

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA PLÁNOVÁNÍ KRAJINY A SÍDEL



VLIV ZMĚNY KLIMATU NA POPULACI

KORÁLŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Dr. Mgr. Vera Potopová

Bakalant: Vítězslava Silovská

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vítězslava Silovská

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Vliv změny klimatu na populaci korálů

Název anglicky

The effects of climate change on coral reef

Cíle práce

Cílem práce je charakteristika korálů a korálových útesů. Popis vybraných oblastí a vlivů, které korálové útesy nejvíce v dané oblasti ohrožují. Nastínit problematiku vymírání korálů v důsledku klimatických změn a zhodnocení jejich stavu. Poskytnutí náhledu do budoucnosti a návrhů na ochranu.

Metodika

Práce se zabývá rešerší zdrojů na dané téma a dále metodikou, která byla použita k dosažení stanovených cílů této bakalářské práce.

Metody získávání dat: rešerše odborných zdrojů dle vědecké časopisy a vědecké informační databáze například Web of Science, SCOPUS a Google Scholar.

Aktivní
Přejdět

Student musí vysvětlit (i) co z předložené rešerše vyplývá, (ii) kde jsou poznatky nedostatečné, (iii) jaké jsou proto aktuální směry výzkumu a (iv) jak by mohlo magisterské studium (diplomová práce) navazovat na tyto aktuální směry.

Doporučený rozsah práce

Minimálně 40 stran.

Klíčová slova

Koráli, korálový útes, klima, zvyšování teploty, CO₂

Doporučené zdroje informací

- Burke, L., Reytar, K., Spalding, M., Perry, A. 2011. Reefs at risk revisited. Washington, DC: World Resources Institute. 130 p. ISBN 9781569737620.
- Dong, W. 2015. Atlas of climate change: responsibility and obligation of human society. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg. 254 p. ISBN 978-3-662-48442-5.
- Mark, D., Spalding, MD., Brown BE. 2015. Warm-water coral reefs and climate change. Science. 350, 6262: 769-771. doi: 10.1126/science.aad0349.
- Přírodní divy naší planety. Přeložil Jolana MALÁTKOVÁ, přeložil Jaroslav HOFMANN. Praha: Knižní klub, 2018. Universum (Knižní klub). 440 p. ISBN 978-80-242-6226-0.
- Sobíšek, B. 1993. Meteorologický slovník výkladový a terminologický. MŽP ČR, Praha, 594 s.
- Útes: [výprava za podmořským světem]. V Praze: Knižní klub, 2008. 360 s. ISBN 978-80-242-2134-2.
- Wilkinson, C. 2000. Status of coral reefs of the World: 2000. Status of coral reefs of the World. Australian Institute of Marine Science: Townsville. 363 p. ISBN 0-642-32209-0.
- Žalud, Z., ed. 2009. Změna klimatu a české zemědělství — dopady a adaptace. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, Brno, 154 pp.

Aktivu
Přejděte

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Dr. Mgr. Vera Potopová

Garantující pracoviště

Katedra agroekologie a rostlinné produkce

Elektronicky schváleno dne 5. 11. 2020

prof. Ing. Josef Soukup, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2021

Aktivu
Přejděte

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: **Vliv změny klimatu na populaci korálů** vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Chebu 30.03.2021

Vítězslava Silovská

Poděkování

Tímto bych chtěla především poděkovat své vedoucí bakalářské práce paní doc. Dr. Mgr. Vere Potopové za ochotu, odbornou pomoc a cenné rady při zpracování této bakalářské práce. Poděkování patří také mé rodině za podporu a především trpělivost, kterou se mnou měli.

Abstrakt

Bakalářská práce je psána formou literární rešerše za použití odborné literatury, vědeckých průzkumů a internetových zdrojů. Poskytuje náhled do problematiky globálního oteplování v návaznosti na korálové útesy a posouzení současného stavu.

První část je zaměřena na seznámení se s koráli, jež tvoří tvář celého korálového útesu, stručné charakterizování stavby těla, způsoby rozmnožování a členění korálů dle typů jejich schránek. V závěru této části jsou rozděleny korálové útesy na lemové, bariérové a na atoly podle jejich formace.

Druhá část je zaměřena na faktory ovlivňující úmrtí korálů. Jednotlivé faktory jsou rozděleny do tří kapitol. Jedná se o faktory způsobené lidskou činností: zakázané techniky rybolovu, znečišťování vody a rozvoj pobřežních oblastí. Dále faktory zapříčiněné globálním oteplováním: zvyšování teploty oceánů, okyselování oceánů a faktory v důsledku klimatických změn v podobě klimatického jevu ENSO.

Poslední část práce se zabývá charakteristikou a podrobnou analýzou dvou vybraných oblastí, a to Velkého bariérového útesu a Mezoamerického systému korálových útesů. Zde jsou detailně popsány příčiny vedoucí k vymírání korálového útesu následuje popis současného stavu.

V závěru práce se shrnuje celková provázanost globálního oteplování a lidské činnosti s korálovými útesy, celková problematika týkající se zhoršujícího stavu, záchranná činnost organizací působící v daných oblastech i nastínění blízké budoucnosti.

Práce řeší velice závažné celosvětové téma, kterým je globální oteplování spojené především s moderním způsobem života lidí, a jak na dané globální změny reagují samotné korálové útesy. Řešené téma poukazuje, jak významné jsou korálové útesy nejen pro mořské prostředí, ale i pro mnoho milionů obyvatel po celém světě.

Klíčová slova: Koráli, korálový útes, klima, zvyšování teploty, CO₂

Abstract

The bachelor's thesis is written in the form of literary research using professional literature, scientific research and Internet resources. It provides an insight into the issue of global warming in relation to coral reefs and an assessment of the current situation.

The first part is focused on getting acquainted with the corals that make up the face of the entire coral reef, brief characterization of body structure, methods of reproduction and division of corals according to the types of their shells. At the end of this part, coral reefs are divided into fringing reefs, barrier reefs and atolls, according to their formation.

The second part focuses on the factors influencing coral extinction. The individual factors are divided into three chapters. These are factors due to human activity: prohibited fishing techniques, water pollution and the development of coastal areas. Factors caused by global warming: rising ocean temperatures, ocean acidification and factors due to climate change in the form of the ENSO climate phenomenon.

The last part of the thesis deals with the characteristics and detailed analysis of two selected areas, namely the Great Barrier Reef and the Mesoamerican Barrier Reef System. Here are described in detail the causes leading to the extinction of the coral reef, as well as a description of the current state.

At the end of the thesis, the overall connection between global warming and human activity to coral reefs, general issues related to the deteriorating situation, rescue activities of organizations operating in the areas and an outline of the near future are summarized.

The thesis addresses a very important global issue, which is global warming associated primarily with the modern way of life of people, and how the coral reefs themselves respond to the global changes. The addressed topic shows how important coral reefs are not only for the marine environment, but also for many millions of people around the world.

Keywords: Corals, coral reefs, climate, raising temperature, CO₂

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíl práce	12
3. Koráli.....	13
3.1 Druhy korálů.....	14
3.1.1 Měkkí koráli	14
3.1.2 Tvrdí koráli	15
3.2 Rozdělení korálových útesů	15
3.2.1 Lemový útes.....	15
3.2.2 Bariérový útes	16
3.2.3 Atoly	16
4. Faktory ovlivňující vymírání korálů	17
4.1 Činnosti člověka	17
4.1.1 Zakázané techniky rybolovu.....	17
4.1.2 Znečišťování vody	19
4.1.3 Rozvoj pobřežních oblastí	20
4.2 Zvyšování teploty oceánů.....	21
4.2.1 Skleníkový efekt	22
4.2.2 Skleníkové plyny	23
4.3 Okyselování oceánů	28
4.3.1 Dopady acidifikace oceánů na korálové útesy.....	30
4.4 Klimatický jev ENSO.....	30
4.4.1 Jižní oscilace	31
4.4.2 El Niño.....	31
4.4.3 La Niña	34
4.4.4 ENSO a vliv na korálové útesy.....	35
5. Velký bariérový útes	41
5.1 Příčiny zániku korálů na Velkém bariérovém útesu.....	43
5.1.1 Změny klimatu a s tím spojené bělení	43

5.1.2 Hvězdice trnová koruna (<i>Acanthaster planci</i>)	45
5.1.3 Extrémní projevy počasí	46
5.2 Zhodnocení současného stavu	48
6. Mezoamerický systém korálových útesů	48
6.1 Příčiny zániků korálů v Mezoamerickém systému korálových útesů	50
6.1.1 Rybolov.....	50
6.1.2 Zemědělská činnost.....	51
6.1.3 Rozvoj pobřežních oblastí a cestovní ruch	52
6.2 Zhodnocení současného stavu	52
7. Diskuze.....	53
8. Závěr	56
9. Přehled literatury a použitých zdrojů	58
9.1 Odborné zdroje	58
9.2 Internetové zdroje	64
10. Seznam obrázků	67
11. Přílohy	70

Seznam použitých zkratek

ARC	Centrum Excellence pro studium korálových útesů
CO₂	Oxid uhličitý
ENSO	El Niño Jižní oscilace
GBRMPA	Správa mořského parku Velký bariérový útes
IPCC	Mezivládní panel o změně klimatu
MASKÚ	Mezoamerický systém korálových útesů
NOAA	Národní úřad pro oceán a atmosféru
PPB	Jednotka na miliardu
PPM	Jednotka na milion
SOI	Index Jižní oscilace
UNESCO	Organizace spojených národů pro výchovu, vědu a kulturu
VBÚ	Velký bariérový útes

1. Úvod

Korálové útesy jsou jedinečným ekosystémem, který hostí přes miliony živých organismů. I když pokrývají jen 1 % mořského dna, jsou nezbytnou součástí, bez které by miliony lidí přišly o svůj zdroj příjmů a potravy. Velkou hrozbou pro korálové útesy představuje především změna klimatu, rybolov, cestovní ruch a znečištění vody.

O globálním oteplování a změně klimatu slyšíme čím dál častěji. Většina z nás tomu ale nevěnuje pozornost, jakou si toto téma zaslouží. Zvyšování emisí skleníkových plynů roste prudce nahoru každým rokem, a tím se naše planeta nebezpečně rychle otepluje. Kolik z nás ví, co se stane, pokud se teplota bude dále zvyšovat? Jen malé procento lidí na světě si uvědomuje, jak je situace vážná. Pokud se emise skleníkových plynů nezačnou snižovat, dojde pravděpodobně v průběhu několik desítek let k roztání ledovců, zvýšení hladiny moří, posunu podnebných pásů a většina světových korálových útesů bude čelit vyhynutí.

Zásadní faktory pro zdravé korálové útesy jsou především ideální podmínky v jejich přirozeném prostředí. Koráli jsou velice náchylní na změny teplot, znečištění a salinitu mořské vody. Všechny tyto podmínky jsou čím dál častěji narušovány probíhajícími změnami klimatu a lidskými činnostmi. Podle vědců v případě, že by došlo k rozsáhlému úhynu korálových útesů, by pravděpodobně došlo k vymizení celé řady organismů a následnému ekologickému kolapsu.

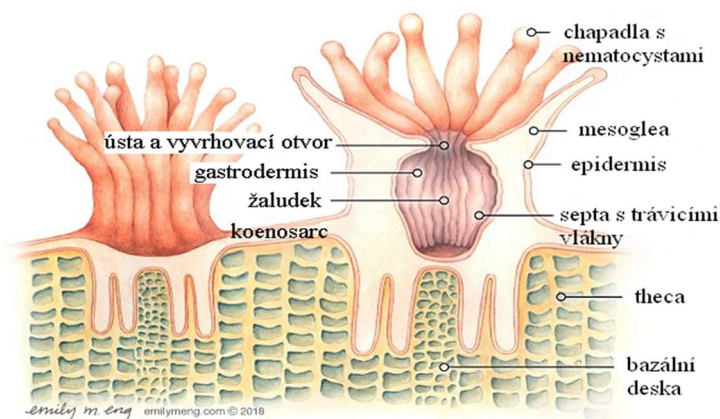
2. Cíl práce

Cílem práce je charakteristika korálů a korálových útesů, popis vybraných oblastí a vlivů, které korálové útesy nejvíce v dané oblasti ohrožují, nastínit problematiku vymírání korálů v důsledku klimatických změn a zhodnocení jejich stavu, poskytnutí náhledu do budoucnosti a návrhů na ochranu.

3. Koráli

Koráli jsou bezobratlí živočichové, kteří vytvářejí tvář korálového útesu. Mnohdy jsou nazýváni ekosystémovými inženýry utvářejícími domov pro tisíce dalších organismů (Bellwood et al. 2004). Pro zvláště vysokou biodiverzitu jsou často korálové útesy přirovnávány k deštnému pralesu. Většina korálů se řadí do tříd korálnatců (*Anthozoa*), kteří spadají do kmene žahavců (*Cnidaria*). Mezi příbuzné korálů patří medúzy a sasanky. Jedná se o velice jednoduché organismy, kteří žijí přisedlou formou života ve stádiu polypa (Spalding et al. 2001).

Tělo polypa je tvořeno vnější ektodermální vrstvou (*epidermis*) a vnitřní endodermální vrstvou (*gastrodermis*). Mezi ektodermální a endodermální vrstvou se nachází mezibuněčná hmota zvaná mesoglea. V horní části se nachází štěrbinu, která slouží jako ústa i vyvrhovací ústrojí zároveň. Štěrbinu je obklopena chapadly, jež jsou zakončena bodavými buňkami, též zvanými nematocysty (Hickman et al. 2002). Nematocysty zachycují kořist a slouží polypu také k obraně (Spalding et al. 2001). Stavba těla polypa připomíná tvar vaku, uvnitř se nachází gastrovaskulární dutina s trávicí vrstvou buněk gastrodermis, členící se na septa–mezenteria, mimo jiné obsahuje žaludek a trávicí vlákna. Spodní část polypa může být zasazena do ochranné kostry zvané exoskelet. Základnou pro exoskelet je bazální deska a desky obklopující polypa se nazývají theca. V opačném případě se ve spodní části nachází pouze nožní terč, kterým se polyp přichytí k základu (Pfleger, 1989). Pojivá živá tkáň spojující kolonii polypů mezi sebou se nazývá coenosarc (obrázek č. 1) (Hickman et al. 2002). Polypy jsou vzájemně propleteny tkáněmi obsahujícími nervový, svalový a reprodukční systém (Veron et al. 2016).



Obrázek 1: Stavba těla korálu (Coral.org, 2020).

Reprodukce korálů probíhá pohlavně i nepohlavně. Větší část korálů jsou hermafrodité (Spalding et al. 2001).

Nepohlavní rozmnožování

1. **Pučení** – dochází k oddělení dceřiného polypu od mateřského polypu.
2. **Fragmentace** – jedná se o ulomení části korálového útesu způsobené vnějšími vlivy (vlnobití, ulomení kotvou lodě, či při sběru). Při následném usazení a splnění daných podmínek, může dojít k založení nové kolonie.

Pohlavní rozmnožování:

1. **Korálové tření** – dochází k vypuštění velkého množství spermií a vajíček do okolního prostředí, kde pohlavní buňky splynou a vyvinou se larvy zvané planuly, které se po několika dnech usadí na vhodném podkladu, kde proběhne metamorfóza v korálového polypa.
2. **Brooding** – způsob rozmnožování spočívá v oplodnění vajíčka v těle polypa, kde vznikne planula, která po svém uzrání uvnitř polypa je vyvržena. Po vyvržení následuje usazení a proces metamorfózy v korálového polypa, jak je tomu u korálového tření (Petersen et al. 2007).

3.1 Druhy korálů

Koráli dělíme na tvrdé a měkké podle toho, zda vylučují tvrdou vápenatou schránku či nikoliv.

3.1.1 Měkkí koráli

Koráli, kteří nevylučují tvrdou vápenitou kostru, se řadí mezi měkké koráli. Jejich tělo je zpevněno pouze částicemi vápníku nazývanými se spikuly. Celkově se prakticky nepodílí na budování korálových útesů (Miththapala, 2008). Ovšem to neznamená, že jsou pro utváření korálových útesů zbyteční. Velká část měkkých korálů jsou koráli osmičetní (*Octocorallia*), jak název napovídá, mají osm zpeřených chapadel a osm přepážek či jejich násobek v láčce. Tato skupina korálů žije výhradně v koloniích, kde se vzájemně propojují (Pfleger, 1989). Zástupci této skupiny jsou korál červený (*Corallium rubrum*) a rohovitky z čeledí *Gorgoniidae* a *Plexauriidae* (Petrušek, 2005).

3.1.2 Tvrdí koráli

Druhou skupinou, a také více významnou pro utváření celkové morfologické podoby korálového útesu, jsou tvrdí koráli. Koráli, kteří vylučují tvrdou vápenatou schránku, se nazývají jako hermatypičtí. Většina tvrdých korálů jsou šestičetní koráli (*Hexacorallia*) mající v lácce počet chapadel i přepážek v šestinásobcích. Na rozdíl od osmičetných korálů (*Octocorallia*) mohou tito koráli žít koloniálně, ale i soliterně (Pfleger, 1989). Největší skupinou zástupců v této kategorii je řád větvníků (*Scleractinia*). Určité druhy tvrdých korálů tvoří mutualistický vztah s druhem obrněnek (*Dinoflagellata*) zvaným zooxantela (*Zooxanthellae*) nacházející se v buňkách korálu (Petrušek, 2005). Tento druh soužití je prospěšný pro oba organismy (Miththapala, 2008). Zooxantela dodává z 95 % vyprodukované potravy polypu, zatímco polyp je využíván jako schránka před predátory (Allen, 1994). Hermatypičtí koráli se nejčastěji vykytují v mělkých vodách, ale mají schopnost přežívat až do hloubky přibližně 60 metrů, kam sahá sluneční světlo, na kterém jsou zooxantely závislé (Miththapala, 2008).

Za ideální podmínky pro růst hermatypických korálů jsou považovány:

- salinita mořské vody 25-40 ‰ (Wilkinson & Buddemeier 1994)
- teplota vody 25-30 °C
- sluneční světlo
- čistá voda bez zákalu (Miththapala, 2008)

3.2 Rozdělení korálových útesů

První, kdo se začal zabývat vznikem korálových útesů a celkovou morfologií a vše zdokumentoval, byl Charles Darwin v 19. století (Darwin, 1842). Hermatypické druhy korálů vyžadují specifické podmínky pro počáteční výskyt. Jak se koráli rozrůstají, budují ukládáním uhličitanu vápenatého pevný podklad, který je následně osídlen dalšími organismy a utváří tak celkový vzhled korálového útesu (Spalding et al. 2001). Rozpoznáváme 3 hlavní typy korálových útesů, viz obrázek č. 2.

3.2.1 Lemový útes

Lemový útes je charakteristický tím, že navazuje na pobřeží kontinentů a ostrovů. Nejsou oddělené vodou, ale plynule navazují na pevninu (Montaggioni & Braithwaite 2009). Od břehu až ke strmé přímořské části útesu se

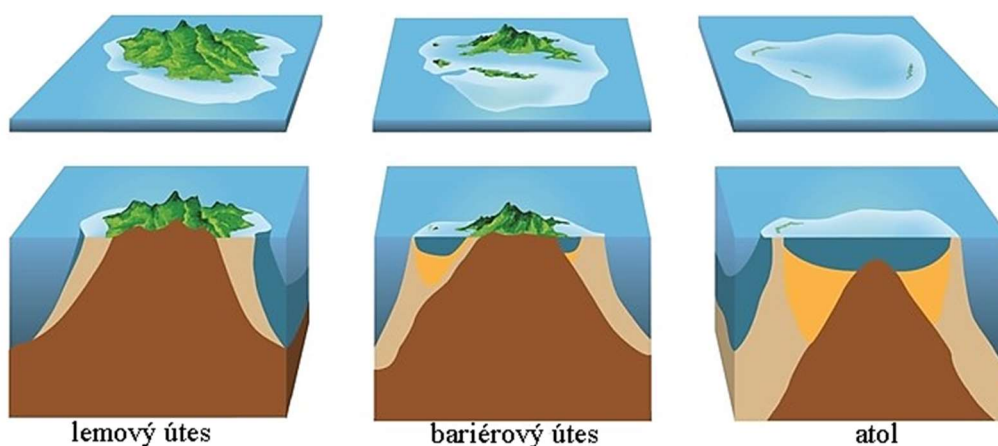
nachází laguna mělké vody, která se při odlivu může proměnit v souš. Útes je tvořen různě širokou plošinou tvořenou z odumřelé korálové části lemující pobřeží. Život na lemovém útesu je až na jeho samotném okraji a po svahu, kde míří strmě do širého moře. Svah pokrývá osyp, jež je tvořen odlomky výše položených částí útesu a může sloužit jako podklad pro další kolonie korálů (Pfleger, 1989). Jedná se o nejčastější typ korálového útesu. Lemové útesy můžeme najít v oblastech Rudého moře, Madagaskaru, Thajska či Srí Lanky.

3.2.2 Bariérový útes

Bariérový útes hraničí s pobřežím, ale je oddělen hlubokou lagunou. Formuje se ve velice široký pás, který kopíruje pobřeží. Nejedná se však o souvislý pás, tvoří jej komplexy hřbetů korálových útesů oddělených průsmyky, které jsou uspořádány do vnitřních a vnějších řad (Pfleger, 1989). Nejznámější typ bariérového útesu na světě je Velký bariérový útes u pobřeží Austrálie.

3.2.3 Atoly

Nacházejí se v mořích v určité vzdálenosti od pobřeží. Jedná se o korálové útesy uspořádané do prstencovitého tvaru obklopující lagunu. Útvar může být ucelen nebo rozdělen na spousty ostrůvků oddělených průlivy. Atoly vznikají ve většině případů na podmořských ostrovech sopečného původu, ale také okolo ostrovů, které se pomalu potápějí vlivem poklesu geologického podloží. Záleží však na tom, zda koráli mají schopnost růst rychleji, než se ostrov potápí (Hopley, 2011).



Obrázek 2: Typy korálových útesů (Hawaiiireefs.org, 2020).

4. Faktory ovlivňující vymírání korálů

Korálové útesy musí čelit mnohým hrozbám a za většinu těchto hrozeb zodpovídá člověk. Ať už se jedná o přímý zásah člověka, či o výsledné činnosti, všechny tyto dopady poškozují korálové útesy. Je vědecky prokázáno, že populace korálů se každým rokem rapidně snižuje. Pokud si však co nejdříve lidská populace tyto následky neuvědomí, může nadejít den, kdy už bude na vše pozdě a korálové útesy a život s ním spojený uvidíme pouze v naučné literatuře. Mezi největší hrozby patří všeobecně činnost člověka, zvyšování teploty oceánů, okyselování oceánů a klimatické jevy.

4.1 Činnosti člověka

Do činností člověka, které nejvíce poškozují korálové útesy, patří:

- **Zakázané techniky rybolovu**
- **Znečištění vody**
- **Rozvoj pobřežních oblastí**

4.1.1 Zakázané techniky rybolovu

Rybolov hraje důležitou ekonomickou roli v mnoha oblastech. Poskytuje zdroj příjmů a potravy. V chudších oblastech se stává jediným zdrojem obživy. Útesy nacházející se v blízkosti obydlených oblastí jsou přístupné bez jakékoliv techniky, a tak náklady na rybolov jsou minimální. Samotná rybolovná činnost nepoškozuje vzhled ani život korálových útesů, ale v důsledku nekontrolovaného nadměrného rybolovu může mít v budoucnu za následek narušení chodu celého ekosystému, a to v důsledku vymírání jednotlivých druhů organismů, které jsou na sebe úzce vázané. Největší podíl účasti na rybolovu v oblasti útesů má Nová Kaledonie a následují Maledivy. Maledivy jsou zároveň i největším konzumentem mořských plodů. Průměrná roční konzumace se zde šplhá na neuvěřitelných 180 kg/osobu (Burke et al. 2011).

Nekontrolované a ilegální způsoby rybolovu jsou rozšířené na územích rozvojových zemí. Jedná se například o oblasti Afriky, východní a jihovýchodní Asie.

Nejvíce rozšířené způsoby destruktivního rybolovu jsou zahrnuty pod název „Blasting fishing“. Tyto techniky nepoškozují pouze korálové útesy, ale i mořskou faunu a flóru. Jedná se o rybolov za pomoci dynamitu, třaskavin a kyanidu. Účelem

těchto praktik není nic jiného než velká výnosnost ulovených ryb za velice krátkou dobu. Za své zničující dopady jsou zařazeny na seznamu zakázaných technik rybolovu, přesto se v dnešní době najdou oblasti, kde lidé zákaz nerespektují.

Rybolov za pomoci dynamitu, třaskavin a kyanidu jsou v rozvojových oblastech často levným řešením pro získání velkého výnosu. Je známo, že za pomoci jednoduchých chemických procesů je velice jednoduché vytvořit nástroje podobající se bombě. Náklady na nejjednodušší vytvořenou bombu z komerčně dostupných zdrojů se pohybují v rozmezí od 1-2 amerických dolarů. Úspěšní rybáři odhadují své úlovky za pomoci této techniky na 10-20 kilogramů. Tržní hodnota úlovku se poté odhaduje na 15-40 amerických dolarů (Tungpalan et al. 1991). S touto technikou však přichází i vysoké riziko úrazů, či dokonce úmrtí. Rybolov probíhá vhozením a následným odpálením výbušného zařízení v místech největšího výskytu ryb žijících v blízkosti útesů. Útesy poté ztrácí nejen své přirozené prostředí, ale mnohdy dochází v důsledku výbuchu k narušení struktury útesu, který se následně odlomí a umírá.

Rybaření pomocí kyanidu je též levný a rychlý způsob pro chytání ryb a živočichů. Je hojně využíván pro lov ryb, které jsou cenné pro chov v akváriích, nikoliv pro konzumaci. Kyanid se prodává ve formě tabletek a cena se pohybuje v rozmezí 0,25-0,50 amerických dolarů za kus. Tablety mohou být používány v celku nebo jsou rozdrceny a smíchány s mořskou vodou. Živočichové jsou rychle omráčeni a odchyceni. Tato metoda má však velkou míru úmrtnosti a to není v akvariijním průmyslu žádané (McManus et al. 1997).

Účinek kyanidu na korály byl zkoumán a testován. Koráli byli vystaveni různým dávkám kyanidu. V nejvyšší koncentraci koráli uhynuli celi. Po střední dávkách koráli ztratili zooxantely a došlo tak ke změně barvy a následnému bělení. V nejnižších dávkách ztratili jen část zooxantel, ale k samotnému úhynu zde nedocházelo (Jones & Steven 1997). Vědci McManus, Reyes a Nañola sestavili model ukazující míru poškození korálových útesů způsobenou zakázanými technikami rybolovu v oblasti útesu Bolinau na Filipínách. Model odhadem naznačuje, že rybolov pomocí dynamitu a třaskavin snižuje velikost korálového útesu o 1,4 % ročně, při rybolovu kyanidem dochází k úhynu 2 % hermatypických korálů ročně. Schopnost obnovy se tak rapidně snižuje.

4.1.2 Znečišťování vody

Za jedním z největších současných problémů lidstva stojí znečišťování životního prostředí. Tento problém nepostihuje pouze znečišťování životního prostředí na pevnině, ale čím dál více zasahuje i to mořské. Je velice důležité si uvědomit, že korálové útesy, i když se nacházejí v mořích, jsou přímo ekologicky propojeny s pevninou pomocí ústí řek. Náchylnost korálů nacházejících se v těchto oblastech je velice vysoká, a pokud se vyskytne sebemenší koncentrace znečištění, jsou velice rychle postiženi (Wolanski et al. 2008).

Největší množství látek znečišťujících mořské prostředí pochází z provozování lidské činnosti. Znečišťování pochází z mnoha zdrojů. Jedná se například o přímé vypouštění odpadních vod, chemické havárie, ropné havárie, odtok škodlivých látek z pevniny, průsak znečištěných podzemních zdrojů, průmyslové i zemědělské činnosti a mnoho dalších. Při vypouštění odpadních vod do moří mimo jiné dochází k nadměrnému obohacování vody o fosfor, dusík a minerální látky. Nadměrné obohacování vody o výše uvedené látky nazýváme eutrofizace. V těchto vodách se daří především sinicím a řasám (Štěpánek & Červenka 1974). Následkem eutrofizace se snižuje imunita a odolnost korálů vůči chorobám a dochází tak ke snížené schopnosti reprodukce a následnému hromadnému úmrtí (Vega Thurber et al. 2014). Studie Weara a Thurbera (2015) označila eutrofizaci jako jeden z hlavních faktorů úhynů korálových polypů v pobřežních oblastech.

Dalším z problémů jsou plasty a mikroplasty. V dnešní době už si život bez plastů můžeme jen těžko představit. Odhadovaná celosvětová produkce plastů v roce 2019 dosáhla více než 368 milionům tun. Jedná se zatím o nejvyšší produkci plastů než kdy předtím. Velká část plastů je vyrobena pouze jako jednorázová položka, a tak se velice rychle přeměňuje na odpad. Plastový odpad po splnění funkce může být recyklován nebo spálen, ale ve většině případů končí na skládkách, pohozený v přírodě nebo v mořích. Plast končící v mořích je až o 60 % lehčí než mořská voda. Tento materiál vytváří plovoucí útvary a v nejhorsích případech se jedná až o plovoucí ostrovy. Největší takový ostrov má i své jméno: Velká tichomořská odpadková skvrna. Tento ostrov se nachází v Tichomoří a měří neuvěřitelných 1,6 milionu km². Plast v mořích je vystavován přírodním vlivům, jako jsou vítr, vodní proudy, teplota i salinita mořské vody. Následkem vlivů degraduje na menší části takzvané makroplasty a mikroplasty, které jsou ještě mnohem nebezpečnější (Lebreton et al. 2018).

Koncentrace plastů v oceánských vodách je velmi vysoká, odhaduje se, že ve vodním sloupci na celé planetě se nachází až 309 000 tun plastových úlomků a během dalších sta let se může v nejhorších případech až několikanásobně zvětšit. (Reichert et al. 2019). Nacházejí se ve vodě, půdě i ve vzduchu. Mikroplasty jsou definovány jako plastové úlomky o velikosti menší než 5 milimetrů, skládají se především z polyethylenu, polypropylenu, polyvinylchloridu, polystyrenu nebo polyethylentereftalátu (Andrady, 2011).

Během studie vědců Reicherta et al. (2019), která trvala 6 měsíců, zkoumali dopady na růst a zdraví několika důležitých hermatypických korálů. Studie ukázala, že se nejen snižuje schopnost růstu, ale koráli mikroplasty zaměňují za potravu a nastává u nich pocit nasycení. Nemají potřebu lovit a přestanou prospívat v důsledku ztráty potřebných živin pro život. Dále může dojít k ucpání trávicích dutin, tím koráli využívají veškerou svou energii na vypuzení daných částic pomocí zvýšené produkce hlenu a dochází k celkovému vyčerpání, které má za následek větší náchylnost korálů na další stresory v podobě nemocí či parazitů.

4.1.3 Rozvoj pobřežních oblastí

Většina korálových útesů se vyskytuje v bezprostřední blízkosti pobřeží a ústí řek. Korálové útesy jsou mořské ekosystémy velice náchylné na sebemenší změny ve svém prostředí. Pokud kvalita vody vykáže zhoršení, okamžitě se to na daném korálovém útesu projeví (Kadrnožka, 2008).

Na celém světě je pozorován velice rychlý rozvoj pobřeží a tato skutečnost má jednoznačně neblahý vliv na životní prostředí. Masivní růst cestovního ruchu v atraktivních lokalitách je mnohdy právě na úkor mořského prostředí. Rozvoj je spojen s výstavbou hotelových komplexů, bytů, pláží, silnic, vojenských zařízení, leteckých drah i odstraňování mangrovových porostů.

Většina korálových útesů je poškozována sedimentací a zákalem, jež jsou následkem právě špatného a nezodpovědného pobřežního rozvoje. Při stavebních činnostech dochází k manipulaci s půdou, která je následně splavována do moří bez ohledu na poškození mořského prostředí. Tento jev je pozorován především v oblastech východní Asie a Havajských ostrovů.

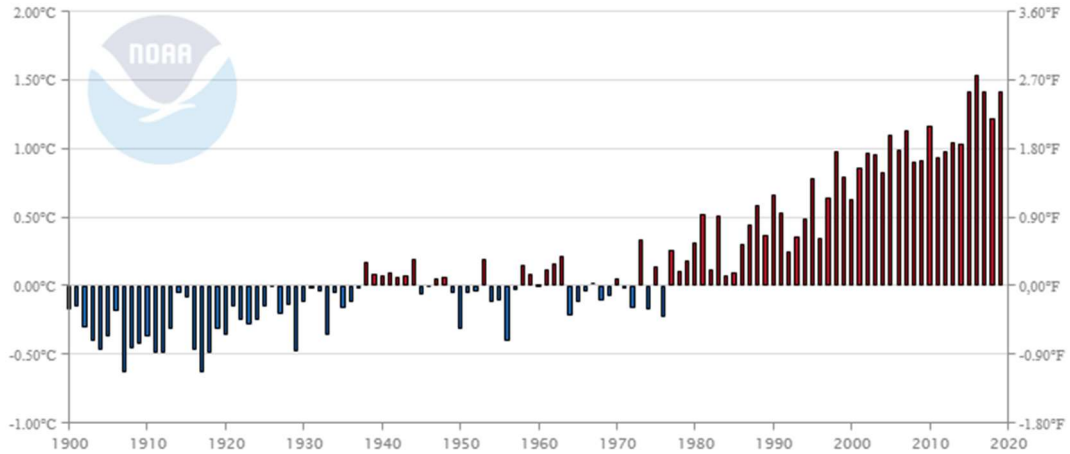
Další příčinnou sedimentace je ničení mangrovových porostů, jež zachycují velkou část odplavované půdy například ze zemědělství. Sedimentace vytvoří nepropustný

film, a tím útes doslova udusí. Pokud korálové útesy postihne silný zákal a omezí tak propustnost slunečního světla, na kterém jsou korálové polypy závislé z důvodu symbiózy se zooxantelou, nastává stav, kdy polyp vylučuje řasu ze svých tkání a následně umírá (Goatley et al. 2013).

4.2 Zvyšování teploty oceánů

Globální oteplování je fenoménem dnešní doby. Tento jev zvyšuje průměrnou teplotu Země a hlavně oceánů. Způsobeno je to mnoha faktory. Především se jedná o nerovnováhu v klimatickém systému Země a neustálé navyšování koncentrace skleníkových plynů. Skleníkové plyny brání unikům přebytečného tepla do vesmíru a odráží ho zpět na povrch Země, tento jev je nazýván skleníkový efekt (Lomborg, 2008).

K oteplování oceánů dochází v důsledku energetické nerovnováhy a právě oceány jsou schopné přebytek této energie (tepla) absorbovat. Tím se navyšuje takzvaný obsah oceánského tepla. (Cheng et al. 2019). Podle Mezivládního panelu pro změnu klimatu (dále jen IPCC) absorbuje oceán až 93 % přebytečného tepla ze skleníkového efektu. Větší část tepla je vstřebávána v hloubce do 700 metrů. V oblastech jižní polokoule je oteplování nejintenzivnější. Tím, že oceán absorbuje takové množství tepla, chrání celou planetu před mnohem rychlejším oteplováním, než které známe dnes. Poslední dostupná naměřená hodnota IPCC teploty oceánů je 1,42 °C. Na obrázku č. 3 je možné vidět graf teploty oceánů za období 1900-2019. Vysoký nárůst byl zaznamenán v roce 2016, kdy teplota dosahovala hodnoty 1,54 °C, což znamená, že se za poslední roky snížila teplota oceánu o 0,12 °C. Dlouhodobě však teplota narůstá a různé anomálie v teplotách jsou zcela přirozené.



Obrázek 3: Globální teplotní anomálie (1900-2020) (ncdc.noaa.gov, 2020).

Mezi největší viníky skleníkového efektu patří rekordní navyšování oxidu uhličitého (dále jen CO₂). Více než 50 % CO₂ absorbují oceány a rostliny. Zbytek zůstává v atmosféře. Tento plyn se v oceánu zčásti mění na kyselinu uhličitou. Výsledkem přeměny je snižování pH, neboli okyselování vody, jež je smrtelné nejen pro korály. Změny v teplotách a kyselosti mořského prostředí vedou k ovlivňování mořských organismů, na kterých jsou dále závislí i lidé. Mezi další významné skleníkové plyny řadíme methan, oxid dusný, vodní páru a ozón. Za příčinou zvyšování teploty oceánů stojí takzvaný skleníkový efekt (Lomborg, 2008).

4.2.1 Skleníkový efekt

Skleníkový efekt je jev, který se vyskytuje na planetě Zemi již od jejího počátku. Bez skleníkového efektu by se teplota Země pohybovala okolo -18 °C a je tedy nezbytně důležitý pro udržování ideálních podmínek pro život. Není možné vnímat tento jev jako vyloženě škodlivý. První podrobnou analýzu v roce 1896 provedl švédský fyzik Svante August Arrhenius.

Zemskou atmosférou proniká sluneční záření ve formě krátké vlnové délky, následně se na Zemi transformuje na energii o dlouhé vlnové délce (teplo). Skleníkové plyny pohlcují tuto energii a zabraňují tak unikání tepla zpět do vesmíru. Tím vzniká takzvaný přirozený skleníkový efekt.

Pokud se však hovoří o skleníkovém efektu přispívajícím ke globálnímu oteplování, jedná se o takzvaný antropogenní skleníkový efekt. Antropogenní skleníkový efekt je vytvářen především vypouštěním nadměrného množství skleníkových plynů do

atmosféry lidskou činností, kde se plyny hromadí a zadržují čím dál více tepla. Příčinou hromadění těchto plynů je spalování fosilních paliv, nadměrné odlesňování i tvorba odpadu (Dunne et al. 2013). Dalšími efekty jsou navyšování intenzity srážek, zvyšování hladiny moří a oceánů z důvodu tání ledovců, klesající hladina kyslíku v oceánech, vymírání korálových útesů či okyselení vod moří a oceánů (Kadrnožka, 2008).

4.2.2 Skleníkové plyny

Jedná se o plyny nacházející se volně v atmosféře planety Země. Zastoupení skleníkových plynů v atmosféře se pohybuje pod jedno procento, ale i tak jsou důležité z hlediska udržitelnosti příznivých teplotních podmínek. Skládají se ze tří nebo více atomů. Zásluhou struktury těchto plynů jsou schopny absorbovat teplo z atmosféry a následně ho přenést na povrch Země, a také ho zde zadržovat. Právě tento cyklus má za následek oteplování zemského povrchu (Kweku et al. 2018). S průmyslovou revolucí v 18. století se začal výrazně zvyšovat objem skleníkových plynů, a to především zásluhou lidské činnosti. Větší koncentrace zvyšuje skleníkový efekt, který se každým rokem zvyšuje (Jermář, 2010).

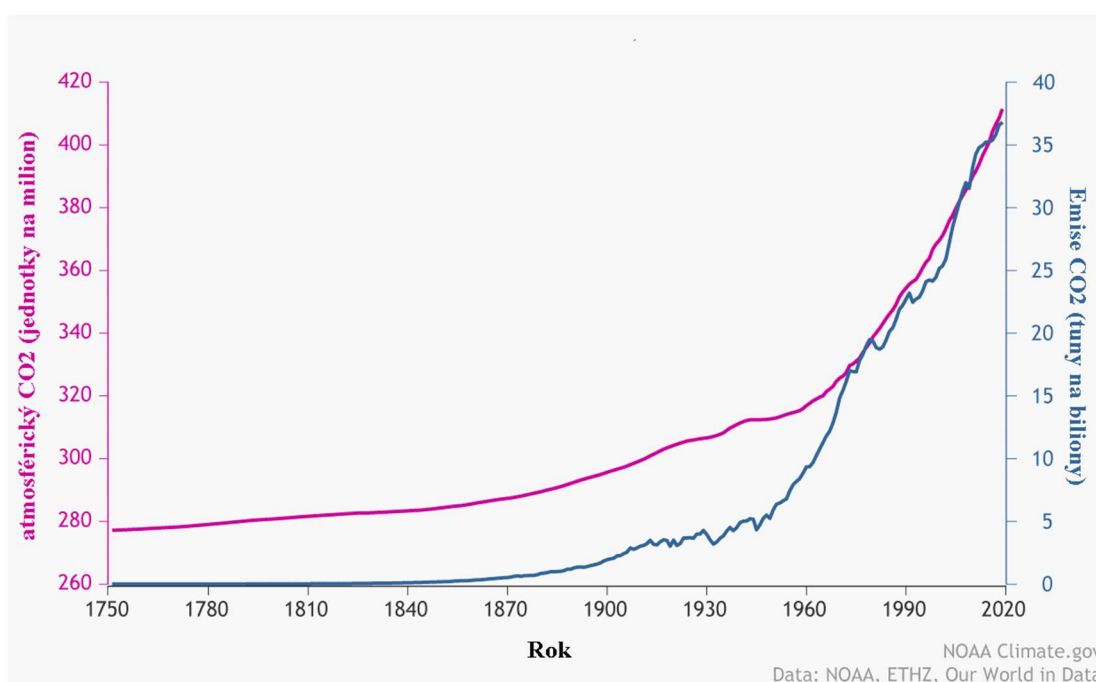
Mezi skleníkové plyny řadíme:

- **Oxid uhličitý (CO₂),**
- **Metan (CH₄)**
- **Oxid dusný (N₂O)**
- **Vodní pára**
- **Ozón (O₃)**

Oxid uhličitý (CO₂)

Oxid uhličitý je plyn, jež se vykytuje přirozeně v atmosféře. Koncentrace v atmosféře je velice nízká, přesto velice důležitá, a to z hlediska udržení stabilních a příznivých podmínek pro život. Oxid uhličitý absorbuje infračervené záření, aby neunikalo zpět do vesmírného prostoru. Tento plyn zvyšuje nejvíce účinky skleníkového efektu, co se do objemu a rychlého nárůstu týče (Kadrnožka, 2008). Za tak vysokým nárůstem oxidu uhličitého v atmosféře může z 80 % spalování fosilních paliv a zbylých 20 % tvoří odlesňování a jiné využívání půdy (Lomborg, 2008).

Koncentrace oxidu uhličitého se měří v jednotkách na milion (dále jen ppm). Od propuknutí průmyslové revoluce se koncentrace začala rekordně zvyšovat. Převážně to souviselo s hospodářským a populačním růstem (Motl et al. 2008). První systematické měření a zaznamenávání hodnot se uskutečnilo na observatoři Mauna Loa na Havaji v roce 1958, kdy byla naměřena hodnota CO₂ 315 ppm. Růžová linie na obrázku č. 4 znázorňuje postupné navyšování hladiny CO₂ v atmosféře v důsledku nárůstu emisí vyprodukovaných lidmi, vyobrazeno modrou linií. Můžeme konstatovat, že nejvyšší nárůst CO₂ nastal v druhé polovině 20. století, kdy se zvýšila hodnota jak vyprodukovaných emisí, tak i hodnota CO₂.

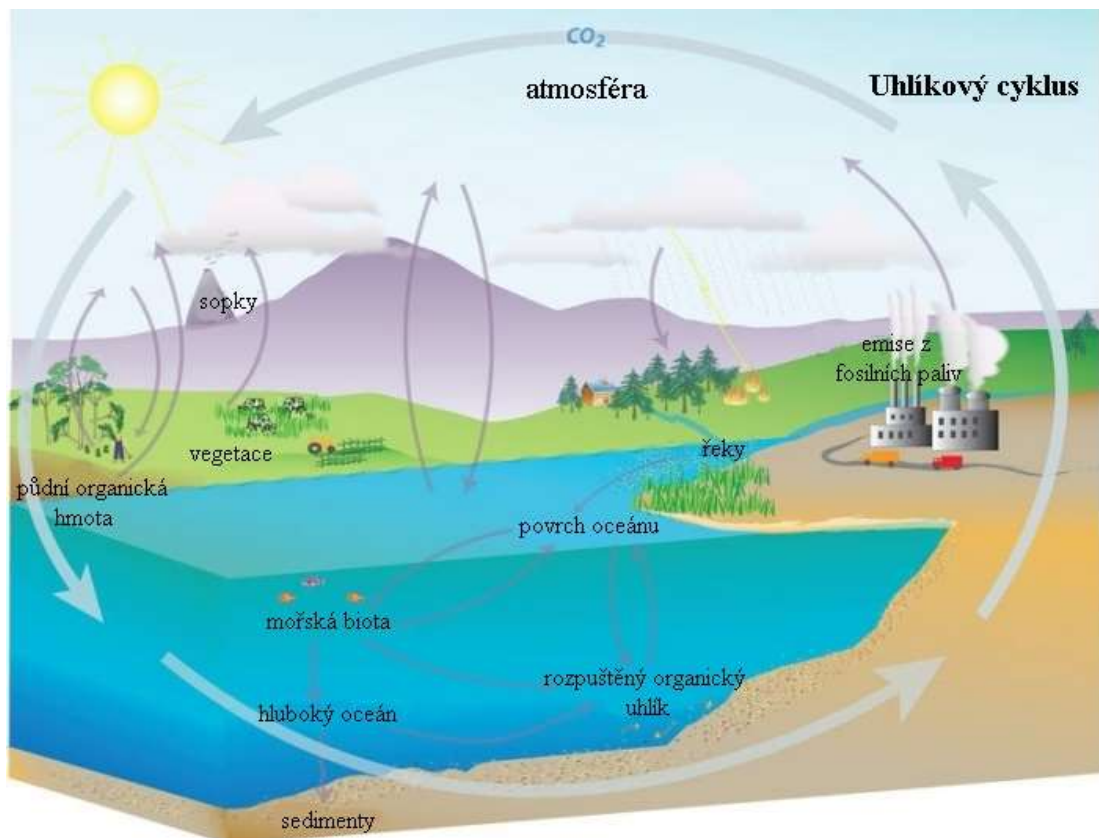


Obrázek 4: Globální koncentrace CO₂ v ovzduší 1750-2020 (climate.gov, 2020).

Uhlíkový cyklus

Jedná se o proces cirkulace uhlíku v různých formách. Při uhlíkovém cyklu dochází k výměně toku uhlíku mezi atmosférou, hydrosférou, litosférou a biosférou. Zjednodušený cyklus uhlíku je vyobrazen na obrázku č. 5. Všechny organické sloučeniny potřebné pro život na Zemi obsahují uhlík. Cyklus lze rozdělit na 3 celoplanetární cykly, jež udržují stabilní teplotu na Zemi. Počínajícím cyklem uhlíku je desková tektonika závislá na pohybu litosférických desek. Druhým cyklem je pohyb uhlíku z anorganického prostředí do prostředí organického. Jedná se o proces fotosyntézy, dýchání, hnilobných procesů, vulkanické činnosti, zemětřesení a spalování fosilních paliv. Posledním nejdůležitějším cyklem je

křemičitano-uhličitanový geochemický cyklus. Pojednává o rovnováze mezi reakcemi uvnitř Země a interakcemi mezi atmosférou a zemským povrchem. Uhlíkový cyklus je velice citlivý na sebemenší změny. Největší dopad na cyklus má spalování fosilních paliv a odlesňování. Zvyšování koncentrace CO_2 jako skleníkového plynu má za následek rychlejší oteplování povrchu Země a také rychlejší okyselování oceánů. (Kadrnožka, 2008)



Obrázek 5: Uhlíkový cyklus (noaa.gov, 2020).

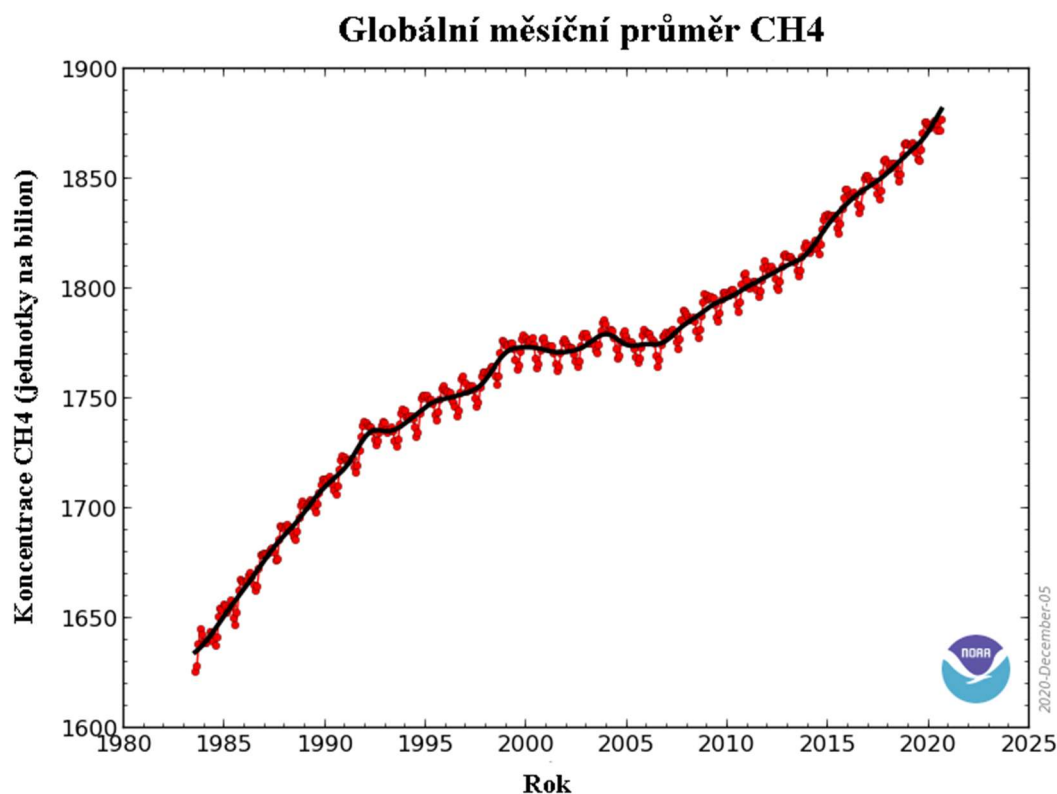
Metan (CH_4)

Metan je jeden ze stopových prvků nacházející se běžně v atmosféře. V příznivých podmínkách je to plyn bez barvy a zápachu. Je však velice hořlavý a při vysokých koncentracích s příměsí vzduchu výbušný. Přírodním zdrojem metanu jsou mokřady, bakterie, termity a geologické procesy na souši a v oceánech (Smith et al. 2010).

Dle měření NOAA (Národní úřad pro oceán a atmosféru) je koncentrace v současné době na hodnotě 1876,9 jednotek na miliardu (dále jen ppb). Tento skleníkový plyn se řadí mezi mnohem nebezpečnější skleníkový plyn, i když jeho koncentrace je mnohem nižší než CO_2 . Důvod, proč tomu tak je, vyplývá z mnohem větší schopnosti absorbovat teplo (Smith et al. 2010). Na antropogenních emisích metanu se podílí

z velké části těžba, zpracování a distribuce fosilních paliv, spalování odpadů, spalování biomasy, zvyšující se chov skotu, zpracování odpadních vod a skládkování (Van Dingenen et al. 2018).

Na obrázku č. 6 je znázorněn graf, na němž jsou zaznamenány hodnoty od roku 1983 po současnost. Celosvětová snaha snížit pouze CO₂ poukazuje na fakt, že se zapomíná i na mnohem nebezpečnější skleníkové plyny.

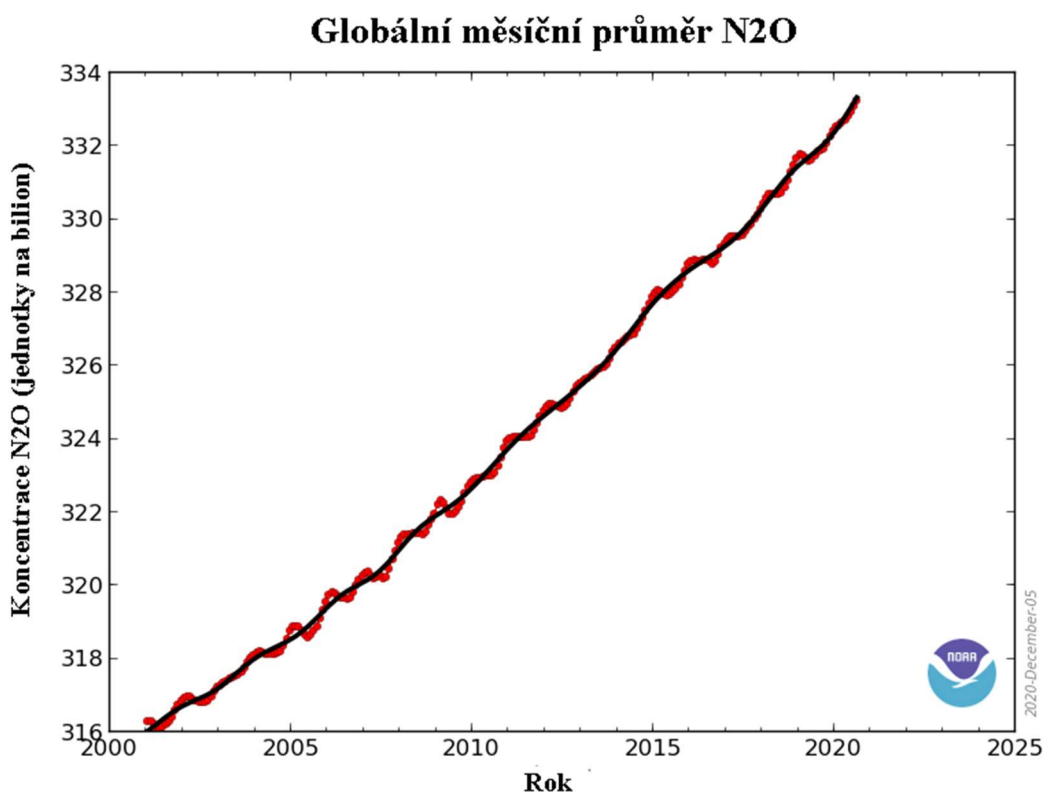


Obrázek 6: Globální koncentrace CH₄ 1980-2020 (esrl.noaa.org, 2020).

Oxid dusný (N₂O)

Oxid dusný patří mezi skleníkové plyny, které se objevují v atmosféře v nepatrném množství, a jeho životnost se pohybuje kolem 150 let (Houghton, 1998). Oxid dusný se uvolňuje při vulkanické činnosti, z deštných pralesů, z oceánů či z produkce mikroorganismů v půdě (Soukupová, 2013). Největší zásluhu antropogenního zvyšování koncentrace má moderní zemědělství, jež používá syntetická hnojiva, hnojiva s vysokým obsahem dusíku či hnojení za pomoci hnoje. Ze zemědělství je vytvářeno až 75 % celkových emisí tohoto plynu. Zbylá procenta zastupuje spalování fosilních paliv, chemická výroba, zpracování odpadních vod (Olivier & Peters 2018).

Nárůst koncentrace oxidu dusného není kritický. Před průmyslovou revolucí se hodnota N_2O pohybovala okolo 270 ppb. Postupné navyšování souvisí s moderním zemědělským rozvojem. Hodnoty v roce 2017 (329 ppb) odpovídají 30 % nárůstu emisí oproti roku 1990. Z obrázku č. 7 je patrný postupný nárůst bez větších výkyvů. Podle posledního měření, jež proběhlo srpnu 2020, se koncentrace N_2O pohybovala na 333 ppb.



Obrázek 7: Globální koncentrace N_2O 2000-2020 (esrl.noaa.org, 2020)

Vodní pára

Vodní pára se nachází přirozeně v našem prostředí a je součástí hydrologického cyklu naší Země. Řadí se mezi nejdůležitější skleníkové plyny. Má za následek největší odpovědnost za takzvaný skleníkový efekt. Odhaduje se, že vodní pára má podíl na skleníkovém efektu ze dvou třetin (Soukupová, 2013). Poměr vodní páry na Zemi je nerovnoměrný, zatímco v chladných oblastech se vyskytuje v podílu 0,2-2 %, v tropech může mít podíl až 4 %. Objem vodní páry se mění v závislosti na hydrologickém cyklu. Výrazné změny se za posledních desítek let neodehrály.

Ozón (O₃)

Jedná se nestabilní prvek kyslíku, jež vzniká fotochemickými reakcemi v ovzduší. Ozón dělíme na stratosférický týkající se ozónové vrstvy, a přízemní (dále jen troposférický) ozón. Troposférický ozón je považován za zdraví škodlivý, vytváří za určitých chemických reakcí takzvaný fotochemický smog. Ideální podmínky pro jeho vznik jsou vysoká teplota, vysoká intenzita slunečního záření, nízká rychlost větru, nízká vlhkost a žádné srážky. Zvýšený nárůst úzce souvisí s nárůstem populace a zvyšováním antropogenních emisí. Limity tohoto prvku jsou stále překračovány a nejvíce ve východní Asii. Troposférický ozón poškozuje nejen lidské zdraví, ale silně poškozuje vegetaci především v horských oblastech, kde se vyskytuje ve větších koncentracích. Poškození vegetace se promítá na úrovni biochemické, buněčné a fyziologické (Hůnová, 2018).

4.3 Okyselování oceánů

V minulosti vědci nebrali v potaz, že by větší koncentrace CO₂, která je následně absorbována oceánem, mohla jakkoliv měnit, či dokonce ohrožovat mořské prostředí. Není zde dlouhá historie měření, která by nám dokazovala, jak dlouhodobě, a především v jaké míře se nejen prostředí, ale hlavně organismy v mořích a oceánech dokážou s takovými změnami vypořádat. Sledování hodnot pH mořské vody probíhá cca 30 let. Biologické zkoumání začalo až o mnoho let později, a to v roce 2003, kdy se poprvé použil i termín okyselování oceánů.

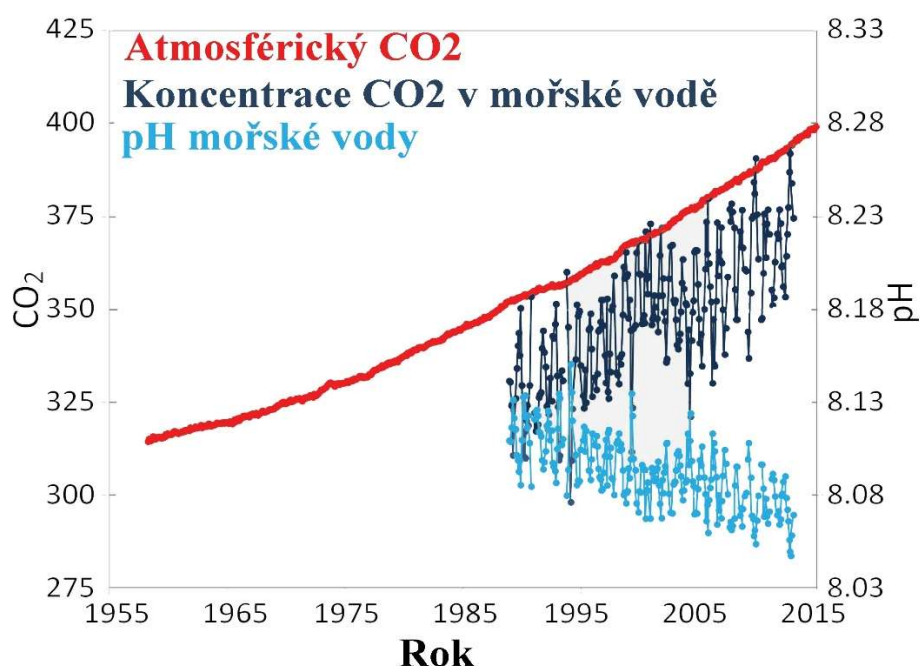
Okyselování oceánů odborným názvem acidifikace, je proces při němž dochází ke dlouhodobému snižování pH mořské vody. Primární příčinou acidifikace je antropogenní zvyšování koncentrace CO₂ v atmosféře. Oceány jsou i právě kvůli své rozloze jednou z největších zásobáren uhlíku na Zemi, kde se uchovává jak na povrchu, tak i ve velkých hloubkách jako rozpuštěný anorganický uhlík. V důsledku zvyšování CO₂ v atmosféře dochází ke zrychlování změny klimatu. Právě oceány se podílejí velkou částí na tom, že změny klimatu nejsou tak rychlé a drastické, protože absorbují až jednu čtvrtinu vyprodukovaného CO₂. Momentální průměrné pH oceánu se pohybuje kolem hodnoty 8,1.

Definice pH je dána jako dekadický logaritmus inverze iontové aktivity vodíku v roztoku. První zmínky o logaritmické stupnici sahají do roku 1909 a zabýval se jí

dánský biochemik Søren Peder Lauritz Sørensen. Stupnice pH obsahuje hodnoty v rozmezí od 0 do 14. Stupnice rozděluje roztoky na 3 různá prostředí dle číselných hodnot. Hodnota 7 určuje prostředí jako neutrální. Hodnoty, které jsou nižší než 7 určuje prostředí jako kyselé, naopak hodnoty vyšší než 7 určuje hodnoty jako zásadité či alkalické (Jensen, 2004).

Při acidifikaci se CO_2 rozpouští v mořské vodě, kde se následně další reakcí mění na kyselinu uhličitou. Kyselina uhličitá se dělí za vzniků iontů hydrogenuhličitanu a vodíkových iontů. PH se snižuje v důsledku zvyšování koncentrací vodíkových iontů, a tím se mořská voda stává kyselější (Gattuso & Hansson 2011).

Na obrázku č. 8 je vyobrazen graf, jež znázorňuje hodnoty obsahu CO_2 v atmosféře (červená křivka), obsahu CO_2 absorbovaného mořskou vodou (tmavě modrá křivka) a pH mořské vody (světle modrá křivka) za časové období 1955–2015 na Mauna Loa na Havaji. Je zde zcela patrné, že hodnoty pH mořské vody úměrně klesají se zvyšujícím se obsahem CO_2 v atmosféře. Podle vědců by se v roce 2100 mělo pohybovat průměrné pH mořské vody okolo 7,8.



Obrázek č. 8: Koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře, mořské vodě a související klesající hodnoty pH mořské vody za období 1955-2015 (oceanacidification.noaa.gov, 2020).

4.3.1 Dopady acidifikace oceánů na korálové útesy

Acidifikace oceánů ovlivňuje široké spektrum mořských živočichů od korálů až po ryby. Tento proces narušuje přirozené fyziologické procesy, jako jsou změny v chování, reprodukci či výživě (Allemand & Osborn 2019).

Korálové útesy vytváří své pevné schránky tím, že přijímají složitým chemickým procesem z mořské vody uhličitanové ionty v kombinaci s vápníkem. Proces acidifikace váže uhličitanové ionty s nadbytkem vodíku a snižuje obsah potřebných uhličitanových iontů k takzvané kalcifikaci, neboli vápenatění (Eyre et al. 2018). Dalším důležitým faktem je, že s nízkým obsahem uhličitanových iontů ve vodě se zamezuje růst již vzrostlých korálů a oslabuje je. Studie skupiny vědců Doropoulos, Warda et al. (2012) se také domnívají, že tento jev má vliv na korály již při reprodukci, kdy larvy mají mnohem ztíženější podmínky pro usazení a metamorfózu. Jedinci, kteří překonají nástrahy a usadí se jako nový korál, však výrazně pomaleji rostou a navíc jsou mnohem slabší, a tím i více náchylnější na poškození od vlnobití či jiných mořských živočichů. Velkým problémem je, pokud hladina uhličitanu vápenatého klesne pod určitou hodnotu, dochází k doslovnému rozpouštění vápenatých schránek a sedimentové plošiny (Eyre et al. 2018). Mnoho studií ukázalo, že ne všechny druhy korálů jsou tak citlivé na okyselení mořského prostředí. Největší citlivost prokázali takzvaní rozvětvení koráli, zatímco masivní koráli se s acidifikací umějí vyrovnávat mnohem lépe (Allemand & Osborn 2019).

Budoucnost je velice nejistá, a jaký dopad bude mít acidifikace na korálové útesy, se můžeme jen domnívat. Vědci však předpovídají, že může být narušená morfologie a ekologie útesů, což bude mít za následek velký úbytek biologické rozmanitosti. Pokud tedy nedojde k rychlé regulaci okyselení mořského prostředí, nejspíše dojde k vyhynutí nejen mnoha druhů korálů, ale také dalších druhů mořských živočichů, jež jsou na korálových útesech závislí (Allemand & Osborn 2019).

4.4 Klimatický jev ENSO

Klimatický systém Země tvoří atmosféra, hydrosféra, kryosféra, litosféra a biosféra. Jedná se o skupinu složek zemského systému, mezi kterými neustále probíhají vzájemné interakce. Interakce lze vysvětlit jako vzájemné působení dvou a více složek. Výsledkem je celá řada klimatických událostí a jevů. Mezi takové jevy a události patří například: hydrologický cyklus, uhlíkový cyklus, či proudění větrů (Prezel, 2010).

ENSO je zkratka složená z několika anglických názvů: El Niño Southern Oscillation. Český překlad zní: El Niño Jižní oscilace. Tato oscilace je opakující se klimatický jev, jež byl zpozorován již ve 20. letech 20. století. Tento komplexní cirkulační systém zahrnuje dva vzájemně propojené klimatické jevy, jež se navzájem ovlivňují. Jedná se o El Niño a Jižní oscilaci. El Niño je teplá fáze tohoto cyklu a studená fáze střídající se v pravidelných intervalech se nazývá La Niña. Mezi veřejností je rozšířen název El Niño pro všechny jevy, které ENSO zahrnuje (Bridgman, 2005). ENSO je schopen ovlivňovat teploty a srážky na celém světě a mění tím globální atmosférický oběh. Jednotlivé fáze jsou předvídatelné pomocí narušení teplot, srážek a pohybů větrů. Řadí se mezi jeden z nejdůležitějších klimatických jevů na naší planetě (Climate.gov ©2019). Největší dopad na klimatické podmínky má ENSO v Austrálii a na Novém Zélandě, kde působí společně s dalšími cirkulacemi nacházejícími se na jihozápadě Tichého oceánu (Bridgman, 2005).

4.4.1 Jižní oscilace

Jižní oscilace je známá jako anomálie tlaku, která se vyskytuje nad částí Indického a jižní částí Tichého oceánu (Bridgman, 2005). Zájmové oblasti jsou v tomto případě Tahiti a Darwin u Austrálie. V těchto oblastech se vypočítává takzvaný Southern Oscillation Index (dále jen SOI), přeloženo do češtiny Index Jižní Oscilace. SOI se počítá jako rozdíl těchto tlakových anomálií. Pokud je v oblasti Darwinu nízký tlak a na Tahiti vysoký, SOI je kladný. V případě nízkého tlaku na Tahiti a vysokého tlaku nad Darwinem, je SOI záporný. Výpočty tohoto indexu slouží k naznačení, jaký klimatický jev bude následovat, zda El Niño nebo La El Niña. Ke konci roku se mezi Jižní Amerikou a Austrálií objevují změny v tlaku vzduchu, tyto změny vyvolávají různé poryvy větrů, které následně vanou od východu na západ (Trenberth, 2001).

4.4.2 El Niño

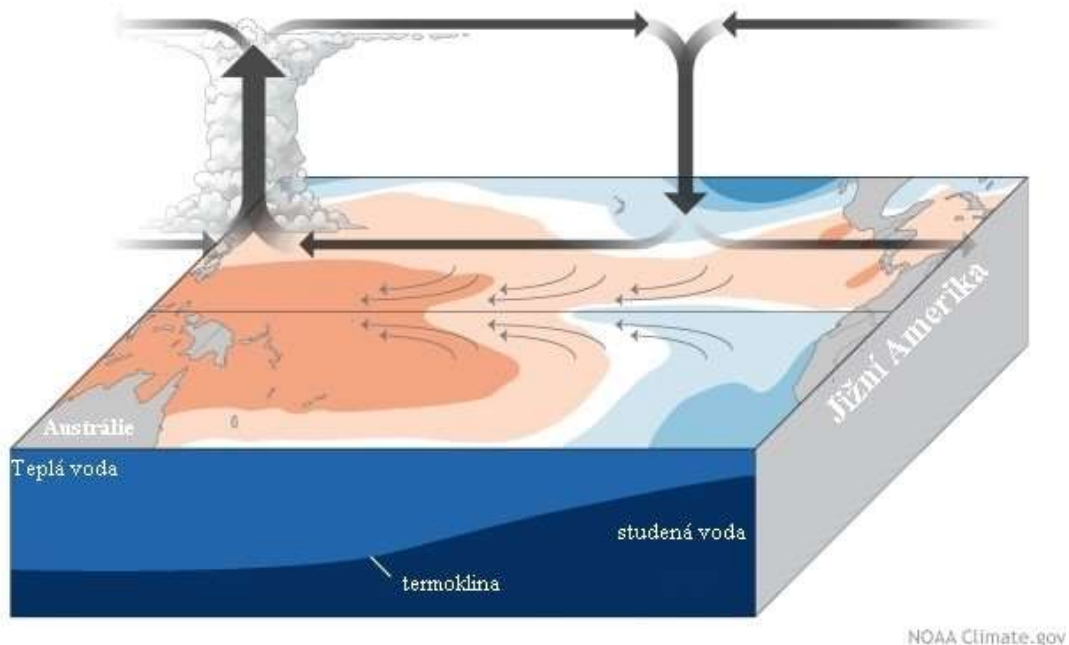
Tento jev byl poprvé pozorován v Jižní Americe už během 16. století rybáři, kteří mu propůjčili jméno El Niño z důvodu, že se vyskytoval nejčastěji během vánočního období. V překladu ze španělštiny znamená El Niño „chlapec či Jezulátko“ (Wang & Fiedler 2006). Klimatický mechanismus, jež ovlivňuje podnebí po celém světě, byl podrobněji zkoumán v první polovině 20. století. První publikace G.T. Walkera a jeho spolupracovníka E.W. Blisse uvádí, že se na jižní polokouli nachází mechanismus způsobující rozdíl horizontálního tlakového gradientu výrazně větší, než

je v dané oblasti obvyklé. Dále zdokumentovali a charakterizovali rozsah tlakové oscilace mezi Argentinou a Austrálií a pojmenovali ji Jižní oscilací. Přispěli také se zjištěním, že když se nachází oblast vysokého tlaku vzduchu nad Pacifikem a panuje zde sušší podnebí oproti normálu, v Indickém oceánu a v Indonésii se nachází oblast nízkého tlaku vzduchu, který do dané oblasti přináší větší srážky, než je obvyklé (Kousky et al. 1984).

Přesná definice, jež by vystihovala všechny podmínky platící pro El Niño dnes neexistuje. Během sta let pozorování už vzniklo mnoho definic, avšak žádná z nich nemůže být jednoznačně používána. Pozorování a získávání stále více informací o tomto pozoruhodném jevu ukazuje, že každý příchod i dopad El Niña je vždy jiný, a tudíž každá definice je charakteristická pro určité oblasti nebo dobu (Trenberth, 1997).

Na obrázku č. 9 je vyobrazena obvyklá panující situace zvaná: non-El Niño, při které se nad Jižní Amerikou udržuje vysoký tlak vzduchu, zatímco v západním Pacifiku převažuje naopak nízký tlak vzduchu. Takové rozdíly tlakového pole mají za následek vznik jihovýchodních pasátů. Tyto silné větry proudí podél rovníku směrem k Asii a hromadí masy teplé povrchové vody u zdejšího pobřeží a vzniká tak rozdíl ve výši vodního sloupce až o půl metru oproti pobřeží u Jižní Ameriky. Voda ve východním Pacifiku je také až o 8 °C nižší z důvodu dominance chladného Peruánského proudu, který z důvodu snížení hladiny vody vystoupá k povrchu z hlubin Tichého oceánu. V západním Pacifiku je naopak nahromaděna teplá voda a vytváří „teplý pacifický bazén“. Rozdíl v teplotách vody lze registrovat i ve vrstvách vodního sloupce, kde dochází k mísení povrchové vody s vodou hlubinnou. Tento pás mísení oceánské vody se nazývá termoklina. Zatímco v oblasti teplého pacifického bazénu se termoklina nachází přibližně v hloubce 100 metrů, na východě se nachází v hloubce do půl metru. Teplý vzduch, jež se vrací zčásti zpět k jihoamerické pevnině, se v troposféře postupně ochlazuje a dochází k blokaci tvorby konvektivní oblačnosti. Tato cirkulační buňka nese název Walkerova cirkulační buňka (PMEL ©2021).

Interakce mezi atmosférou a oceánem během ENSO non-El Niño



Obrázek č. 9: Interakce mezi Tichým oceánem a atmosférou při situaci zvané non-El Niño (Climate.gov, 2020).

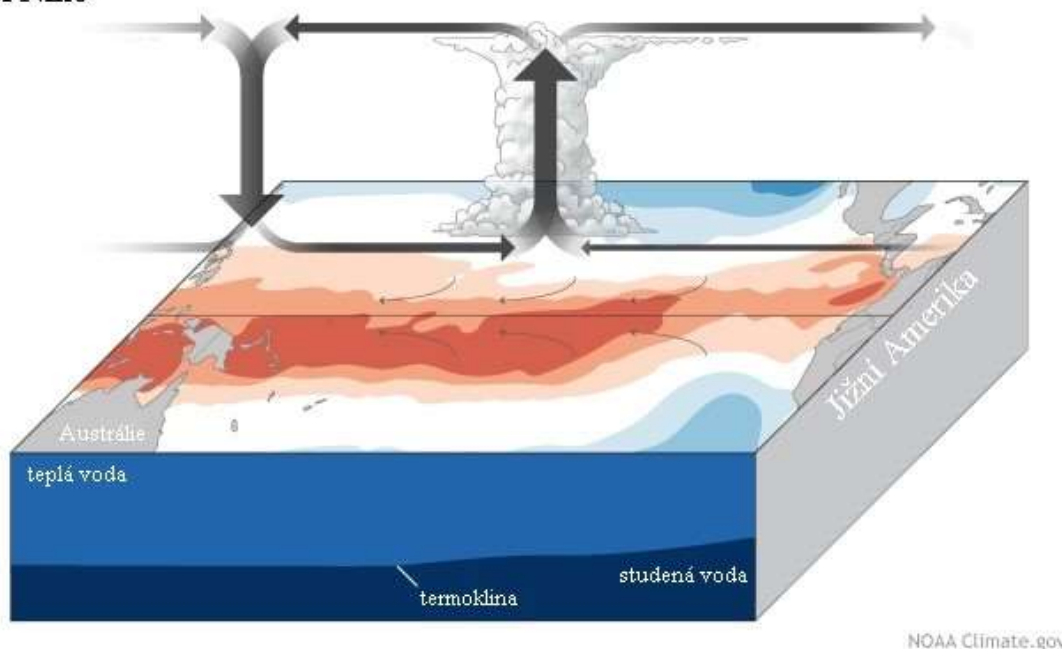
Pokud přichází El Niño, jsou zaznamenány velké změny v chemickém a biologickém složení oceánské vody. Jedná se o jev, který je spojován s nadměrným oteplováním povrchové vody. Projevuje se dočasným nahrazením studeného Peruánského proudu za teplý proud z rovníkových oblastí (Pinet, 2016).

Během El Niña se povrchová voda ve východním Pacifiku nadměrně zahřívá. Dochází ke snížení tlakového rozdílu mezi západním a východním Pacifikem. Tím, že je narušena Walkerova cirkulační buňka, pomalu slábnou jihovýchodní pasáty, jež za normálních podmínek foukají z východu na západ podél rovníku a při zvýšené intenzitě jevu mohou začít foukat opačným směrem. Teplá voda z oblasti teplého Pacifického bazénu putuje k pobřeží Jižní Ameriky a s ní i oblast nízkého tlaku vzduchu. Rozdíly v podnebí jsou mezi západem a východem obrovské. Zatímco na západě převládají nadměrné srážky, jež mohou vyvolávat i tropické cyklóny, východní část Pacifiku v oblasti Indonésie a severní Austrálie sužuje velice horké a suché počasí zapříčiněné vysokou tlakovou výší (obrázek č. 10) (L'Heureux, 2014).

K El Niňu dochází v nepravidelných intervalech, obvykle každý třetí až sedmý rok, a průměrně trvá 12 měsíců. Svého maxima dosahuje v období kolem Vánoc (Trenberth, 1997). Projevy El Niño se považují za silné, pokud je průměrná teplota povrchové vody vyšší o více než 1,5 °C. El Niña v letech 1972-1973, 1982-1983,

1997-1998 byla vyhodnocena jako extrémní události s dopadem na celý klimatický systém (Brandt, 2016). Stejně silné El Niño jako v roce 1997-1998 bylo i v roce 2015-2016 (Claar et al. 2018).

Interakce mezi atmosférou a oceánem během ENSO El Niño

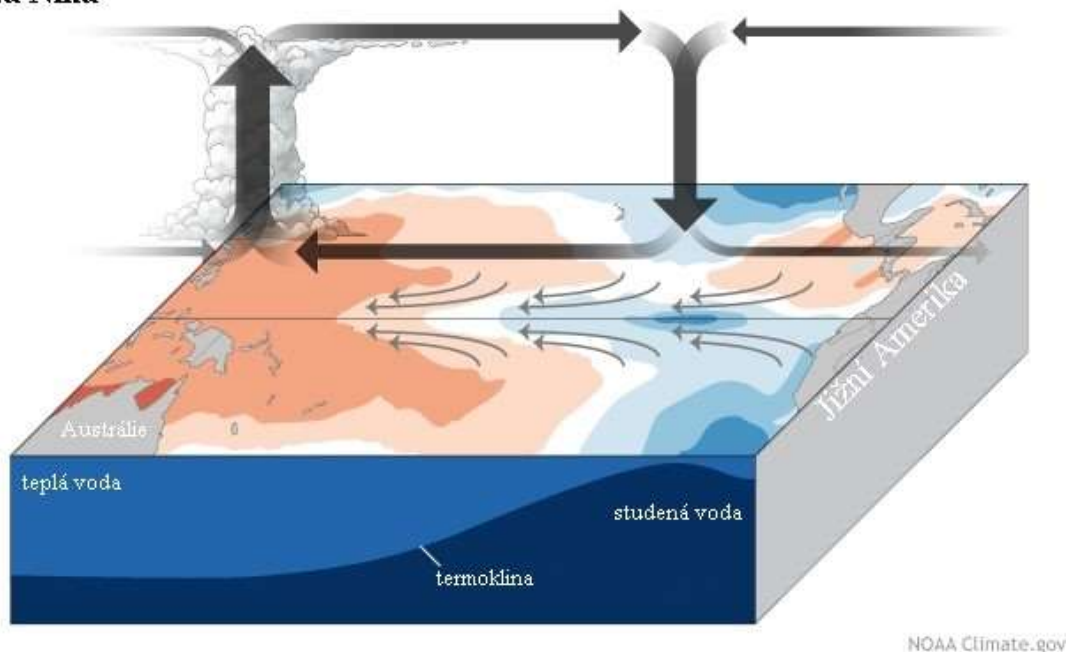


Obrázek č. 10: Interakce mezi Tichým oceánem a atmosférou při klimatickém jevu El Niño (Climate.gov, 2020).

4.1.3 La Niña

La Niña (přeloženo ze španělštiny jako „holčička“) je název chladné fáze ENSO a je opakem jevu El Niño. Při tomto jevu panují opačné podmínky, které naopak celý tropický Pacifik ochlazují. Zatímco se při El Niňu jihovýchodní pasáty oslabovaly, při La Niňě naopak zesilují a pohánějí masy chladné vody na západní pobřeží Jižní Ameriky, kde zesiluje i síla Peruánského proudu. Tento proud chladné vody dosahuje až k rovníkové oblasti. Rozdíly v podnebí se tím otočí. V oblasti východního Pacifiku převládají přívalové srážky a západ je naopak na srážky chudší. Tento jev trvá obvykle okolo 11 měsíců (obrázek č. 11) (L'Heureux, 2014).

Interakce mezi atmosférou a oceánem během ENSO La Niña



Obrázek č. 11: Interakce mezi Tichým oceánem a atmosférou při klimatickém jevu La Niña (Climate.gov, 2020).

4.1.4 ENSO a vliv na korálové útesy

Extrémní počasí vyvolané událostí ENSO má vliv nejen na korálové útesy, ale i na širokou škálu organismů nacházejících se na souši či ve vodě. Jak už bylo v práci zmiňováno, koráli jsou velice náchylní na jakékoliv změny ve svém prostředí.

Mezi účinky ENSO které poškozují korálové útesy patří:

1. Extrémní změny teplot povrchové vody
2. Hloubka termokliny a pásu živin
3. Hladina vody
4. Bouřková aktivita
5. Intenzita srážek a odtok vody z pevniny
6. Odchytky ve směru a rychlosti proudů

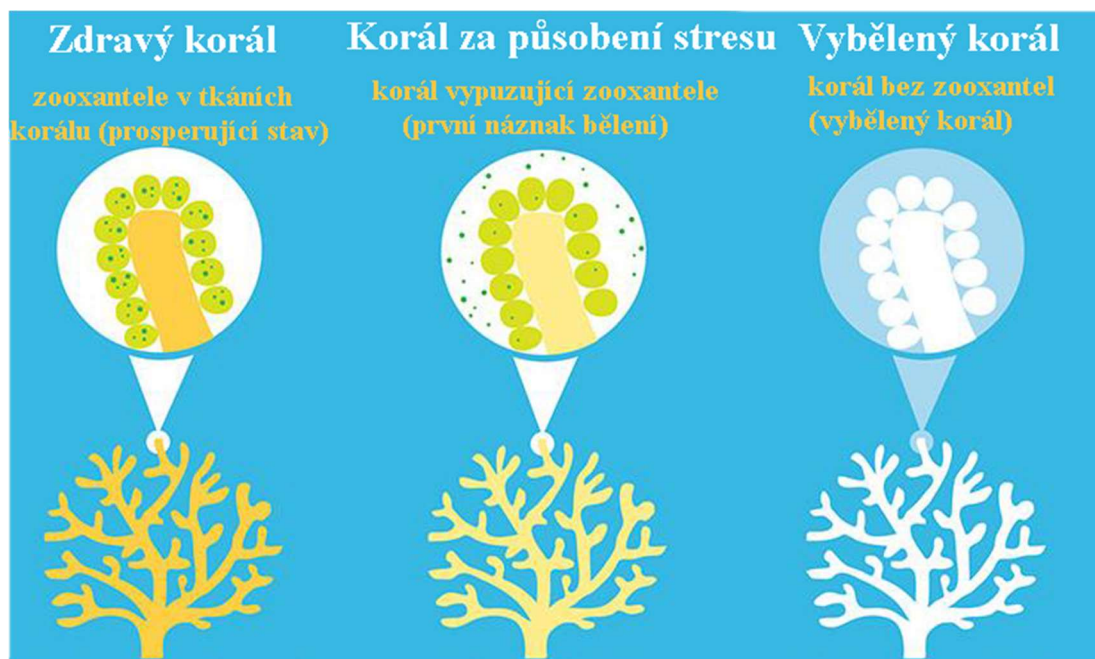
Hlavním příznakem stresu vyvolané oscilací je bělení korálů (Glynn et al. 2017). Mezi hlavní faktory vyvolávající masivní bělení korálů patří: změny v hladinách vody, acidifikace oceánů, snížená salinita vody, změny teplot mořské vody, snížená intenzita slunečního záření či přítomnost chemikálií. Bělení korálů znamená ztráta pigmentace rozpadem symbiózy mezi korály a zooxantelou. Proces bělení je doprovázen vylučováním symbiotické řasy zooxantely z těla korálu. Korál postupně ztrácí

pigmentaci a korálová tkáň se stane časem zcela průhledná (obrázek č. 12). Ztráta řas může být z důvodů: místní degradace, vyloučení symbionta, oddělení hostitelských buněk a smrt hostitelských buněk (Lopéz et al. 2018). Z těla korálů jsou automaticky vylučovány zooxantely, pokud se teplota moře zvýší přibližně o 1-2 °C nad svou normální hodnotu (Heron et al. 2017).

Bělení lze rozdělit na 4 stupně:

1. stupeň: katastrofální a masivní bělení s velkou úmrtností kolem 95 %
2. stupeň: silné bělení s 50-70 % úmrtností, ale obnovou korálů
3. stupeň: mírné a nerovnoměrné bělení s 20-50 % úmrtností
4. stupeň: nevýznamné nebo žádné bělení (Wilkinson, 1998)

Hromadné bělení probíhá čím dál častěji. Existuje vysoké procento pravděpodobnosti, že pokud se frekvence nepřestane zvyšovat, koráli nebudou schopné se reprodukovat. (Hoegh-Guldberg, 1999). Četnost a intenzita celosvětových bělicích událostí může být uznána za biologický ukazatel důsledků globální změny klimatu (Plass-Johnson et al. 2015).



Obrázek č. 12: Bělicí proces korálů. 1) Zdravý korál má symbiotický vztah s řasou zvanou zooxantela, která se nachází ve tkáních každého korálu a dává korálu jeho specifické zabarvení, 2) Pokud je korál vystaven stresu v podobě znečištění vodního prostředí nebo zvýšení teploty nad rámec tolerantnosti, zooxantely začnou opouštět tkáň korálů, 3) Pokud zooxantely korál opustí, dochází ke ztrátě hlavního zdroje potravy, zabarvení a korál se stává velice náchylný na onemocnění (oceanservice.noaa.gov, 2021).

Když se podmínky vrátí zpět k normálu, koráli postižení bělením jsou schopní získat ztracené zooxantely zpět. Větší problémy nastávají s příchodem El Niña nežli La Niña. Ekologické účinky zesílených projevů El Niña, jež trvají delší dobu, se mohou projevit i po několika měsících, či letech po počátečních dopadech. Takové účinky mohou výrazně omezit korálovou pokrývku a způsobit vyhynutí místních druhů či omezit druhovou pestrost (Glynn et al. 2017).

Největší bělení korálů v historii probíhalo v letech: 1982-1983, 1997-1998 a 2015-2017. Je nutné říci, že tyto roky jsou také spojené s extrémními projevy ENSO. Vůbec největší intenzita El Niña byla zaznamenána v letech 2015-2016, kdy způsobilo celosvětové ekologické důsledky (Claar et al. 2018). Dle Claar et al. (2018) bylo zjištěno, že tepelná zátěž spojená s El Niño a La Niňou přispívá ke ztrátám korálů napříč oceány.

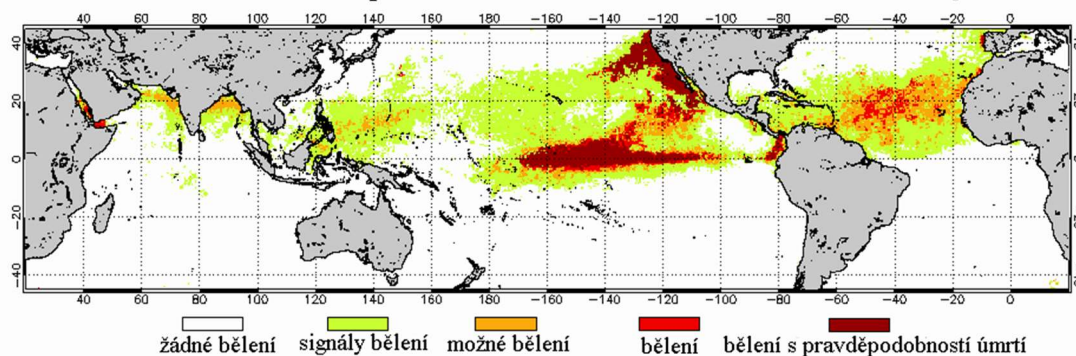
Bělení v letech 1982-1983

V letech 1982-1983 se dramaticky zvyšovalo bělení korálů hlavně v Karibském moři. Katastrofální dopad na korály v důsledku El Niña byl zaznamenán v oblasti Galapág, kde došlo k vybělení 95 % korálů (Podestá & Glynn 1997). NOAA uvedla jako nejvíce zasažené oblasti v okolí Panamy, Kolumbie, Baham a Indonésie.

Bělení v roce 1997

Náhlé zvyšování povrchové teploty oceánu v květnu 1997 byla první známka příchodu El Niña. Pás zvýšené teploty oceánu se rozprostíral od středního Pacifiku po pobřeží Jižní Ameriky. Extrémní navýšení vysokých teplot oceánu zapříčinilo bělení nejvíce podél rovníku od Howlandova a Bakerova ostrova na východ ke Galapágám až k ekvádorskému pobřeží. V centrálním Pacifiku byla zjištěna teplota o 4,5 °C vyšší, než se pohybuje průměrná teplota. V dalších oblastech světa se pohybovaly teploty v rozmezí 1-2 °C nad průměrem (obrázek č. 13) (NOAA ©2021).

Sledování NOAA oblastí při maximálním měsíčním bělení říjen 1997

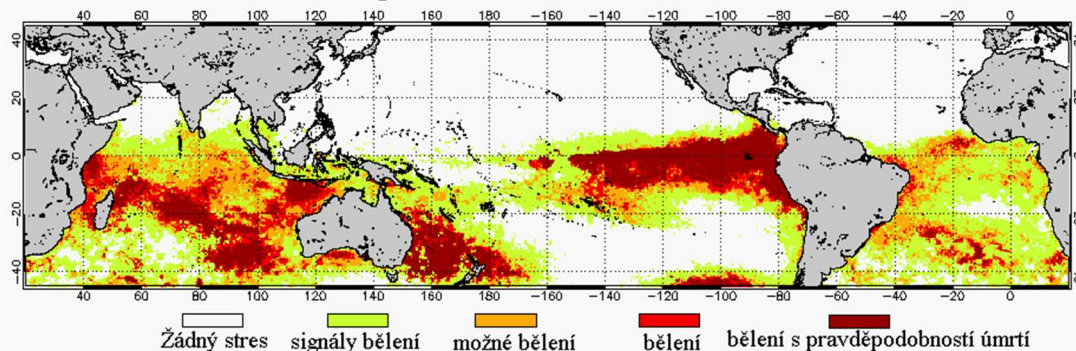


Obrázek č. 13: Přehled oblastí zasažených bělením v říjnu 1997 (coralreefwatch.noaa.gov, 2021).

Bělení v roce 1998

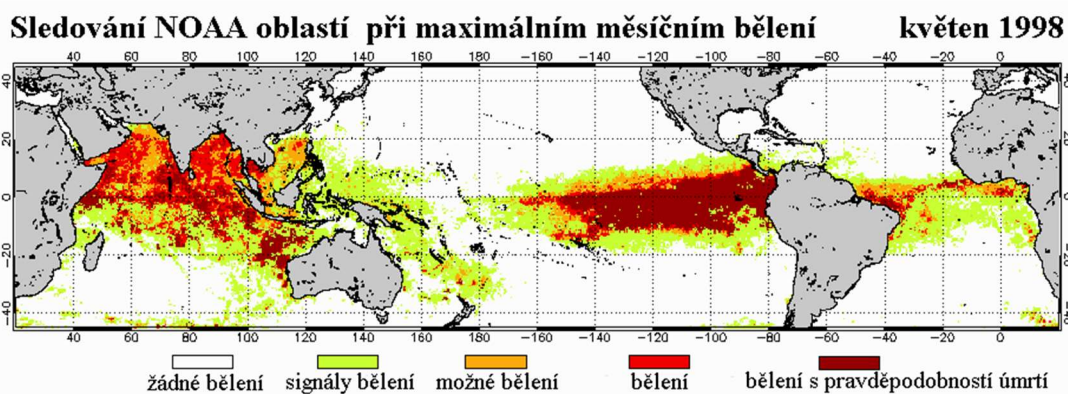
Od začátku roku po březen se El Niño plně rozvinulo a nadprůměrné teploty vody byly zaznamenány v oblastech celého Indického oceánu, na jihovýchodě Austrálie až po Nový Zéland a zasažena byla celá část východního Pacifiku podél rovníku (obrázek č. 14) (NOAA ©2021).

Sledování NOAA oblastí při maximálním měsíčním bělení březen 1998



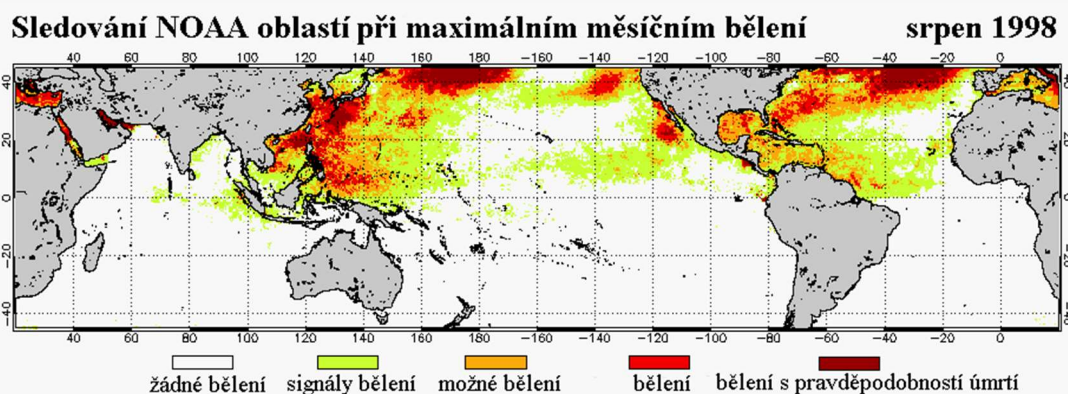
Obrázek č. 14: Přehled oblastí zasažených bělením korálů v březnu 1998 (coralreefwatch.noaa.gov, 2021).

Od dubna se nadprůměrné teplotní anomálie v oblasti Indického oceánu posunovaly směrem na sever k pobřeží Indie, zatímco teplota v oblasti jihovýchodní části Austrálie a Nového Zélandu se postupně snižovala. V oblasti východního Pacifiku se situace neměnila. Svého vrcholu dosáhlo El Niño v červnu (obrázek č. 15).



Obrázek č. 15: Přehled oblastí zasažených bělením v květnu 1998 (coralreefwatch.noaa.gov, 2021).

La Niña měla velice rychlý nástup v červenci 1998. Postupně docházelo k ochlazení Indického a Tichého oceánu. V srpnu se oteplovalo v oblastech Jihočínského moře, Filipín až přes Palau a Mikronésii. Vrchol bělení nastal v srpnu. Bělení bylo velice silné v severní Americe a v říjnu v oblasti Karibského moře. Během listopadu vysoké teploty klesly k normálu (obrázek č. 16) (NOAA ©2021).

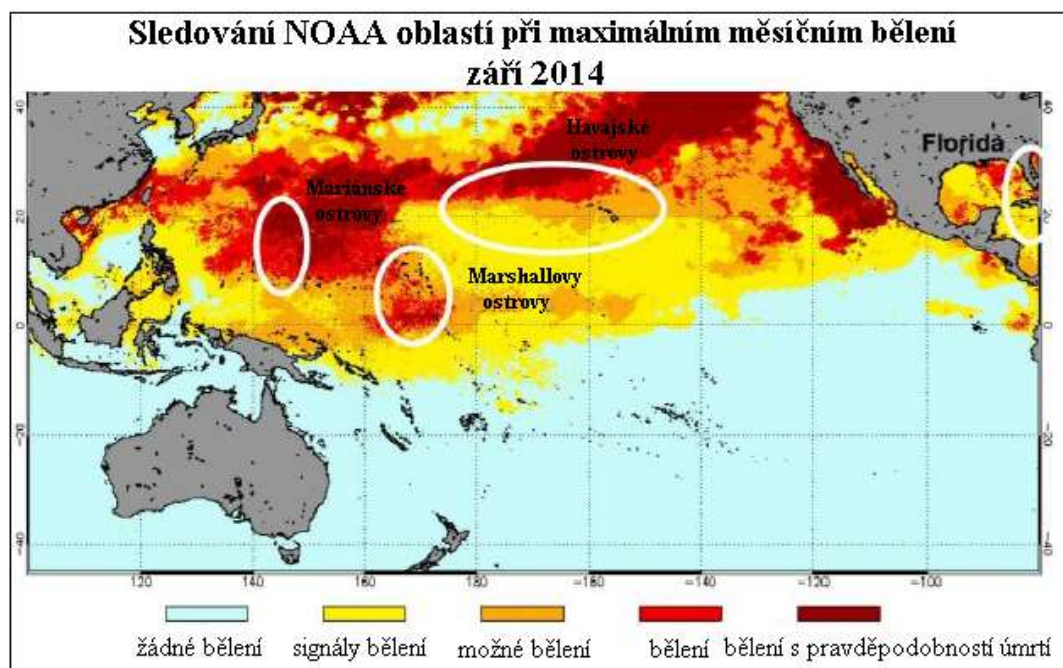


Obrázek č. 16: Přehled oblastí zasažených bělením v srpnu 1998 (coralreefwatch.noaa.gov, 2021).

Bělení v letech 2015-2017

Událost panující v roce 2015 až 2017 pojmenovala NOAA jako Třetí bělicí událost. Vědci předpovídali extrémní zasažení El Niñem v roce 2014, to se ale nepotvrdilo a El Niño se začalo formovat až v červnu 2014 a trvalo do konce května 2017. Hodnoty překonaly všechna očekávání vědců a El Niño udeřilo nejsilněji za celou historii měření (Santoso et al. 2017). Na obrázku č. 17 jsou vyznačené oblasti, které jako první zasáhlo masivní bělení od druhé poloviny roku 2014. První projevy bělení byly zaznamenány ve Filipínském moři v oblasti Mariánských ostrovů. Postupně se bělení rozšířilo směrem na západ k Havajským ostrovům, kde napáchalo škody, které na Havajských ostrovech nepamatovali. V září 2014 bylo zaznamenáno bělení také

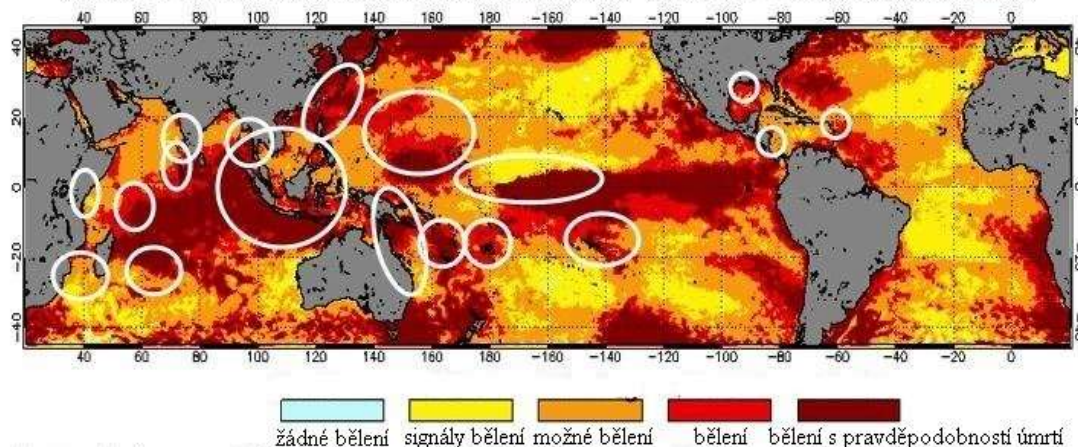
v oblasti Floridy a ostrovů Florida Keys. Marshallovy ostrovy byly zasaženy extrémním bělením od září do listopadu 2014 (Eakin et al. 2016).



Obrázek č. 17: Přehled oblastí zasažených bělením v září 2014. Oblasti s nejmasivnějším bělením v druhé polovině roku 2014 (Eakin et al. 2016).

Koncem roku 2014 se bělení postupně přesouvalo na jižní polokouli, kde nejvíce zasáhlo oblasti jižního Pacifiku, Indického oceánu a části jihovýchodní Asie, zejména na Dongsha Atoll udeřilo plnou silou během listopadu 2015. Než se Havajské korálové ostrovy stačily vzpamatovat z první vlny bělení v listopadu 2015, postihla je další vlna bělení, a to ještě silnější než během roku 2015 (Eakin et al. 2016). NOAA avizovala, že 41 % korálových útesů po celém světě bylo vystaveno tepelnému stresu. Postupné zesilování El Niña ke konci roku 2015 mělo za následek, že v roce 2016 bylo zasaženo tepelným stresem více než 51 % korálových útesů mnohem silněji než předchozí roky. Katastrofické dopady tepelného stresu byly zaznamenány v jižním Pacifiku. S El Niňem je spojena 80 % úmrtnost korálů na ostrovech Northern Line Islands, dále 15 % úmrtnost na ostrově Kiritimati a 95 % úmrtnost korálové populace na ostrově Jarvis. V březnu 2016 se stal obětí i samotný Velký bariérový útes, který byl zasažen nejvíce ve své historii. Vědci odhadli úmrtnost korálů na 29 % z celkové populace. Na Seychelách bylo zasaženo bělením 69-99 % korálových útesů a z toho 50 % korálového pokryvu bylo zcela ztraceno. Na obrázku č. 18 je souhrnná mapa za rok 2016, kde jsou se zakroužkované oblasti, jež byly zasaženy silným bělením.

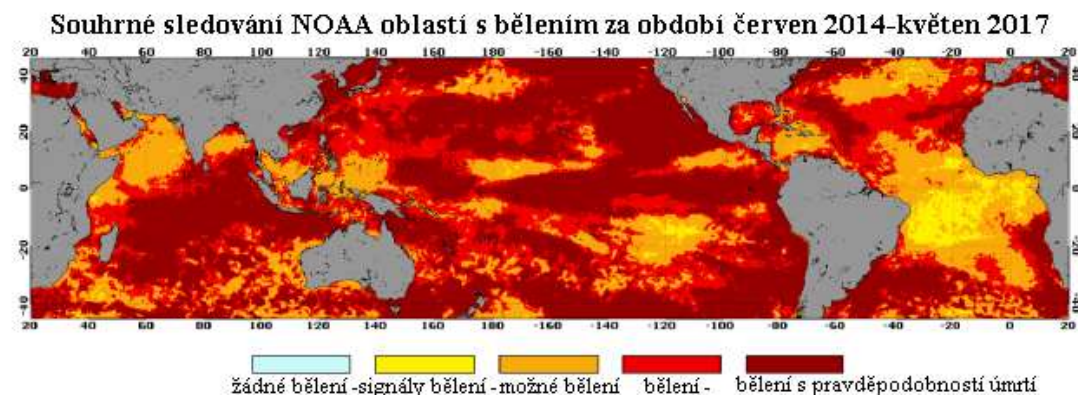
Souhrn sledování NOAA oblastí s bělením za rok 2016



Obrázek č. 18: Mapa vykazující bělení korálů za celý rok 2016. Silné bělení korálů hlášené ve všech oblastech, které jsou na obrázku zakroužkovány (Liu et al. 2017).

Masivní bělení v roce 2017 pomalu ustávalo. Na začátku roku bylo mírné bělení zaznamenáno na Fidži. Mírné bylo z důvodů výskytů bouří, které dostatečně ochladily místní vody. I na Velkém bariérovém útesu bylo hlášeno mírné bělení, a to v severní a střední části útesu. Naopak silné bělení bylo zaznamenáno jen v oblastech Niue a Americké Samoy.

Obrázek č. 19 zahrnuje souhrnnou maximální tepelnou zátěž v letech 2014-2017. Zasaženo teplotním stresem bylo více než 70 % korálových útesů (NOAA ©2018).



Obrázek č. 19: Souhrnná mapa maximální tepelné zátěže za období červen 2014 až květen 2017 (coralreefwatch.noaa.gov, 2021).

5. Velký bariérový útes

Velký bariérový útes (dále jen VBÚ) lemuje celé severovýchodní pobřeží Austrálie (obrázek č. 20). Rozprostírá se od severního cípu Yorkského poloostrova až po obratník Kozoroha v celkové délce přes 2 000 kilometrů. Nachází se v Korálovém moři a pokrývá území o rozloze 344 400 km². V nejširších místech dosahuje až 300

km. Jedná se o jedinečný ekosystém, který je především kvůli své rozloze viditelný až z vesmíru (GBRMPA ©2021a).

VBÚ se formuje odhadem už přes 9 000 let. Ke vzniku bariérového útesu došlo v důsledku tání ledovců po skončení doby ledové. V důsledku tání velkého množství ledovců se zvýšila hladina oceánů a následovalo zaplavení takzvaného Australského kontinentálního šelfu, který byl ideálním stanovištěm pro usazení korálatců (Bowen & Bowen 2002). Podrobné vysvětlení vzniku korálových útesů bylo vysvětleno a popsáno již v kapitole číslo 3 této bakalářské práce.

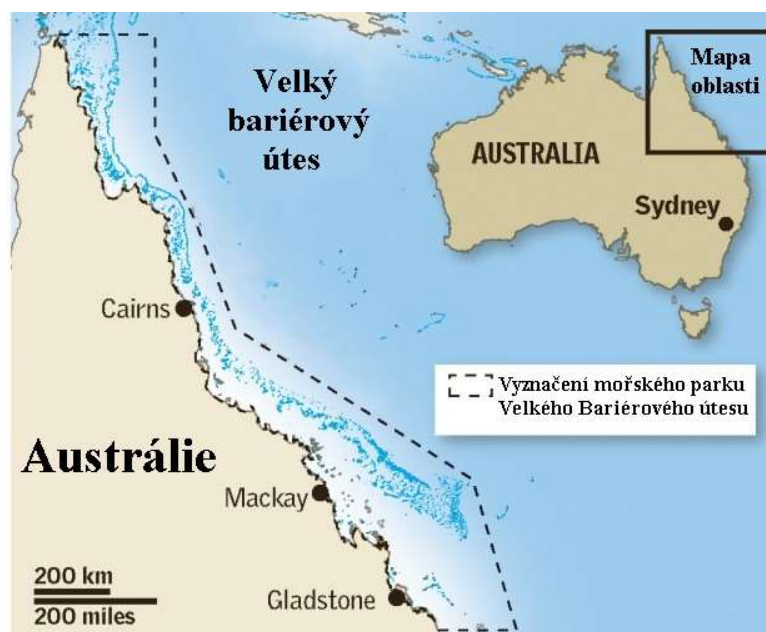
Korálové útesy zde můžeme rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou šelfové útesy nacházející se v mělkých vodách a druhou skupinou jsou útesy oceánské, pro které je typické, že nemají vápencový podklad a nacházejí se v hloubce větší než 170 metrů (Gorskij & Tomislav 1964).

Pro svou druhovou rozmanitost a rozmanitost stanovišť navzájem propojených tvoří nejbohatší a zároveň nejsložitější přírodní ekosystém na Zemi. Právě proto se celý ekosystém zařadil v roce 1981 na seznam světového dědictví UNESCO (Organizace spojených národů pro výchovu, vědu a kulturu) (GBRMPA ©2021b). Zahrnuje přibližně 3 000 korálových ostrovů, 600 kontinentálních ostrovů, 300 korálových kají a odhadem 150 pobřežních mangrovových ostrovů. Disponuje největší biodiverzitou na světě a je domovem pro tisíce živočichů i rostlin. Hostí přes 1 625 druhů ryb, 1 400 druhů korálů, 3 000 druhů měkkýšů, 630 druhů echinodermu (mořští ježci, hvězdice), 14 chovných druhů mořských hadů, 215 druhů ptáků včetně 22 druhů mořských ptáků a 32 druhů pobřežních ptáků, 6 až 7 druhů mořských želv, 30 druhů velryb a delfínů, populaci dugongů, 133 druhů žraloků a mnohem více. Vědci jsou přesvědčeni o tom, že i když velká část mořských živočichů byla již objevena a popsána, mnoho druhů, které útes obývají, nebylo dodnes objeveno (GBRMPA ©2021c).

Nachází se zde i velké množství ohrožených druhů živočichů. Mezi některé ohrožené druhy žijící na VBÚ se řadí: pobřežní delfíni, velryby, dugongové, pilouni, mořští hadi, mořské želvy a žraloci. Výše uvedené druhy jsou chráněny zákonem, který zahrnuje různé úrovně ochrany. Jedná se o úroveň **1) mezinárodní** (ohrožené nebo kriticky ohrožené druhy zařazené v červené knize World Conservation Union), **2) vnitrostátní úroveň** (druhy zařazené na seznam ohrožených druhů podle zákona o ochraně životního prostředí a zachování biologické rozmanitosti z roku 1999),

3) státní úroveň (druhy mořských ptáků, savců či plazů zařazených jako ohrožené, zranitelné nebo téměř ohrožené podle zákona o ochraně přírody z roku 1992 v Queenslandu), **4) místní úroveň** (druhy uvedené v oddíle 30 nařízení o mořském parku Velkého bariérového útesu z roku 2019) (GBRMPA ©2021d).

Velká část útesu je zařazena od roku 1975 do Mořského parku Velkého bariérového útesu. Jedná se o manažerskou agenturu, která má za úkol ochránit hodnotu, snížit hrozby a zlepšit současný a dlouhodobý stav a výhled útesu a komunit na něm závislých. Vše probíhá ve spolupráci s tradičními vlastníky, vládními agenturami, průmyslem, komunitními organizacemi i jednotlivci. Každých pět let vychází Outlook Report – komplexní zpráva. Ze zprávy se lze dozvědět mnoho užitečných informací týkající se zdraví, tlaků a budoucnosti Velkého bariérového útesu. Tato zpráva má za cíl poskytnout pravidelné a spolehlivé prostředky pro posuzování zdraví a řízení útesu odpovědným způsobem (GBRMPA ©2021e).



Obrázek 20: Mapa s polohou Velkého bariérového útesu (impactoftourism.weebly.com, 2021).

5.1 Příčiny zániku korálů na Velkém bariérovém útesu

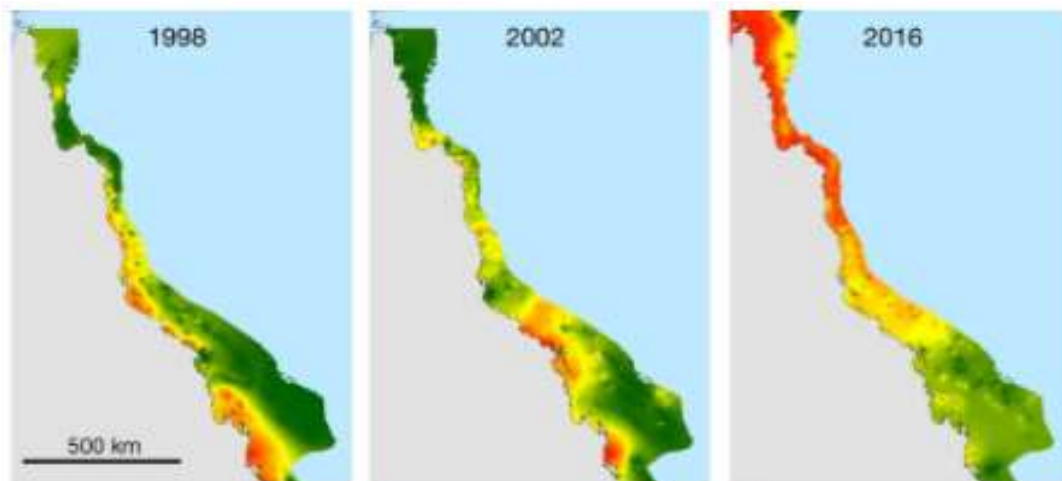
5.1.1 Změny klimatu a s tím spojené bělení

Celosvětové klima se zásadně mění. Existuje mnoho faktorů, které na celý klimatický systém působí, a postupně dochází k jednotlivým změnám. Celá planeta Země se jednoznačně otepluje. Za viníka musíme označit bohužel celou lidskou populaci, která přispívá k oteplování a změně klimatického systému největší měrou. Změna klimatu

způsobuje nadměrně vysoké teploty hladiny moří a oceánů, a právě tyto změny způsobují bělení korálů. Koráli jsou velice citliví na jakékoliv změny v prostředí, ve kterém žijí a tolerují jen velmi malý teplotní rozsah. To znamená, čím vyšší teplota vody je, tím intenzivnější je i bělení (ARC ©2021).

Bělení korálů se během čtyř desetiletí v důsledku globálního oteplování zvýšilo až pětinasobně. S tím souvisí zpomalení rychlosti obnovy a celkové regenerace ekosystému. Nejrozsáhlejší masové bělicí události se uskutečnily v roce 1998, 2002, 2016 (Hughes et al. 2017).

V roce 1998 došlo k poškození až 50 % celkové populace korálů, zasažena byla převážně centrální a jižní část útesu. Příčinou bělení byla nadměrná teplota mořské vody, která se pohybovala vysoce nad 30 °C. Rok 2002 se zapsal do historie taktéž. Došlo k daleko větší intenzitě bělení, než tomu bylo v roce 1998. Během bělicí události bylo zasaženo přes 60 % populace korálů. I když byla v letech 1998 a 2002 zasažena většina korálových útesů, úmrtnost se pohybovala jen kolem 5 %. Většina ze zasažených útesů se dokázala po odeznění vysokých teplot vody vzpamatovat a zcela zregenerovat. Zatím poslední bělicí masivní událost na VBÚ byla pro svůj rozsah a dobu trvání nejhorší v historii. První známky, jež ukazovaly, že by mohlo zasáhnout oblast VBÚ bělení, byly zpozorovány již v roce 2014 v důsledku změny klimatu a zesílených projevů El Niña. I když třetí bělicí událost je datována od roku 2014, samotný VBÚ byl zasažen až v roce 2016. Nejhorší situace nastala během první poloviny roku 2016, kdy byly naměřeny nejvyšší teploty vody v oblasti VBÚ od roku 1880. Silné projevy El Niña snížilo monzunové aktivity téměř k nule, a tím vyvolalo velmi dlouhé období vysokých teplot bez srážek, oblačnosti a silného větru. Koráli tím pádem utrpěli velký tepelný stres po několik po sobě jdoucích měsících bez přestávky. Faktor zvyšování teploty vody v řadách měsíců mělo katastrofální účinky. Největší zvýšení teplot bylo zaznamenáno hlavně v severní části útesu, kde došlo i k vysokému procentu bělení. Během 2 let, kdy docházelo k vysokému procentu bělení, bylo zasaženo kolem 80 % korálového pokryvu a celková úmrtnost za toto období se pohybovala okolo 30 % (De'ath et al. 2012). Na obrázku č. 21 jsou vyobrazeny 3 největší bělicí události a jejich dopad na VBÚ. Barevně je vyobrazeno procentuální zasažení jednotlivých částí útesu v letech 1998, 2002 a 2016.



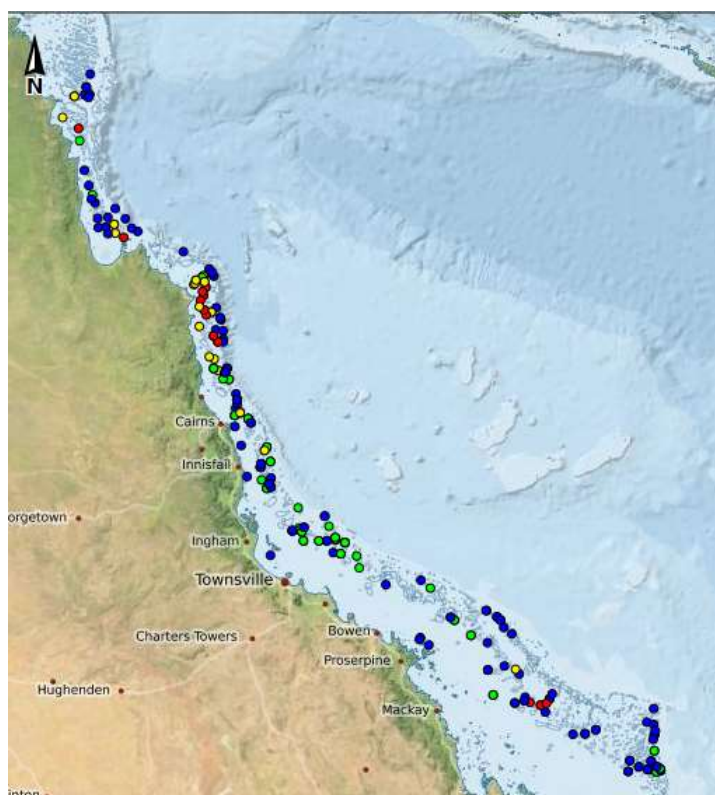
Obrázek č. 21: Barevné vyobrazení bělicích událostí v letech 1998, 2002 a 2016. Barevné schéma uvádí procenta bělených korálů v oblastech VBÚ: tmavě zelená (<1 % bělených korálů), světle zelená (1-10 %), žlutá (10-30 %), oranžová (30-60 %), červená (>60 %) (Kennedymarine.org, 2021).

5.1.2 Hvězdice trnová koruna (*Acanthaster planci*)

Hvězdice trnová koruna je přirozeně se vyskytující bezobratlý mořský tvor v oblastech Indického a Tichého oceánu. Hvězdice trnová koruna je jeden ze 3 hlavních faktorů úbytků korálů na VBÚ za posledních 27 let. Jedná se o druh hvězdice, která dorůstá délky až 1 metru, její trny obsahují jedovaté toxické látky, jež jsou jedovaté nejen pro mořské živočichy, ale i pro člověka. Hlavní potravou jsou koráli a za rok je schopná jedna hvězdice pozřít až 10 m² korálového pokryvu. Bez potravy je schopna přežít až 9 měsíců (GBRF ©2021). Mnoho vědců se domnívá, že za výskytem a rozšířením stojí velmi dobré rozmnožovací schopnosti. Hvězdice se rozmnožují pomocí larev, které jsou velice odolné a daří se jim ve vodách s vysokou koncentrací živin. Živiny v oblasti VBÚ pocházejí převážně z povrchového odtoku. Larvy tak mají dostatek potravy a nechávají se unášet proudy vyskytujícími se po celé délce VBÚ do doby, než se usadí. Tímto způsobem se šíří po celé délce útesu (eAtlas ©2021). Mezi její hlavní predátory patří lastura Tritonova trumpeta, Osteneč zelenavý a žlutoploutvý, Čtverzubec, Pyskoun vlnkovaný či Kreveta harlekýnová (GBRF ©2021).

První zmínky o hvězdici byly zveřejněny už v 60. letech 20. století. Monitorování populací a současného stavu ohnisek výskytu má na starosti Australský institut mořské vědy. V letech 1985-1988 došlo k masivnímu rozšíření hvězdic v oblasti Townsville, dosud není zjištěno, jaký důvod vedl k tak rozsáhlému rozšíření. Jedná se nejspíše o souhru několika faktorů, jako například kumulace živin ve vodním sloupci, dostupnost i hojnost potravy, ideální podmínky pro rozmnožování či snížený počet

predátorů. Údaje o monitorování mezi lety 1995 a 2005 ukázaly snížení korálového pokryvu až o 50 % z toho má 42 % úbytku na svědomí právě tento druh hvězdice. Za ohniska jsou považována místa, kde je výskyt vyšší než 30 hvězdic na 1 hektar. Další velké ohnisko bylo nalezeno v roce 2012 v oblasti Cooktown. Během let 2012-2015 se hvězdice rozšířila po celé délce VBÚ ve velkém počtu (obrázek č. 22). Kvůli masivnímu šíření byl v roce 2012 založen program kontroly hvězdic trnové koruny, který má za úkol hledat a reagovat na daná ohniska. Program využívá speciální plavidla s vyškolenou posádkou regulující počet hvězdic za pomoci injekcí se žlučovou solí a je financován Australskou vládou. V současné době je daný program velice úspěšný.



Obrázek č. 22: Rozšíření výskytu hvězdice trnové koruny v letech 2012-2015. Jednotlivé barevné body ukazují ohniska a aktivitu: červené body: aktivní výskyt, žluté body: začínající výskyt, zelené body: obnova korálového pokryvu po aktivním výskytu hvězdice, modré body: momentálně bez opakovaného výskytu (maps.eatlas.org.au, 2021).

5.1.3 Extrémní projevy počasí

Další ze 3 hlavních faktorů způsobujících pokles korálového pokryvu se řadí extrémní projevy počasí. Příchod letní sezóny je těmito projevy charakteristický. S intenzivnějšími projevy El Niña a La Niña přichází i intenzivnější bouře doprovázené povodněmi.

Pojmem bouře je zde míněn takzvaný tropický cyklón. Jedná se o charakteristický název pro danou oblast. V různých částech světa se můžeme potkat s názvy: tajfun, hurikán, tropická bouře nebo tropická deprese, ale stále se jedná o stejný klimatický jev. Tropický cyklón je atmosférický útvar, jež má ve svém středu charakteristické oko, kolem kterého rotují oblaka vysokou rychlostí větru nad 118 km/h, a prudkých srážkách (McGregor & Nieuwolt 1998). Tropické cyklóny doprovází silné vlnobití, způsobené vysokou rychlostí větru, a povodně, způsobující nadměrné úhrny srážek. Silné nárazy vln poškozují útes lámáním nebo úplným rozdrčením korálového podloží. Ustupující voda ze zaplavených oblastí může způsobit stres korálům nacházejícím se u pobřeží z důvodu snížení slanosti, zvýšeného zákalu nebo z důvodu zvýšení koncentrace živin splavených ze zemědělských oblastí. Dlouhodobé vystavení stresu vede většinou k úmrtí celé kolonie. Poškozovány nejsou jen korálové útesy, ale také oblasti mangrovů, mokřadů nebo ploch s mořskou trávou, které jsou s korály úzce propojeny (GBRMPA ©2011).

V programu Australského institutu mořských věd je uvedeno, že za období 1985-2012 uhynulo v důsledku tropických cyklónů přibližně 48 % všech korálů (GBRMPA ©2021f). V posledních letech udeřilo na VBÚ celkem 6 silných cyklónů. Část dopadů těchto klimatických jevů je viditelná okamžitě (polámání desek útesu nebo rozdrčení), ale větší část se projeví až s odstupem času. Mezi těchto 6 nejsilnějších cyklónů o síle kategorie 3,4 a 5 se řadí: Ingrid (2005), Larry (2006), Monica (2006), Hamish (2009), Ului (2010), Yasi (2011) a Debbie (2017) (GBRMPA ©2013).

Ingrid v roce 2005 zasáhla nejsevernější část VBÚ v délce 100 km. Cyklón poškodil útes především polámáním korálového pokryvu v důsledku silného vlnobití. O rok později v roce 2006 zasáhly VBÚ rovnou dva cyklóny Larry a Monica. Larry zasáhl centrální část a Monica opět část severní. Oba klimatické jevy poškodily útesy VBÚ v malém měřítku, a to jen z toho důvodu, že pohyb byl velice rychlý a čas strávený nad útesem nebyl tak dlouhý, aby napáchal škody ve velkém rozsahu (GBRMPA ©2011). Dalším v pořadí byl cyklón Hamish, který v roce 2009 postihl více než 50 % útesu. Jeho trasa nevedla kolmo k útesu jako tomu bylo u předchozích cyklónů, ale souběžně s VBÚ. Intenzita silných větrů a vlnobití stoupala v centrální a jižní části VBÚ, kde napáchal cyklón největší škody (GBRMPA ©2011). V roce 2011 došlo k nejsilnějšímu tropickému cyklónu za posledních 100 let. Dostal jméno

Yasi. Zasáhl centrální část VBÚ v délce přes 400 km. Největší škody byly zjištěny jižně od oblasti Cairns kolem Tomswille. Přibližně 6 % stanovišť korálových útesů bylo v důsledku cyklónu zcela zničeno polámaním. Poslední dosud zaznamenaný silný cyklón kategorie 4 je Debbie. Prohnala se v roce 2017 centrální částí VBÚ a poničila útes v rozsahu jedné třetiny nejen fyzicky, ale také v důsledku odtoku povodňové vody došlo k výraznému znečištění vody (NOAA ©2021).

5.2 Zhodnocení současného stavu

Faktory, které ovlivňují zdraví celého útesu souvisejí především s moderním způsobem života dnešní civilizace. Zdraví celého útesu není jen otázka odpovědnosti obyvatel, kteří zde žijí nebo nespočet turistů, kteří navštěvují útes, ale zodpovědnost padá na všechny z nás. Právě globální oteplování je hlavní problém celé oblasti. V roce 2009 byl výhled pro útes v dalších letech považován jako uspokojivý. Následující bělicí a klimatické události celý pohled na situaci změnily. V roce 2015 došlo k zřízení dlouhodobého plánu udržitelnosti útesu s názvem Reef 2050 Plan. Plán poskytuje dlouhodobou strategii pro obnovu a řízení správy parku VBÚ a vydává každoroční výroční zprávy. Prioritním plánem pro záchranu je snížit a co nejvíce zvrátit dopady změny klimatu na globální úrovni. Momentálně jeden z hlavních úkolů, které lze změnit v řádu pár let, je zlepšit kvalitu vody a chránit a obnovovat mořská stanoviště v celém ekosystému (GBRMPA ©2021g).

V posledních letech zažívá celý ekosystém čím dál silnější projevy El Niña a La Niña, které mají za následek dlouhodobě působící stresové situace. Stále panuje trend silného bělení, převážně v centrální a jižní části. Trend trvá v důsledku cyklónů, zhoršující se kvality vody, nárůstu teploty vody, či v rozsáhlé oblasti s výskytem hvězdice trnová koruna. Dochází tak k neustálému zatěžování celého ekosystému, který není schopen regenerace. Pokud nedojde ke zlepšení situace, která není zrovna pro celý VBÚ příznivá, může dojít v budoucnu k dalšímu vysokému procentu úmrtí korálového pokryvu a k následnému kolapsu ekosystému.

6. Mezoamerický systém korálových útesů

Mezoamerický systém korálových útesů (dále jen MASKÚ) je druhý největší komplex korálových útesů na světě, nacházejí se v Karibském moři (obrázek č. 23). Celková délka útesu dosahuje přes 1 000 kilometrů a protíná hranice čtyř států: Mexika,

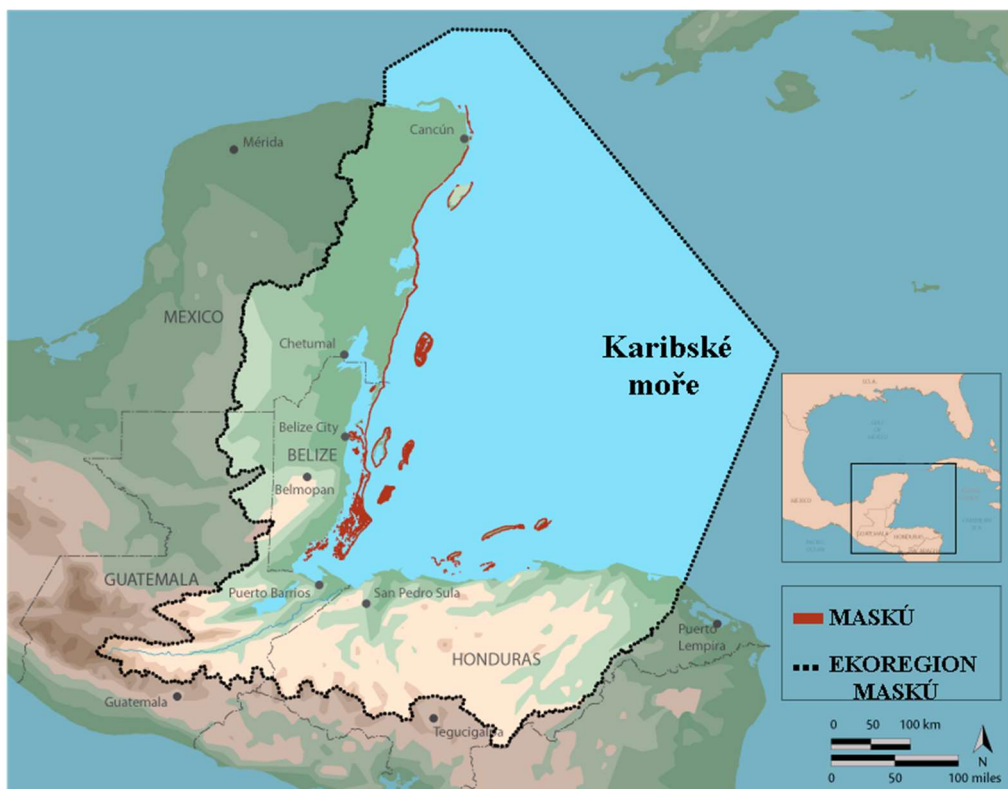
Guatemaly, Belize a Hondurasu. Jedná se o jeden z biologicky nejrozmanitějších ekosystémů na světě. Zahrnuje několik druhů korálových útesů: bariérové útesy, lemové útesy, atoly a patch útesy (shluk korálů v těsné blízkosti oddělený pískovými kruhy). Dále se zde nacházejí: mělké a hluboké laguny, mangrovové lesy, mokřady a podmořské louky řas a trávy. V MASKÚ se nachází 47 chráněných mořských oblastí pokrývajících rozlohu 34 000 km² (McField & Kramer 2007).

Mezi nejvýznamnější korálové oblasti MASKÚ patří: systém rezervací bariérových útesů Belize, národní park Arrecifes de Cozumel a biosférická rezervace Sian Ka'an. Přes 1 milion lidí je přímo závislých na zdraví korálových útesů v této oblasti, jelikož je to oblast jejich živobytí. Lidé zde žijí převážně z cestovního ruchu a rybolovu. Ekonomiky Mexika, Belize a Hondurasu jsou zcela závislé na celkové prosperitě cestovního ruchu zaměřeného na oblasti přírodních památek.

Úsilí o ochranu celého Mezoamerického komplexu začalo před 34 lety. V roce 1987 byla vyhlášena v této oblasti první mořská rezervace. V roce 1996 byl systém rezervací bariérových útesů Belize zapsán na seznam světového dědictví UNESCO. V roce 1997 nevládní organizace vytvořily několik regionálních programů pro ochranu útesů. Vládní zmocněnci Mexika, Hondurasu, Guatemaly a Belize podepsali tentýž rok dohodu známou jako Tulumskou deklaraci. Deklarace pojednává o ochraně a zachování útesového systému.

V roce 2003 byla zahájena činnost skupiny Iniciativy zdravých útesů pro zdravé lidi. Tato iniciativa má hlavní cíle: ochránění ekosystému, použití vhodných indikací k zachování zdraví útesu, analýzu dat za účelem zlepšení správy útesů a poskytování informací a vzdělávání široké veřejnosti o fungování ekosystému.

Celý korálový komplex a pobřeží zažívají rychlé změny. Masová turistika, globalizování mladší generace, změny klimatu, rozvoj pobřeží a jiné mají za následek ztrátu znalostí o ekologických hodnotách útesů (McField & Kramer 2007).



Obrázek č. 23: Mapa polohy a vyznačení korálových útesů v oblasti Meziamerického útesu (Marfund.org, 2021).

6.1 Příčiny zániků korálů v Mezoamerickém systému korálových útesů

6.1.1 Rybolov

Rybolov je jedno z hlavních odvětví ve všech zemích zahrnující MASKÚ. Neodmyslitelně patří k tradiční kultuře a tvoří hlavní příjem pro miliony obyvatel. Mnoho vědců považuje nadměrný rybolov za jeden z hlavních faktorů ovlivňující pokles korálového pokryvu v oblasti MASKÚ. Snížení druhové rozmanitosti a místní vyhynutí klíčových druhů má za následek narušení interakce mezi živočichy žijícími na útesech a samotnými útesy. Mnoho mořských živočichů žijících na útesech pomáhá korálovému pokryvu k prosperitě a naopak. Pokud dojde k nadměrnému narušení přirozených procesů, útes přestane prosperovat (McField & Kramer 2007). Vliv zakázaných technik rybolovu na korálové útesy byl popsán v kapitole 4.1.1 Zakázané techniky rybolovu této bakalářské práce.

V roce 2018 činil celkový pokles rybí biomasy na MASKÚ v důsledku nadměrného rybolovu o 23 %. Celková chráněná plocha mořského prostředí zahrnuje téměř 57 % celého mořského prostředí spadajícího do teritoria MASKÚ, ale pouze 3 % z těchto

chráněných oblastí je zcela chráněno před rybolovem. Oblasti, které se nacházejí v chráněném území, mají desetkrát vyšší hodnotu rybí biomasy než oblasti, které chráněné nejsou. Zamezení rybolovu a používání nevhodných zařízení pomáhají zajistit navýšení počtu druhů ryb a mořských živočichů. Každá ze 4 zemí má jiné nástroje pro ochranu mořských oblastí. Rozdílnost mezi jednotlivými nástroji vyvolává i velké rozdíly mezi výsledky v ochraně.

Proto byl v roce 2004 zahájen projekt MAR fish. Jedná se o projekt, který monitoruje především sítě míst, kde dochází k agregaci ryb. V těchto místech dochází k velké koncentraci ryb, které sem putují za účelem rozmnožování. Pokud je tento přirozený proces narušen vlivem rybolovu, je narušen i celkový roční přírůstek rybí populace. To vše vede ke snížení biodiverzity, ke změnám v potravním řetězci, snížení celkové prosperity korálových útesů, snížení rybího úlovku a následné katastrofální důsledky pro populaci, jež je na rybolovu závislá. V letech 2019-2021 má projekt MAR fish za hlavní cíl především vytvořit plán sítí míst, kde dochází k agregaci ryb a zařadit tato místa do chráněných území (Marfund.org ©2021).

6.1.2 Zemědělská činnost

Rozšiřování odlesňování a zemědělského průmyslu poškozují korálové útesy převážně v jižní části MASKÚ. Tento faktor patří mezi největší současné hrozby úbytku korálového pokryvu (McField & Kramer 2007). Způsoby hospodaření v méně rozvinutých zemích spočívají ve využívání starších a ne zrovna ekologicky šetrných metod. Využívání velkého množství nebezpečných pesticidů a dalších podobných látek má za následek zhoršení kvality životního prostředí a ekologie celkově. V oblasti Střední Ameriky se zemědělská činnost rozšiřuje do původního prostředí a tím narušuje rovnováhu v celém ekosystému. Mangrovové porosty slouží jako dokonalé přírodní filtry, které zachycují odplavovaný materiál z pevniny. Právě v důsledku jejich vypalování a likvidace jednoznačně dochází k většímu zanášení mořského prostředí. Zemědělská činnost je spojována hlavně se zvýšením eroze a odtoku živin i dalších nebezpečných látek do vod MASKÚ. Největší problém je zaznamenán v oblasti Hondurasu, kde za posledních let došlo k vysokému nárůstu zemědělské půdy (Carilli et al. 2009). Důsledky dopadu znečištění vody ze zemědělství a průmyslu bylo popsáno již v kapitole 4.1.2 Znečištění vody v této bakalářské práci.

6.1.3 Rozvoj pobřežních oblastí a cestovní ruch

Rozvoj pobřeží úzce souvisí s cestovním ruchem. Pro Mexiko, Belize, Guatemala a Honduras se stal cestovní ruch jedním z nejdůležitějších prvků jejich ekonomik. Tvoří největší podíl na příjmech do státního rozpočtu, a tudíž rozvoj turistických destinací se stal prioritou číslo jedna i na úkor korálových útesů. Rozprodání více než 75 % pobřeží Belize cizincům má s největší pravděpodobností sloužit k vybudování rekreačních objektů. Dohled nad výstavbou a celkovým rozvojem pobřeží je ze strany vládnoucích orgánů úspěšně přehlížený. Stavební řízení bez veškerých regulací ničí mořské ekosystémy nacházející se v blízkosti. Cestovní ruch se za posledních 20 let například v Belize zvýšil trojnásobně, ostatní státy jsou na tom velice podobně. Velký nárůst byl zaznamenán i v oblasti lodní dopravy v celé oblasti. Výletní lodě zde ničí korálové útesy svými kotvami a vypouštěním odpadních vod. Dále přispívají k navýšení počtu turistů, kteří jsou dopravováni do atraktivních potápěčských i šnorchlařských lokalit. Tyto lokality jsou narušovány především bezohledným chováním turistů (Murray, 2020).

6.2 Zhodnocení současného stavu

Současný stav MASKÚ nelze jednoznačně vyhodnotit. V určitých oblastech dochází k mírnému zlepšení, a naopak v určitých oblastech dochází ke zhoršení. Největší úbytky korálového pokryvu v této oblasti má na svědomí jednoznačně lidská společnost. Důsledky intenzivního rybolovu, zemědělství, průmyslové činnosti a čím dál rychlejšího rozvoje pobřežních oblastí v kombinaci se špatnou koordinací má na celý ekosystém včetně životního prostředí špatný vliv.

Se založením Iniciativy zdravých útesů pro zdravé lidi v roce 2003 došlo v některých částech útesu k částečným opatřením, které napomáhají ke zlepšení celé situace. Iniciativa každoročně vydává souhrnné zprávy, ve kterých se zhodnotí aktuální stav útesů. Aktuální stav se zhodnocuje na základě takzvaného indexu zdraví útesů. Ze souhrnné zprávy z roku 2020 je zřejmé, že se celkový rozsah korálových útesů snížil, ale vykazuje stále lepší výsledky, než tomu bylo v roce 2006.

Celkový stav v oblasti Belize se zlepšil, a to hlavně v důsledku brzké ochrany klíčových druhů býložravců v oblasti. Jedná se tedy o pozitivní zprávy. Stejných výsledků chce dosáhnout i Mexiko s Guatemalou, jež se zapojili se stejnou taktikou ochrany klíčových druhů. V oblasti Cancúnu na severu Mexika došlo k rozsáhlé

likvidaci mangrovových porostů v důsledku výstavby rekreačních staveb. Zásluhou místních obyvatel byl projekt výstavby zcela zastaven a na území, kde došlo k likvidaci mangrovových porostů, dochází k jejich obnově. V nejbližších letech ochránci předpokládají výrazné zlepšení, a to nejen díky účasti na ochraně rybí populace, ale i zásluhou místních obyvatel, kteří se zasloužili o zastavení velkého stavebního projektu. Dobré zprávy však nepřichází z Hondurasu, kde bohužel došlo k výraznému zhoršení zdraví útesů. Vědci zjistili vysoký nárůst řas usazujících se na korálovém podloží a úbytek býložravců, kteří se daným druhem řas živí. Ani zde se však nejedná o neřešitelný problém a teď jen závisí na vládě Hondurasu a organizacích působících v MASKÚ, jak se k této situaci postaví (McField et al. 2020).

7. Diskuze

Zhodnocení rizik, které byly v této bakalářské práci vyjmenovány a specifikovány, ukazují, že za hlavními problémy zdraví korálových útesů jednoznačně patří globální oteplování a s ním související zvyšování teploty, acidifikace oceánů, intenzivní projevy klimatického jevu ENSO. Na všech těchto faktorech se shodují i vědci a odborníci citovaní v bakalářské práci. Na základě zpracovaných informací a údajů je zcela zřejmé, že dochází k rapidnímu snížení korálového pokryvu napříč oceány. Zdraví korálových útesů je znehodnocováno i dalšími faktory, a to především s těmi, které úzce souvisejí s lidskou činností. Odvětví průmyslu, zemědělství i cestovního ruchu mají velice vážné důsledky na celé životní prostředí, a tím i na korálové útesy. I když se v posledních letech čím dál více řeší otázka životního prostředí na globální úrovni, výsledky nejsou stále dostačující.

Mezi ohrožující faktory úzce souvisejícími s lidskou činností byly vyhodnoceny zakázané techniky rybolovu, znečišťování vody a rozvoj pobřežních oblastí.

Rybolov hraje důležitou ekonomickou roli především v rozvojových zemích, kde se stal hlavním zdrojem příjmů a potravy. Používáním především kyanidu a třaskavin dochází k největším škodám na útesech. Největší problém byl zde shledán v absenci dostatečných prostředků poskytujících ochranu před poškozováním.

Při zpracování tématu znečišťování vody bylo zjištěno několik zneklidňujících skutečností. Samotné znečištění má mnoho zdrojů. Těmi největšími zdroji jsou přímé vypouštění odpadních vod, zemědělská i průmyslová činnost a plastové částice. Podle studie vědců Wearsa a Thurbera (2015) je eutrofizace hlavní faktor úhynu korálů.

S tímto prohlášením lze souhlasit, protože koráli jsou velice náchylní na sebemenší změny ve svém prostředí. Celosvětovým problémem se stal i zvýšený podíl plastových částic ve vodním prostředí.

Šestiměsíční studie z roku 2011 vědců Reicherta et al. (2019) jednoznačně prokázala neblahý vliv na populaci hermatypických korálů. V důsledku záměny plastových částic za potravu dochází ke ztrátě vitality a větší náchylnosti na další stresory.

Každoročně dochází k intenzivnějšímu rozvoji pobřežních oblastí hlavně v důsledku zvýšené frekvence cestovního ruchu a zájmu o turisticky atraktivní lokality. Výsledkem jsou úbytky mangrovových porostů a zasažená korálová podloží zvýšenou sedimentací a zákalem, jež jsou spojeny se stavebními pracemi.

Globální oteplování, jistě jsme všichni tento pojem už mnohokrát slyšeli. Tento rozsáhlý problém byl pro účely bakalářské práce rozvinut jen v rovině vlivu na korálové útesy. Velkou hrozbu přináší okyselování oceánů, jež je jedním z následků stále se zvyšující koncentrace CO₂ v atmosféře a klimatických jevů ENSO. Na základě vyhodnocení výsledků lze říci, že globální oteplování a jeho následky jsou úzce spjaty se zhoršujícím stavem celosvětové populace korálů.

V této práci byly zhodnoceny dvě různé oblasti s vysokým výskytem korálového podloží. Jedná se o Velký bariérový útes a Mezoamerický systém korálových útesů. V každé jednotlivé oblasti byly vyhodnoceny na základě vědeckých poznatků i studií faktory stojící za nejvyššími úbytky korálového podloží a současný stav. Zatímco na VBÚ stojí za nejvyššími úbytky korálového podloží změny klimatu, hvězdice trnová koruna a extrémní projevy počasí, v MASKÚ jsou příčinami rybolov, zemědělská činnost, rozvoj pobřežních oblastí a navazující cestovní ruch. Obě oblasti spojuje jeden globální problém, a tím je bělení korálů, jež vyvolávají stresové faktory.

VBÚ trápí především globální oteplování a s ním spojené změny klimatu, proti kterým se bojuje jen velmi těžko. Vláda spolu s organizacemi působící na VBÚ jsou schopné velice dobře reagovat na místní problematiku týkající se celého ekosystému. Současný stav a vyhlídky do budoucnosti podle agentury pro správu Velkého bariérového útesu nejsou moc příznivé. Pokračující trend bělení zde neklesá, ale stále ještě není pozdě na změnu. Pokud se podaří splnit alespoň některé body vycházející z plánu zvaného Reef 2050 Plan, můžeme se v budoucnosti dočkat prosperujícího a pomalu se zotavujícího mořského přírodního bohatství.

V MASKÚ stojí za veškerými problémy lidská činnost. Důležitou roli zde hraje i fakt, že všechny státy zahrnující se do správy MASKÚ nejsou tak vyspělé a bohaté, jako v případě Austrálie. Celkový stav korálů se zdá na dobré cestě. Korálové útesy v oblastech Mexika, Quatemaly a Belize vykazují mírné zhoršení oproti let předešlým. Stále se nejedná o zhoršení ve velkém rozsahu, které by ohrožovalo existenci ekosystému, ale určitě by se nad těmito signály nemělo mávat rukou. Velký vykřičník visí nad korály v oblasti Hondurasu, kde situace není dobrá. Za příčinou zhoršení zdraví útesů stojí řasy a nedostatek býložravců, kteří se danými řasami živí. Velice důležitým faktorem zde bude postavení místní vlády a organizací působících v MASKÚ. Na druhou stranu je velice důležité povznést práci Iniciativy zdravých útesů pro zdravé lidi. Tato organizace dokázala za posledních 18 let velké pokroky, co se ochrany MASKÚ a spolupráce se všemi státy týče. Jednoznačně má velkou zásluhu na zlepšení celkového stavu útesů, ale před sebou má organizace stále ještě velký kus práce.

8. Závěr

Lze jednoznačně říci, že korálové útesy patří k velice křehkým a citlivým ekosystémům, jež ukrývají nejbohatší biodiverzitu na této planetě. Je vědecky dokázané, že populace korálů se každým rokem rapidně snižuje. Příčinou jsou především klimatické změny a místní vlivy v podobě rybolovu, znečištění vody a rozvoje pobřežních oblastí.

Výsledky práce jasně dokazují, že neustálé zasahování lidské populace do mořského prostředí prostřednictvím rybolovu, znečištění a rozvoje pobřežních oblastí mění přirozené prostředí korálů. Nadměrný rybolov a jeho destruktivní metody zasahují celkově do rozmanitosti ekosystému, naopak znečištění mořského prostředí úzce souvisí se zdravím korálů. Následkem znečištění je větší náchylnost k chorobám a menší odolnost vůči dalším vlivům, se kterými se zdravý korál vypořádá bez větších problémů. V práci se podařilo objasnit, jak navyšování koncentrace CO₂ v atmosféře přímo souvisí se zvýšením intenzity skleníkového efektu, který ovlivňuje teplotu oceánů, pH mořské vody, a dokonce i klimatický jev zvaný ENSO. Koráli se jen velice těžce přizpůsobují tak rychlým globálním změnám, jako tomu je právě teď, a pokud se jim to nepodaří, může to vést až k úplnému kolapsu mořského prostředí. Data o hromadném bělení korálů v důsledku klimatických změn nám zcela jasně dokazují, že se jedná o přímý ukazatel globálního oteplování, který nelze popřít.

Z analýzy dvou největších korálových útesů na světě, a to Velkého bariérového útesu a Mezoamerického systému korálových útesů jednoznačně vyplývá, že současný stav korálových útesů se i nadále zhoršuje. Zatímco Velký bariérový útes nejvíce ohrožuje především bělení korálů, které je čím dál více intenzivnější v důsledku projevů extrémního počasí související se změnami klimatu. Oblast Mezoamerického systému korálových útesů nejvíce ohrožují dopady lidských činností v podobě nadměrného rybolovu klíčových druhů ryb, likvidace mangrovových porostů, využívání nebezpečných chemických látek v zemědělství a rozvoj pobřežních oblastí v důsledku vysokého rozvoje cestovního ruchu.

Je velice důležité se zaměřit na konkrétní problémy týkající se daných oblastí. Hlavním cílem by mělo být zapojení do ochrany mnohem více místní vlády, obyvatelstvo a další organizace, protože pouze nástroje na ochranu jednoznačně nestačí. Dále by bylo prospěšné zmírnit rychlost globálního oteplování a s tím související změny klimatu.

Tento problém lze zmírnit především, pokud se bude o daném tématu více hovořit a poukazovat, jaké následky si ponese. Dostatečná motivace lidstva a odvětví průmyslu ke snižování znečišťování životního prostředí skleníkovými plyny by bylo z mého pohledu zásadním krokem k zachování korálových útesů pro budoucí generace.

9. Přehled literatury a použitých zdrojů

9.1 Odborné zdroje

ALLEMAND, D., OSBORN, D., 2019: *Ocean acidification impacts on coral reefs: From sciences to solutions*. Regional Studies in Marine Science 2019/28. P. 1-8.

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

ANDRADY, A., 2011: *Microplastics in the marine environment*. Marine Pollution Bulletin 2011/62. P. 1596-1605.

BELLWOOD, D., HUGHES, T., FOLKE, C., NYSTRÖM, M., 2004: *Confronting the coral reef crisis*. Nature 2004/429. P. 827-833.

BOWEN, J., BOWEN, M., 2002: *The Great Barrier Reef: History, Science, Heritage*. Cambridge University Press, Cambridge.

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

BRIDGMAN, H. A., 2005: *Australia and New Zealand, Climate of*. In: OLIVER J. E. (ed.): *Encyclopedia of World klimatology*. Springer, Netherlands: P. 137 – 154.

BURKE, L., REYTER, K., SPALDING, M., PERRY, A., 2011: *Reefs at risk revisited*. World Resources Institute, Washington D.C..

CARILLI, J. E., PROUTY, N. G., HUGHEN, K. A., NORRIS, R. D., 2009: *Century-scale records of land-based activities recorded in Mesoamerican coral cores*. Marine Pollution Bulletin 2009/58. P. 1835-1842.

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 2018/13. P. 1-22.

DARWIN, CH., 1842: *On the Structure and Distribution of Coral Reefs: Being the First Part of the Geology of the Voyage of the Beagle Under the Command of Captain Fitzroy, RN During the Years 1832 to 1836*. Smith, Elder and Co., London.

DE'ATH, G., FABRICIUS, K., SWEATMAN, H., PUOTINEN, M., 2012: *The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes*. In: Falkowski P.

G. (ed): Proceedings of the National Academy of Sciences. National Academy of Sciences, Washington D.C.. P. 17995-17999.

DOROPOULOS, C., WARD, S., DIAZ-PULIDO, G., HOEGH-GULDBERG, O., MUMBY, P. J., 2012: *Ocean acidification reduces coral recruitment by disrupting intimate larval-algal settlement interactions*. Ecology Letters 2012/15. P. 338-346.

DUNNE. J., JACKSON, S., HARTE, J., 2013: *Greenhouse Effect*. In: Levin S. A (ed.): Encyclopedia of Biodiversity: Second Edition, Elsevier Inc., San Diego, P. 18-32.

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 2016/43. P. 20-26.

EYRE, B., CYRONAK, T., DRUPP, P., DE CARLO, E. H., SACHS, J. P., ANDERSSON, A. J., 2018: *Coral reefs will transition to net dissolving before end of century*. Science 2018/359. P. 908-911.

GATTUSO, J., HANSSON, L., 2011: *Ocean Acidification*. OUP Oxford, New York.

GLYNN, P. W., MONES, A. B., GUILLERMO PODESTÁ, P., COLBERT, A., COLGAN, M. W., 2017: *El Niño-Southern Oscillation: Effects on Eastern Pacific Coral Reefs and Associated Biota*. In: Glynn P., Manzello D., Enochs I. (eds.): Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific: Persistence and Loss in a Dynamic Environment. Springer Netherlands, Dordrecht, P. 251-290.

GORSKIJ NIKOLAJEVIČ, N., TOMISLAV, P., 1964: *Tajemství oceánu*. Mladá fronta, Praha.

HICKMAN, C. P., ROBERTS, L. S., LARSON, R., 2002: *Radiate animals, Cnidarians and Ctenophores*. Hickman C. P., Roberts L. S., Larson R (eds.): Animal Diversity 3rd edition. McGraw-Hill Higher Education, New York, P. 116-138.

HERON, S. F., EAKIN, C. M., DOUVERE, F., ANDERSON, K., DAY, C. J., GEIGER, E., HOEGH-GULDBERG, O., VAN HOOIDONK, R., HUGHES, T., MARSHALL P., OBURA, D., 2017: *Impacts of climate change on World Heritage coral reefs: a first global scientific assessment*. UNESCO World Heritage Centre, Paris.

HOEGH-GULDENBERG, O., 1999: *Climate Change, Coral Bleaching and The Future of TheWorld's Coral Reefs*. Marine Freshwater Research 1999/50. P. 839-866.

HOPLEY D., 2011: *Encyclopedia of Modern Coral Reefs: Structure, Form and Process*. Springer Science & Business Media, The Netherlands.

HOUGHTON, J., 1998: *Global Warming: The Complete Briefing (second edition)*. Cambridge University Press, New York.

HUGHES, T. P., KERRY, J. T., ÁLVAREZ-NORIEGA, M., ÁLVAREZ-ROMERO, J. G., ANDERSON, K. D., BAIRD, A. H., BABCOCK, R. C., BEGER, M., BELLWOOD, D. R., BERKELMANS, R., BRIDGE, T. C., BUTLER, I. R., BYRNE, M., CANTIN, N. E., COMEAU, S., CONNOLLY, S. R., CUMMING, C. S., DALTON, S. J., DIAZ-PULIDO, G., EAKIN, C. M., FIGUEIRA, W. F., GILMOUR, J. P., HARRISON, H. B., HERON, S. F., HOEY, A. S., HOBBS, J. P. A., HOOGENBOOM, M. O., KENNEDY, E. V., KUO, CH. Y., LOUGH, J. M., LOWE, R. J., LIU, G., MCCULLOCH, M. T., MALCOLM, H. A., MCWILIAM, M. J., PANDOLFI, J. M., PEARS, R. J., PRATCHETT, M. S., SCHOEPF, V., SIMPSON, T., SKIRVING, W. J., SOMMER, B., TORDA, G., WACHENFELD, D. R., WILLIS, B. L., WILSON, S. K., 2017: *Global warming and recurrent mass bleaching of corals*. Nature 2017/543. P. 373-377.

CHENG, L., ABRAHAM, J., HAUSFATHER, Z., TRENBERTH, K., 2019: *How fast are the oceans warming?*. Science 2019/363. P. 128-129.

JENSEN, W., 2004: *The Symbol for pH*. Journal of Chemical Education 2004/81. P. 21.

JERMÁŘ, M., 2010: *Globální změna: Cesta ze světového chaosu do budoucnosti*. Aula, Praha.

JONES, R., STEVEN, A., 1997: *Effect of cyanide on corals in relation to cyanide fishing on reefs*. Marine and Freshwater Research 1997/48. P. 517-522.

KADRNOŽKA, J., 2008: *Globální oteplování Země*. Vutim, Brno.

KOUSKY, V., KAGANO, M., CAVALCANTI, I., 1984: *A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies*. Tellus A 1984/36. P. 490-504.

KWEKU, D., BISMARCK, O., MAXWELL, A., DESMOND, K., DANSO, K., QTI-MENSAH, E., QUACHIE, A., ADORMAA, B., 2018: *Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming*. Journal of Scientific Research and Reports 2018/17. P. 1-9.

LEBRETON, L., SLAT, B., FERARRI, F., SAINTE-ROSE, B., AITKEN, J., MARTHOUSE, R., HAJBANE, S., CUNSOLO, S., SCHWARZ, A., LEVIVIER, A., NOBLE, K., DEBELJAK, P., MARAL, H., SCHOENEICH-ARGENT, R., BRAMBINI, R., REISSER, J., 2018: *Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic*. Scientific Reports 2018/8. P. 1-15.

LOMBORG, B., 2008: *Zchlad'te hlavy! Skeptický ekolog o globálním oteplování*. Dokořán, Praha.

LOPÉZ, N. O., CHAVÉZ, C. G., HÉRNANDEZ-ELIZÁRRAGA, V. H., ALVARADO, C. I., ROJAS MOLINA A., 2018: *Coral Reef Bleaching: An Ecological and Biological Overview*. IntechOpen, Rijeka.

MCFIELD, M., KRAMER, P., 2007: *A Guide to Indicators of Reef Health and Social Well-being in the Mesoamerican Reef Region*. The Smithsonian Institution, Miami, P. 208.

MCGREGOR, G. R., NIEUWOLT, S., 1998: *Tropical climatology*. Wiley, England.

MCMANUS, J. W., REYES JR, R. B., NANOLA JR, C. L., 1997: *Effects of some destructive fishing methods on coral cover and potential rates of recovery*. Environmental management 1997/1. P. 69-78.

MITHTHAPALA, S., 2008: *Coral Reefs. Coastal Ecosystems Series (vol 1)*. Ecosystems and Livelihoods Group Asia, IUCN, Colombo.

MONTAGGIONI, L., BRAITHWAITE, C. J. R., 2009: *Quaternary Coral Reef Systems: History, Development Processes and Controlling Factors*. Elsevier 2009/1. P. 223-269.

MOTL, L., SVOBODA, J., KUTÍLEK, M., GERLICH, G., KURC, L., 2008: *Globální oteplování: realita nebo bublina?*. In: Loužek M. (ed.): Sborník centra pro ekonomiku a politiku. Centrum pro ekonomiku a politiku, Praha, S. 11-36.

MURRAY, R., 2020: *A governance analysis of three MPAs in Belize: Conservation objectives compromised by tourism development priorities?*. Marine Policy 2020/104243. P. 1-8.

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

PETERSEN, D., FALCATO, J., GILLES, P., JONES, R., 2007: *Sexual reproduction of scleractinian corals in public aquariums: current status and future perspectives*. International Zoo Yearbook 41. P. 122-137.

PETRUSEK, A., 2005: *Žahavci II – koráli a jejich příbuzní*. Živa 2005/5. S. 217-2019.

PFLEGER, V., 1989: *Korálový útes*. Academia, Praha.

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. (eds.): Environmental Indicators. Springer, Dordrecht. P. 117-146.

PODESTÁ, G. P., GLYNN, P. W., 1997: *Sea surface temperature variability in Panamá and Galápagos: Extreme temperatures causing coral bleaching*. Journal of geophysical research 1997/102. P. 15749-15759.

PRETEL, J., 2010: *Praktický pohled na současnou klimatickou změnu*. Živa 2010/2. S. 1-34.

REICHERT, J., ARNOLD, A., HOOGENBOOM, M., SCHUBERT, P., WILKE, T., 2019: *Impacts of microplastics on growth and health of hermatypic corals are species-specific*. Environmental Pollution 2019/254. P. 1-9.

SMITH, P., REAY, D., VAN AMSTEL, A., 2010: *Methane and Climate Change*. Earthscan, London.

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*. University of California Press, Berkeley.

ŠTĚPÁNEK, M., ČERVENKA, R., 1974: *Problémy eutrofizace v praxi*. Avicenum, Praha.

TRENBERTH, K. E., 1997: *The definition of El Niño*. Bulletin of the American Meteorological Society 1997/78. P. 2771-2778.

TRENBERTH, K. E., 2001: *El Niño Southern Oscillation (ENSO)*. In: Steele J. H., Thorpe S. A., Turekian K. K. (eds.): *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press, San Diego, P. 815-827.

TUNGPALAN, M. T.V., MANGAHAS, M.F., PALIS, M. P. E., 1991: *Women in fishing villages: Roles and potential for coastal resources management*. In: Chou L.M. (eds.): *ICLARM Conference Proceedings 22, Philipphines*. P. 237-243.

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

VEGA THURBER, R., BURKEPILE, D., FUCHS, C., SHANTZ, A., MCMINDS, R., ZENEVELD, J., 2014: *Chronic nutrient enrichment increases prevalence and severity of coral disease and bleaching*. *Global Change Biology* 2014/20. P. 554-554.

WANG, C., FIEDLER, P., 2006: *ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review*. *Progress in Oceanography* 2006/69. P. 239-266.

WEAR, S., THURBER, R., 2015: *Sewage pollution: mitigation is key for coral reef stewardship*. *Annals of the New York Academy of Sciences* 2015/1355. P. 15-30.

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

WILKINSON, C. R., BUDDEMEIER, R. W., 1994: *Global climate change and coral reefs: implications for people and reef. Report of the UNEP-IOC-ASPEI-IUCN Global Task Team on the implications of climate change on coral reefs*. IUCN, Switzerland.

WOLANSKI, E., NEWTON, A., RABALAIS, N., LEGRAND, C., 2008: *Coastal Zone Management*. In: Jørgensen S. V. (eds.): *Academic Press, Oxford*. P. 630-637.

9.2 Internetové zdroje

ARC – CENTRE OF EXCELLENCE FOR CORAL REEF STUDIES, ©2021: *Coral bleaching and the Great Barrier Reef* (online) [cit. 2021.02.15], dostupné z <[Coral bleaching and the Great Barrier Reef – ARC Centre of Excellence for Coral Reef Studies \(coralcoe.org.au\)](http://coralcoe.org.au)>.

CLIMATE.GOV - SCIENCE & INFORMATION FOR A CLIMATE-SMART NATION, ©2019: *El Niño & La Niña* (online) [cit. 2021.02.05], dostupné z <<https://www.climate.gov/enso>>.

EATLAS, ©2021: *Crown of Thorns Starfish (COTS) Acanthaster planci and the Great Barrier Reef* (online) [cit. 2021.02.15], dostupné z <[Crown-of-thorns starfish \(COTS\) Acanthaster planci and the Great Barrier Reef. | eAtlas](#)>.

GBRMPA – GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY, ©2011: *Extreme Weather and the Great Barrier Reef* (online) [cit. 2021.02.18], dostupné z <[GBRMPA-ExtremeWeatherAndtheGBR-2010-11.pdf](#)>.

GBRMPA – GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY, ©2013: *Tropical Cyclone Risk and Impact Assessment Plan* (online) [cit. 2021.02.18], dostupné z <[Tropical Cyclone Risk and Impact Assessment Plan_Final_Feb2014.pdf \(gbrmpa.gov.au\)](#)>.

GBRMPA – GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY, ©2021a: *Reef facts* (online) [cit. 2021.02.15], dostupné z <[GBRMPA - Reef facts](#)>.

GBRMPA – GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY, ©2021b: *Heritage* (online) [cit. 2021.02.15], dostupné z <<https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/heritage>>.

GBRMPA – GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY, ©2021c: *Animals* (online) [cit. 2021.02.15], dostupné z <[GBRMPA - Animals](#)>.

GBRMPA – GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY, ©2021d: *Protected species* (online) [cit. 2021.02.15], dostupné z <<https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/animals/protected-species>>.

GBRMPA – GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY, ©2021e: *Reef health* (online) [cit. 2021.02.15], dostupné z <[GBRMPA - Reef health](#)>.

GBRMPA – GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY, ©2021f: *Storms and cyclones* (online) [cit. 2021.02.18], dostupné z <[GBRMPA - Storms and cyclones](#)>.

GBRMPA – GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY, ©2021g: *Reef 2050 Plan* (online) [cit. 2021.02.18], dostupné z <[GBRMPA - Reef 2050 Plan](#)>.

GOATLEY, C., BELLWOOD, D., 2013: *Ecological Consequences of Sediment on High-Energy Coral Reefs* (online) [cit. 2020.10.29], dostupné z <[Ecological Consequences of Sediment on High-Energy Coral Reefs \(plos.org\)](#)>.

GBRF - GREAT BARRIER REEF FOUNDATION, ©2021: *Crown of Thorns Starfish* (online) [cit. 2021.02.15], dostupné z <[Crown of Thorns Starfish - Great Barrier Reef Foundation - Great Barrier Reef Foundation](#)>.

HŮNOVÁ, I., 2018: *Přízemní ozón* (online) [cit. 2020.12.17], dostupné z <[Přízemní ozón | Chemické listy \(chemicke-listy.cz\)](#)>.

L'HEUREUX, M., 2014: *What is the El Niño – Southern Oscillation (ENSO) in a nutshell?* (online) [cit. 2021.02.02], dostupné z <<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/what-el-ni%C3%B1o%E2%80%93southern-oscillation-enso-nutshell>>.

MARFUND - PROTECTING THE MESOAMERICAN REEF, ©2021: *Introduction* (online) [cit. 2021.02.22], dostupné z <[MAR Fish Project: Knowledge, Monitoring and Protection of Mesoamerican Reef's Fish Spawning Aggregations – MAR Fund – Protecting the Mesoamerican Reef](#)>.

MCFIELD, M., KRAMER, P., PETERSEN, A. G., SOTO, M., DRYSDALE, I., CRAIG, N., FLORES, M. R., ©2020: *Mesoamerican Reef Report Card* (online) [cit. 2021.02.24], dostupné z <[Report Cards – Healthy Reefs](#)>.

NOAA – NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, ©2018: *Coral Bleaching During & Since the 2014-2017 Global Coral Bleaching - Event – Status and an Appeal for Observations* (online) [cit.2021.28.01], dostupné z <[Global Coral Bleaching 2014-2017: Status and an Appeal for Observations \(noaa.gov\)](#)>.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, ©2021: *ENSO Conditions and Coral Bleaching* (online) [cit.2021.28.01], dostupné z <[ENSO Conditions and Coral Bleaching \(noaa.gov\)](#)>.

PMEL – PACIFIC MARINE ENVIRONMENTAL LABORATORY, ©2021: *FAQs* (online) [cit. 2021.28.01], dostupné z <[FAQs | El Nino Theme Page - A comprehensive Resource \(noaa.gov\)](#)>.

SANTOSO, A., MCPHADEN, M. J., CAI, W., 2017: *The defining Characteristics of ENSO Exstremes and the strong 2015/2016 El Niño* (online) [cit. 2021.28.01], dostupné z <[The Defining Characteristics of ENSO Extremes and the Strong 2015/2016 El Niño - Santoso - 2017 - Reviews of Geophysics - Wiley Online Library](#)>.

VERON, J. E. N., STAFFORD-SMITH, M. G., TURAK, E., DE VANTIER, L. M., 2016: *Coral structure and growth* (online) [cit. 2020.10.29], dostupné z <[Corals of the World](#)>.

10. Seznam obrázků

Obrázek 1: *Stavba těla korálů* (Coral.org, 2020) (online) [cit. 2020.10.29], dostupné z <[Coral Polyps | Coral Reef Alliance](#)>.

Obrázek 2: *Typy korálových útesů* (Hawaiiireefs.org, 2020) (online) [cit. 2020.11.02], dostupné z <[Earth's Largest Living Structure — The Living Reef \(hawaiiireefs.org\)](#)>.

Obrázek 3: *Globální teplotní anomálie (1900-2020)* (ncdc.noaa.gov, 2020) (online) [cit. 2020.11.04], dostupné z <[Global Climate Report - January 2020 | State of the Climate | National Centers for Environmental Information \(NCEI\) \(noaa.gov\)](#)>.

Obrázek 4: *Globální koncentrace CO₂ v ovzduší 1750-2020* (climate.gov, 2020) (online) [cit. 2020.11.10], dostupné z <<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>>.

Obrázek 5: *Uhlíkový cyklus* (noaa.gov, 2020) (online) [cit. 2020.11.11], dostupné z <<https://www.noaa.gov/education/resource-collections/climate/carbon-cycle>>.

Obrázek 6: *Globální koncentrace CH₄ 1980-2020* (esrl.noaa.gov, 2020) (online) [cit. 2020.11.20], dostupné z <[Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases \(noaa.gov\)](#)>.

Obrázek 7: *Globální koncentrace N₂O 2000-2020* (esrl.noaa.gov, 2020) (online) [cit. 2020.11.20], dostupné z <[Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases \(noaa.gov\)](#)>.

Obrázek 8: *Koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře, mořské vodě a související klesající hodnoty pH mořské vody za období 1955-2015* (oceanacidification.noaa.gov, 2020) (online) [cit. 2020.11.21], dostupné z <[Our Changing Ocean \(noaa.gov\)](#)>.

Obrázek 9: *Inerakce mezi Tichým oceánem a atmosférou při situaci zvané non- El Niño* (Climate.gov, 2020) (online) [cit. 2020.12.10], dostupné z <[The Rise of El Niño and La Niña | NOAA Climate.gov](#)>.

Obrázek 10: *Inerakce mezi Tichým oceánem a atmosférou při klimatickém jevu El Niño* (Climate.gov, 2020) (online) [cit. 2020.12.10], dostupné z <[The Rise of El Niño and La Niña | NOAA Climate.gov](#)>.

Obrázek 11: *Inerakce mezi Tichým oceánem a atmosférou při klimatickém jevu La Niña* (Climate.gov, 2020) (online) [cit. 2020.12.10], dostupné z <[The Rise of El Niño and La Niña | NOAA Climate.gov](#)>.

Obrázek 12: *Bělicí proces korálů. 1) Zdravý korál má symbiotický vztah s řasou zvanou zooxantela, která se nachází ve tkáních každého korálu a dává korálu jeho specifické zabarvení, 2) Pokud je korál vystaven stresu v podobě znečištění vodního prostředí nebo zvýšení teploty nad rámec tolerantnosti, zooxantely začnou opouštět tkáň korálů, 3) Pokud zooxantely korál opustí dochází, ke ztrátě hlavního zdroje potravy, zabarvení a korál se stává velice náchylný na onemocnění* (oceanservice.noaa.gov, 2021) (online) [cit. 2021.01.02], dostupné z <[What is coral bleaching? \(noaa.gov\)](#)>.

Obrázek 13: *Přehled oblastí zasažených bělením v říjnu 1997* (coralreefwatch.noaa.gov, 2021) (online) [cit. 2021.01.02], dostupné z <[ENSO Conditions and Coral Bleaching \(noaa.gov\)](#)>.

Obrázek 14: *Přehled oblastí zasažených bělením v březnu 1998* (coralreefwatch.noaa.gov, 2021) (online) [cit. 2021.01.02], dostupné z <[ENSO Conditions and Coral Bleaching \(noaa.gov\)](#)>.

Obrázek 15: *Přehled oblastí zasažených bělením v květnu 1998* (coralreefwatch.noaa.gov, 2021) (online) [cit. 2021.01.02], dostupné z <[ENSO Conditions and Coral Bleaching \(noaa.gov\)](#)>.

Obrázek 16: *Přehled oblastí zasažených bělením v srpnu 1998* (coralreefwatch.noaa.gov, 2021) (online) [cit. 2021.01.02], dostupné z <[ENSO Conditions and Coral Bleaching \(noaa.gov\)](#)>.

Obrázek 17: *Přehled oblastí zasažených bělením v září 2014. Oblasti s nejmasivnějším bělením v druhé polovině roku 2014* (Eakin et al. 2016).

Obrázek 18: *Mapa vykazující bělení korálů za celý rok 2016. Silné bělení korálů hlášené ve všech oblastech, které jsou na obrázku zakroužkovány* (Liu et al. 2017).

Obrázek 19: *Souhrnná mapa maximální teplené zátěže za období červen 2014 až květen 2017* (coralreefwatch.noaa.gov, 2021) (online) [cit. 2021.01.10], dostupné z <[Global Coral Bleaching 2014-2017: Status and an Appeal for Observations \(noaa.gov\)](#)>.

Obrázek 20: *Mapa s polohou Velkého bariérového útesu* (impactoftourism.weebly.com, 2021) (online) [cit. 2021.02.02], dostupné z <[Great Barrier Reef - impact of tourism \(weebly.com\)](http://GreatBarrierReef-impactoftourism.weebly.com)>.

Obrázek 21: *Barevné vyobrazení bělicích událostí v letech 1998, 2002 a 2016. Barevné schéma uvádí procenta bělených korálů v jednotlivých oblastí VBÚ: tmavě zelená (<1 % bělených korálů), světle zelená (1-10 %), žlutá (10-30 %), oranžová (30-60 %), červená (>60 %) (Kennedymarine.org, 2021) (online) [cit. 2021.02.02], dostupné z <[Global warming and recurrent mass bleaching of corals. — Emma Kennedy \(kennedymarine.org\)](http://Globalwarmingandrecurrentmassbleachingofcorals.kennedymarine.org)>.*

Obrázek 22: *Rozšíření výskytu hvězdice trnová koruna v letech 2012-2015. Jednotlivé barevné body ukazují ohniska a aktivitu: červené body: aktivní výskyt, žluté body: začínající výskyt, zelené body: obnova korálového pokryvu po aktivním výskytu hvězdice, modré body: momentálně bez opakovaného výskytu (maps.eatlas.org.au, 2021). (online) [cit. 2021.02.05], dostupné z <[Maps \(eatlas.org.au\)](http://Maps.eatlas.org.au)>.*

Obrázek 23: *Obrázek č. 23: Mapa polohy a vyznačení korálových útesů v oblasti Meziamerického útesu (Marfund.org, 2021)(online) [cit. 2021.02.20], dostupné z <[Mesoamerican Reef – MAR Fund – Protecting the Mesoamerican Reef](http://MesoamericanReef-MARFund-ProtectingtheMesoamericanReef)>.*

11. Přílohy



Příloha č. 1: Snímek Velkého bariérového útesu z vesmíru
([Great Barrier Reef, satellite image - Stock Image - C007/3050 - Science Photo Library](#)).



Příloha č. 2: Velký bariérový útes pod hladinou
([Cruises to At Sea \(Great Barrier Reef\) | Holland America Line Cruises](#)).



Příloha č. 3: Snímek Mezoamerického systému korálových útesů v oblasti Belize ([The Unbelizeable MesoAmerican Reef - My Beautiful Belize](#)).



Příloha č. 4: Mezoamerický korálový útes pod hladinou ([Where We Work- the Mesoamerican Region | Coral Reef Alliance](#)).



Příloha č. 5: Vybělený korál na Velkém bariérovém útesu
([Coral Bleaching — Coral Reef Image Bank](#)).



Příloha č. 6: Průběh bělení korálů. Zleva: zdravý korál (prosinec 2014), bělicí korál (únor 2015) a mrtvý korál (srpen 2015) ([Before & After — Coral Reef Image Bank](#)).