(<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201813>).

Rok 2018 byl nejteplejší rok v rekordním obsahu oceánského tepla, který se od roku 2017 výrazně zvýšil, o 9 zeta joulů (9 triliard joulů). Taková hodnota je přibližně 18krát vyšší, než je celková spotřeba energie na Zemi (Hausfather, 2019). Na obrázku č. 5 je znázorněn roční globální obsah oceánského tepla pro 0-700 metrů a pro 700-2000 metrů mezi lety 1955-2018.



Obrázek 5: Vývoj globálního oceánského tepla v zetajoulech od roku 1955 do roku 2018
(<https://www.carbonbrief.org/state-of-the-climate-how-world-warmed-2018>).

Měření globálního oceánského tepla v řadě ohledů představuje mnohem lepší měřítko pro detekci změn klimatu než globální průměrné teploty povrchu. Je to způsobeno i tím, že většina tepla pohlcují právě oceány (Hausfather, 2019).

Koncentrace skleníkových plynů dosáhly rekordních hodnot, mořský led byl po většinu roku výrazně pod dlouhodobým průměrem na obou pólech. Letní minimum arktického ledu bylo šesté nejnižší od počátku záznamů v pozdních sedmdesátých letech (Hausfather, 2019). Dle zprávy IPCC (2018) je odhadováno, že lidská činnost způsobila globální oteplení o 1 °C nad preindustriální úroveň. Pokud se bude globální oteplování nadále zvyšovat v současné míře, dosáhne mezi lety 2030 až 2052 1,5 °C.

5 Vývoj korálů a korálových útesů

Koráli jsou staří přibližně 500 miliónů let, pocházejí z pozdní doby kambrické v období paleozoika. Vývojové doby korálů máme tři – paleozoikum, mesozoikum a kenozoikum. Začali jako jednoduché organismy, jež se v reakci na změny ve svém prostředí později vyvinuly do korálových útesů, které známe dnes (Global Reef Project, 2010).

5.1 Paleozoikum – prvohory

Období paleozoika, jinak známé jako prvohory, je charakteristické, že v první periodě – kambriu – se hladina moří a oceánů zvyšovala a následně se zvyšovala i teplota v celosvětovém měřítku (Kadrnožka, 2008).

Zástupci kambrických žahavců se prvně objevili v nejstarším stupni kambria tommotu (zhruba před 530-520 miliony let). Z počátku se vyskytovali osamoceně, později však v koloniích. Ke konci botomu většina korálnatců vymřela ve spojitosti s redukcí archeocytového útesového prostředí. V druhé polovině kambria se pravděpodobně vyskytoval pouze jeden rod korálnatců (Scrutton, 1997).

Také je to období, kdy došlo k velkému nárůstu biodiverzity, kterou nazývají GOBE – Global Ordovician Biodiversification Event (Servais et al., 2009). Dle dalších odborníků (Kadrnožka, 2008) se toto období může nazývat také kambrická exploze. V pozdějším ordoviku se hladina i teplota oceánů začala snižovat. Právě toto snižování teplot a hladin oceánů mělo za následek masivní vymírání mořského života

včetně korálů. Trvalo to téměř 100 milionů let, než se koráli začali znovu utvářet na konci permu (Servais et al., 2009).

5.2 Mesozoikum – druhohory

Vývoj korálů v tomto období byl značně ovlivněn rozpadem superkontinentu Pangea a rozložením nově vznikajících kontinentů. Doba mesozoika neboli druhohory je období, kdy panovalo převážně teplé klima (Kadrnožka, 2008). Konec paleozoika a raný začátek mesozoika je období masivního vulkanismu a dopadů meteoritů, které mělo za následek snižování kyslíku a zvýšení oxidu uhličitého v oceánech, což vedlo opět k úhynu 96 % mořských druhů (Kiesling & Flügel, 2002). Jak uvádí další z vědců Kadrnožka (2008), k velkému vymírání druhů může dojít jen za předpokladu kombinace více faktorů – v tomto případě to bylo dlouhodobé působení ochlazení.

V pozdější době triasu, zhruba před 230 lety, se koráli začali opět vyvíjet. V období mesozoika se měnila cirkulace oceánů, superkontinent Pangaea se rozpadal a v důsledku toho se koráli objevovali a mizeli. Další událost, která měla za následek masivní vymírání mořského života, nastala ke konci mesozoika zhruba před 65 miliony lety. Jednalo se o dopad meteoritů v Mexickém zálivu. Během krátké doby (1-10 let) došlo k radikálnímu snížení slunečního záření, což mělo za následek zničení velkého množství organismů včetně korálů (Global Reef Project, 2010).

5.3 Kenozoikum – třetihory a čtvrtohory

Začátek doby kenozoika – paleocénu – asi před 55 miliony lety byl poslední ze všech událostí, které vedly k vymírání organismů, a nazývá se palaeocene/eocene Thermal Maximum (PETM). Byla to doba extrémního globálního oteplování (přes 6 °C), které mělo za následek zvyšování atmosférického oxidu uhličitého v atmosféře a uvolňování plynných hydrátů, které bylo způsobeno zahříváním Země. Jelikož to jsou silné skleníkové plyny, urychlovaly globální oteplování a korálové útesy opět vymíraly a většina vymizela. Poté, přibližně před 20 miliony lety, byl utvořen Velký bariérový útes v Austrálii (Global Reef Project, 2010).

6 Globální oteplování

6.1 Obecně o globálním oteplování

Globální oteplování neboli oteplování planety je v dnešní době hodně diskutované téma. Znamená to ve zkratce zvyšování průměrné teploty zemské atmosféry a oceánů. Způsobeno je především zvýšeným obsahem skleníkových plynů (CO_2 , N_2O) v atmosféře – to podporuje odlesňování a spalování fosilních paliv (Lomborg, 2008).

Značným problémem je ten fakt, že člověk množstvím skleníkových plynů v atmosféře značně zvýšil, zejména oxid uhličitý – CO_2 . Přibližně 80 % pochází ze spalování ropy, uhlí a zemního plynu, zbylých 20 % je důsledkem odlesňování a využívání půdy, hlavně v tropických oblastech. Okolo 55 % CO_2 absorbují oceány a rostliny, které oxid uhličitý využívají jako hnojivo, zbytek ale zůstává v atmosféře (Lomborg, 2008).

Většina množství oxidu uhličitého zůstane v ovzduší 100 let nebo i déle. Oxid uhličitý dokáže dobře pohlcovat teplo vycházející z povrchu zemského, dle Houghtona (2015) oxid uhličitý při zvýšeném výskytu působí jako příkrývka a udržuje zemský povrch teplejší. Se zvyšující teplotou v atmosféře se zvyšuje i množství vodní páry a způsobuje další oteplování. Pokud nedojde k omezení emisí oxidu uhličitého, hrozí, že bude průměrná teplota stoupat o čtvrtinu stupně Celsia každých deset let. Rozvojový svět je zodpovědný za přibližně 40 % emisí uhlíků ročně; odhaduje se, že do konce století to bude 75 % (Lomborg, 2008).

6.2 Skleníkový efekt

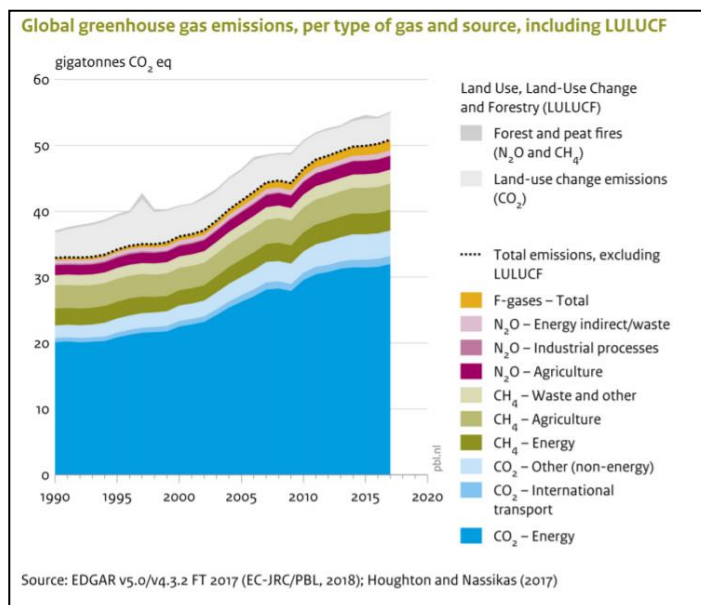
Dle Lomborga (2008) je skleníkový efekt největším problémem, zároveň ovšem tvrdí, že základní skleníkový efekt je pozitivní jev, protože kdyby atmosféra neobsahovala skleníkové plyny, na Zemi by byla teplota o 33 °C nižší, než ji známe, a život by asi nemohl existovat. Ovšem zvyšováním koncentrace skleníkových plynů v důsledku působení lidstva se skleníkový efekt zvyšuje a představuje největší hrozbu oteplování Země (Soukupová, 2013). Pojem skleníkový efekt byl prvně zpozorován v roce 1896 švédským chemikem Svantem Arrheniusem a americkým geologem Thomasem Chamberlainem (Pickering & Owen, 1997).

Skleníkový efekt je mechanismem globálního oteplování. Sluneční záření proniká zemskou atmosférou a dopadá na zemský povrch, který je tímto jevem oteplován. Tato energie je zpětně vysílána tepelným zářením, kdy jeho část je absorbována molekulami skleníkových plynů a následuje oteplení zemské atmosféry (Houghton, 2015).

6.3 Skleníkové plyny

Skleníkové plyny se skládají ze tří nebo více atomů. Tato molekulární struktura umožňuje, aby plyny zachytily teplo v atmosféře a přenesly je na povrch Země, což následně Zemi ohřívá (Darkwah et al., 2018). Jinak řečeno, jsou to plyny pohlcující tepelnou radiaci, kterou vyzařuje zemský povrch, a tím na něj působí jako planetární příkrývka. Mezi nejvýznamnější skleníkové plyny řadíme oxid uhličitý (CO_2), metan (CH_4), oxid dusný (N_2O) a vodní páru (H_2O). Obsah vodní páry se ale nemění v přímé závislosti na lidské činnosti. Lidskou činností jsou ovlivňovány výše zmíněné skleníkové plyny – oxid uhličitý, metan a oxid dusný, dále chlorofluorované uhlovodíky (CFC) a ozon. Největší podíl skleníkových plynů má oxid uhličitý – 70 %, oxid dusný – 23 % - a metan - 7 % (Houghton, 2015).

Rok 2017 byl pozoruhodným rokem v nárůstu globálních skleníkových plynů o 1,3 %, což představuje 55 gigatun. Oproti tomu v letech 2015 a 2016 nebyl nárůst emisí skleníkových plynů tak razantní, v roce 2015 o 0,2 % a v roce 2016 o 0,6 %. Emise skleníkových plynů jsou o 55 % vyšší než v roce 1990 a o 40 % vyšší než v roce 2004. Tempo růstu celosvětových emisí se začalo zvyšovat po roce 2003, když se Čína stala členem světové obchodní organizace (WTO) (Olivier & Peters, 2018). Vývoj globálních emisí skleníkových plynů od roku 1990 je zobrazen na obrázku č. 6.

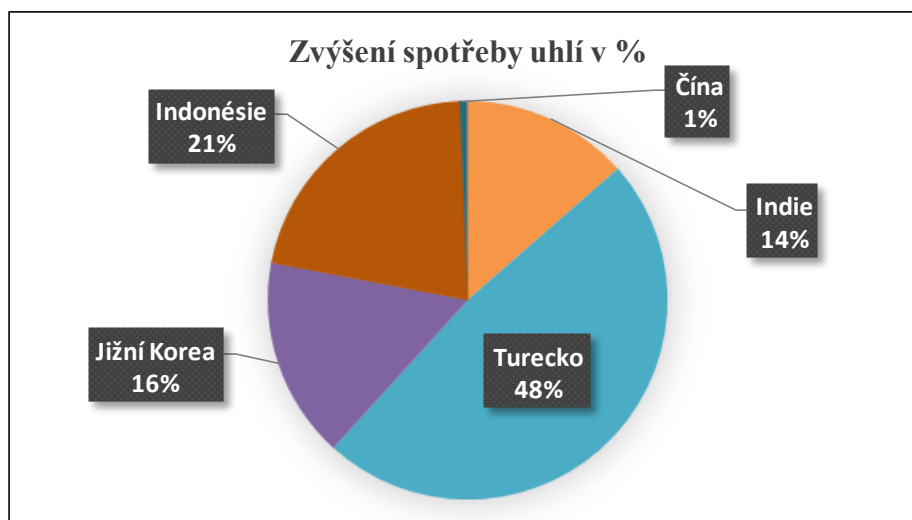


Obrázek 6: Globální emise skleníkových plynů, dle typu zdroje, graf zahrnuje i LULUCF (využívání krajiny, změny ve využití krajiny a lesnictví) (<https://www.pbl.nl/en/infographic/global-greenhouse-gas-emissions-per-type-of-gas-and-source-including-lulucf>)

6.3.1 Oxid uhličitý CO₂

Oxid uhličitý patří mezi hlavní skleníkové plyny a patří mezi největší problémy způsobené lidskou činností. Po průmyslové revoluci způsobilo spalování fosilních paliv spolu s odlesňováním zvýšení koncentrací atmosférického CO₂ o 26 %. Mezi lety 1950 a 1980 se zvýšila koncentrace oxidu uhličitého v rozvojových zemích o 596 %: na území bývalého Sovětského svazu a východní Evropy o 337 %, v Severní Americe o 91 % a v západní Evropě o 125 % (Pickering & Owen, 1997).

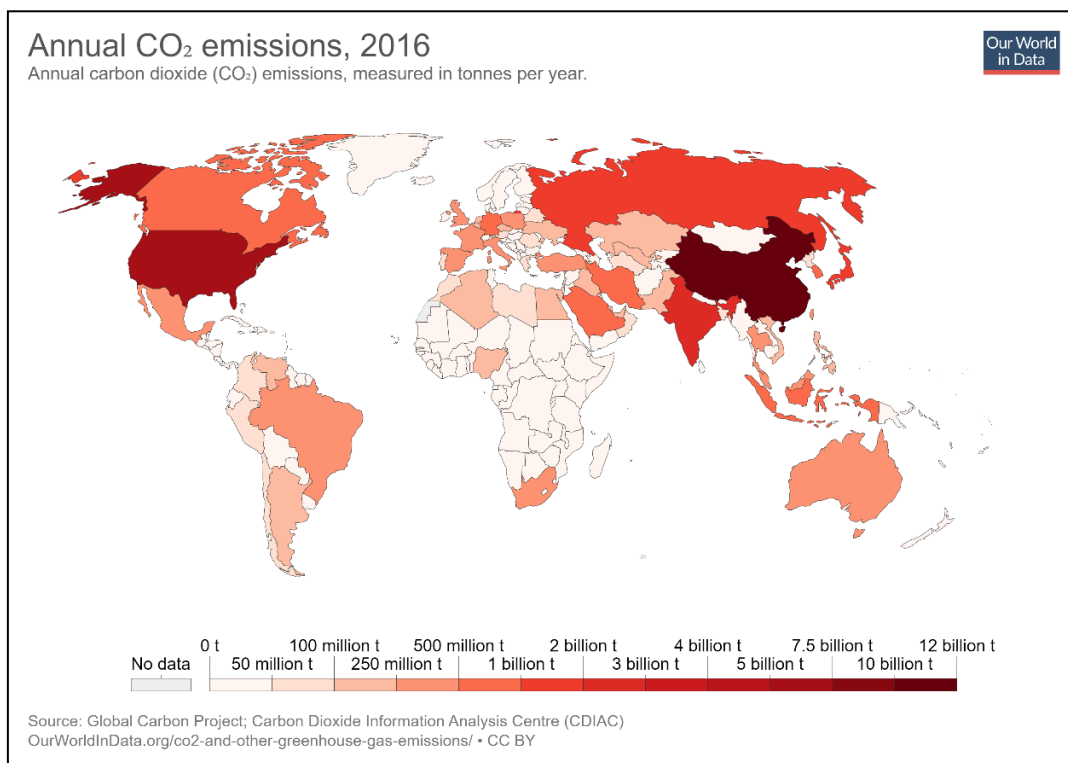
V roce 2017 bylo zvýšení emisí oxidu uhličitého o 1,2 % (37,1 Gt CO₂), což je o 65 % více než v roce 1990. Důsledkem takového nárůstu bylo zvýšení spotřeby uhlí. Graf č. 1 znázorňuje procentuální zastoupení zemí se zvýšenou spotřebou uhlí. Spotřeba uhlí naopak klesala v Evropské unii a USA (Olivier & Peters, 2018).



Graf 1: Procentuální zastoupení zemí se zvýšenou spotřebou uhlí.

Od roku 1970 do roku 2003 se celosvětové emise CO₂ zvýšily o 1,7 % ročně. Mezi lety 2003 až 2011 byl nárůst o 3,2 % v důsledku industrializace Číny a v letech 2012 až 2014 došlo ke zpomalení růstu na 1,4 % ročně.

V roce 1992 byla přijata rámcová úmluva o změně klimatu na Konferenci OSN o životním prostředí a rozvoji v Rio de Janeiru. V platnost vstoupila dne 21. března 1994 se 158 ratifikovanými státy. Cílem úmluvy je stabilizace skleníkových plynů atmosféry na úrovni, která by zabránila nebezpečným antropogenním zásahům do klimatického systému (Pickering & Owen, 1997). Rámcová úmluva poskytuje možná řešení problémů týkajících se změn klimatu a snižování emisí skleníkových plynů. Ke dni 16. 10. 2009 byla úmluva ratifikována 194 státy, Česká republika se přidala 13. 6. 1993. Úmluva je spolu s Kjótským protokolem a Pařížskou dohodou právním podkladem pro snížení emisí skleníkových plynů na úroveň, která není nebezpečná pro další vývoj planety Země (MŽP, 2018). Od roku 2000 do roku 2010 vzrostly ročně emise uhlíku přibližně o 2,5 %, z nichž téměř všechny vstupují do atmosféry jako oxid uhličitý (Houghton, 2015). Emise oxidu uhličitého z mezinárodní letecké dopravy představovaly v roce 2016 přibližně 3 % z celkových emisí skleníkových plynů (Olivier, 2017). Za rok 2016 byla největším emitentem Čína, která měla průměrné roční emise CO₂ ve výši 10,15 biliónů tun (obrázek č. 7).



Obrázek 7: Roční emise CO₂ za rok 2016, měřeno v tunách za rok (<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>).

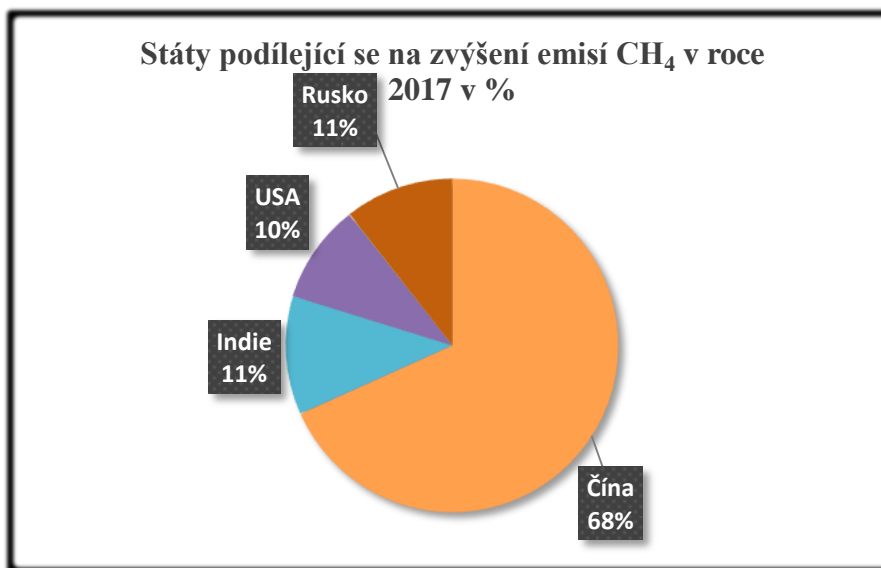
6.3.2 Metan CH₄

Metan je atmosférický stopový plyn, který se podílel na mnoha chemických reakcích v troposféře a stratosféře. Zpočátku mu nebylo věnováno tolik pozornosti jako ostatním skleníkovým plynům, avšak změnilo se to po vydání zprávy IPPC (integrovaná prevence a omezování znečištění) v roce 1992, kde se uvádí, že molekula metanu má 11krát větší potenciál globálního oteplování než molekula oxidu uhličitého. V roce 1992 byly roční antropogenní a přírodní emise metanu 500 teragramů (Pickering & Owen, 1997).

Antropogenně se metan uvolňuje především z odvětví zemědělství – spalování odpadů, hospodaření s hnojem, rýžová pole, metan z plynů vylučovaný hovězím dobyt看em, dále z energetického sektoru, při odvětrávání během výroby ropy a plynu a také při skládkování a zpracování odpadních vod (Van Dingenen et al., 2018).

Od počátku 21. století se emise metanu začaly zvyšovat. Zvýšení mezi roky 2004 a 2014 bylo o 15 %, průměrně o 1,5 % ročně. Za rok 2017 se celosvětové emise metanu zvýšily o 2,1 %, celkem na 370,5 miliónů tun, to je o 21 % více než v roce

1990. Na zvýšení se podílely státy uvedené v následujícím grafu č. 2, kde je uvedeno i procentuální zastoupení jednotlivých zemí.

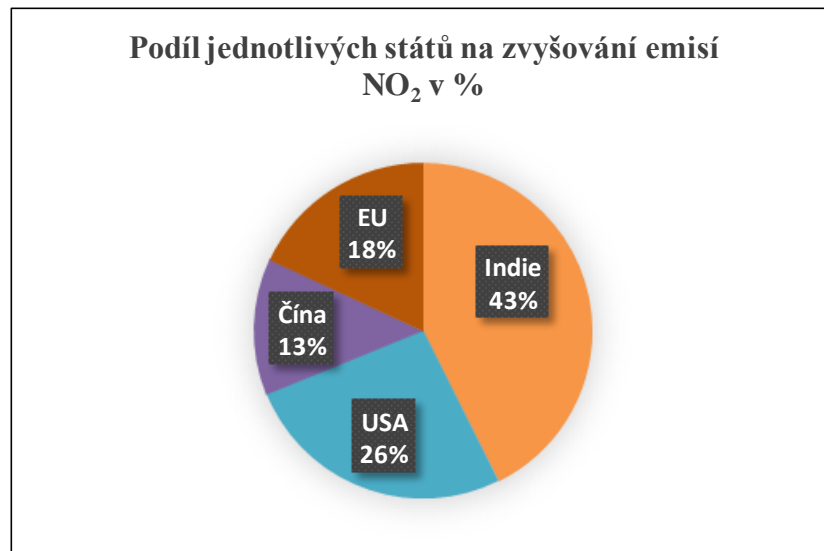


Graf 2: Státy podílející se na zvýšení emisí CH₄ v roce 2017.

6.3.3 Oxid dusný – NO₂

Oxid patří mezi další skleníkové plyny, ale vyskytuje se pouze v malém množství. Jeho životnost v ovzduší se odhaduje na 150 let (Houghton, 1995). Přírodní cestou se uvolňuje z deštných pralesů, oceánů a činností půdních bakterií (Soukupová, 2013). Antropogenně se oxid dusný dostává do ovzduší převážně ze zemědělské činnosti (hnojením hnojem a syntetickými nebo dusíkatými hnojivy), a to konkrétně 75 % z celkových emisí. Dále je jeho zdrojem spalování paliv, zpracování odpadních vod a výroba chemických látek (Olivier & Peters, 2018).

V roce 2017 se tempo růstu emisí oxidu dusného zvýšilo o 1,4 %, což je přibližně stejné jako v letech 2015 a 2016. Ovšem oproti roku 1990 se emise zvýšily o 30 %. Zvyšovaly se emise právě z výše zmiňovaných antropogenních zdrojů, a to emise z hnojení pastvin, luk a polí o 1,5 % a emise ze syntetických hnojiv o 1,7 % (Olivier & Peters, 2018). Graf č. 3 procentuálně znázorňuje, které státy se na emisích podílejí nejvíce.



Graf 3: Podíl jednotlivých států na zvyšování emisí NO₂.

Významné jsou i tzv. F – plyny neboli fluorované skleníkové plyny, které v atmosféře mohou zůstat několik tisíc let. Jsou to plyny, které se nevyskytují přirozeně, ale vznikají vlivem člověka při průmyslových účelech. Tyto plyny jsou velmi výkonné, dokážou zachycovat teplo až 20 000krát účinněji než oxid uhličitý CO₂. Patří mezi ně fluorované uhlovodíky (HFC), fluorid sýrový, perfluoruhlovodíky (PFC) a nejvýznamnější chlorofluoruhlovodíky (CFC) (Soukupová, 2013). V roce 2017 se emise těchto skleníkových plynů zvýšily o 5,6 % (Olivier & Peters, 2018).

6.3.4 Vodní pára – H₂O

Vodní pára patří mezi nejdůležitější skleníkové plyny, odpovídá zhruba za dvě třetiny přirozeného skleníkového efektu. V atmosféře je vodní pára součástí hydrologického cyklu a není uvolňována do atmosféry lidskou činností (Soukupová, 2013).

6.4 Koráli a korálové útesy jako součást stabilizačních cyklů Země

Koráli jsou velmi významnou součástí stabilizačních cyklů naší planety – konkrétně uhlíkového cyklu. Stabilizační cykly stabilizují teplotu na Zemi, existují celkem tři celoplanetární cykly:

- Desková tektonika
- Uhlíkový cyklus
- Křemičitano-uhličitanový cyklus

Jelikož důležitou součástí uhlíkových cyklů jsou uhličitany a vápence, právě velké množství těchto uhličitánů a vápenců se nachází právě v korálech a korálových útesech. To, co tvoří korálové stavby, jsou miliardy korálových polypů. Jsou to živočichové s měkkým tělem, které tvoří vápencové skeletony. Každý z polypů má kolem svých úst věneček s chapadélky, kterými dokáže z mořské vody získávat potřebný uhličitán vápenatý a následně jej přeměňovat v pevnou vápencovou schránku (Kadrnožka, 2008).

7 ENSO – El Niño a La Niña

Cyklus ENSO (El Niño Southern Oscillation) – čili El Niño jižní oscilace - bylo objeveno v 70. letech, kdy satelitní snímky Země byly prvně pravidelně shromažďovány. Od té doby je ENSO považováno za hlavní hnací silou klimatického systému (Tsonis, 2017). Je jedním z nejdůležitějších klimatických jevů na Zemi, dokáže měnit globální atmosférický oběh, který ovlivňuje teplotu a srážky po celém světě. El Niño a La Niña jsou teplou a chladnou opakující se fází v tropickém Pacifiku. Každá fáze spouští předvídatelná narušení teplot, srážek a větrů. Vyvolané změny narušují rozsáhlé pohyby vzduchu v tropických oblastech, což způsobuje velké množství globálních vedlejších účinků (Climate.gov, 2019).

7.1 El Niño

El Niño bylo původně aplikováno na slabý roční oceánský proud, který se vyskytuje směrem na jih podél pobřeží Ekvádoru a Peru okolo Vánoc (Niño znamená španělsky chlapec, míněn Ježíšek). Teprve poté bylo spojováno s neobvykle velkým oteplováním, které se objevuje pravidelně každých několik let a mění místní i regionální ekologii. El Niño je výsledný jev vzájemného působení mezi Pacifikem a atmosférou. Obvykle se projevuje zánikem studeného proudu podél Jižní Ameriky. Nahrazen je teplým proudem z oblastí rovníku (Trenberth, 1997).

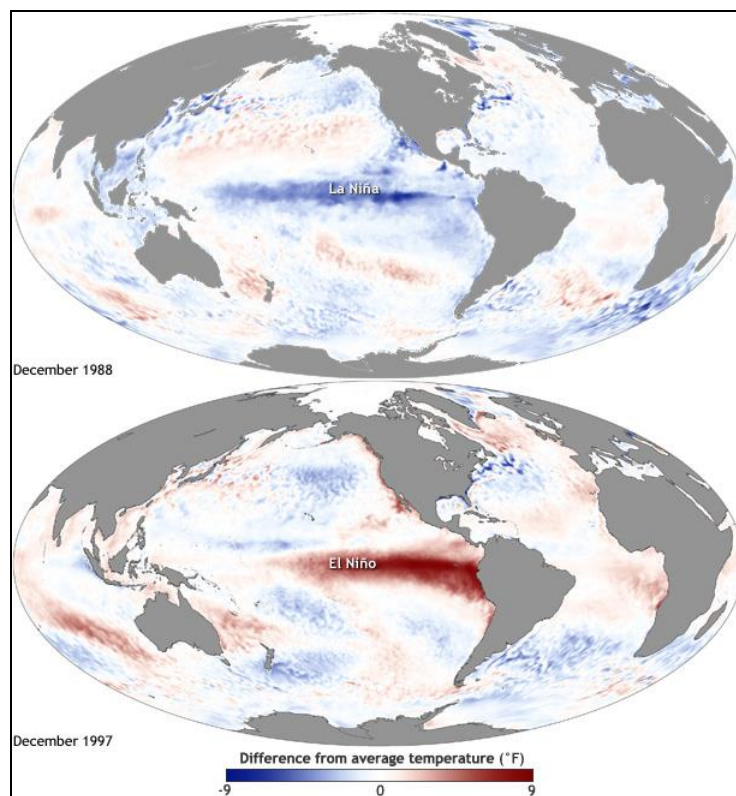
Když nastane El Niño, chemie i biologie povrchové vody moře se drasticky změní. Teplota povrchu moře se také drasticky změní a stává se mimořádně teplou, hladina živin a populací ryb začne výrazně klesat (Pinet, 2016). Během El Niña se moře ve východním tropickém Pacifiku otepluje a mohou se objevit nadprůměrné teploty. Přes Indonésii se srážky snižují, mezitímco přes tropický Pacifik se zvyšují. Povrchové větry – pasáty, které ubývají na intenzitě, normálně foukají z východu na

západ podél rovníku. Dochází k oslabení pasátů a teplá voda, jež byla přesunuta k pobřeží Jižní Ameriky, je zdrojem vodní vlhkosti. Zatímco v západním Pacifiku panuje suché a horké počasí (obrázek č. 8). Za normálního stavu probíhá nad Indonésií bouřková činnost, pasáty jsou v normální síle a odtlačují vodní masu do pobřeží Jižní Ameriky (L'Heureux, 2014).

Zpravidla se El Niño objevuje každý druhý až sedmý rok. Trvá přibližně rok, vrcholí v polovině zimy a rozptýluje se na konci jara či začátku léta. Vědci vyvinuli takzvaný Ocean Niño Index (ONI), který je založen na teplotách povrchové hladiny moře ve specifické oblasti rovníkového Pacifiku. Index je počítán každý měsíc z průměrné povrchové teploty za 3 měsíce a následným porovnáním s podmínkami za posledních 30 let. Pokud průměrná teplota je o 0,5 °C teplejší než dlouhodobý průměr (a zůstane tak po dobu 5 měsíců), pak se jedná o El Niño. El Niño se považuje za silné, pokud je průměrná teplota vyšší o více než 1,5 °C, než je obvyklé. Velmi silná El Niña byla v letech 1972-1973, 1982-1983, 1997-1998 – to bylo považováno za nejsilnější, teplotní anomálie povrchové teploty moře dosáhly 2 °C (Brandt, 2016). Stejně silné El Niño jako v roce 1997-1998 bylo i v roce 2015-2016 (Claar et al., 2018).

7.2 La Niña

Opakem jevu El Niño je jev La Niña (Niña znamená ve španělštině dívka), který ochlazuje celý tropický Pacifik a tím způsobuje i chladné fáze ENSO (Trenberth, 1997). Během La Niña se ochlazuje povrchová teplota oceánu nebo vzniklé nadprůměrné teploty moře ve středním a východním tropickém Pacifiku. Následně chladné vody přenáší až do rovníkových oblastí. Přes Indonésii srážky nabývají na intenzitě, zatímco nad centrálním Pacifikem se snižují. Východní vítr podél rovníku taktéž nabývá na intenzitě (obrázek 8). Tento jev trvá obvykle okolo jedenácti měsíců (L'Heureux, 2014).



Obrázek 8: Mapy teplotních anomálií povrchové teploty v Pacifiku během silného El Niño (1997) a La Niña (1988)(L'Heureux, 2014).

7.3 ENSO a korálové útesy

Pochopení toho, jak události El Niño a La Niña ovlivňují korálové útesy, je velmi zásadní pro rozvoj strategií na ochranu korálových útesů. Je nutné podotknout, že velmi silná byla El Niña v letech 1982-1983, 1997-1998 a 2015-2016, v těchto letech probíhalo i devastující bělení korálů. El Niño v roce 2015-2016 překonalo svojí intenzitou rozsahu oteplování oceánu předešlá El Niña a způsobilo celosvětové ekologické důsledky. Dominovalo jako nejvyšší kumulativní tlak na korály (Claar et al., 2018). Ukázalo se, že bělení je přímý výsledek zvýšené povrchové teploty moře (SST) (McGowan & Theobald, 2017). Perioda mezi jednotlivými bělicími událostmi se neustále zmenšuje. V důsledku toho se očekává, že rovnováha dlouhodobého vlivu odolnost korálů oproti zotavení korálů z bělicích událostí změní, čímž se postupně odolnost korálů stane důležitější než jejich zotavení (Claar et al., 2018).

Dle Claar et al. (2018) bylo zjištěno, že tepelná zátěž spojená s El Niño a La Niña přispívá ke ztrátám korálů napříč oceány. Zároveň širší útesy v porovnání s rovníkovými útesy mohou utrpět menší teplotní zátěž vyvolanou ENSO. Avšak podle McGowana & Theobaldové (2017) El Niño samo o sobě nezpůsobuje zvýšení

povrchové teploty moře ve všech oblastech, kde probíhalo bělení. Hlavní příčinou je místní meteorologie během El Niño – změny počasí během ENSO mají za následek lehké větry, vysoké teploty, vlhkost povrchového vzduchu a jasnou oblohu, protože meteorologie a hydrodynamika útesu jsou dominantními faktory ovlivňujícími zvýšení SST během El Niño.

8 Globální oteplování a korálové útesy

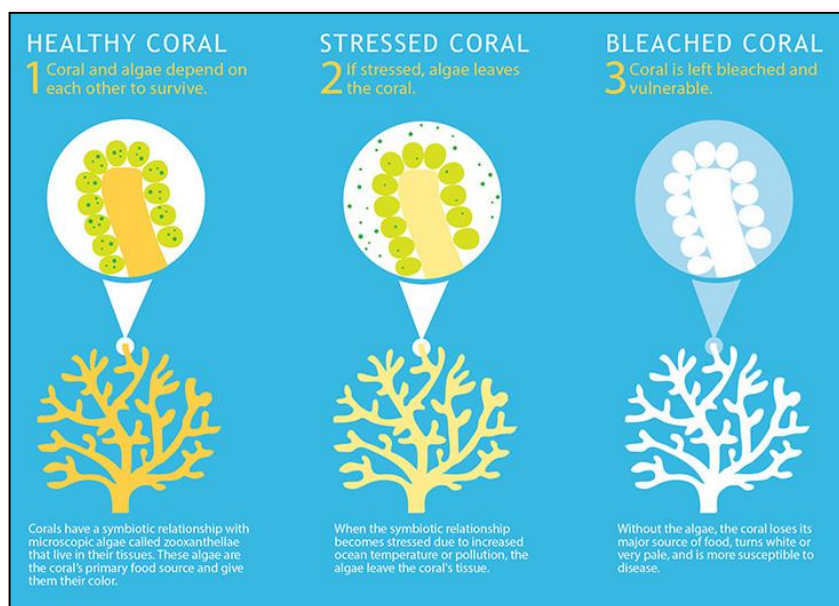
Koráli mají vysoké nároky na kvalitu prostředí, ve kterém rostou. Bohužel kvalita prostředí, kde koráli rostou, se rapidně zhoršila a nadále zhoršuje v důsledku lidské činnosti. Vzestup teploty oceánů a moří korálům velice vadí a škodí jim, korál je vystavený stresu a nastává proces bělení. Proces bělení se zastaví v případě, že teplota vody zase klesne, za předpokladu, že se bude voda stále oteplovat a proces bělení bude trvat delší dobu, koráli zemřou (Kadrnožka, 2008).

Experimenty, které byly prováděny, simulují změny vody, ke kterým by mohlo dojít do roku 2100. V takové vodě, v jaké byl experiment prováděn, by se růst korálů zpomalil nejméně o čtvrtinu. Novější výzkumy však hrozí, že pokud se zvýší globální teplota o 1 °C, vyhyne 82 % korálových útesů, při zvýšení teploty o 2 °C uhynie 97 % a zvýšení teploty o 3 °C způsobí celkovou devastaci korálových útesů (Baker et al., 2008).

8.1 Bělení korálů a korálových útesů

Bělení neboli odbarvování korálů je popsáno jako vizuální efekt stresu, který byl vyvolán rozpadem symbiózy korálu a jejich symbiotickými řasami – zooxantelou (López et al., 2018). Termín bělení je odvozen od bělení tkáně korálových útesů, které jsou hostitelem mikroskopických řas zooxantel (Plass-Johnson et al., 2015). Tento proces zahrnuje ztrátu pigmentace korálů kvůli sníženému výskytu symbionta, korál začne zooxantelu vylučovat a kostra korálu se stane viditelnou přes průhlednou korálovou tkáň (obrázek č. 9) (López et al., 2018). Koráli začínou proces bělení tehdy, když teplota moře začne být vyšší (o 1-2 °C) než normální teplota a začne narušovat vzájemný vztah mezi mikrořasami uvnitř tkáně korálů (zooxantely) (Heron, 2017). Doposud byly popsány čtyři obecné buněčné mechanismy ztráty řas: místní degradace, vyloučení symbionta, oddělení hostitelských buněk a smrt hostitelských buněk (López et al., 2018). Bělicí události se v současné době vyskytují průměrně

každé čtyři roky. Frekvence mezi jednotlivými událostmi hromadného bělení se neustále zvyšují. Je možné, že frekvence dospějí do takové fáze, při které bude velké množství korálů zasaženo bělením ještě před tím, než jsou schopné se reprodukovat (Hoegh-Guldberg, 1999). Intenzita a četnost celosvětových bělicích událostí může být uznávána jako biologický ukazatel důsledků globální změny klimatu na korálových útesech (Plass-Johnson et al., 2015).



Obrázek 9: Proces bělení korálu. 1) Korál má symbiotický vztah se zooxantelou, která žije v jeho tkáni, 2) Pokud je korál vystaven stresu v důsledku změn teplot nebo znečištění, symbiotický vztah se rozpadne a zooxantelu vylučuje, 3) Bez zooxantely korál postrádá hlavní zdroj potravy, zbledá a je velmi náchylný na onemocnění (https://oceanservice.noaa.gov/facts/coral_bleach.html)

Je známo několik faktorů, které způsobují nebo vyvolávají bělení korálů: acidifikace, snížená salinita vody, zesílené nebo snížené sluneční záření, ultrafialové záření, změna teploty vody, přítomnost chemikálií ve vodě (pesticidy, herbicidy, kyanid) a extrémní odlivy, které ohrožují především korály v mělčinách (López et al., 2018). Acidifikace představuje též velmi výraznou hrozbu pro korálové útesy. Oceány absorbují přibližně 90 % CO₂, které mění chemické složení vody, v jehož důsledku korál roste velmi pomalu a není schopen se reprodukovat. Činí ho velmi zranitelným právě vůči bělení a onemocněním (Hoegh-Guldenberg & Poloczanska, 2018). Mezi další antropogenní vlivy ohrožující korálové útesy je cestovní ruch a velmi ničivý rybolov. Pokud se změny teploty moře zkombinují s nějakým z výše jmenovaných faktorů, následky mohou být katastrofální a vést ke zničení útesů (Hoegh-Guldberg, 1999). Nicméně laboratorní výzkumy potvrzují, že hlavní příčinou bělení korálů je zvýšená teplota vody (López et al., 2018). Korály tyto změny vystavují

stresu, proto tomu říkáme stresové reakce. V minulosti bylo bělení zaznamenáno pouze na malých lokalitách, vlivem lokální stresové reakce. V současnosti bělení korálů přímo souvisí s globálním oteplováním a jeho vlivem je čím dál více častější masové bělení korálových útesů po celém světě (van Oppen & Lough, 2009).

Bělení korálů nemá za následek pouze jejich úmrtnost, ale i stav celého ekosystému – sníží se jeho produktivita. Předpokládá se, že snížená produkce útesů bude mít podstatný vliv na mořské ptáky a savce. Na jihu Velkého bariérového útesu bylo zaznamenáno selhání hnízdění nodyho bělotemenného – bylo spojeno s velkou úmrtností dospělých jedinců. Snížená produktivita korálových útesů může být zodpovědná i za sníženou populaci ryb a tudíž následné hladovění ostrovního ptactva (Hoegh-Guldberg, 1999).

Ke konci devadesátých let World Conservation Monitoring Center a World Fish Centrum (ICLARM) vyvinuly databázi, která obsahovala všechny publikované i nepublikované záznamy z celého světa. V roce 2001 byly tyto databáze sloučeny a aktualizovány do jedné databáze – ReefBase. Počet záznamů se téměř zdvojnásobil a nová databáze je k dispozici online (Olivier et al., 2018).

Rovněž NOAA (Národní úřad pro oceán a atmosféru) se věnuje monitoringu korálových útesů. Měří se takzvané SST (seasurfacetemperature), což znamená, že se stanovuje povrchová teplota mořské vody, dále se stanovují hotspots horká místa, tedy místa nejvíce ohrožená blednutím. Měří se zároveň i teplotní anomálie, DHW (Degreeheatingweeks), který ukazuje, kolik bylo zpozorováno vyvinutého stresu v dané lokalitě za posledních 12 týdnů. Zároveň se stanovují a předpovídají místa, na kterých by mohlo dojít k nárůstu SST a následnému bělení (Olivier et al., 2018).

NOAA rovněž spravuje CoralReefConservation program (CRCP), který slouží k zachování ekosystémů korálových útesů a stanovuje strategický plán, podle něhož se bude řídit výzkum, konzervace a obnova korálů mezi lety 2018 až 2040. K tomuto programu rovněž patří i program The Coral Reef Information System (CoRIS), tento informační systém poskytuje přístup k datům NOAA pro korálové útesy (NOAA, 2000). Pod záštitu NOAA patří i program CoralHealth and Monitoring Program (CHAMP) a jeho cílem je poskytovat služby a informace pro výzkumné pracovníky a veřejnost s cílem zlepšit a udržet zdraví korálových útesů po celém světě (NOAA, 1999). Dalším programem pro zachování a ochranu ekosystémů korálových

útesů je The United States Coral Reef Task Force (USCRTF), který byl založen v roce 1998 na nařízení americké vlády (USCRTF, 1998). Existuje i mnoho dalších programů a organizací, ale všechny mají stejný cíl – co nejvíce ochránit korálové útesy před bělením a vnést tento globální problém do povědomí široké veřejnosti.

8.2 Události masivního bělení korálů

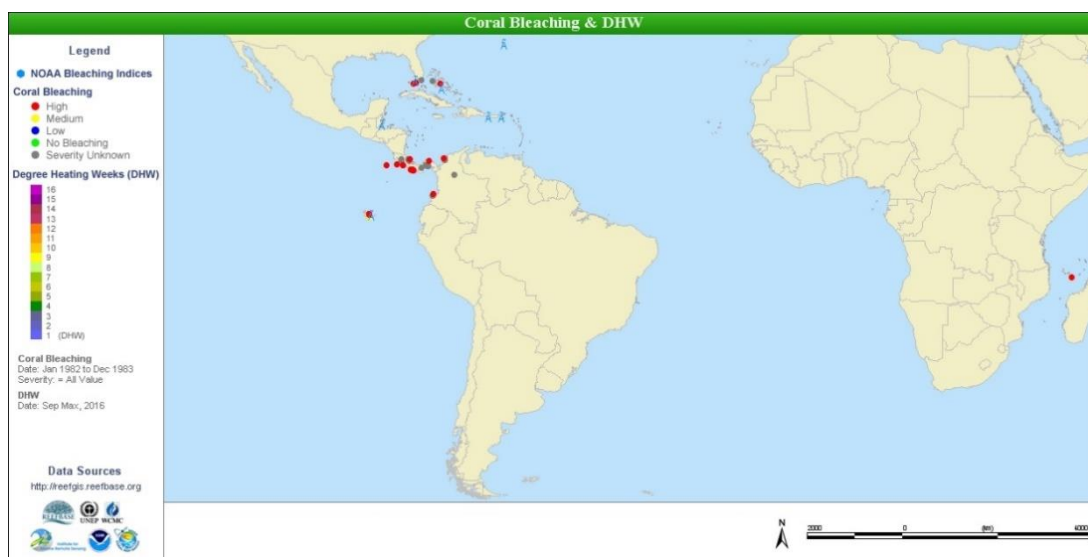
Ještě před prvním velkým bělením korálů v roce 1982/1983 a než bylo bělení korálů věnováno více pozornosti a důkladná dokumentace, bylo zaznamenáno celkem 26 aktivit. Například v roce 1929 na Velkém bariérovém útese zemřelo mnoho korálů v důsledku bělení. O několik týdnů později se však koráli začali obnovovat (Olivier, et al., 2018). Vůbec první člověk, který se tomuto jevu věnoval a napsal o něm zprávu, byl Goreau (1964). Věnoval se bělení na útesu kolem Port Royal na Jamajce jako následek hurikánu Flora v roce 1963, on však dospěl k závěru, že bělení bylo způsobeno nízkou salinitou vody po silných deštích a povodňových vodách.

První zpráva o bělení korálů v důsledku teplotního stresu byla zaznamenána na Velkém bariérovém útesu v roce 1931 během léta, kde panovaly vysoké teploty. Mnoho korálů zemřelo, ale u některých bylo zpozorováno, že vybledly. Později se koráli začali opět zbarvovat (Bake, et al., 2008).

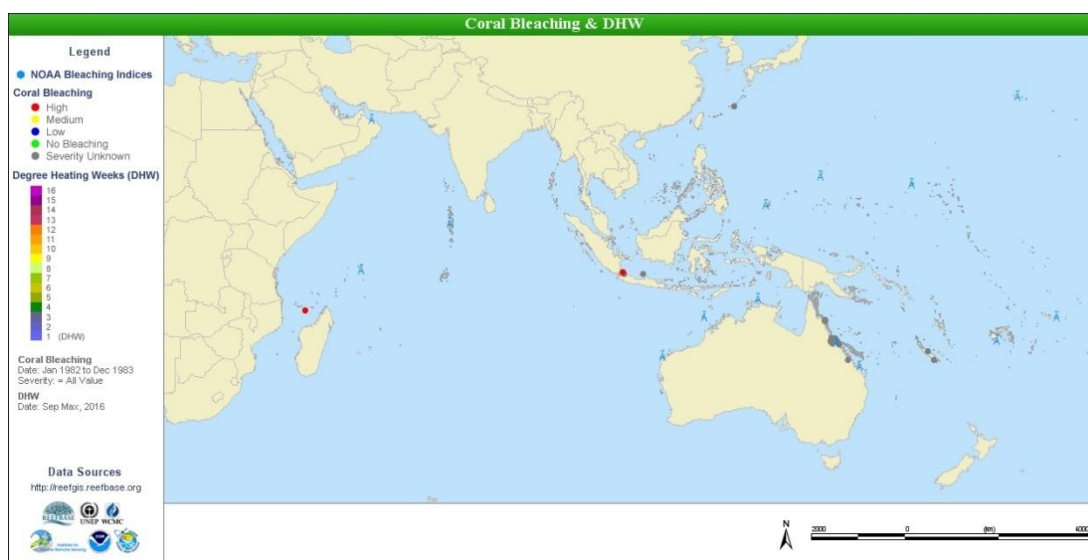
8.2.1 Bělení v letech 1982-1983

Na počátku 80. let se počet hlášení o bělení korálů dramaticky zvyšoval v důsledku velkých teplotních anomálií, především v Karibském moři. Zvýšení teploty vody o 0,1 °C mělo za následek 35% zvýšení počtu oblastí s výskytem bělení (Baker et al., 2008).

Jak uvádí NOAA (2011), bělení v letech 1982/1983 bylo způsobené jevem El Niño následované velmi silnou La Niña. Na obrázku č. 10 a 11 můžeme vidět, že vysoká úroveň bělení byla zaznamenána v okolí Panamy, Kolumbie, Baham a Indonésie.



Obrázek 10: Velmi silné bělení korálů v oblasti Panamy, Kolumbie a Baham v letech 1982-1983 (<http://reefgis.reefbase.org/default.aspx?wms=RGWDHW>).



Obrázek 11: Velmi silné bělení korálů v oblasti Indonésie v letech 1982-1983 (<http://reefgis.reefbase.org/default.aspx?wms=RGWDHW>).

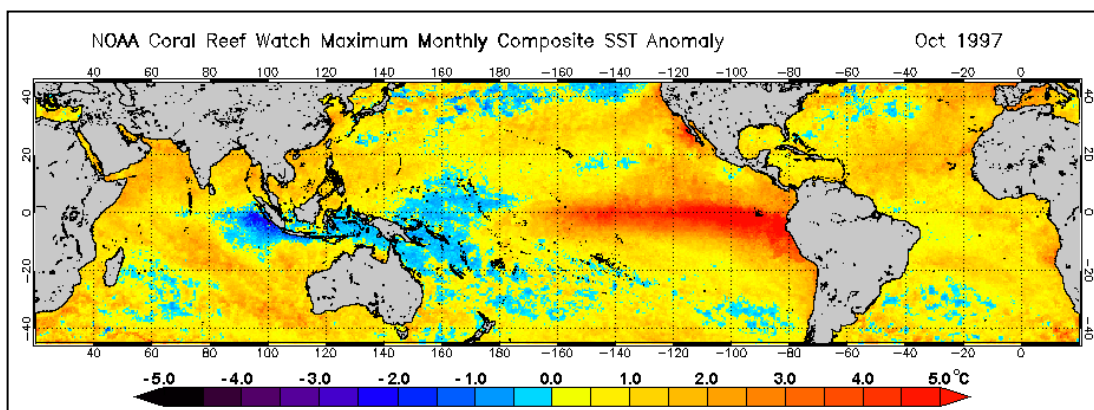
8.2.2 Bělení v letech 1997-1998

Další výrazné bělení tvrdých i měkkých korálů, které bylo široce rozšířeno, nastalo od půlky roku 1997 až do posledních měsíců roku 1998. Většinu bělení zapříčinil El Niño, který se rychle změnil v silnou La Niña. Průměrné teplotní anomálie dosáhly navýšení teploty moře o 2 °C nad normální stav. Bělení bylo velmi rozsáhlé a zasáhlo Střední východ, východní Afriku, Indický oceán, jihovýchodní a východní Asii, východní Pacifik, Karibik a Atlantský oceán. Dle Wilkinsona (1998) můžeme toto bělení rozdělit na 4 stupně:

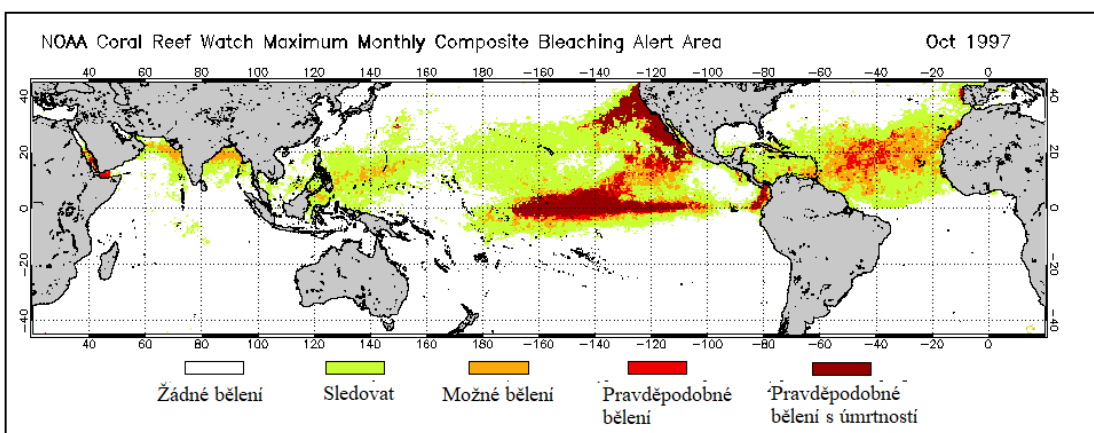
1. **Katastrofální** a masivní bělení s velkou úmrtností (kolem 95 % mělkých korálů) v Bahrajnu, na Maledivách, Srí Lance, Singapuru a v Tanzanii
2. **Silné** bělení s 50-70 % úmrtností, ale také obnovou korálů v Keni, na Seychelách, Japonsku, Thajsku, Vietnamu a Belize
3. **Mírné** a nerovnoměrné bělení s 20-50 % úmrtností v Ománu, Madagaskaru, na Velkém bariérovém útesu, Indonésii, Filipínách, Francouzské Polynésii, Floridě a Kajmanských ostrovech
4. **Nevýznamné** nebo žádné bělení na světových útesech v oblasti Rudého moře, jižního Indického oceánu, Andamanského moře, východního Karibiku a centrálního Pacifiku.

Bělení a úmrtnost bylo nejvýznamnější v mělké vodě (do 15 m) a zasáhlo nejvíce rychle rostoucí korály. Pomalu rostoucí koráli byli také zasaženi, ale mnoho z nich se zotavilo během jednoho až dvou měsíců (Wilkinson, 1998). Doposud se odhaduje, že bylo ztraceno více než 15 % korálových útesů. Během tohoto bělení byly zpozorovány velké teplotní anomálie, které byly způsobeny El Niňem a La Niňou, které jsou považovány za doposud nejsilnější (Wilkinson, 2000).

El Niño zahájil v květnu 1997 zahájil zvyšování SST z centrálního tropického Pacifiku na východ až k jihoamerickému pobřeží. Dlouhodobé teplotní anomálie, které by mohly vést k bělení, byly zpozorovány podél rovníku, od Howlandova a Bakerova ostrova na východ ke Galapágám a ekvádorskému pobřeží. Oteplování také pokračovalo na sever podél jihoamerického pobřeží do Panamy. Menší oteplení bylo vidět na severovýchodě od Mexika, podél Středoamerického pobřeží a Karibiku (NOAA, 2019). Anomálie povrchové teploty moře dosáhly v oblasti centrálního Pacifiku až neskutečných 4,5 °C. V Indickém oceánu dosahovaly teplotní anomálie 1-3 °C, podobného výsledku dosahovaly i anomálie v severním a jižním Pacifiku a v severním a jižním Atlantiku (Obrázek 12).

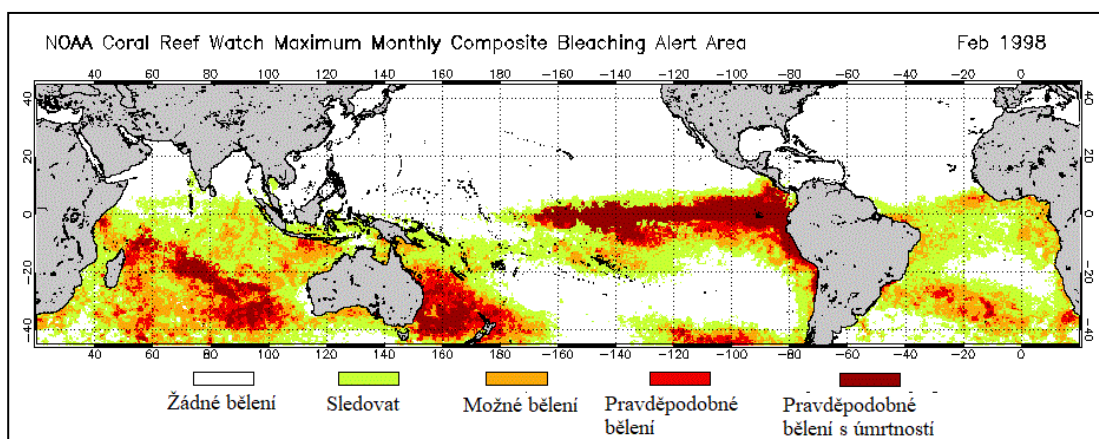


Obrázek 12: Teplotní anomálie povrchové teploty moře v říjnu 1997 (NOAA, 2019).



Obrázek 13: Výstražné oblasti bělení v říjnu 1997 (NOAA, 2019).

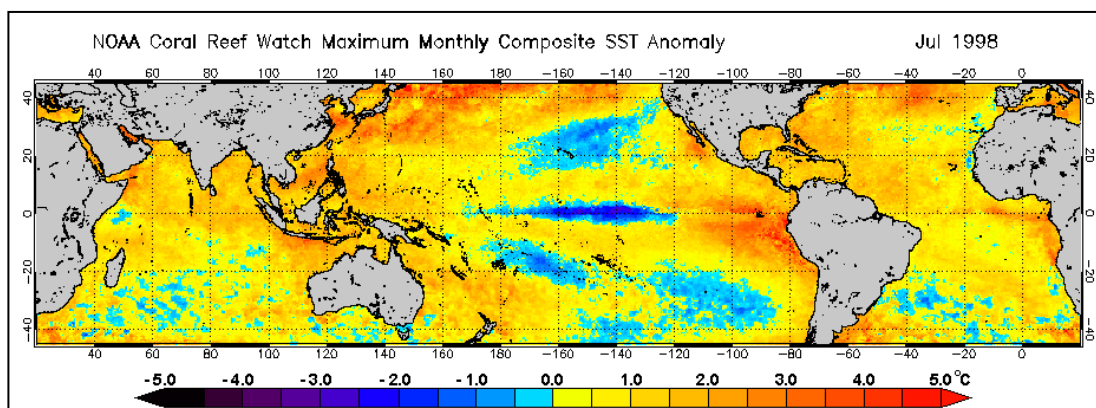
Na počátku roku 1998 se klasický model El Niña plně rozvinul. Bělení bylo zpozorováno i na Velkém bariérovém útesu během února a března 1998, rozšířilo se také ve východním Indickém oceánu v oblasti Madagaskaru. Ohrožen bělením a bělením s úmrtností byl i Nový Zéland a oblasti v okolí Kostariky, Panamy a Galapág (obrázek 14) (NOAA, 2019).



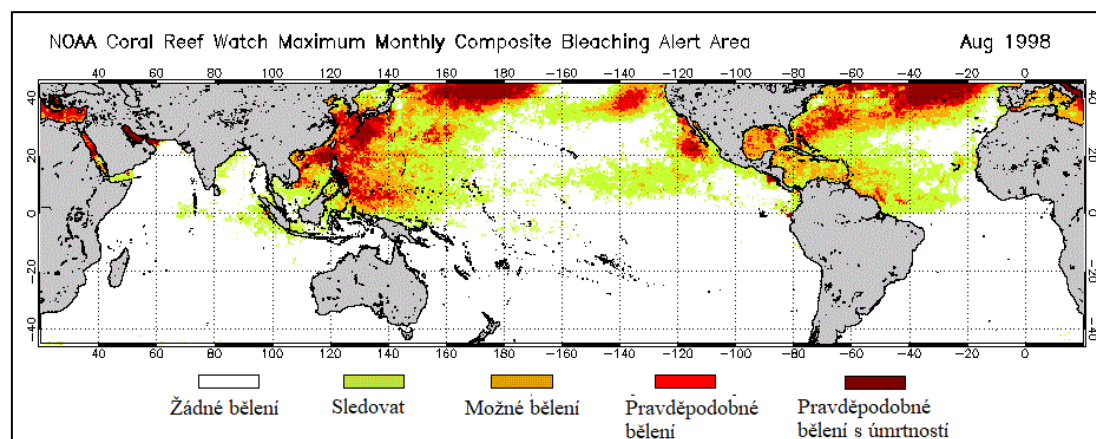
Obrázek 14: Výstražné oblasti bělení v únoru 1998 (NOAA, 2019).

Vysoké teploty se rozšiřovaly v průběhu března směrem do středoamerického pobřeží kolem Kostariky a všech východních tropických ostrovů Pacifiku. Dále se rozšiřovaly na sever Indického oceánu směrem k pobřeží Indie, Barmy a Ománu, kde vyvrcholily v květnu. Teploty se začaly rozptylovat v červnu (obrázek č. 15).

S rychlým nástupem La Niña v červenci 1998 bylo oteplování zpozorováno v západním Tichém oceánu, během srpna a září bylo zaznamenáno v Jižním čínském moři, na Filipínách a na ostrovech Ryukyu, následně šířilo přes Palau a Mikronésii (obrázek č. 16). Vysoké teploty začaly ustupovat v listopadu 1998 (NOAA, 2019).



Obrázek 15: Teplotní anomálie povrchové teploty moře v červenci 1998 (NOAA, 2019).



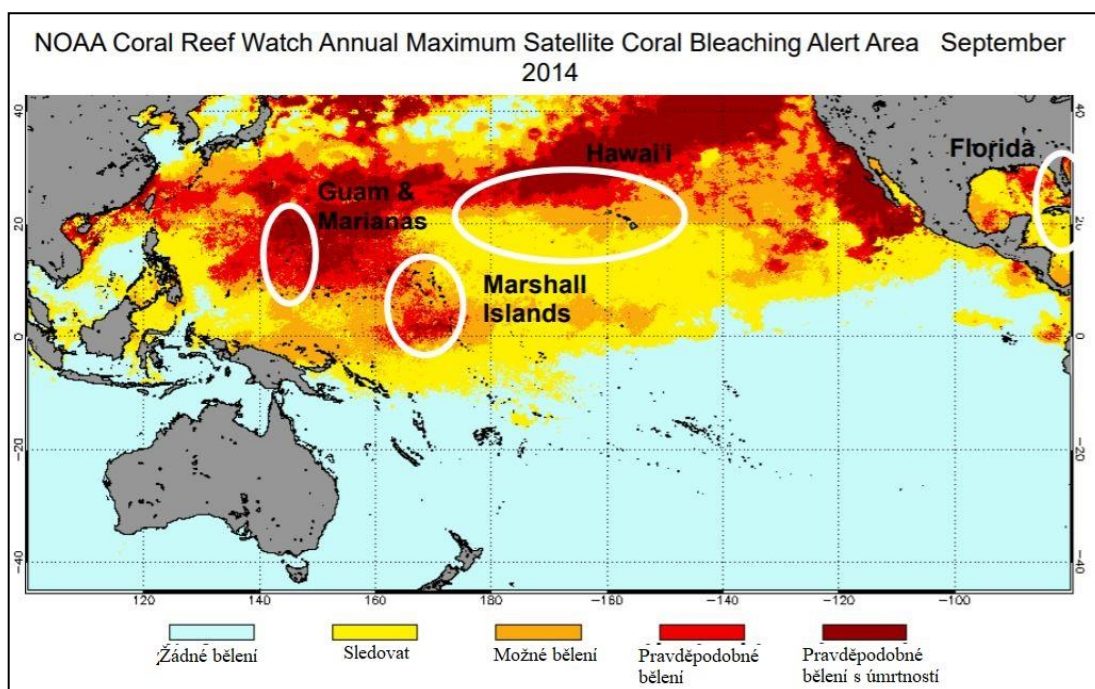
Obrázek 16: Výstražné oblasti bělení v srpnu 1998. Zvýšené SST, které vedly k bělení, vyvrcholily v srpnu v Mexickém zálivu a v říjnu v Karibském moři (NOAA, 2019).

V roce 1999 byl nejhroší tepelný stres u konce z pohledu korálového bělení. Slabé oteplení bylo zpozorováno na počátku roku 1999 podél Velkého bariérového útesu, ale v mnohem menší intenzitě a četnosti než v předešlém roce (NOAA, 2019).

8.2.3 Bělení v letech 2014-2017

Třetí masové bělení začalo v červnu roku 2014 na ostrově Guam a Commonwealthu severní Mariany – oblasti, která normálně oteplování vody nepodléhá v době El Niña. Toto oteplování v oblasti ostrova Guam a severní Mariany trvalo do října (Eakin, 2016).

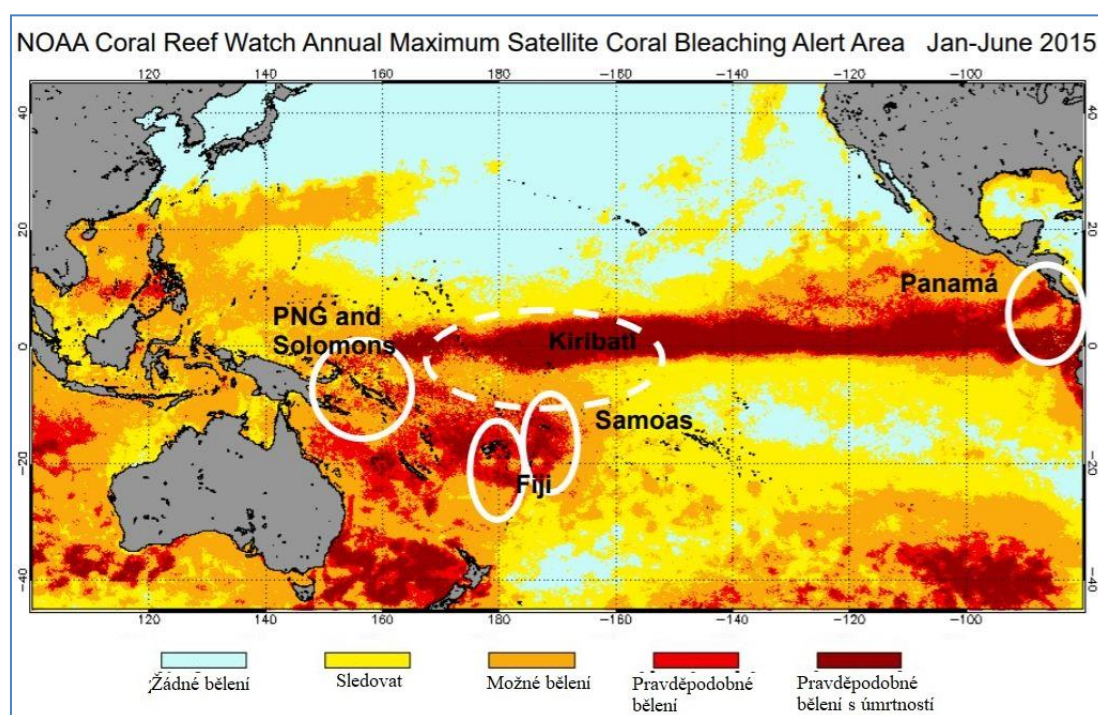
Poté se největší bělení korálů vyskytlo na částech Havajského ostrova Lisianski a rozšířilo se do hlavních Havajských ostrovů, jako je Oahu. Bylo to podruhé, co se něco obdobného na Havajských ostrovech stalo. Také v září 2014 bylo bělení zaznamenáno na jihovýchodní části Floridy a ostrovech Florida Keys. V listopadu roku 2014 byly zaznamenány vysoké teploty vody v okolí Marshallových ostrovů, které byly kategorizovány do úrovně výstrahy 2 – stres z teploty vody s výraznou úmrtností (obrázek č. 17). Bělení pokračovalo i do roku 2015, které bylo zaznamenáno na jižní polokouli. Konkrétně na východě Papuy Nové Guiney a na Šalamounových ostrovech, částečně i na jihu Fidži. Americká Samoa zaznamenala nejhorší bělení korálů ve své historii (Eakin, 2016).



Obrázek 17: Výstražné oblasti bělení pro září 2014. Jsou označeny čtyři oblasti, které vykazovaly bělení v druhé polovině roku 2014 (Eakin, 2016).

Mírné teplotní výkyvy byly pozorovány v Indickém oceánu v první polovině roku 2015; s tím souviselo i mírné odbarvování korálů na Čagovských ostrovech – Maledivách v západní Indonésii a jižní části Rudého moře. Je třeba zmínit, že tyto

události, které vedly k velkému odbarvování korálových útesů v jižním Pacifiku a Indickém oceánu, často probíhaly v době druhého roku El Niña, jako v letech 1998 a 2010. Začátek El Niña ke konci roku vyvolal velké teplotní změny ve východním Pacifiku, odbarvení korálů bylo zachyceno v Panamě a předpokládalo se i na Galapágách. V polovině roku 2015 byl na Karibati – konkrétně na Liniových ostrovech - zaznamenán vůbec největší teplotní nárůst na těchto ostrovech, který zabil nejméně 80 % tamních korálů (obrázek č. 18).



Obrázek 18: Výstražné oblasti bělení pro leden až červen 2015. Je vyznačeno 6 míst, kde bylo zaznamenáno bělení v první polovině roku 2015 (Eakin, 2016)

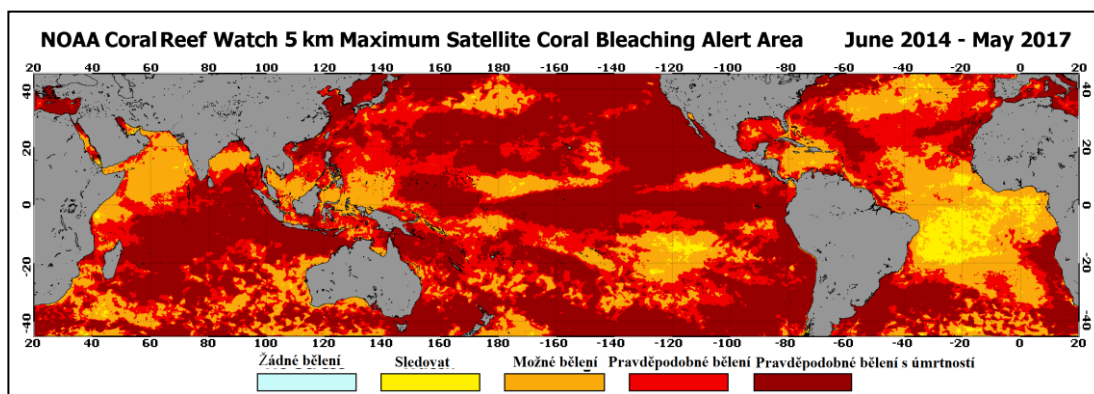
Poté se právě kvůli El Niňu přesunuly teplé vody zpět směrem k Havajským ostrovům; odbarvování bylo nejtěžší, co bylo kdy zaznamenáno na Havajských ostrovech a MauiNui. Také to bylo první zdokumentované odbarvování, co se vrátilo zpět. Kvůli všem těmto událostem NOAA prohlásila, že třetí událost bělení byla v plném proudu. Koncem roku 2015 bylo 32 % korálových útesů po celém světě vystaveno teplotním stresům, DHW dosahovaly 4 °C a více, což už způsobuje bělení. Téměř všechny světové korálové útesy byly vystaveny velkým tepelným stresům. (Eakin, 2016).

Bělení nadále pokračovalo. El Niňo byl v plné síle a stal se nejsilnějším na konci roku 2015. S návratem australského léta se bělení vrátilo na jižní polokouli.

Tepelný stres v roce 2016 byl mnohem rozšířenější než v roce 2015, 51 % světových korálových útesů bylo vystaveno tepelnému stresu. El Niño zapříčinil nepřetržitý teplotní stres ve středním Pacifiku od dubna 2015 do května 2016. Hodnoty tepelného stresu na severních Liniových ostrovech byly nejvyššími, které byly kdy zdokumentovány (DHW > 25 °C) a zapříčinily nejhorší úmrtnost korálů související s bělením. V květnu 2016 se jednalo o 80 % mrtvých korálů a 15 % odbarvených v Karibati, stejně jako 98 % mrtvých korálů na ostrově Jarvis. Velký tepelný stres na Fidži v únoru způsobil velmi rozsáhlá bělení a úmrtnost korálů (NOAA, 2019).

V Nové Kaledonii v březnu bělení způsobilo, že velká část korálů začala proces fluorescence. Na Velkém bariérovém útesu bylo zaznamenáno nejhorší bělení, jaké kdy tento korálový útes zažil. Bělení vyvrcholilo v březnu a mělo za následek 29 % mrtvých korálů. Bělení na Seychelách vyvrcholilo v květnu a zapříčinilo 50% ztrátu korálového pokryvu. V oblasti Guam, zejména v zálivu Tumon, se bělení vrátilo již čtvrtý rok po sobě. Mírné bělení bylo pozorováno i v lednu na Fidži, ale bouřlivé podmínky vodu ochlazovaly (Eakin et al., 2017).

Obrázek č. 19 zobrazuje maximální tepelnou zátěž během třetího celosvětového bělení korálů. Více než 70 % korálových útesů bylo vystaveno tepelnému stresu během této události (NOAA, 2019)

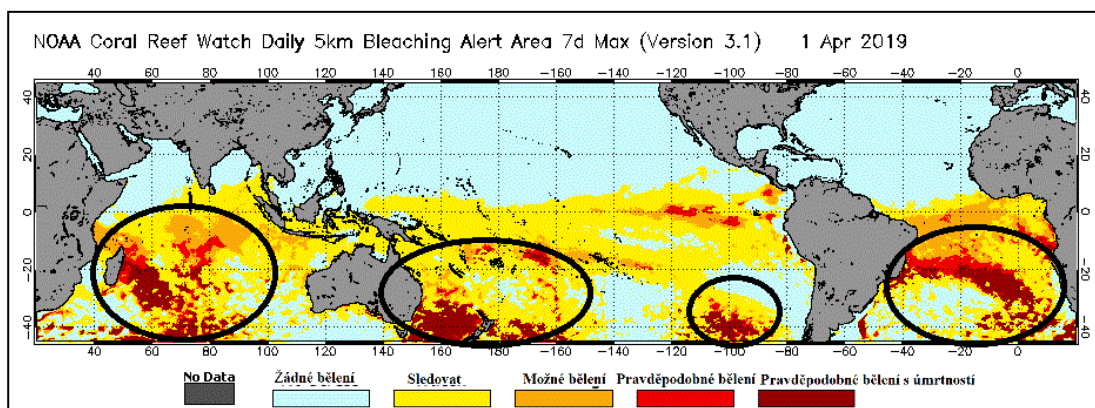


Obrázek 19: Maximální tepelná zátěž od června 2014 do května 2017 (NOAA, 2019).

8.3 Současnost a budoucnost korálových útesů

V současné době je ohroženo přibližně 75 % korálových útesů po celém světě. Za posledních 400 000 let zažívají nejvyšší teploty oceánů a acidifikace než kdykoliv předtím, přes 60 % korálových útesů po celém světě čelí jednomu nebo více lokálních stresorů. Globální oteplování a acidifikace již silně odbarvily 16 až 33 % všech korálových útesů. Podíl ohrožených korálových útesů se za posledních 10 let zvýšil

na 30 %. Předpokládá se, že během 50. let tohoto století bude 95 % korálových útesů vystaveno velkým tepelným stresům a potencionálnímu bělení (Burke et al., 2011). Na obrázku č. 20 jsou vyznačeny oblasti pravděpodobného bělení s úmrtností z dubna 2019. Jedná se o oblasti Madagaskaru, Tasmanova moře kolem Nového Zélandu a Austrálie, jižního Pacifiku a jižního Atlantiku.



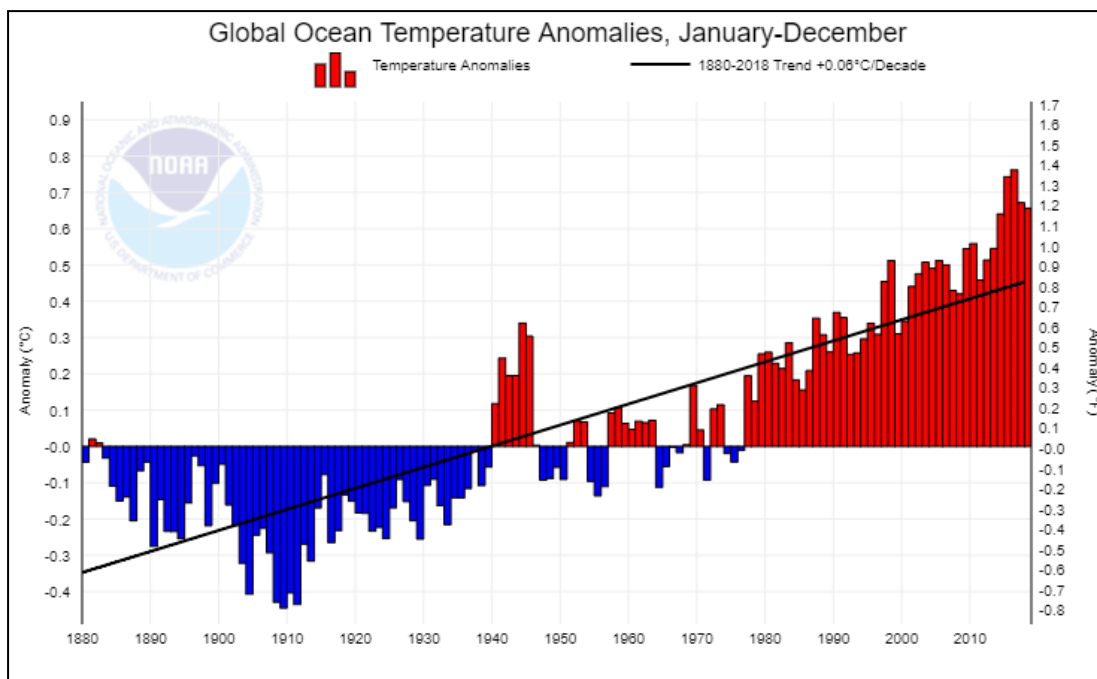
Obrázek 20: Výstražné oblasti bělení v dubnu 2019 (<https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index.php>).

Zachování více jak 10 procent celosvětových korálových útesů vyžaduje omezení globálního oteplení – na méně než 1,5 °C v porovnání s předindustriálními úrovněmi. To je o 0,5 °C méně, než bylo dohodnuto na 21. konferenci Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu. Konference smluvních stran souhlasila s tím, že udrží průměrné zvyšování globální teploty pod úrovní 2 °C (Plass-Johnson et al., 2015). Pokud tedy nebudou emise skleníkových plynů sníženy, je jisté, že oceány budou v polovině současného století velmi odlišným místem. Korálové útesy budou bělením procházet každý rok mezi lety 2030-2040, nebudou schopny se zotavit a začnou z oceánů mizet (Hoegh-Guldenberg & Poloczanska, 2018).

„Děti narozené dnes mohou být poslední generací, která uvidí korálové útesy v celé jejich kráse.“ – David Obura

9 Diskuze

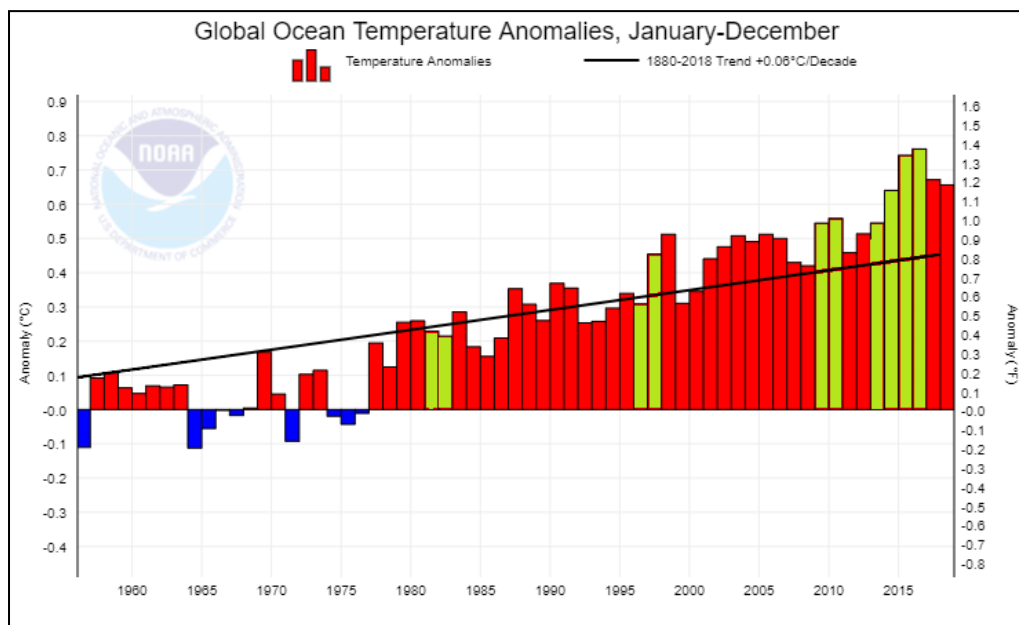
Vědci citovaní v této bakalářské práci se shodují na tom, že bělení korálů se stává závažným problémem tohoto století. Frekvence a intenzita bělení se neustále zvyšují. Příčinou bělení korálů je jednoznačně neustále se zvyšující povrchová teplota moře (SST) a s tím související globální oteplování a ENSO. Dle zprávy IPCC (2014) se odhaduje zvýšení SST o 1,4 °C až 5,8 °C do roku 2100. Trend teplotních anomálií v letech 1880-2018 představuje zvýšení teploty o 0,06 °C. Na obrázku č. 21 vidíme, že trend byl výrazně překročen v roce 1903 ochlazením teploty moře o -0,32 °C. Ochlazování vody pod úrovní trendu pokračovalo až do roku 1940, kde došlo k velmi razantnímu oteplení vody o 0,12 °C. Je nutné podotknout, že od roku 1880 se teplotní anomálie držely spíše v záporných hodnotách, tedy teplota moře se ochlazovala. Změna nastala v již zmiňovaném roce 1940. Poté docházelo střídavě k ochlazování a oteplování povrchu moře. Zlomový byl rok 1977 - teplotní anomálie v předpokládaném trendu, ale od tohoto roku docházelo pouze k oteplování povrchu moře, a to v takové míře, že se teplotní anomálie držely vysoko nad předpokládaným vývojem.



Obrázek 21: Globální teplotní anomálie oceánů (1880-2018) (https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/ocean/vtd/12/1880-2019?trend=true&trend_base=10&firsttrendyear=1880&lasttrendyear=2019).

S postupně rostoucími teplotami moře se začalo objevovat stále častější bělení korálů (obrázek č. 22). V roce 1982 začalo první masové bělení, teplotní anomálie

dosáhla hodnoty 0,21 °C, v roce 1983 0,29 °C. Stále rostoucí povrchové teploty moře měly za následek druhé a třetí masové bělení. Anomálie v roce 1997 představovaly zvýšení povrchové teploty o 0,45 °C, v roce 1998 o 0,51 °C. Třetí masové bělení započalo v roce 2014 se zvýšenou teplotou moře o 0,64 °C, rok poté o 0,74 °C. Nejvyšší anomálie byly zaznamenány v roce 2016 - povrchové teploty moře dosáhly oteplení o 0,76 °C. V roce 2017 se povrchové teploty moře začaly nepatrně snižovat na 0,67 °C a v roce 2018 na 0,66 °C.



Obrázek 22: Globální teplotní anomálie oceánů. Zelené buňky znázorňují bělicí události v letech 1997/1998, 2010/2011, 2014/2017 (https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/ocean/ytd/12/1880-2019?trend=true&trend_base=10&firsttrendyear=1880&lasttrendyear=).

Podle zprávy IPCC (2018) se předpokládá, že omezení globálního oteplování na 1,5 °C ve srovnání s oteplením na 2 °C se sníží zvyšující se teploty a acidifikace oceánů. Pokud se skutečně dosáhne globálního oteplení o 1,5 °C, znatelně to poškodí celou řadu ekosystémů - mnoho mořských druhů bude posunuto do vyšších zeměpisných šířek a stav korálových útesů poklesne o dalších 70-90 %. Znamená to riziko nevratné ztráty mnoha mořských a pobřežních ekosystémů.

Velkou hrozbu přináší i acidifikace, jejíž úroveň se zvyšujícími koncentracemi CO₂ stoupá a ovlivňuje růst, vývoj, kalcifikaci a přežití. Pro omezení globálního oteplování pod 2 °C se musí emise CO₂ snížit o 25 % do roku 2030.

Dle Hoegh-Guldenberga (1999) bude rokem 2050 bělení běžnou roční událostí, pokud tedy budou ještě koráli, kteří by vybledli. Zároveň říká, že v příštím století budou korálové útesy velmi unikátní nebo zcela zničené a nahrazené

mořskými trávami a sinicemi. Taková radikální přeměna základny potravinové sítě bude mít za následek přeměnu ekologických vztahů a funkce útesů.

Bělení korálů je úzce provázáno i s jevem El Niño. Nejvíce devastujících masových bělení korálů nastalo během silných El Niño událostí. Claar et al. (2018) uvádí, že tepelná zátěž spojená s El Niño a La Niña přispívá ke ztrátám korálů napříč oceány. McGowan & Thoebaldová (2017) však namítá, že El Niño nezpůsobí vzestup SST ve všech oblastech bělení, způsobí to místní meteorologické podmínky během El Niño událostí. Dle mého názoru je bělení korálů propojeno jak s globálním oteplováním, tak s jevem El Niño, které teplé vody rozšiřuje. Budoucí výzkum by se měl směřovat právě na provázanost globálního oteplování a jevu El Niño, zda se postupně se změnou klimatu mění i kondice ENSO. Vědecké bádání by se mělo více zaměřiti na monitoring bělicích událostí, který se oproti minulosti sice výrazně zlepšil, stále však není v takovém stavu, aby nedocházelo ke zkreslování dopadu bělicích událostí.

10 Závěr

Změna klimatu se bohužel stala vážným problémem. Léta jsou delší a teplejší, zimy naopak kratší a teplejší. Deště stále nabývají na intenzitě, záplavy a bouře jsou čím dál více častější, hladina oceánů stoupá, oceány jsou kyselější a neustále se oteplovají. Oceány hrají důležitou roli v klimatickém systému a globálním uhlíkovém cyklu Země. Uvolňují a pohlcují CO₂, ale dospěly do takové fáze, kdy více pohlcují, než uvolňují. Oteplování oceánů má za následek celosvětové bělení korálů. V posledním desetiletí se počty záznamů o korálovém bělení neustále zvyšují. Rostoucí emise CO₂ mění chemické složení oceánů, což vede k acidifikaci a činí korálové útesy méně odolnými a více náchylnými k bělení. Kombinace těchto dvou faktorů představuje pro korálové útesy velkou hrozbu pro jejich přežití. Koráli se nemusí současnému trendu oteplování přizpůsobit, spolu s lidským tlakem to může vést až k vyhubení celého ekosystému. Zvyšující se počet masového bělení korálů můžeme považovat za hmatatelný environmentální efekt globálního oteplování.

Ačkoliv řešení globálního oteplování je obtížné, je potřeba, aby docházelo k zapojení vlád při zvyšování povědomí o tomto problému, následně musí dojít k účinné motivaci lidí i průmyslových odvětví ke snižování emisí skleníkových plynů, jen jak je to možné.

Vzhledem ke scénáři budoucího stavu korálových útesů je třeba doufat, že vymření korálových útesů není v dlouhodobém časovém horizontu nezměnitelné a že korálové útesy dostanou čas na zotavení, nebo se přizpůsobí podmínkám, jak tomu bylo již kolikrát v geologické minulosti.

11 Přehled literatury a použitých zdrojů

ALLEN R. S., 1994: *Indo Pacific Coral Reef Guide*. Tropical Reef Research, Singapore.

BAKER, A. C., RIEGL, B., GLYNN, P. W., 2008: *Climate Change and Coral Reef Bleaching: An Ecological Assessment of Long-term Impacts, Recovery Trends and Future Outlook*. Estuarine Coastal and Shelf Science 40/2008. 435-471.

BRANDT, S., 2016: *The El Niño*. Oregon Coast Magazine 1/2016. 10-11.

BURKE, L., REYTAR, K., SPALDING, M., PERRY, A., 2011: *Reefs at Risk Revisited*. World Resources Institute, Washington D.C.

CLAAR, D. C., SZOSTEK, L., MC DEVITT I., SCHANZE, J. J., BAUM J. K., 2018: *Global Patterns and Impacts of El Niño Events on Coral Reefs: A Meta-analysis*. Plos One 13/2018. 1-22.

CLIMATE.GOV - SCIENCE & INFORMATION FOR A CLIMATE-SMART NATION ©2019: *El Niño & La Niña* (online) [cit. 2019.02.23], dostupné z <https://www.climate.gov/enso>.

DARKWAH, W. K., ADDAE, M., ODUM B., KOOMSON, D., 2018: *Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming*. Journal of Scientific Research and Reports 17/2018. 1-9.

EAKIN, C. M., GANG, L., GOMEZ, A. M., *Ding, Dong, The Witch is Dead? Three Years of Global Coral Bleaching 2014-2017*. Reef Encounter 32/2017. 33-39.

EAKIN, C. M., LIU, G., GOMEZ A. M., DE LA COUR, J. L., HERON, S. F., SKIRVING, W. J., GEIGER, E. F., TIRAK, K. V., STRONG, A. E., 2016: *Global Coral Bleaching 2014-2017? Status and an Appeal for Observations*. Reef Encounter 43/2016. 20-26.

FABIEN C., 2006: *Oceán*. Dorling Kindersley Limited, Londýn.

GLOBAL REEF PROJECT, ©2010: *Coral Reef History* (online) [cit. 2018.12.27], dostupné z <http://www.globalreefproject.com/coral-reef-history.php>

GOREAU, T., 1964: *Mass Expulsion of Zooxanthellae from Jamaican Reef Communities after Hurricane Flora*. Science 7/1964. 145.

- HAUSFATHER Z., 2019: *Carbon Brief Clear on Climate* (online) [cit. 2019.03.16], dostupné z <https://www.carbonbrief.org/state-of-the-climate-how-world-warmed-2018>
- HERON, E. A., 2017: *Impacts of Climate Change on World Heritage Coral Reefs: A First Global Scientific Assessment*. UNESCO World Heritage Centre, Paříž.
- HOEGH-GULDENBERG, O., 1999: *Climate Change, Coral Bleaching and The Future of TheWorld's Coral Reefs*. Marine Freshwater Research 50/1999. 839-866.
- HOEGH-GULDENBERG, O., POLOCZANSKA, E. S., 2018: *Impact of Climate Change Across Ocean Refions*. Frontiers.
- HOUGHTON J., 1995: *Global Warming: The Complete Brief*. Lion Publishing, Oxford.
- HOUGHTON J., 2015: *Global Warming: The Complete Brief, Fifth Editon*. Bell and Bain Ltd, United Kingdom.
- HUTCHINSON S., LAWRENCE H.E., 2007: *Moře & Oceány*. Rebo, Čestlice.
- IPPC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Online) [cit. 2019.04.01], dostupné z <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
- IPPC, 2018: *Global Warming of 1,5 °C above pre-industrial levels and related global greenhause gas emission pathway, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (Online) [cit. 2019.03.15], dostupné z <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- KADRNOŽKA J., 2008: *Globální oteplování Země*. Vutim, Brno.
- KIESSLING V., FLÜGEL E., 2002: *Paleoreefs – A Database on Phanerozioc Reefs*. Society for Sedimentary Geology, Tulsa.
- L'HEUREUX, M., 2014: *What is El Niño – Southern Oscillation (ENSO) in a nutshell?* (Online) [cit. 2019.03.23], dostupné z <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/what-el-ni%C3%B1o%E2%80%93southern-oscillation-enso-nutshell>.

- LOMBORG, B., 2008: *Zchlad'te hlavy! Skeptický ekolog o globálním oteplování*. Dokořán, Praha.
- LÓPEZ, N. O., CHAVÉZ, C. G., HÉRNANDEZ-ELIZÁRRAGA, V. H., ALVARADO, C. I., MOLINA, A. R., 2018: *Coral Reef Bleaching: An Ecological and Biological Overview*. IntechOpen, Rijeka.
- MC GOWAN H., THEOBALD, A., 2017: *ENSO Weather and Coral Bleaching on the Great Barrier Reef, Australia*. *Geophysical Research Letters* 9/2017. 601-607.
- MELILLO J. M., RICHMOND T., YOHE G., 2014: *Highlights of Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*. U. S. Global Change Research program, Washington.
- MITHTHAPALA S., 2008: *Coral Reefs. Coastal Ecosystems Series (vol 1)*. Ecosystems and Livelihoods Group Asia, IUCN, Colombo.
- MŽP, ©2018: *Rámcová smlouva o změně klimatu* (online) [cit. 2019.02.19], dostupné z https://www.mzp.cz/cz/ramcova_umluva_osn_zmena_klimatu.
- NOAA ©1999: *Coral Health and Monitoring Program* (online) [cit. 2019.03.19], dostupné z <https://www.coral.noaa.gov/>.
- NOAA ©2000: *NOAA Coral Reef Conservation Program* (online) [cit. 2019.03.19], dostupné z <https://coralreef.noaa.gov/>.
- NOAA ©2016: *El Niño Prolongs Longest Global Coral Bleaching Event* (online) [2019.02.21], dostupné z <https://www.noaa.gov/media-release/el-ni-o-prolongs-longest-global-coral-bleaching-event>.
- NOAA ©2019: *ENSO Conditions and Coral Bleaching* (online) [cit. 2019.03.03], dostupné z https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/analyses_guidance/enso_bleaching_97-99_ag_20140507.php.
- NOAA National Centers for Environmental Information, ©2017: *Global Climate Report for Annual 2016* (online) [cit. 2019.03.16], dostupné z <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613>

NOAA National Centers for Environmental Information, ©2018: *Global Climate Report for Annual 2018* (online) [cit. 2019.03.16], dostupné z <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201813>

OLIVIER, J. G. J., 2017: *Trends in Global CO₂ and Total Greenhouse Gas Emissions: 2017 Report*. PBL Netherlands Environmental.

OLIVIER, J. G. J., BERKELMANS, R., EAKIN, C., 2018: *Coral Bleaching in Space and Time*. In: VAN OPPEN, M. J. H., LOUGH, J. M.: *Coral Bleaching: patterns, proceses, causes and consequences*. Springer, Berlín, 27-51.

OLIVIER, J. G. J., PETERS J. A. H., 2018: *Trends in Global CO₂ and Total Greenhouse Gas Emissions: 2018 Report*. Netherlands Environmental Assessment Agency, Haag.

PICKERING, K. T., OWEN, L. S., 1997: *An Introduction to Global Environmental Issues*. Routledge, Londýn.

PINET R. P., 2016: *Invitation to Oceanography*. Jones & Bartlett Learning, Burlington.

PLASS-JOHNSON, J. G., CARDINI, U., VAN HOYTEMA, N., BAYRAKTAROV, E., BURGHARDT, I., NEUMANN, M. S., WILD, CH., 2015: *Coral Bleaching*. In: ARMON, R. H., HÄNNINEN, O.: *Environmental Indicators*. Springer, 117-146.

SCUTTON C. T., 1997: *The Palaeozoic Corals, I: Origins and Relationships*. Yorkshire Geological Society, Londýn.

SEVAIS T., HARPER D., LI J., MUNNECKE A., OWEN W. A., SHEEHAN M. P., 2009: *Understanding the Great Ordovician Biodiversification Event (GOBE): Influences of paleogeography, paleoclimate, or paleoekology?* GSA Today.

SOUKUPOVÁ, J., 2013: *Metody peleklimatologie a historické klimatologie a vývoj klimatu na Zemi*. POWERPRINT, Praha.

SPALDING M., RAVILIOUS C., GREEN E., 2001: *World Atlas of Coral Reefs*. UNEP World Conservation Monitoring Centre, Berkeley.

THURMAN V. H., TRUJILLO P.A., 2005: *Oceánografie: Tajemný svět moří a oceánů*. Computer Press, Brno.

TRENBERTH, K. E., 1997: *The Definiton of El Niño*. Bulletin of the American Meteorological Society 12/1997. 2771-2778.

TSONIS, A., 2017: *The Little Boy – El Niño and Natural Climate Change*. The Global Warming Policy Foundation, Londýn.

USCRTF ©1998: *The United States Coral Reef Task Force* (online) [cit. 2019.03.19], dostupné z <https://www.coralreef.gov/about/>.

VAN DINGENEN, R., CRIPPA, M., MAENHOUT, G., GUIZZARDI, D., DENTENER, F., 2018: *Global Trends of Methane Emissions and Theri Impact on Ozone Concentrations*. Publications Office European Union, Lucembursko.

WILKINSON, C. R., 1998: *Status of Coral Reefs of The World: 1998*. Australian Institute of Marine Science, Dampier.

WILKINSON, C. R., 2000: *Status of Coral Reefs of The World: 2000*. Australian Institute of Marine Science, Dampier.

WUEBBLES D. J., FAHEY D. W., HIBBARD K. A., DOKKEN D. J., STEWART B. C., MAYCOCK T. K., 2017: *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I*. U. S. Global Change Research program, Washington.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Stavba korálu (Fabien, 2006).

Obrázek 2: Typy korálových útesů (Pinet, 2016).

Obrázek 3: Nejčastější ukazatele oteplování planety (Online) [cit. 2019.03.03], dostupné z <https://nca2014.globalchange.gov/highlights/overview/ovrview>.

Obrázek 4: Přehled deseti nejteplejších let od roku 1880 až do roku 2018 (Online) [cit. 2019.03.03], dostupné z <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201813>.

Obrázek 5: Vývoj globálního oceánského tepla v zetajoulech od roku 1955 do roku 2018 (Online) [cit. 2019.04.03], dostupné z <https://www.carbonbrief.org/state-of-the-climate-how-world-warmed-2018>.

Obrázek 6: Globální emise skleníkových plynů, dle typu zdroje (Online) [cit. 2019.03.03], dostupné z <https://www.pbl.nl/en/infographic/global-greenhouse-gas-emissions-per-type-of-gas-and-source-including-lulucf>.

Obrázek 7: Roční emise CO₂ za rok 2016, měřeno v tunách za rok (Online) [cit. 2019.01.02], dostupné z <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.

Obrázek 8: Mapy teplotních anomálií povrchové teploty v Pacifiku během silného El Niño (1997) a La Niña (1998) (L'Heureux, 2014) (Online) [cit. 2019.03.23], dostupné z <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/what-el-ni%C3%B1o%E2%80%93southern-oscillation-enso-nutshell>.

Obrázek 9: Proces bělení korálů (Online) [cit. 2019.02.04], dostupné z https://oceanservice.noaa.gov/facts/coral_bleach.html.

Obrázek 10: Velmi silné bělení korálů v oblasti Panam, Kolumbie a Baham v letech 1982-1983 (Online) [cit. 2019.04.12], dostupné z <http://reefgis.reefbase.org/default.aspx?wms=RGWDHW>.

Obrázek 11: Velmi silné bělení korálů v oblasti Indonésie v letech 1982-1983 (Online) [cit. 2019.04.12], dostupné z <http://reefgis.reefbase.org/default.aspx?wms=RGWDHW>.

Obrázek 12: Teplotní anomálie povrchové teploty moře v říjnu 1997 (NOAA,2019) (Online) [cit. 2019.03.03], dostupné z

https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/analyses_guidance/enso_bleaching_97-99_ag_20140507.php.

Obrázek 13: Výstražné oblasti bělení v říjnu 1997 (NOAA, 2019) (Online) [cit. 2019.03.03], dostupné z https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/analyses_guidance/enso_bleaching_97-99_ag_20140507.php.

Obrázek 14: Výstražné oblasti bělení v únoru 1998 (NOAA, 2019) (Online) [cit. 2019.03.03], dostupné z https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/analyses_guidance/enso_bleaching_97-99_ag_20140507.php.

Obrázek 15: Teplotní anomálie povrchové teploty moře v červenci 1998 (NOAA, 2019) [cit. 2019.03.03], dostupné z https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/analyses_guidance/enso_bleaching_97-99_ag_20140507.php.

Obrázek 16: Výstražné oblasti bělení v srpnu 1998 (NOAA, 2019) (Online) [cit. 2019.03.03], dostupné z https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/analyses_guidance/enso_bleaching_97-99_ag_20140507.php.

Obrázek 17: Výstražné oblasti bělení pro září 2014 (Eakin, 2016).

Obrázek 18: Výstražné oblasti bělení pro leden až červen 2015 (Eakin, 2016).

Obrázek 19: Maximální tepelná zátěž od června 2014 do května 2017 (NOAA, 2019) (Online) [cit. 2019.04.24], dostupné z https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/analyses_guidance/enso_bleaching_97-99_ag_20140507.php.

Obrázek 20: Výstražné oblasti bělení v dubnu 2019 (Online) [cit. 2019.04.24], dostupné z <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index.php>.

Obrázek 21: Globální teplotní anomálie oceánů (1880-2018) (Online) [cit. 2019.04.15], dostupné z: https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/ocean/ytd/12/1880-2019?trend=true&trend_base=10&firsttrendyear=1880&lasttrendyear=2019.

Obrázek 22: Globální teplotní anomálie oceánů. Zelené buňky znázorňují bělicí události v letech 1997/1998, 2010/2011, 2014/2017 (Online) [cit. 2019.04.05], dostupné z [https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/ocean/ytd/12/1880-2019?trend=true&trend_base=10&firsttrendyear=1880&lasttrendyear=.](https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/ocean/ytd/12/1880-2019?trend=true&trend_base=10&firsttrendyear=1880&lasttrendyear=)

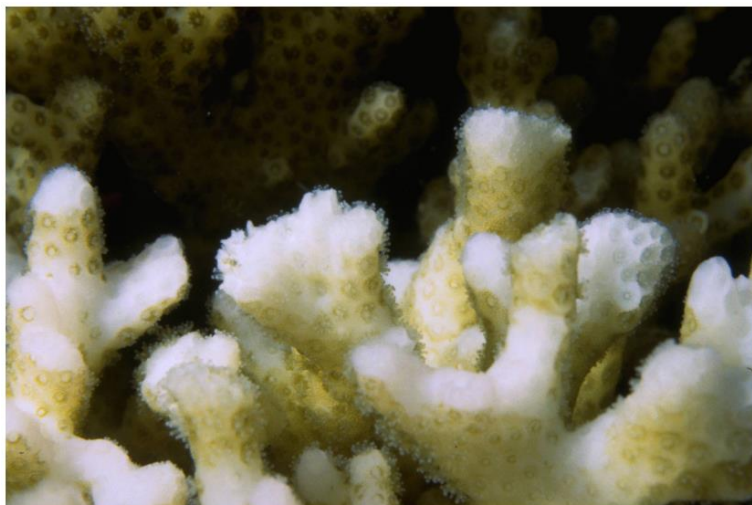
Seznam grafů

- Graf 1:** Procentuální zastoupení zemí se zvýšenou spotřebou uhlí
- Graf 2:** Státy podílející se na zvýšení emisí CH₄ v roce 2017
- Graf 3:** Podíl jednotlivých států na zvyšování emisí NO₂

Seznam příloh

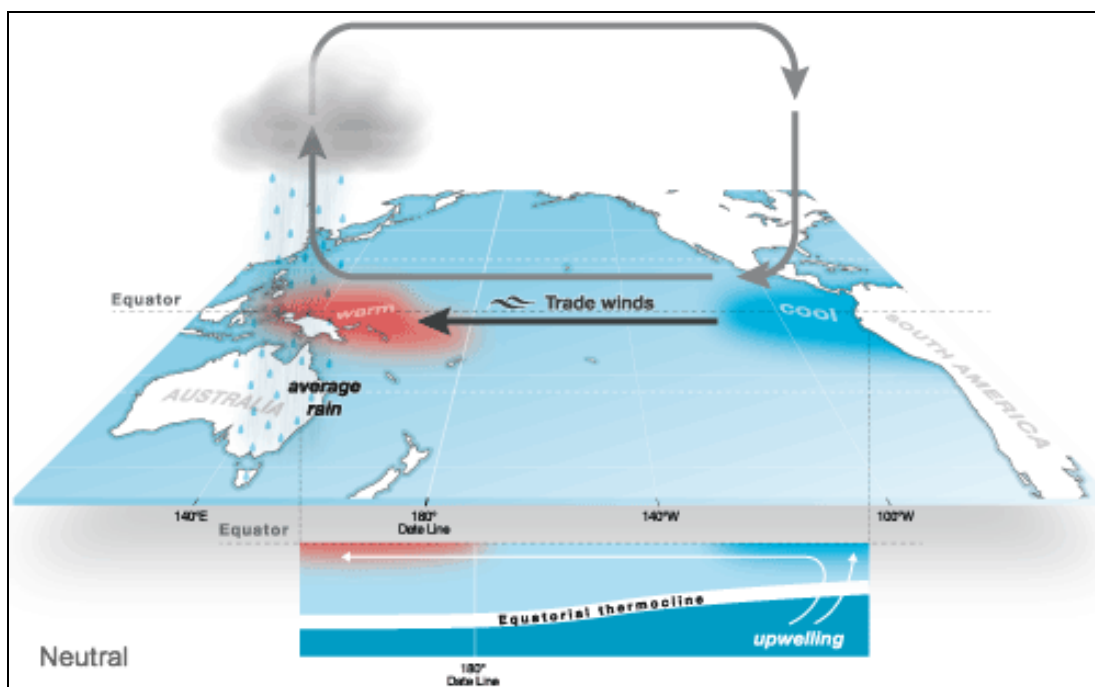
- Příloha č. 1:** Vybělený korál
- Příloha č. 2:** Neutrální stav
- Příloha č. 3:** El Niño
- Příloha č. 4:** La Niña
- Příloha č. 5:** Zooxantela korálu
- Příloha č. 6:** Zdravý a vybělený polyp korálu
- Příloha č. 7:** Průběh bělení korálů
- Příloha č. 8:** Před a po bělení korálů (Americká Samoa)
- Příloha č. 9:** Před a po bělení korálů (Lizard Island)
- Příloha č. 10:** Zdravý útes a útes v procesu bělení
- Příloha č. 11:** Proces fluorescence
- Příloha č. 12:** Proces fluorescence
- Příloha č. 13:** Výstražné oblasti bělení v roce 2016
- Příloha č. 14:** Oblasti bělení v květnu 2015

Přílohy

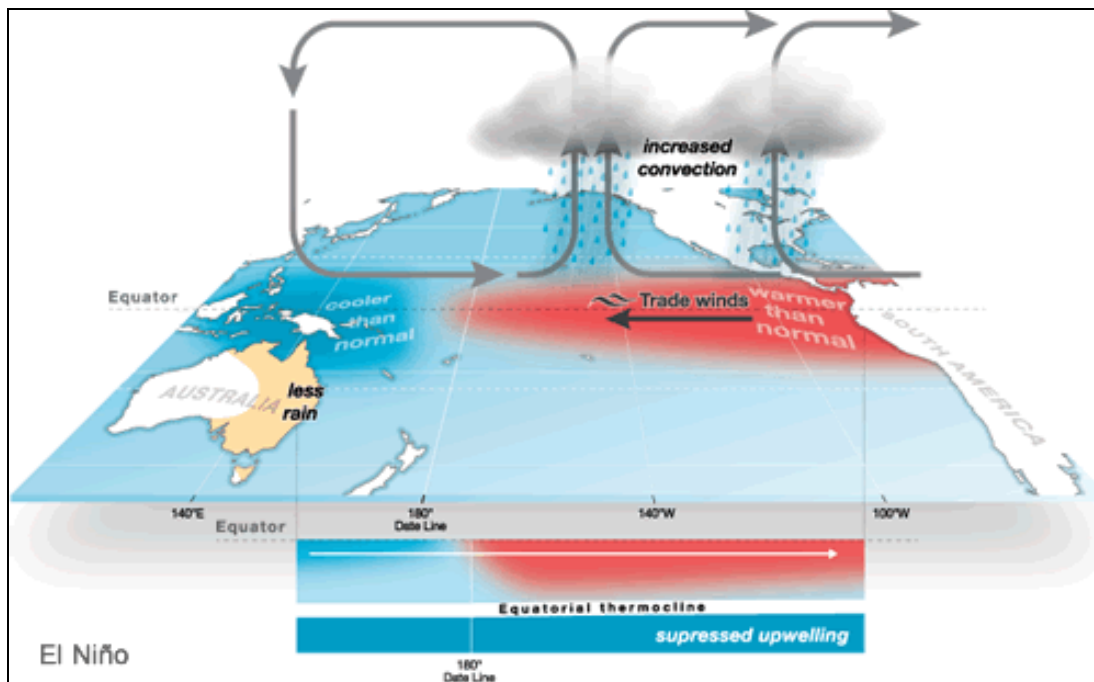


Příloha 1: Vybělený korál. Polypy na vrchní části korálu jsou zcela vyběleny, zatímco tmavší části korálu mají pořád částečný vztah se zooxantelou

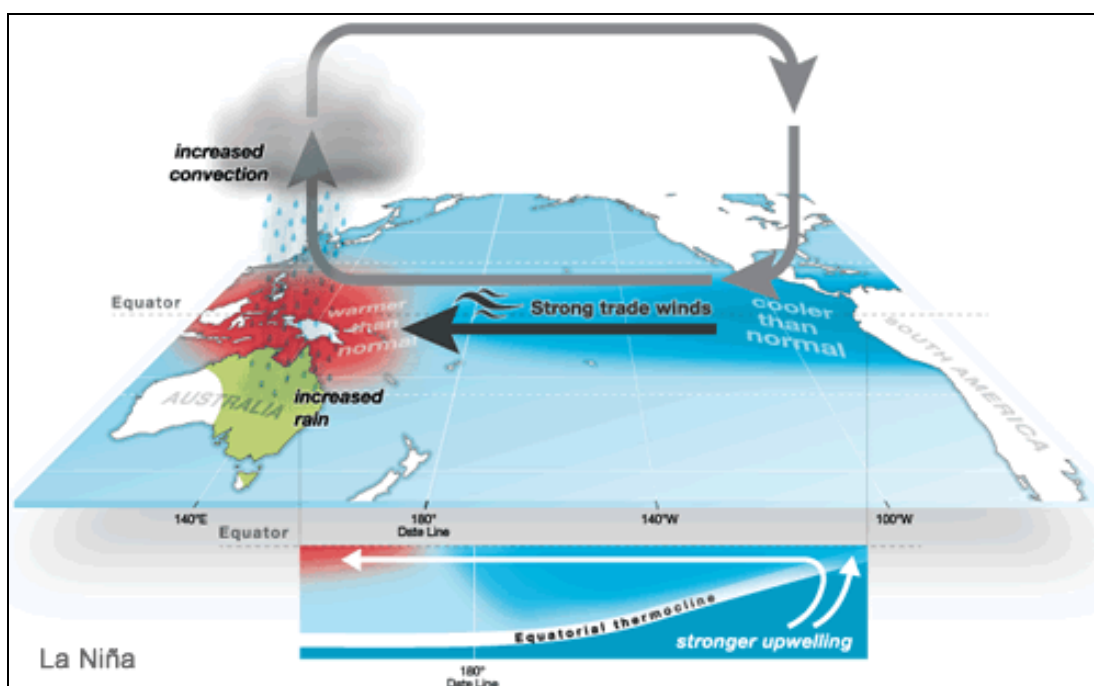
(https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/education/tutorial/supp_bleached_coral.php).



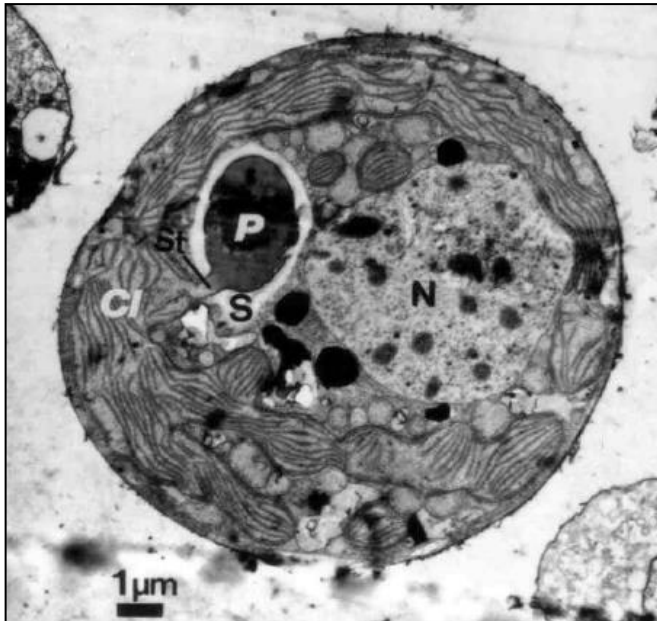
Příloha 2: Neutrální stav – pasáty proudí směrem k západu přes tropický Pacifik, přivádějí teplý vlhký vzduch a teplejší povrchové vody směrem k západnímu Pacifiku a udržují rovníkový Pacifik relativně chladný
(<http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/three-phases-of-ENSO.shtml>).



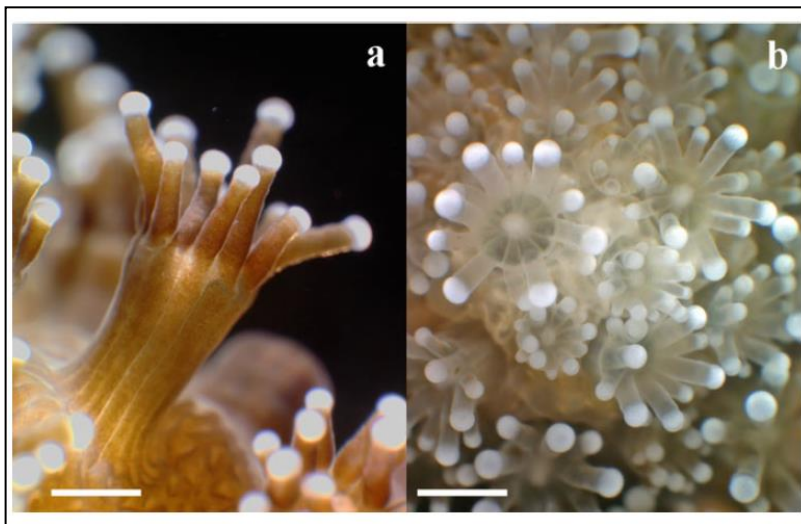
Příloha 3: El Niño – pasáty oslabují, nebo se dokonce obrátí, teplejší vody se přesouvají do rovníkového a východního tropického Pacifiku. (<http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/three-phases-of-ENSO.shtml>).



Příloha 4: La Niña – pasáty zesilují, studené vody přesouvají teplé směrem na západní Pacifik k Austrálii, kde zesiluje i proudění a vlhkost. (<http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/three-phases-of-ENSO.shtml>).



Příloha 5: Zooxantela z korálu. P = enzym, který váže oxid uhličitý, N = buněčné jádro, Cl = chloroplast, S = škrob. (Hoegh-Guldberg, 1999).

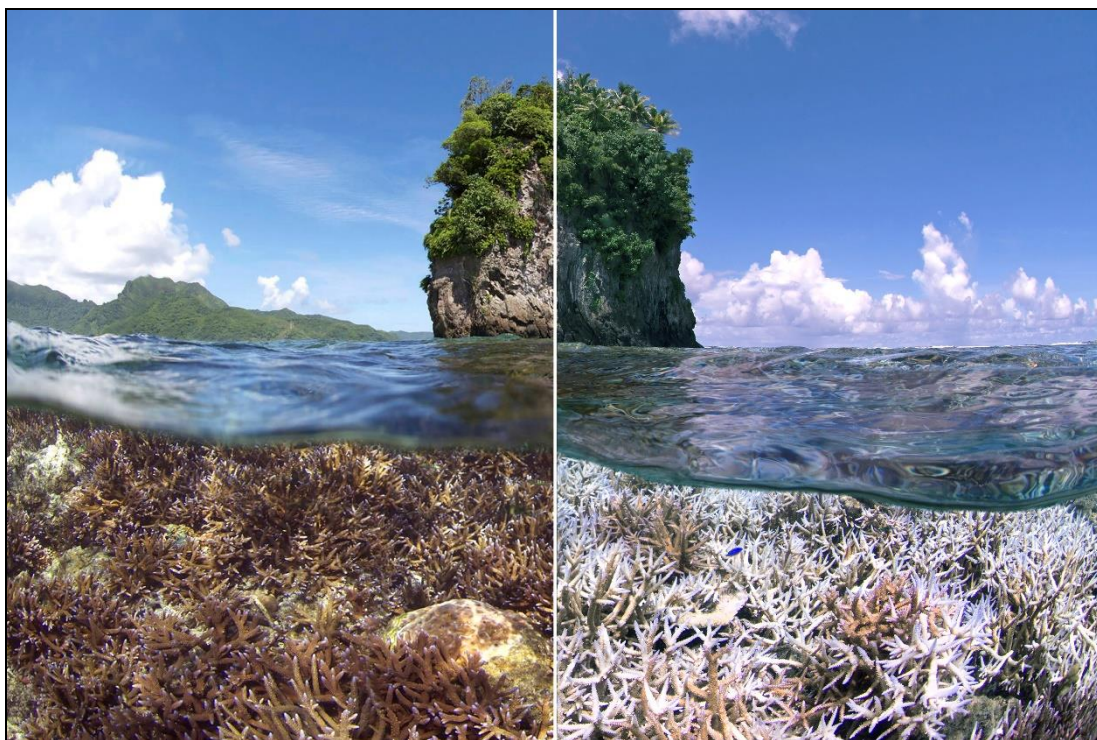


Příloha 6: Zdravý (a) a vybělený polyp korálu (b)
https://www.researchgate.net/publication/280953101_The_functioning_of_coral_reef_communities_along_environmental_gradients/figures?lo=1.



Příloha 7: Průběh bělení, Americká Samoa. Zdravý korál (prosinec 2014), korál v procesu bělení (únor 2015), mrtvý korál (srpen 2015)

(https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/analyses_guidance/global_coral_bleaching_2014-17_images/fig3_american-samoa_before-during-after_2015.jpg).



Příloha 8: Před (prosinec 2014) a po bělení (únor 2015), americká Samoa

(<https://www.coralreefimagebank.org/before-after>).



*Příloha 9: Bělící korál (březen 2016), mrtvý korál (květen 2016), Lizard Island
(<https://www.coralreefimagebank.org/before-after>).*



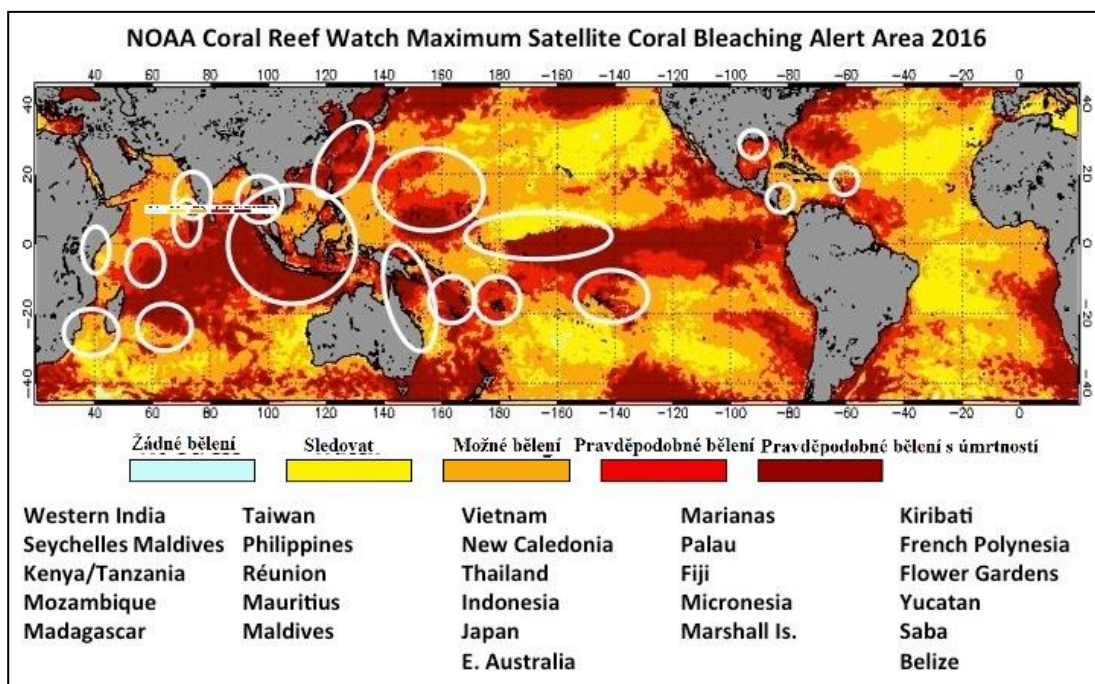
*Příloha 10: Zdravý útes (srpen 2015), útes v procesu bělení (listopad 2015), ostrov Maui, Havaj
(<https://www.coralreefimagebank.org/before-after>).*



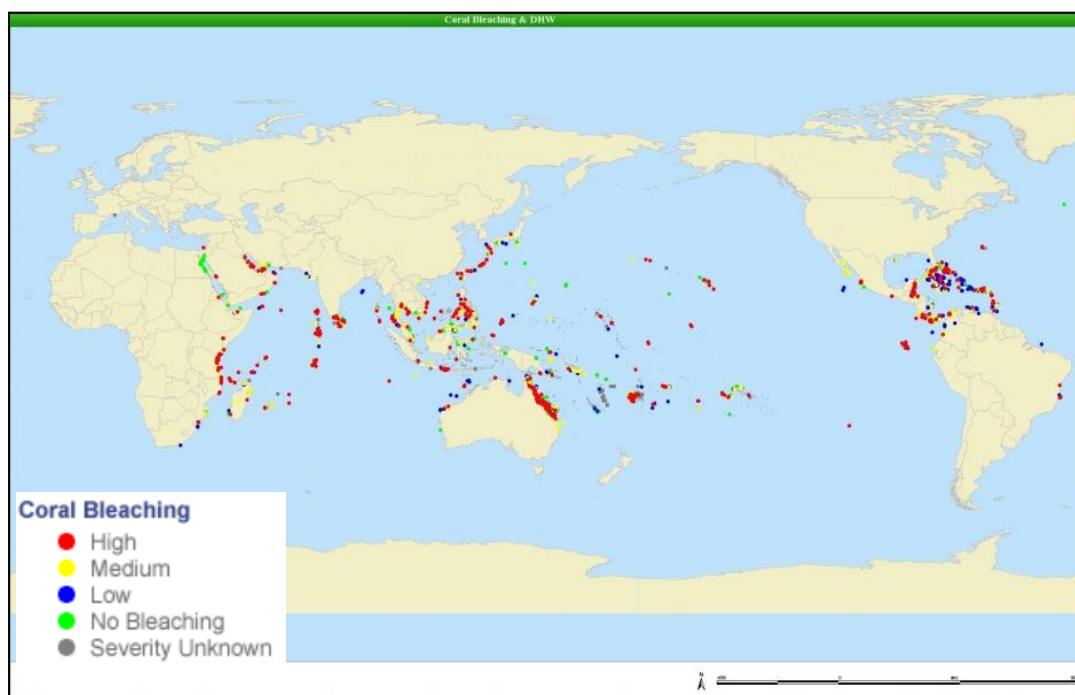
Příloha 11: Fluorescence - poslední obranná fáze korálu před bělením (březen 2016), Nová Kaledonie (<https://www.coralreefimagebank.org/fluorescing>).



Příloha 12: Fluorescence - poslední obranná fáze korálu před bělením (březen 2016), Nová Kaledonie (<https://www.coralreefimagebank.org/fluorescing>).



Příloha 13: Výstražné oblasti bělení v roce 2016, bílé kruhy jsou oblasti, kde bylo zaznamenáno bělení (https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/analyses_guidance/global_coral_bleaching_2014-17_status.php).



Příloha 14: Oblasti bělení (květen 2015) (<http://reefresilience.org/coral-reefs/stressors/bleaching/mass-bleaching/>).