

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

TEMPERATURNE PROMJENE I KORALJNI GREBENI

TEMPERATURE CHANGE AND CORAL REEFS

SEMINARSKI RAD

Dino Babi

Preddiplomski studij znanosti o okolišu
(Undergraduate Study of Environmental Sciences)

Mentor: doc. dr. sc. Petar Kružić

Zagreb, 2012.

Sadržaj

1.	2
Uvod.....	2
2.	3
Izbjeljivanje koraljnih grebena.....	3
2.1.....	3
Definicija izbjeljivanja koraljnih grebena	3
2.2.....	3
Događaji izbjeljivanja koraljnih grebena.....	3
3.	5
Uzroci izbjeljivanja koraljnih grebena.....	5
4.	7
Ekološke posljedice izbjeljivanja koraljnih grebena.....	7
4.1.....	7
Trenutne posljedice izbjeljivanja koraljnih grebena	7
4.1.1. Organizmi koji žive u asocijaciji s koraljima	7
4.1.2. Rast tkiva i skeleta.....	7
4.1.3. Bolesti koralja	8
4.1.4. Mortalitet koralja.....	8
4.2.....	8
Dugotrajnije posljedice izbjeljivanja koraljnih grebena.....	8
4.2.1. Reprodukcijska i obnovna sposobnost koralja	8
4.2.2. Razlike u odgovoru koralja na izbjeljivanje ovisno o njihovoj taksonomiji, morfologiji i veličini.....	9
4.2.3. Promjene u <i>Symbiodinium</i> zajednicama.....	10
4.2.4. Organizmi koji se hrane koraljima	11
4.2.5. Ribe koraljnih grebena	12
4.2.6. Bioerozija	13
5.	14
Budućnost koraljnih grebena	14
5.1.....	14
Predviđanje budućih događaja izbjeljivanja pomoću klimatskih modela	14
5.2.....	15
Adaptacija i aklimatizacija na temperaturne promjene	15
6.	17
Obnova koraljnih grebena.....	17
7.	18
Literatura.....	18

8.	
	Sažetak.....	25
9.	
	Summary	25

1. UVOD

Koraljne grebene ubrajamo među najraznolikije ekosustave na planeti Zemlji koji zauzimaju manje od 0,1% površine svih oceana i predstavljaju dom za 25% morskih vrsta. Osim toga oni su i ekonomski važni za ljudsko društvo budući da predstavljaju vrlo bitan izvor dohotka i resursa kroz njihovu ulogu u turizmu, ribarstvu, proizvodnji građevnog materijala, zaštiti obala i otkrivanju novih lijekova i biokemijskih supstanci (Carte, 1996). Njihova godišnja ekonomska vrijednost procijenjena je na 375 milijardi američkih dolara (http://en.wikipedia.org/wiki/Coral_reef). Pogoršala li se zdravlje koraljnih grebena, pogoršava se i ekonomsko stanje brojnih obalnih i otoknih država. U današnje vrijeme sve se više u literaturi i putem medija govori o ugroženosti ovih morskih ekosustava zbog globalnog zagrijavanja, odnosno sve se češće spominje tzv. izbjeljivanje koralja. Klimatske promjene, odnosno globalno zagrijavanje, povezuje se s efektom staklenika. Poznato je da se koncentracija ugljikovog dioksida u atmosferi povećava zbog njegovog prekomjernog emitiranja iz antropogenih izvora. Posljedica toga su sve više temperature koje dovode do izbjeljivanja i često visokog mortaliteta koralja, ali i zakiseljevanje oceana koje također ima štetan utjecaj na koraljne grebene budući da smanjuje dostupnost karbonatnih iona potrebnih koraljima i drugim organizmima za izgradnju svojih skeleta (Hoegh-Guldberg i sur., 2007). Postoje i druge opasnosti za koraljne grebene, koje mogu djelovati sinergistički s globalnim klimatskim promjenama (Hoegh-Guldberg, 1999), poput eutrofikacije i povećanog donosa sedimenta iz terestričkih okoliša, prekomjerna eksploatacija morskih vrsta, podmorsko rudarenje i fizička destrukcija od strane korisnika grebena (Sebens, 1994).

2. IZBJELJIVANJE KORALJNIH GREBENA (eng. coral reef bleaching)

2.1. DEFINICIJA IZBJELJIVANJA KORALJNIH GREBENA

Grebenotvorni koralji, kao i brojne druge vrste organizama koje žive na grebenima (drugi žarnjaci, mekušci, mnogo etinaši, protisti i ostali rodovi), žive u simbiozi s dinoflagelatnim algama roda *Symbiodinium*. Ove alge, poznate još i pod nazivom zooxantele, generalno su obligatne za svoje domaćine jer doprinose njihovom energetske budžetu opskrbljuju ih asimilatima koje proizvode fotosintezom. Osim toga alge ubrzavaju kalcifikaciju kod brojnih vrsta koje izgrađuju skelet (Muscatine, Porter, 1977). Međutim, ova ovisnost o fotosintetskim algama (koja donosi korist domaćinima) ima i neke nedostatke. Stres iz okoliša može oštetiti fotosintetski sustav algi što rezultira prekomjernom produkcijom kisikovih radikala. Ovo vodi do eventualnih stanja njihove oštećenja kod zooxantela i/ili njihovih domaćina te može doći i do ekspanzije (izbacivanja) zooxantela iz tkiva domaćina i mogućeg prekida simbioze (Lesser, 2006). Gubitak zooxantela (i/ili redukcija koncentracije njihovih pigmenta) kao rezultat navedenog procesa, naziva se izbjeljivanje (Baker i sur., 2008). Domaćin može preživjeti i ponovno uspostaviti simbiozu u periodu od nekoliko tjedana ili mjeseci, međutim može i uginuti. Koralji i drugi organizmi grebena često mogu biti pogođeni visokom mortalitetom zbog događaja izbjeljivanja (Douglas, 2003). Kod kamenih koralja, 50% (ili više) *Symbiodinium* zajednice u domaćinu treba biti izgubljeno da bi izbjeljivanje bilo vidljivo golim okom (Fitt i sur., 2000). Izbjeljivanjem koralji poprimaju bijelu boju jer bijeli karbonatni skelet postaje vidljiv kroz prozirna koraljna tkiva (slika 1). Međutim, mnoge vrste koralja imaju vlastite pigmente i njihova koncentracija ne smanjuje tijekom događaja izbjeljivanja pa stoga koralji koji su izgubili zooxantele mogu biti i drugih boja (ružičaste, ljubičaste, žute i dr.) (Douglas, 2003). Budući da se izbjeljivanje ne javlja samo kod kamenih koralja, već i kod brojnih drugih životinja i protista koji žive na grebenima, možda je bolje koristiti širi pojam „izbjeljivanje koraljnih grebena“ umjesto samo „izbjeljivanje koralja“ (Baker i sur., 2008; Douglas, 2003).

2.2. DOGAĐAJI IZBJELJIVANJA KORALJNIH GREBENA

Broj događaja izbjeljivanja koraljnih grebena, koji su posljedica prije svega epizoda njih porasta temperature mora, jako se povećao od ranih 1980-ih godina (Baker i sur., 2008). Tako Hoegh-Guldberg (1999) navodi 6 epizoda masovnog izbjeljivanja koraljnih grebena u periodu od 1979. do 1998. godine. Također, u literaturi se spominje i epizoda masovnog izbjeljivanja 2005. godine (<http://www.icran.org/people/reefs-tenquestions.html#Q8>). Pojavljivanje ovakvih epizoda dobro korelira s zabilježenim porastima globalnih temperatura mora, a naročito s termalnim anomalijama. Ova veza prvi put jasno ustanovljena u Karipskom bazenu tijekom 1980-ih i 1990-ih godina (McWilliams i sur., 2005). Također, većina epizoda masovnog izbjeljivanja pojavljuje se za vrijeme perioda jake El Niño-južne oscilacije, iako postoje i regije u kojima se pojavljuje za vrijeme jake La Niña (Hoegh-Guldberg, 1999). Izbjeljivanje u pogodnim regijama nije uniformno. Takva varijabilnost proizlazi iz fluktuacija okolišnih uvjeta, prostorne heterogenosti koraljnih grebena, genetičkih razlika među domaćinima ili među zooxantelama i povijesnih razlika (neki koraljni grebeni koji su pretrpjeli izbjeljivanje postaju otporniji i bolje preživljavaju buduće događaje izbjeljivanja). U zadnja tri desetljeća, izbjeljivanje je zabilježeno u gotovo svakoj regiji gdje postoje koraljni grebeni i čini se da u svijetu ne postoji niti jedna regija tropskih i subtropskih mora koja je sigurna od izbjeljivanja. Jedina regija gdje još nije zabilježeno izbjeljivanje koraljnih grebena je zapadna Afrika što je prije posljedica nedostatka promatranja/istraživanja nego nepojavljivanja događaja izbjeljivanja (Baker i sur., 2008). Čak i neki mediteranski koralji (koji sadrže zooxantele) znaju biti jako pogodni izbjeljivanjem uzrokovanog povišenim temperaturama (Cerrano i sur., 2000; Rodolfo-Metalpa i sur., 2005, 2006).



Slika 1. Izbjeljeni koralj (<http://www.climateshifts.org/?p=2549>)

3. UZROCI IZBJELJIVANJA KORALJNIH GREBENA

U laboratoriju, ustanovljeno je više faktora (esto ih se naziva i „okida ima“) koji dovode do izbjeljivanja. To su temperaturni ekstremi („topli“ i „hladni“ šok), visoki intenzitet zračenja, dulja izloženost u mraku, teški metali (osobito bakar i kadmij) i patogeni mikroorganizmi (Douglas, 2003). Također, spominju se još i reducirani salinitet, cijanidi, herbicidi i pesticidi (Hoegh-Guldberg, 1999). Recentne događaje masovnog izbjeljivanja koraljnih grebena u svijetu pripisuje se prije svega povišenim temperaturama mora, esto u kombinaciji s pojačanom solarnom radijacijom, te su povezani s dugotrajnim promjenama globalne klime i El Niño događajima. Veliko zagađenje i patogeni mikroorganizmi mogu djelovati sinergistički s ovim abiotičkim faktorima (Douglas, 2003). Primjerice virulentnost bakterije *Vibrio shiloi*, koja može uzrokovati izbjeljivanje koralja vrste *Oculina patagonica*, jako ovisi o temperaturi odnosno potrebna je temperatura od 25°C ili više (Banin i sur., 2001).

Fiziološki i stanični mehanizmi izbjeljivanja nisu sasvim jasni. Informacija o mehanizmima izbjeljivanja je fragmentarna i nepotpuna. Fragmenti uključuju sljedeće: (1) oštećenje i redukcija D1 proteina reakcijskog centra fotosustava II u *Symbiodinium* stanicama te prekid Calvinovog ciklusa koji posreduje fotosintetsku fiksaciju ugljikovog dioksida, a smatra se da jedno i drugo doprinosi mehanizmu izbjeljivanja uzrokovanog povišenom temperaturom i radijacijom; (2) inhibicija fotosinteze u *Symbiodinium* stanicama zbog toksina kojeg producira patogen *Vibrio shiloi*; (3) promjene u staničnim

obrascima fosforilacije proteina koje dovode do odvajanja stanica doma ina i (4) elementi nekrotične i programirane stanične smrti koji posreduju lizu (Douglas, 2003).

Glynn (1984, 1988, 1993) prvi je dao bitan dokaz o povezanosti masovnog izbjeljivanja i mortaliteta koralja s visokim temperaturama mora te je pokazao da se 70% izvještaja o izbjeljivanju koralja poklapa s izvještajima o neobično visokim temperaturama. Goreau (1990), Glynn (1991) te Hayes i Goreau (1991) bili su među prvima koji su pretpostavili da će predviđeni porast temperature mora, zbog globalnih klimatskih promjena, vjerojatno „pogurati“ koralje iznad njihovih termalnih granica. Povezanost izbjeljivanja i visokih temperatura mora dodatno su potvrdila brojna naknadna istraživanja. Ona pokazuju usku povezanost između toplijih uvjeta (najmanje 1°C iznad ljetnog maksimuma) i učestalosti izbjeljivanja koralja (Hoegh-Guldberg, 1999). Kada se prije termalne granice javlja fiziološki stres što rezultira prekidom simbioze odnosno izbjeljivanjem. Međutim, danas se još uvijek diskutira o tome kako definirati te granice, da li je dovoljno da budu prije ene jedanput ili u više navrata, koliko vremena koralji trebaju biti izloženi temperaturama iznad njih i za koliko stupnjeva trebaju biti prije ene. Diskutira se i o ulozi temperaturne promjenjivosti u prošlosti te o tome da li je toplinski stres akutni događaj ili kronični, kumulativni fenomen (Baker i sur., 2008).

4. EKOLOŠKE POSLJEDICE IZBJELJIVANJA KORALJNIH GREBENA

Brojne su ekološke posljedice izbjeljivanja koraljnih grebena. Razlikujemo trenutna ni (nekoliko sati ili dana) odgovor grebenotvornih koralja i drugih životinja na izbjeljivanje, kao i one dugotrajnije (nekoliko mjeseci ili godina) promjene koje zahvaćaju strukturu i funkciju grebenskih zajednica (Baker i sur., 2008).

4.1. TRENUTNE POSLJEDICE IZBJELJIVANJA KORALJNIH GREBENA

4.1.1. *Organizmi koji žive u asocijaciji s koraljima*

Izbjeljivanje i mortalitet grebenotvornih koralja može imati štetan učinak na brojne vrste koje žive u uskoj asocijaciji s njima. Tijekom vremena kako se pogoršava stanje koralja, ili kad uginu, brojni organizmi koji žive u simbiozi s njima također ugibaju ili pak emigriraju (Baker i sur., 2008). Na primjer, opaženo je da obligatni simbiotski rakovi ugibaju nekoliko dana nakon početka izbjeljivanja kako se smanjuje količina hrane, uglavnom mukus i detritus s mikroorganizmima (Glynn i sur., 1985a). Rakovi, koji napuste kolonije koralja, imaju veći rizik od predacije (Castro, 1978). Recentne studije pokazuju da neke vrste eukariotskih i prokariotskih mikroorganizama žive u asocijaciji samo s određenim vrstama koralja (Rohwer i sur., 2002; Knowlton, Rohwer, 2003) što znači da će nestankom nekih vrsta koralja nestati i neke vrste mikroorganizama. Budući da u početnim fazama izbjeljivanja dolazi do izbacivanja zooxantela, stvara se veća

koli ina esti ne organske tvari koja privla i brojne oportunisti ke omnivorne ribe (Eakin i sur., 1989).

4.1.2. *Rast tkiva i skeleta*

Tijekom doga aja izbjeljivanja smanjuje se fotosintetska proizvodnja od strane zooxantela i time koli ina asimilata za koralje. Zbog toga smanjuje se regeneracija, kalcifikacija i rast tkiva kod koralja (Baker i sur., 2008). Tako je kod izbjeljenih tkiva utvr ena manja biomasa i debljina u odnosu na normalno pigmentirana tkiva (Porter i sur., 1989; Fitt i sur., 1993; Mendes, Woodley, 2002) te imaju manje koncentracije lipida, proteina i ugljikohidrata (Glynn i sur., 1985a; Szmant, Gassman, 1990).

4.1.3. *Bolesti koralja*

Izbjeljivanje oslabljuje koralje što može, u kombinaciji sa sekundarnim stresorima, voditi nizu problema kao što je pove anje u estalosti bolesti koralja (Lesser i sur., 2007). Ustanovljeno je da tijekom termalnog stresa bakterijama može porasti virulentnost i otpornost na antibiotike (Martinez, Baquero, 2002; Rosenberg, Ben-Haim, 2002; Ben-Haim i sur., 2003). Koralji izloženi visokim temperaturama mogu imati i visoku u estalost tumora (Coles, Seapy, 1998).

4.1.4. *Mortalitet koralja*

Mortalitet koralja dosta varira me u doga ajima izbjeljivanja i me u taksonima. Kolonije koralja mogu iskusiti djelomi ni ili apsolutni mortalitet. U prvom slu aju samo dio kolonije umire, a u drugom slu aju cijela kolonija. Velike kolonije obi no pogodi djelomi ni mortalitet, a manje kolonije esto mogu iskusiti apsolutni mortalitet (Baker i sur., 2008). Kada su temperaturne anomalije male i kratkotrajne, odnosno kod doga aja slabijeg izbjeljivanja, mortalitet koralja op enito je mali i gotovo svi koralji se oporave (Harriott, 1985, Gates, 1990). Me utim, doga aji intenzivnog izbjeljivanja mogu rezultirati mortalitetom blizu 100 % s lokalnim izumiranjem nekih taksona (Baker i sur., 2008). Primjerice, Riegl (1999) izvijestio je o gotovo potpunom nestanku 6 vrsta roda *Acropora* u jugoisto nom dijelu Arapskog zaljeva nakon doga aja izbjeljivanja 1996. godine (mortalitet > 90%).

4.2. DUGOTRAJNIJE POSLJEDICE IZBJELJIVANJA KORALJNIH GREBENA

4.2.1. *Reprodukcija i nova enje koralja*

Koralji koji se oporave i ne uginu od izbjeljivanja ipak mogu iskusiti dugotrajne subletalne posljedice. Primjerice nakon događaja izbjeljivanja 1987/88. godine u Karibima, grebenotvorni koralj *Montastraea annularis* nije uspio dovršiti gametogenezu tijekom reproduktivnog perioda (Szmant, Gassman, 1990). Nakon izbjeljivanja može doći i do redukcije u postotku fertilnih polipa i smanjenju broja jaja po polipu (Ward i sur., 2000). Omori i sur. (2001) izvještavaju o značajnom smanjenom fertilizacijskom uspjehu nakon događaja izbjeljivanja 1998. godine u blizini Okinawe., vjerojatno zbog smanjenog motiliteta spermija. Neka istraživanja pokazala su da, nakon događaja intenzivnog izbjeljivanja, juvenilne i male kolonije preživljavaju bolje nego velike kolonije koralja (Mumby, 1999; Loya i sur., 2001; van Woesik i sur., 2004). Ako se ponovno dogodi događaj izbjeljivanja (Hoegh-Guldberg, 1999), tada bi moglo doći i do promjene stabilne dobne distribucije te bi prevladavale juvenilne i male kolonije koje još nisu reproduktivne ili imaju manji fekunditet (Done, 1999). Bassim i sur. (2002) ukazali su na pojavu aberacija tijekom embriogeneze koralja u Meksikom zaljevu. U slučaju da se populacije koralja jako smanje zbog visokog mortaliteta, može doći i do pojave Alijevog efekta tj. premali broj reproduktivnih jedinki rezultira nedovoljnim brojem otpuštenih gameta da bi došlo do uspješne fertilizacije (Knowlton, 2001).

4.2.2. *Razlike u odgovoru koralja na izbjeljivanje ovisno o njihovoj taksonomiji, morfologiji i veličini*

Nakon događaja izbjeljivanja, može doći i do promjena u strukturi koraljne zajednice. Istraživanja su pokazala da kameni koralji razgranatog oblika kolonija generalno imaju više stope mortaliteta nego vrste s masivnim i korastim kolonijama. Vrste koralja s masivnim i korastim kolonijama često izblijede tijekom perioda povišene temperature, ali često imaju i visoke stope preživljavanja (Baker i sur., 2008); pretpostavlja se da kod

takvih vrsta postoji ve a efikasnost prijenosa tvari što omogu ava odstranjivanje potencijalno štetnih stani nih toksina (Loya i sur., 2001; Nakamura, van Woesik, 2001).

McClanahan i sur.. (2007) prou avali su podru ja diljem Indijskog oceana. Rodovi *Porites* i *Pavona* identificirani su kao relativno otporni na izbjeljivanje. Tako er, identificirali su rodove *Pavona* i *Pocillopora* kao fleksibilne (eng. resilient), zbog velikog nova enja nakon izbjeljivanja. Monospecifi ni rodovi s malim veli inama kolonija (*Gyrosmlia*, *Oxypora*, *Plesiastrea*, *Plerogyra*, *Physogyra*) identificirani su kao oni koji su u velikoj opasnosti od izumiranja zbog njihove osjetljivosti na izbjeljivanje i zbog toga što su relativno rijetki. Hidrokoralji (*Millepora spp.*), osobito vrste s razgranatim kolonijama, mogu imati visoke stope mortaliteta te ak u potpunosti nestati u nekim podru jima (McClanahan, 2000). Treba istaknuti da ne postoje vrste koje su „imune“ na mortalitet uzrokovan izbjeljivanjem te zapravo svi rodovi pokazuju visok mortalitet tijekom doga aja intenzivnog izbjeljivanja (Baker i sur., 2008).

Veli ina koralja tako er igra veliku ulogu. Ve je re eno da male juvenilne kolonije nekih vrsta bolje preživljavaju nego velike, spolno zrele kolonije (Mumby, 1999; Loya i sur., 2001; van Woesik i sur., 2004). Prema tome ponavljaju i doga aji izbjeljivanja mogu promijeniti stabilnu dobnu distribuciju u stanje gdje dominiraju manje kolonije s manjim fekunditetom (Done, 1999). Me utim, ovo ne mora vrijediti za sve vrste i na svim lokacijama te može varirati ovisno o tome kako e drugi okolišni stresori djelovati s izbjeljivanjem (Baker i sur., 2008)

4.2.3. Promjene u *Symbiodinium* zajednicama

Izbjeljivanje je karakteristi no fragmentarno (neki dijelovi tkiva su izbljedili, a neki nisu) te može zahvatiti uniformno cijelu koloniju ili samo neke dijelove kolonije (npr. strane ili vršne grane) (Baker i sur., 2008). U nekim slu ajevima ustanovilo se da je ovo rezultat interakcije izme u okolišnih stresora i fragmentarne distribucije i/ili zonacije razli itih *Symbiodinium* tipova unutar iste ili me u razli itim vrstama koralja (Rowan, Knowlton, 1995; Rowan i sur., 1997). Budu i da razli iti *Symbiodinium* tipovi mogu razli ito odgovoriti na okolišne stresore, njihova distribucija unutar i me u koraljnim kolonijama i vrstama može utjecati na obrasce izbjeljivanja i rezultirati promjenama u *Symbiodinium* zajednicama nakon doga aja izbjeljivanja (Baker i sur., 2008).

Rod *Symbiodinium* možemo podijeliti u 2 skupine na temelju molekularne varijacije na razini gena za ribosomsku RNA. Prva skupina uključuje filotip A, a druga filotipove od B do F. Ovi filotipovi se još nazivaju i ribotipovi. Ribotipovi A, B i C su kozmopolitski odnosno široku rasprostranjeni u Atlantiku i Indopacifiku, ali ribotip C je rijedak i moguće neprisutan u područjima visokih geografskih širina (Douglas, 2003). Rowan i sur. (1997) proveli su istraživanje na srodnim koraljima *Montastraea annularis* i *Montastraea faveolata* na karipskoj obali Paname. Ove vrste sadrže *Symbiodinium* alge ribotipova A, B i C. Tim istraživanjem pokazali su da postoji razlika u osjetljivosti navedenih ribotipova na izbjeljivanje tj. ribotip C je manje tolerantan na povišenu temperaturu/zračenje nego ribotipovi A i B. Kod nekih vrsta koje su se oporavljale od izbjeljivanja, primijećeno je primjerice zamjenjivanje ribotipova B i C ribotipom A kod koralja *Montastraea annularis* (Toller i sur., 2001) te zamjenjivanje ribotipa C ribotipom D kod koralja *Pocillopora damicornis* (Glynn i sur., 2001). Međutim, ova istraživanja ne bi trebala interpretirati kao dokaz da su sve vrste roda *Symbiodinium* ribotipa C kod svih vrsta koralja uvijek više osjetljive na izbjeljivanje nego drugi ribotipovi. Isto uopće ne dolazi do zamjene ribotipova odnosno ribotip nakon izbjeljivanja je isti kao i onaj prije izbjeljivanja (Douglas, 2003).

Buddemeier i Fautin (1993) prvi su eksplicitno sugerirali da bi promjene u *Symbiodinium* zajednicama mogle biti mehanizam koji pomaže koraljima da se adaptiraju na promjene u okolišu. Nakon toga provedeno je mnogo studija o ovim promjenama, ali s različitim zaključcima. Neke studije idu u prilog ovoj teoriji, a neke ne (Baker i sur., 2008).

4.2.4. Organizmi koji se hrane koraljima

Mnogi organizmi koji žive u asocijaciji s koraljima umiru tijekom događaja izbjeljivanja (odjeljak 2.4.1.). Međutim, neki organizmi ne stradavaju, a nekima se čak povećava brojnost. Na primjer, u Panami (u području koje je bilo jako pogođeno visokim temperaturnom 1982/83. godine) povećao se mortalitet puža *Jenneria postulata* koji se hrani koraljima, ali nije se promijenio mortalitet zvijezde *Acanthaster planci* i ribe *Arothron meleagris* koji se također hrane koraljima (Glynn, 1985b). U Indopacifiku, *Drupella* spp. (puž koji se hrani koraljima) preferira akroporidne koralje (Turner, 1994). Visoke temperature, koje uzrokuju izbjeljivanje koralja, ne utječu na brojnost ovog puža. Jedinke

ovog puža u pravilu se okupljaju oko koralja oštećenih ciklonima, bolestima i događajima povišene temperature (Baker i sur., 2008). Morton i sur. (2002) pretpostavili su da pojačano oslobađanje mukusa i drugih staninih produkata od strane ozlijeđenih koralja može privući i predatorske puževe što uzrokuje koncentrirano hranjenje čiji je rezultat visoki lokalni mortalitet koralja.

Najopasniji predator za koralje je morska zvijezda a *Acanthaster planci* čije su se populacije jako povećale (neovisno o događajima izbjeljivanja koralja) na brojnim grebenima u Indopacifiku (Moran, 1986; Birkeland, Lucas, 1990). Procijenjeno je da jedinke ove zvijezde godišnje pojedu 5-13 m² koralja u različitim regijama. Kao i puž *Drupella*, ova zvijezda preferira nekoliko vrsta koralja koje su jako osjetljive na izbjeljivanje. Smanjenjem brojnosti koralja nakon izbjeljivanja smanjuje se i brojnost plijena za populacije navedene zvijezde i puža. Međutim, brojnost ovog puža i zvijezde ostaje nepromijenjena te se stoga posljedice njihovog hranjenja koncentriraju na preživjelim koraljima (Baker i sur., 2008).

4.2.5. Ribe koraljnih grebena

Odgovori riba koraljnih grebena na izbjeljivanje koralja jako variraju te ovise velikim dijelom o određenim resursima. Posljedice izbjeljivanja koralja na ribe su uglavnom indirektna budući da umjereni porasti temperature mora imaju mali ili uopće nemaju direktan utjecaj na mortalitet odraslih riba (Baker i sur., 2008). Umjesto toga, postoje subletalni fiziološki efekti koji mogu reducirati stopu rasta, veličinu tijela spolno zrelih riba, sposobnost kompeticije i fekunditet (Pratchett i sur., 2004; Berumen i sur., 2005). Zajednice riba koraljnih grebena uključuju ribe koje se hrane koraljima, ribe koje žive u simbiozi s koraljima, herbivori, omnivori, ribe koje se hrane beskralješnjacima, piscivori i planktivori; svi oni imaju različite resursne potrebe (Baker i sur., 2008).

Ribe koje se obligatno hrane koraljima, poput vrsta iz porodica Gobiidae, Pomacentridae, Monacanthidae i Chaetodontidae, generalno umiru nekoliko tjedana nakon nestanka njihovog plijena i stanišne niše (Baker i sur., 2008). Neke ribe, koje se hrane fakultativno koraljima, sposobne su promijeniti svoju ishranu tako da se mogu hraniti drugim vrstama koralja ili nekim drugim organizmima (Guzmán, Robertson, 1989; Pratchett i sur., 2008). Dodatno, svim ribama koje žive u asocijaciji s koraljima te trebaju

koraljnu strukturu kao sklonište ili mjesto za reprodukciju i nastanjivanje li inki, opada brojnost zbog gubitka staništa (Baker i sur., 2008).

Neke studije pokazale su da se povećao broj riba herbivora nakon događaja izbjeljivanja što je u skladu s očekivanjima jer se povećala brojnost algi koje koloniziraju mrtve koraljne supstrate (Lindahl i sur., 2001). Međutim, neke analize dale su drukčije rezultate. Wilson i sur. (2006) i Pratchett i sur. (2008) zaključili su da se približno jednoj polovici grebenskih riba herbivora značajno smanjuje brojnost nakon događaja izbjeljivanja. Također, veliki herbivori mogu oti i s poremećenim područjima u potrazi za pogodnijim mjestima za hranjenje. Ribama generalistima, koje se hrane različitim tipovima hrane, može na kratko porasti brojnost nakon događaja izbjeljivanja (Wilson i sur., 2006).

Osim na odrasle, događaji izbjeljivanja koralja mogu imati štetne posljedice i za mlade ribe (novake). Otkriveno je da mladim ribama opada brojnost u područjima degradiranih koralja (Jones i sur., 2004; Feary i sur., 2007). Na Indopacifičkim koraljnim grebenima, oko 60% ribljih ranih razvojnih stadija povezano je s živim koraljima (Jones i sur., 2004). Ovo naglašava važnost strukturalnog integriteta koraljnih staništa nakon događaja izbjeljivanja. Jasno je da odgovori brojnih vrsta riba, nakon izbjeljivanja koralja, ovise o tome da li je strukturalni integritet koraljnih grebena ostao netaknut (Baker i sur., 2008).

4.2.6. Bioerozija

Bioerozija je biološko razaranje vapnenačkih skeleta i grebenske osnove, a rezultat je aktivnosti skupine taksonomski različitih endolitičkih „bušilaca“ (npr. alge, gljive, bakterije, spužve, mnogoćetinaši, mekušci, rakovi) i epibentičkih životinja (npr. mekušci, ježinci, ribe). Bioerozija je obično u ravnoteži s akrecijom (izgradnjom) grebena. Kod zdravih koraljnih grebena, kalcifikacija nadmašuje bioeroziju i tako održava pozitivnu akreciju. Budući da su koraljni grebeni podložni različitim poremećajima, kao što je izbjeljivanje, oni mogu brzo prijeći u erozijsko stanje što rezultira gubitkom strukturalnog integriteta i topografskog reljefa (Baker i sur., 2008).

Osim efekata izbjeljivanja i mortaliteta koralja na bioeroziju grebena, važan element je i zakiseljavanje (acidifikacija) oceana (Baker i sur., 2008). Tijekom 20. stoljeća, rastuće koncentracije atmosferskog ugljikovog dioksida smanjile su koncentraciju karbonatnih

iona u moru. Kada ugljikov dioksid ulazi u morsku vodu, tamo reagira s vodom i stvara se ugljična kiselina. Ugljična kiselina disocira na bikarbonatne ione i protone. Protoni reagiraju s karbonatnim ionima i time se stvara još više bikarbonatnih iona (slika 2). Time se smanjuje koncentracija karbonatnih iona potrebnih morskim organizmima, kao što su grebenotvorni koralji, za izgradnju svojih skeleta (Hoegh-Guldberg i sur., 2007). Zbog toga smanjena je sposobnost grebenotvornih organizama da spriječe i/ili poprave štetu uzrokovanu bioerozijom (Baker i sur., 2008).

5. BUDUĆA PERSPEKTIVA KORALJNIH GREBENA

Prvi zabilježeni događaj masovnog izbjeljivanja koralja bio je onaj iz 1979. godine jer ne postoje nekakvi pouzdani podaci o njihovom pojavljivanju prije navedene godine. Ustanovljeno je da se od tada povećava uestalost i intenzitet izbjeljivanja, a razlog tome je već navedeni trend globalnog zagrijavanja. Tropska mora zagrijavaju se u proteklih stotinjak godina što potvrđuju jezgre bušotina u centralnom Pacifiku. Očekuje se da će temperature mora porasti za 1-2°C do 2100. godine zbog povećanih koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi (Hoegh-Guldberg, 1999). Goreau (1990), Glynn (1991) i mnogi drugi ukazali su na važnost ovog trenda za grebenotvorne koralje te su izjavili da će klimatske promjene vjerojatno povećati uestalost i intenzitet izbjeljivanja koraljnih grebena.

Na temelju ponašanja koralja tijekom događaja izbjeljivanja u proteklom desetljeću, mogu se izvoditi zaključci o njihovim termalnim granicama. Ako se ovo kombinira s predviđanjem budućih površinskih temperatura, onda se može predvidjeti koliko će puta termalne granice biti prijeđene. U slučaju da se koralji ne mogu dovoljno brzo adaptirati ili aklimatizirati, tada će svaki put kad termalne granice budu prijeđene doći do njihovog izbjeljivanja (Hoegh-Guldberg, 1999). Već se dugo vode rasprave o tome da li koralji imaju sposobnost adaptacije ili aklimatizacije na predviđene temperature (Baker i sur., 2008).

5.1. PREDVI ANJE BUDU IH DOGA AJA IZBJELJIVANJA POMO U KLIMATSKIH MODELA

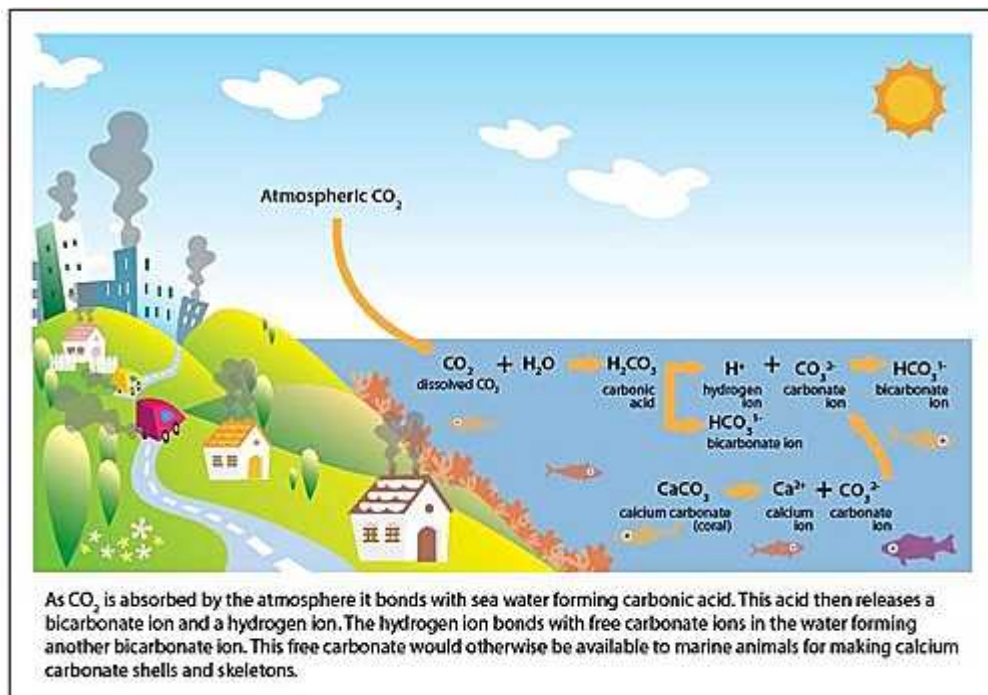
Hoegh-Guldberg (1999) prvi je znanstvenik koji je eksplicitno prognozirao u estalost i intenzitet doga aja izbjeljivanja pomo u klimatskih modela (Baker i sur., 2008). Koristio je modele globalne cirkulacije (Global Circulation Models, GCM) koji pokazuju visoku razinu to nosti i koherencije te daju mogu nost prognoziranja budu ih temperatura mora. Me utim, on je ovdje pretpostavio da koralji i njihove zooksantele nemaju sposobnost adaptacije niti aklimatizacije. Primjenom ovih modela došao je do sljede ih zaklju aka. U estalost izbjeljivanja raste, najbrže u Karibima, a najsporije u centralnom Pacifiku. Tako er, pove ava se intenzitet izbjeljivanja; stopom koja je proporcionalna vjerojatnosti da površinske temperature mora prije u termalne granice koralja. U estalost doga aja izbjeljivanja toliko e porasti da e se, najkasnije do 2050. godine, pojavljivati svake godine u ve ini oceana. U nekim podru jima (npr. jugoisto na Azija, Karibi, Veliki koraljni greben) ovo e se dogoditi još brže, do 2020. godine. Prema tome on smatra da je malo vjerojatno da e koralji uspjeti preživjeti takve uvjete. Unato prednostima klimatskog modeliranja, iznena uju e malo studija je nadopunilo ova predvi anja u estalosti i intenziteta izbjeljivanja (Baker i sur., 2008). Primjerice, Donner i sur. (2005) izjavili su da ve ini koraljnih grebena prijete opasnost od izbjeljivanja jedanput ili dvaput godišnje ako im se njihova termalna tolerancija ne bude pove avala za 0.2-1.0 °C po desetlje u, a smatraju da bi se ovo moglo dogoditi najkasnije do 2050-ih godina. U svakom slu aju, danas je jasno da e izbjeljivanje biti ozbiljna prijetnja opstanku koralja u sljede ih 30-50 godina ak i prema najoptimisti nijim klimatskim scenarijima (Baker i sur., 2008).

5.2. ADAPTACIJA I AKLIMATIZACIJA NA TEMPERATURNE PROMJENE

Morski organizmi mogu odgovoriti na temperaturne promjene na dva na ina. Prvo, morski organizmi se mogu „aklimatizirati“ modificiraju i razli ite procese što ini njihov stani ni metabolizam funkcionalnijim na novim temperaturama. Na primjer, koralji mogu promijeniti svoju fiziologiju tako da postanu tolerantniji na više temperature. Drugo, morski organizmi mogu se „adaptirati“ selekcijom onih jedinki u populacijama koje su sposobnije nositi se s novim temperaturama; tako ovakve jedinke preživljavaju, a one manje tolerantne ne preživljavaju ili se ne razmnožavaju (Hoegh-Guldberg, 1999).

esto se postavlja pitanje da li će se koralji i njihove zooksantele uspjeti aklimatizirati i/ili adaptirati na temperaturne promjene. Ovo ovisi o vremenskoj dimenziji predviđenih temperaturnih promjena. Vrijeme potrebno biljkama i životinjama da se aklimatiziraju na temperaturne promjene je vjerojatno nekoliko dana ili sati bez obzira na aspekte kao što je generacijsko vrijeme. Međutim, adaptacija biljaka i životinja na temperaturne promjene može zahtijevati stotine ili čak tisuće godina te ovisi o generacijskim vremenima organizama. Organizmi koji se razmnožavaju relativno rano u svom životu (npr. bakterije, fitoplankton) mogu se adaptirati ili evoluirati u vremenu od nekoliko dana do nekoliko godina. Onim organizmima s duljim generacijskim vremenima (npr. ribe, koralji) čini se da su potrebna desetljeća ili stoljeća. Ovo opažanje podržava fosilni zapis prošlih događaja velikih izumiranja; organizmi s kraćim generacijskim vremenima (npr. cijanobakterije, foraminifere) manje su stradali od onih s dužim generacijskim vremenima (npr. grebenotvorni koralji, ribe) (Plaziat, Perrin 1992; Copper, 1994).

Ustanovljeno je da mnoge vrste koralja mogu živjeti u uvjetima koji uvelike premašuju termalnu toleranciju tih istih vrsta, a koje žive na drugim lokacijama; odnosno temperaturne granice, iznad kojih se javlja izbjeljivanje, razlikuju se geografski. Ovo je dokaz da se procesi adaptacije i aklimatizacije zbilja odvijaju. Međutim, ključno je pitanje mogu li koralji odgovoriti dovoljno brzo da bi držali korak s porastom temperature uzrokovanog klimatskim promjenama. Važna pitanja su i da li će klimatske promjene voditi izumiranju koralja, smanjenju njihova areala, gubitku koraljnog „pokrova“ i/ili bioraznolikosti te koje će biti posljedice za ekosustav (Baker i sur., 2008).



Slika 2. Reakcija CO₂ s vodom, disocijacija ugljične kiseline i vezivanje protona na slobodne karbonatne ione (<http://oceana.org/en/our-work/climate-energy/ocean-acidification/learn-act/what-is-ocean-acidification>)

6. O UVANJE KORALJNIH GREBENA

Suvremeni pristupi za upravljanje koraljnim grebenima uključuju različite strategije kojima se nastoji smanjiti rizik ili posljedice izbjeljivanja. Kod upravljanja koraljnim grebenima, od samog početka smatralo se da nije moguće direktno utjecati na učestalost i intenzitet izbjeljivanja. Zbog toga se pozornost usmjerila na identificiranje staništa koja bi prirodno mogla biti zaštićena od izbjeljivanja. Takva staništa dobivaju prioritet za konzervacijske aktivnosti kojima se nastoji spriječiti degradacija koja je rezultat direktnih antropogenih stresova (npr. prelov ribe, onečišćenje nutrijentima) (Baker i sur., 2008).

Nedavno, ove strategije su inkorporirane u pristup nazvan „menadžment na osnovi ekosustava“ (eng. Ecosystem-Based Management). Ovaj pristup sugerira da se uz uklanjanjem lokalnih stresora poboljšati zdravlje koraljnih grebena i povećati fleksibilnost

(eng. resilience) ekosustava. Međutim, ova ideja još mora biti testirana iz perspektive izbjeljivanja koraljnih grebena (Baker i sur., 2008).

U slučaju da se uklanjanjem sekundarnih stresora jača otpornost i sposobnost koralja da se oporave od izbjeljivanja, pokušaji da se uklone ovi stresori i dalje moraju biti usmjereni geografski kako bi se dobili najbolji rezultati; odnosno budući da nije moguće sve koraljne grebene zaštititi od svih prijetnji, nastojanja da se u uvajuu koraljni grebeni trebaju biti strateški raspoređena na ona područja gdje će imati najveći učinak. Stoga je važna strategija, kojom se obnavlja fleksibilnost ekosustava, još uvijek naglašava važnost identificiranja područja koja su manje podložna izbjeljivanju. Nastojanja da se identificiraju takva područja spadaju u dvije široke kategorije: (1) identificiranje lokalnih fizičkih ili okolišnih uvjeta koji karakteriziraju područja koja su prirodno zaštićena od izbjeljivanja i (2) korištenje klimatskih modela za identificiranje područja ili regija koje bi vjerojatno mogle izbjeći najgore posljedice globalnog zagrijavanja (Baker i sur., 2008).

7. LITERATURA

Baker, A.C., Glynn, P.W., Riegl, B., 2008. Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of longer-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80, 435-471.

Banin, E., Israely, T., Fine, M., Loya, Y., Rosenberg, E., 2001. Role of endosymbiotic zooxanthellae and coral mucus in the adhesion of coral-bleaching pathogen *Vibrio shiloi* to its host. *FEMS Microbiology Letters* 199, 33-37.

- Bassim, K.M., Sammarco, P.W., Snell, T.L., 2002. Effects of temperature on success of (self and non-self) fertilization and embryogenesis in *Diploria strigosa* (Cnidaria, Scleractinia). *Marine Biology* 140, 479-488.
- Ben-Haim, Y., Thompson, F.L., Thompson, C.C., Cnockaert, M.C., Hoste, B., Swings, J., Rosenberg, E., 2003. *Vibrio coralliilyticus* sp nov., a temperature-dependent pathogen of the coral *Pocillopora damicornis*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 53, 309-315.
- Berumen, M.L., Pratchett, M.S., McCormick, M.I., 2005. Within reef variation in the diet and condition of two coral feeding butterflyfish (Pisces: Chaetodontidae). *Marine Ecology Progress Series* 287, 217-227.
- Birkeland, C., Lucas, J.S., 1990. *Acanthaster planci*: Major Management Problem of Coral Reefs. CRC Press, Boca Raton, 257 pp.
- Buddemeier, R.W., Fautin, D.G., 1993. Coral bleaching as an adaptive mechanism- a testable hypothesis. *Bioscience* 43, 320-326.
- Carte, B.K., 1996. Biomedical potential of marine natural products. *BioScience* 46, 271-286.
- Castro, P., 1978. Movements between coral colonies in *Trapezia ferruginea* (Crustacea: Brachyura), an obligate symbiont of scleractinian corals. *Marine Biology* 46, 237-245.
- Cerrano, C., Bavastrello, G., Bianchi, C.M., Cattaneo-Vietti, R., Bava, S., Morganti, C., Morri, C., Picco, P., Sara, G., Schiaparelli, S., Siccardi, A., Sponga, F., 2000. A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters* 3, 284-293.
- Coles, S.L., Seapy, D.G., 1998. Ultra-violet absorbing compounds and tumorous growths on acroporid corals from Bandar Khayran, Gulf of Oman, Indian Ocean. *Coral Reefs* 17, 195-198.
- Cooper, P., 1994. Ancient reef ecosystem expansion and collapse. *Coral Reefs* 12, 3-11.
- Done, T.J., 1999. Coral community adaptability to environmental change at the scales of regions, reefs and reef zones. *American Zoologist* 39, 66-79.

- Donner, S.D., Skirving, W.J., Little, C.M., Oppenheimer, M., Hoegh-Guldberg, O., 2005. Global assessment of coral bleaching and required rates of adaptation under climate change. *Global Change Biology* 11, 2251-2265.
- Douglas, A.E., 2003. Coral bleaching - how and why? *Marine Pollution Bulletin* 46, 385-392.
- Eakin, C.M., Smith, D.B., Glynn, P.W., D'Croz, L., Gil, J., 1989. Extreme tidal exposures, cool upwelling and coral mortality in the eastern Pacific (Panama). *Association of Marine Laboratories of the Caribbean* 22, insert
- Feary, D.A., Almany, G.R., McCormick, M.I., Jones, G.P., 2007. Habitat choice, recruitment and the response of coral reef fishes to coral degradation. *Oecologia* 153, 727-737.
- Fitt, W.K., McFarland, F.K., Warner, M.E., Chilcoat, G.C., 2000. Seasonal patterns of tissue biomass and densities of symbiotic dinoflagellates in reef coral and relation to coral bleaching. *Limnology and Oceanography* 45, 577-685.
- Fitt, W.K., Spero, H.J., Halas, J., White, M.W., Porter, J.W., 1993. Recovery of the coral *Montastrea annularis* in the Florida Keys after the 1987 Caribbean „bleaching event“. *Coral Reefs* 12, 57-64.
- Gates, R.D., 1990. Seawater temperature and sublethal coral bleaching in Jamaica. *Coral Reefs* 8, 193-197.
- Glynn, P.W., Maté, J.I., Baker, A.C., Calderon, M.O., 2001. Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997-1998 El Niño-southern oscillation event: spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982-1983 event. *Bulletin of Marine Science* 69, 79-109.
- Glynn, P.W., 1993. Coral reef bleaching ecological perspectives. *Coral Reefs* 12, 1-17.
- Glynn, P.W., 1991. Coral reef bleaching in the 1980's and possible connections with global warming. *Trends in Ecology and Evolution* 6, 175-179.
- Glynn, P.W., 1988. El Niño-Southern Oscillation 1982-1983: nearshore population, community, and ecosystem responses. *Annual Review of Ecology and Systematics* 19, 309-345.

Glynn, P.W., Perez, M., Gilchrist, S.L., 1985a. Lipid decline in stressed corals and their crustacean symbionts. *Biological Bulletin* 168, 276-284.

Glynn, P.W., 1985b. Corallivore population sizes and feeding effects following El Niño (1982-1983) associated coral mortality in Panama. *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress. Tahiti* 4, 183-188.

Glynn, P.W., 1984. Widespread coral mortality and the 1982-1983 El Niño warming event. *Environmental Conservation* 11, 133-146.

Goreau, T.J., 1990. Coral bleaching in Jamaica. *Nature* 343, 417-419.

Guzmán, H.M., Robertson, D.R., 1989. Population and feeding responses of the corallivorous pufferfish *Arothron meleagris* to coral mortality in the eastern Pacific. *Marine Ecology Progress Series* 55, 121-131.

Harriot, V.J., 1985. Mortality rates of scleractinian corals before and during a mass bleaching event. *Marine Ecology Progress Series* 21, 81-88.

Hayes, R. L., Goreau, T.J., 1991. The tropical coral reef ecosystem as harbinger of global warming. *Proceedings of the 2nd International Conference on Global Warming. World Resources Review* 3, 306-322.

Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P.J., Hooten, A.J., Steneck, R.S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C.D., Sale, P.F., Edwards, A.J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C.M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R.H., Dubi, A., Hatziolos, M.E., 2007. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318, 1737-1742.

Hoegh-Guldberg, O., 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research* 50, 839-866.

Jones, G.P., McCormick, M.I., Srinivasan, M., Eagle, J.V., 2004. Coral decline threatens fish biodiversity in marine reserves. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 101, 8251-8253.

Knowlton, N., Rohwer, F., 2003. Multispecies microbial mutualisms on coral reefs: the host as a habitat. *American Naturalist* 162, S51-S62.

- Knowlton, N., 2001. The future of coral reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98, 5419-5425.
- Lesser, M.P., Bythell, J.C., Gates, R.D., Johnstone, R.W., Hoegh-Guldberg, O., 2007. Are infectious diseases really killing corals? Alternative interpretations of the experimental and ecological data. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 346, 36-44.
- Lesser, M.P., 2006. Oxidative stress in marine environments: Biochemistry and physiological ecology. *Annual Review of Physiology* 68, 253-278.
- Lindahl, U., Ohman, M.C., Schelten, C.K., 2001. The 1997/1998 mass mortality of corals: effects on fish communities on a Tanzanian coral reef. *Marine Pollution Bulletin* 42, 127-131.
- Loya, Y., Sakai, K., Yamazato, K., Nakano, Y., Sambali, H., van Woesik, R., 2001. Coral bleaching, the winners and the losers. *Ecology Letters* 4, 122-131.
- Martinez, J.L., Baquero, F., 2002. Interactions among strategies associated with bacterial infection, pathogenicity, epidemicity, and antibiotic resistance. *Clinical Microbiology Reviews* 15, 647-679.
- McClanahan, T.R., Ateweberhan, M., Graham, N.A.J., Wilson, S.K., Ruiz Sebastián, C., Guillaume, M.M.M., Bruggemann, J.H., 2007. Western Indian Ocean coral communities: bleaching responses and susceptibility to extinction. *Marine Ecology Progress Series* 337, 1-13.
- McClanahan, T.R., 2000. Bleaching damage and recovery potential of Maldivian coral reefs. *Marine Pollution Bulletin* 40, 587-597.
- McWilliams, J.P., Côté, I.M., Gill, J.A., Sutherland, W.J., Watkinson, A.R., 2005. Accelerating impacts of temperature-induced coral bleaching in the Caribbean. *Ecology* 86, 2055-2060.
- Mendes, J.M., Woodley, J.D., 2002. Effect of the 1995-1996 bleaching event on polyp tissue depth, growth, reproduction and skeletal band formation in *Montastraea annularis*. *Marine Ecology Progress Series* 235, 93-102.
- Moran, P.J., 1986. The *Acanthaster* phenomenon. *Oceanography and Marine Biology Annual Reviews* 24, 379-480.

- Morton, B., Blackmore, G., Kwok, C.T., 2002. Corallivory and prey choice by *Drupella rugosa* (Gastropoda: Muricidae) in Hong Kong. *Journal of Molluscan Studies* 68, 217-223.
- Mumby, P.J., 1999. Bleaching and hurricane disturbances to populations of coral recruits in Belize. *Marine Ecology Progress Series* 190, 27-35.
- Muscatine, L., Porter, J.W., 1977. Reef corals: mutualistic symbioses adapted to nutrient-poor environments. *BioScience* 27, 454-460.
- Nakamura, T., van Woesik, R., 2001. Water-flow rates and passive diffusion partially explain differential survival of corals during the 1998 bleaching event. *Marine Ecology Progress Series* 212, 301-304.
- Omori, M., Fukami, H., Kobinata, H., Hatta, M., 2001. Significant drop of fertilization of *Acropora* corals in 1999: an after-effect of heavy coral bleaching? *Limnology and Oceanography* 46, 704-706.
- Plaziat, J.C., Perrin, C., 1992. Multikilometer-sized reefs built by foraminifera (*Solenomeris*) from the early Eocen of the Pyrenean domain (S France, N Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 96, 195-231.
- Porter, J.W., Fitt, W.K., Spero, H.J., Rogers, C.S., White, M.W., 1989. Bleaching in reef corals: physiological and stable isotopic responses. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 86, 9342-9346.
- Pratchett, M.S., Munday, P.L., Wilson, S.K., Graham, N.A.J., Cinner, J.E., Bellwood, D.R., Jones, G.P., Polunin, N.V.C., McClanahan, T.R., 2008. Effects of climate-induced coral bleaching on coral-reef fishes – ecological and economic consequences. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 46, 251-296.
- Pratchett, M.S., Wilson, S.K., Berumen, M.L., McCormick, M.I., 2004. Sub-lethal effects of coral bleaching on an obligate coral feeding butterflyfish. *Coral Reefs* 23, 352-356.
- Riegl, B., 1999. Corals in a non-reef setting in the southern Arabian Gulf (Dubai, UAE): fauna and community structure in response to recurrent mass mortality. *Coral Reefs* 18, 63-73.

- Rodolfo-Metalpa, R., Richard, C., Allemand, D., Bianchi, C.N., Morri, C., Ferrier-Pages, S., 2006. Response of zooxanthellae in symbiosis with the Mediterranean corals *Cladocora caespitosa* and *Oculina patagonica* to elevated temperatures. *Marine Biology* 150, 45-55.
- Rodolfo-Metalpa, R., Bianchi, C.N., Peirano, A., Morri, C., 2005. Tissue necrosis and mortality of temperate coral *Cladocora caespitosa*. *Italian Journal of Zoology* 72, 271-276.
- Rohwer, F., Seguritan, V., Azam, F., Knowlton, N., 2002. Diversity and distribution of coral-associated bacteria. *Marine Ecology Progress Series* 243, 1-10.
- Rosenberg, E., Ben-Haim, Y., 2002. Microbial diseases of corals and the global warming. *Environmental Microbiology* 4, 318-326.
- Rowan, R., Knowlton, N., Baker, A.C., Jara, J., 1997. Landscape ecology of algal symbiont communities explains variation in episodes of coral bleaching. *Nature* 388, 265-269.
- Rowan, R., Knowlton, N., 1995. Intraspecific diversity and ecological zonation in coral-algal symbionts. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 92, 2850-2853.
- Sebens, K.P., 1994. Biodiversity of coral reefs: what are we losing and why? *American Zoologist* 34, 115-133.
- Szmant, A.M., Gassman, N.J., 1990. The effects of prolonged „bleaching“ on the tissue biomass and reproduction of the reef coral *Montastraea annularis*. *Coral Reefs* 8, 217-224.
- Toller, W.W., Rowan, R., Knowlton, N., 2001. Repopulation of zooxanthellae in the Caribbean corals *Montastraea annularis* and *Montastraea faveolata* following experimental and disease-associated bleaching. *Biological Bulletin* 201, 348-359.
- Turner, S.J., 1994. The biology and population outbreaks of the corallivorous gastropod *Drupella* on Indo-Pacific reefs. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 32, 461-530.

Van Woesik, R., Irikawa, A., Loya, Y., 2004. Coral bleaching: signs of change in southern Japan. In: Rosenberg, E., Loya, Y. (Eds.), Coral Health and Disease. Springer, Berlin, pp. 119-141.

Ward, S., Harrison, P., Hoegh-Guldberg, O., 2000. Coral bleaching reduces reproduction of scleractinian corals and increases susceptibility to future stress. Proceedings of the 9th International Coral Reef Symposium 2, 1123-1128.

Wilson, S.K., Graham, N.A.J., Pratchett, M.S., Jones, G.P., Polunin, N.V.C., 2006. Multiple disturbances and the global degradation of coral reefs: are reef fishes at risk or resilient? Global Change Biology 12, 2220-2234.

<http://www.climateshifts.org/?p=2549>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Coral-reef>

<http://www.icran.org/peoplereefs-tenquestions.html#Q8>

<http://oceana.org/en/our-work/climate-energy/ocean-acidification/learn-act/what-is-ocean-acidification>

8. SAŽETAK

Koraljni grebeni jedni su od biološki najraznolikijih ekosustava na planeti Zemlji. Osim njihove velike ekološke važnosti, oni su i od znatnog ekonomskog znaenja za ljudsko društvo. U današnje vrijeme mnogo se piše i govori o ugroženosti ovih morskih ekosustava zbog globalnog zagrijavanja odnosno spominje se izbjeljivanje koraljnih grebena.

Cilj ovog rada je upoznavanje s problematikom izbjeljivanja koraljnih grebena. Globalne klimatske promjene vode sve višim temperaturama mora koje su glavni uzrok sve eših i intenzivnijih događaja masovnog izbjeljivanja. Tijekom ovakvih događaja, koralji izbacuju simbiotske alge roda *Symbiodinium* (zooksantele) iz svojih tkiva te dolazi do prekida

simbioze. Za vrijeme događaja intenzivnog izbjeljivanja, u pravilu dolazi do visokog mortaliteta koralja. Osim na koralje i zooksantele, izbjeljivanje utječe i na brojne druge organizme koraljnih grebena.

Predviđaju se sve češći i intenzivniji događaji izbjeljivanja u narednim desetljećima. Sasvim je jasno da će izbjeljivanje biti ozbiljna prijetnja opstanku koralja u sljedećih 30-50 godina, čak i prema najoptimističnijim klimatskim scenarijima. Koralji mogu odgovoriti na povišene temperature kroz adaptaciju i aklimatizaciju. Međutim, ključno je pitanje da li se mogu adaptirati ili aklimatizirati dovoljno brzo da bi mogli držati korak s globalnim zagrijavanjem.

9. SUMMARY

Coral reefs are one of the most biologically diverse ecosystems on the Earth. Besides their great ecological importance, they are also of considerable importance for human societies. In recent time, a lot has been written and told about threats for these marine ecosystems, especially about coral reef bleaching.

The aim of this work is presentation of coral reef bleaching issues. Global climate change leads to increasing temperatures that are the main cause of more frequent and more severe mass coral bleaching events. During these events, corals eject algal symbionts of genus *Symbiodinium* (zooxanthellae) from their tissues and this leads to the breakdown of symbiosis. Corals typically experience high mortality during severe coral bleaching events. Besides corals and zooxanthellae, bleaching also affects a lot of other organisms that live on coral reefs.

More frequent and more intense coral reef bleaching events are predicted in the coming decades. It is purely clear that coral bleaching will be a severe threat to continued coral survival for the next 30-50 years even under the most optimistic climate scenarios. Corals can respond to higher temperatures through adaptation and acclimation. However, the critical question is whether corals can respond to higher temperature quickly enough to keep up with global warming.

