Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí

Růst „tvrdých“ korálů (*Scleractinia*) s ohledem na dynamiku biogenních prvků v modelových rifových akváriích.

Anna Barnetová

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Vladimír Uvíra, Dr.

Olomouc 2011

© Anna Barnetová, 2011

Barnetová, A. Růst tvrdých korálů (*Scleractinia*) s ohledem na dynamiku biogenních prvků v modelových rifových akváriích. Diplomová práce, Katedra ekologie a životního prostředí PřF UP v Olomouci, 2011. 60 str., III přílohy, česky.

Abstrakt

Přestože jsou korálnatci celosvětově ohroženou skupinou živočichů, stále probíhá jejich přímý odlov z moří a jejich následný export do celého světa. Tvrdí koráli jsou žádanou skupinou živočichů do mořských akvárií, ačkoli jejich chov není bez obtíží. Často dochází k jejich brzkému úhynu. Proto by z hlediska ochrany přírody bylo lepší tyto druhy uměle odchovávat v akvarijních podmínkách a následně prodávat pouze tyto jedince.

Tato práce se zabývá růstem korálů v prostředí mořských akvárií, které se od sebe odlišují jak velikostí (objem vody v celé soustavě), tak užitím různých druhů filtračních systémů a osvětlení. Našim cílem bylo také sledovat rozdíly v množství stopových prvků kovů a odpadních látek metabolismu a sledovat zda mají vliv na růst těchto korálnatců. Dále nás zajímalo, zda má filtrační systém založený na principu Miracle Mud lepší výsledky v odstraňování metabolitů a udržování stálé hladiny biogenních prvků v akvarijním systému a jaký má vliv použití systému na růst korálnatců.

Podařilo se nám však pouze prokázat vyšší účinnost bahenní filtrace Miracle Mud v odstraňování fosfátů. Jako nejodolnější druh s největšími přírůstky se ukázal rod *Caulastrea*.

Klíčová slova: Scleractinia, růst korálnatců, filtrace Miracle Mud, stopové prvky

Barnetová, A. The growth of stony corals (Scleractinia) with regard to boigenous elements in model coral reef aquariums. Diploma Thesis, Department of Ecology and Enviromental Sciences, Faculty of Science, Palacky University Olomouc, 2011. 60 pp., III appendices, in Czech.

Abstract

The Anthozoa are worldwide endangered group of animals, however, they are still taken out directly from the sea and are consequently exported to the world. Scleractinians are very demanded animals to the reef aquariums, althougt their keeping is not easy and the animals very often die in a short period. Therefore, it would be preferable to breed these species in artificial sea-aqurium conditions and subsequently sell only these individuals.

This diploma thesis deal with a coral growth in the seawater aquarium conditions. These aquaria vary in dimensions, types of filtration and illumination. The targed of this work was to observe the differences in the levels of metal trace elements and metabolites, futhermore to observe their effect regarding the coral growth. Futher, we wanted to know if the Miracle Mud filtration system is more effective regarding the elimination of metabolites and keeping the stabile level of trace elements in the aquarium system and its effect on the coral growth.

We were able to demonstrate higher effectivity of Miracle Mud filtration in elimination of phosphates. The most tolerant specie with the higest extensione rate was *Caulastrea*.

Key words: Scleractinia, coral growth, Miracle Mud fitration, trace elements

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Vladimíra Uvíry, Dr. a jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Olomouci 30. března 2011 …….

Věnování

Tuto práci chci věnovat své rodině, která po ní toužila až příliš dlouho.

Obsah

SEZNAM TABULEK A GRAFŮ ..... **ix**

SEZNAM OBRÁZKŮ ..... **x**

PODĚKOVÁNÍ ..... **xi**

1 PROBLEMATIKA **1**

1.1 MOŘSKÁ VODA 1

1.1.1 Vybrané biogenní prvky v mořské vodě a jejich význam pro růst "tvrdých" korálů *1*

1.1.2 Produkty mineralizace organických látek *3*

1.2 FILTRAČNÍ SYSTÉMY MOŘSKÝCH AKVÁRIÍ 5

1.2.1 Historický vývoj filtračních systémů *5*

1.2.2 Principy fungování filtračních systémů *6*

1.3 KORÁLNATCI A KORÁLOVÉ ÚTESY 7

1.3.1 Symbióza korálnatců a zooxantel *7*

1.4 KORÁLNATCI A AKVARIJNÍ SYSTÉMY 8

1.4.1 Růst korálů v akváriích *9*

1.4.2 Podmínky existence korálových útesů *9*

1.4.3 Rozmnožování korálnatců *12*

1.4.4 Ohrožení a ochrana *13*

2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY **15**

3 MATERIÁL A METODY **17**

3.1 CHARAKTERISTIKA DRUHŮ 17

3.2 EXPERIMENTÁLNÍ AKVÁRIA 21

3.3 ZÁKLADNÍ POPIS NÁDRŽÍ 21

3.4 OBSAH SLEDOVANÝCH PRVKŮ 23

3.4.1 Odběry vzorků *23*

3.4.2 Metody stanovení prvků *24*

3.5 STATISTICKÁ ANALÝZA DAT 25

4 VÝSLEDKY **26**

4.1 DUSÍK 27

4.2 FOSFOR 28
4.3 HOŘČÍK 29
4.4 VÁPNÍK 29
4.5 STRONCIUM 30
4.6 ZINEK 31
4.7 SHRNUTÍ HYPOTÉZ 32

5 DISKUSE 34

5.1 ZINEK 34
5.2 STRONCIUM 35
5.3 VÁPNÍK A HOŘČÍK 36
5.4 METABOLITY 37
5.5 RŮST KORÁLŮ 37
5.6 ZÁVĚR 38

6 LITERATURA 39

PŘÍLOHY 46

Seznam tabulek a grafů

Graf 1 Krátkodobý průběh měření pH v akváriích 26
Graf 2 Obsah celkového dusíku 27
Graf 3 Obsah celkového fosforu v akváriích 28
Graf 4 Obsah hořčíku v akváriích 29
Graf 5 Obsah vápníku v akváriích 30
Graf 6 Obsah stroncia v akváriích 31
Graf 7 Obsah zinku v akváriích 31

Seznam obrázků

Obr. 1 Původ a osud dusíku v mořském akváriu (Spotte 1993) **4**

Obr. 2 Zooxantela **8**

Obr. 3 Rozložení salinity (http://www.astrovm.cz/userfiles/image/AKA/salinita.png). **11**

Obr. 4 Složení mořské vody (http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Sea_salt-e-dp_hg.svg) **12**

Obr. 5 Verrucae **18**

Obr. 6 Růstové formy korálů **19**

Obr. 7 Stavba korálu **19**

Obr. 8 Tvary koralitů. a) plakoidní, b) faceloidní, c) ceroidní, d) meandroidní, e) flabello-meandroidní **20**

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla vyjádřit své poděkování RNDr. Vladimíru Uvírovi za vedení mé diplomové práce, za pomoc a podporu, kterou mi po celou dobu věnoval. Dále bych chtěla poděkovat Petru Hekerovi za odbornou pomoc v laboratoři a své kolegyni Romaně Slípkové za pomoc se statistickými analýzami a nakonec svojí drahé sestře, která mi pomohla práci znovu dokončit po kolabsu hardisku mého PC.

Můj největší dík patří celé mé rodině, která mě po celou dobu studia podporovala a vycházela mi ve všem vstříc. Hlavně chci poděkovat své dceři Aničce, která se mnou absolvovala spoustu cest za účelem odběru vzorků vody a trpělivě čekala na fakultě než je nafixuji a také své mamince, která ji hlídala, když jsem při analýzách trávila dlouhé hodiny v laboratoři. Také své druhé dceři Emmě, která se mnou prožívala trochu více stresu při dokončování této práce.

1 Problematika

1.1 Mořská voda

Mořská voda obsahuje téměř všechny známé prvky periodické soustavy, avšak většinu jen ve stopovém množství (mikroprvky, stopové prvky). Řada prvků/iontů je však přítomna ve větším množství – hlavní (biogenní) prvky (major elements/ions) mezi něž patří: Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Sr^{2+}, K^+, Cl^-, SO_4^{2-}, Br^-, F^-, $B(OH)_3$ a $B(OH)_4^-$ (Fosså and Nielsen 1996).

Mořskou vodu pro akvarijní účely lze připravit třemi způsoby - přímým odběrem mořské vody, přípravou vody rozpuštěním jednotlivých sloučenin dle návodu a přípravou pomocí průmyslově vyráběných směsí solí (Dařbuján 2009). Dnes se však nejvíce využívá možnosti přípravy pomocí komerčně vyráběných solí pro mořskou akvaristiku a deionizované vody. Tento způsob přípravy mořské vody byl a je používán pro všechna naše pokusná akvária.

1.1.1 Vybrané biogenní prvky v mořské vodě a jejich význam pro růst "tvrdých" korálů

Vápník

Jedním z nejdůležitějších biogenních prvků v mořské vodě je vápník. Obsah a forma vápenatých iontů jsou silně závislý na obsahu a formě (poměru) uhličitanových iontů CO_2, HCO_3^- a CO_3^{2-}. Optimální obsah vápníku ve vodě je 400 – 450 mg/l. Vápenné ionty jsou z vody odnímány korály při tvorbě exoskeletu, a proto je třeba jejich obsah hlavně v rifovém akváriu doplňovat. (Dařbuján 2009)

Koncentrace volných Ca^{2+} souvisí s hodnotou pH. Nejnižší je při pH 10 (6 mg/l) při vyšších i nižších hodnotách pH se koncentrace zvyšuje. (Fosså and Nielsen1996)

Hořčík

Hořčík tvoří nedílnou součást vnitřní kostry korálnatců a vnější kostry ostatních bezobratlých a při jeho nedostatku v mořské vodě u nich může dojít k růstovým poruchám (Bingman 1999). Na jeho deficit zvláště negativně reagují měkkýši a řasy . Optimální obsah Mg v mořské vodě se pohybuje okolo 1200 mg/l (Dařbuján 2009).

Hořčík respektive hořečnaté ionty se účastní celé řady důležitých interakcí odehrávajících se v mořské vodě. Svou přítomností ovlivňuje množství koligativních vlastností mořské vody (např. tenze par, snížení bodu tuhnutí, atd) a ovlivňuje také osmotický tlak na voděpropustných membránách (Bingman 1999).

Většina hořčíku je ve vodě přítomna ve formě Mg^{2+} a pouze malá část je vázána v iontových párech ($MgSO_4$, $MgHCO_3^+$, $MgCO_3$, MgF^+, $MgB(OH)_4^+$ a $MgOH^+$). Protože je takto málo reaktivní, jeho doba zdržení v mořích jsou desítky milionů let, ale přitom se účastní mnoha biologických a chemických procesů. Hořčík často zastupuje vápník ve vápenaté kostře procesu kalcifikace, avšak není jasné, zda je tento proces nejak ovlivnován samotnými živočichy. Nicméně množství hořčíku, které je ukládáno různými organismy se velice liší (Holmes-Farley 2003). Podle studie Watanabe et al. (2001) 60% Mg v korálech nahrazuje Ca v aragonitové kostře a 40% Mg je vázáno na povrchu krystalů nebo v organické hmotě.

Poměr mezi Mg a Ca v mořské vodě determinuje rychlost kalcifikace a formu $CaCO_3$, která bude produkována (kalcit či aragonit). Pokud je mMg/Ca > 2 vzniká aragonit + high-Mg calcit; pokud je mMg/Ca < 2 = low-Mg calcit (Ries, Stanley & Hardie 2006). Zabudovávání Mg do vápenaté kostry je primárně určováno vzájemným poměrem Mg a Ca v mořské vodě spíše než jeho absolutní koncentrací (Ries 2006).

Stroncium

Stroncium je v mořské vodě obsaženo v množství cca 8mg/l vody. Tento prvek je spotřebováván při tvorbě exoskeletu tvrdých korálů, proto je vhodné jeho množství doplňovat. (Dařbuján 2009)

Stroncium je zabudováváno do aragonitové kostry korálů ve formě $SrCO_3$. Je nejasné zda stroncium má či nemá vliv na tvorbu aragonitové kostry.
Měřením v akváriích Fosså a Nielsen (1996) zjistili, že po 6 měsících se koncentrace stroncia sníží na pouhých 1,5 mg/l. Ani pravidelným přidáváním roztoku $SrCl_2$ se koncentrace nedostala na normální hodnotu a zvýšila se jen na 4 mg/l. Není tedy jasné, zda se stroncium zabudovává do korálových skeletů či se sráží nebo je vázáno na organické látky a odloučeno z akvária odpěňovačem.

Poměr mezi Sr^{2+} a Ca^{2+} v aragonitové kostře se mění s teplotou vody, avšak není jasné do jaké míry je obsah Sr^{2+} v kostře ovlivňován prostředím a do jaké míry je chemismus skeletu kontrolován fyziologickými parametry (Ferrier-Pages et al. 2002).

Zinek

Zinek jako stopový prvek je v mořské vodě obsažen v koncentraci okolo 0,005 mg/l. (Floor, 2000).

Zinek je esenciálním prvkem pro fotosyntézu a kalcifikaci. Koráli jsou adaptováni na nízkou hladinu zinku v mořské vodě. Příjem zinku je lineárně závislý na jeho koncentraci v okolním prostředí a také délce vystavení organismů jeho účinku. Příjem zinku je též stimulován světlem – pravděpodobně se do tohoto procesu zapojují i zooxantely během fotosyntézy (Ferrier-Pages et al. 2005).

1.1.2 Produkty mineralizace organických látek

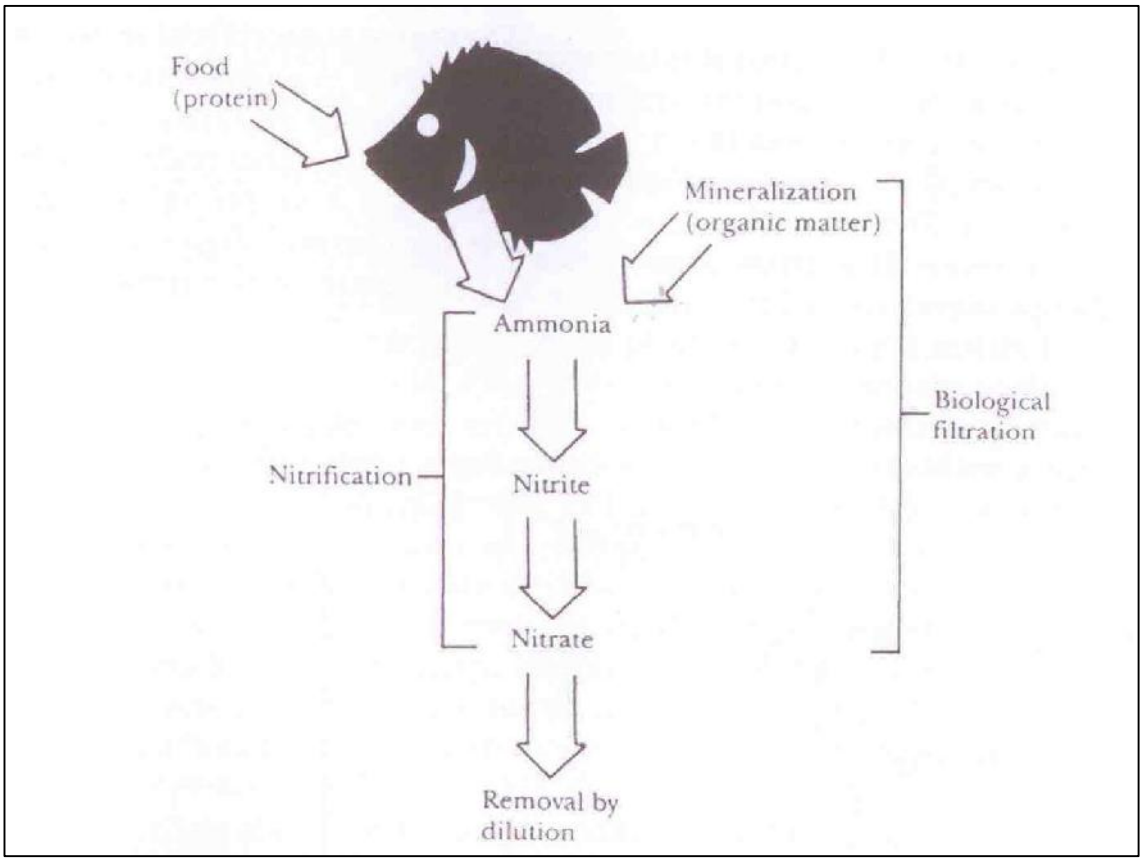
Fosfor

Anorganický fosfor se ve vodě vyskytuje ve formě fosforečnanů. Obsah fosforečnanů (PO_4^-)se dříve moc nesledoval neboť voda se kvůli nedokonalým filtračním zařízením musela měnit častěji a tudíž nenastávala potíž se zvýšeným obsahem fosforečnanů. Hodnoty v přírodním prostředí nejsou větší než 0,03 mg/l PO_4^-. Tvrdí koráli začínají omezovat růst při koncentraci 0,5 mg/l. Obsah fosforečnanů nad 5 mg/l již působí na nižší živočichy toxicky. Fosforečnany se do mořského akvária dostávají hlavně jako součást rybí potravy a podporují růst vláknitých řas (Dařbuján 2009).

Dusík

Celkový obsah anorganického dusíku ve vodě je dán sumou všech jeho forem, které se ve vodě vyskytují- a**moniak (NH_3) a amoniový ion (NH_4^+), dusitany (NO_2^-) a dusičnany (NO_3^-).**

Jeho obsah souvisí se způsobem použité filtrace neboť bakteriální mineralizační procesy (amonifikace, nitrifikace a denitrifikace) jsou základem biologické filtrace vody (Spotte 1993).



Obr. 1 Původ a osud dusíku v mořském akváriu (Spotte 1993)

Amoniak (NH_3) a amoniový ion (NH_4^+)

Amoniak je odpadním produktem metabolismu proteinů a je vylučován akvarijními živočichy jako odpadní látka a také bakteriemi během mineralizace organické hmoty (Spotte 1993). Ve vodě se podstatná část jedovatého amoniaku ionizuje na amoniový kation, který již není jedovatý. Jejich poměr závisí na teplotě vody a pH. Platí že, čím vyšší teplota a pH, tím větší podíl čpavku. Při překročení koncentrace amoniaku 0,5 mg/l dochází k úhynu živočichů.

Dusitany (NO_2^-)

Dusitanový anion vzniká biologickým odbouráváním amoniaku (viz. Obr. č. 1) nebo redukcí dusičnanů při anaerobních procesech. Dařbuján (2009) uvádí, že je prudce jedovatý a jeho koncentrace nad 0,5 mg/l způsobuje úhyny ryb. Avšak Spotte (1993) uvádí tento fakt jako mýtus, neboť v mořském akváriu (na rozdíl od sladkovodního, kde jeho toxicitu potvrzuje) není toxický i při vyšších koncentracích.

Dusičnany (NO_3^-)

Dusičnanový anion vzniká oxidací dusitanů. V přírodě se jeho hodnota pohybuje okolo 1 mg/l. V akvarijních podmínkách udržujeme jeho hodnotu u tvrdých korálů do 30 mg/l. Ostatní živočichové snášejí vyšší koncentrace (Dařbuján 2009).

1.2 Filtrační systémy mořských akvárií

Jako jednu z prvních otázek, kterou bychom si měli položit při zakládání mořského akvária je jaký typ filtrace použijeme. A bychom se mohli správně rozhodnout, je nutné porozumět jak fungují různé typy filrace a jak nám mohou pomoci udržovat krásné a fungující akvárium. (Warrick 2003)

1.2.1 Historický vývoj filtračních systémů

První systémy, které dokázaly dlouhodobě udržovat živé korály, byly tzv. otevřené („open-system“). Tento systém byl závislý na kontinuálním přísunu mořské vody a protose vlastnosti akvarijní vody (podmínky v akváriu) příliš nelišily od těch na přirozeném útesu.

Jedním z prvních uzavřených systémů („closed system“) vhodných však pouze pro chov ryb nikoli korálů byl tzv. „sterile system“, který popsal Straughan (1959). S jistými obměnami je používán dodnes.

Úplně odlišný systém popsal v roce 1961 indonéský akvarista Lee Chin Eng v Tropical Fish Hobbyist magazine. Nazval ho „nature´s system“ později „natural system“. Engův systém spočíval pouze v doporučení silné aerace vody. V akváriu používal nefiltrovanou přírodní mořskou vodu, živé kameny a korály. Používal přímé sluneční záření doplněné fluorescenčním osvětlením (Carlson 2008, Carlson 1999)

V 70. a začátkem 80. let se v USA a Evropě pokoušelo několik akvaristů a vědců o vytvoření systému, ve kterém by bylo možné chovat korály natrvalo. Z tohoto snažení vzešly začátkem 80. let dva rozdílné filtrační systémy známé jako „Berlínský“ a „algal turf scrubber system“ (řasový filtr). Třetí, známý jako „Jaubertův“ systém (deep sand bed) se v té době ještě vyvíjel. Společnými prvky všech třech systémů je použití korálového písku, živých kamenů, střední až silné cirkulace vody a intenzivního osvětlení. Liší se metodami odstraňování dusíku a udržování hladiny vápníku a alkality (Carlson 1999).

Tyto tři systémy jsou s určitými modifikacemi a pod rozličnými názvy používány dodnes. V současnosti se však většinou nepoužívají tyto systémy samostatně, ale v různých kombinacích tak, aby jejich funkce splňovala nároky toho daného akvária.

1.2.2 Principy fungování filtračních systémů

Berlínský systém (náplňový nebo též klasický), je komorový filtr založený na vytvoření maximální plochy nosného filtračního materiálu osídleného nitrifikačními bakteriemi. Účinnost tohoto filtru bývá posílena předřazeným odpěňovačem. Obsah jednotlivých filtračních komor se průběžně (nikdy ne najednou všechny komory) propírá odpadní mořskou vodou. Výhodou tohoto systému je výrazná stabilita, která se časem nemění. V případě použití odpěňovače je však nutné pravidelně do nádrže doplňovat chybějící důležité stopové prvky, které jsou činností odpěňočovače spolu s organickými odpadními látkami taktéž z vody odnímány. (Bartečka 2003)

Druhý systém využívá absorpce odpadních látek z vody pomocí přírodních materiálů iontoměničové povahy (např. zeolit) s jejich následným využití řasou lazuchou (*Caulerpa sp.)*, která navíc zamezuje růstu jiných nežádoucích řas v konkurenčním boji o živiny. Řasa je osvětlována 24 hodin denně a tím dochází k prokysličování vody fotosyntetickou činností lazuchy. Tento filtrační systém se označuje jako **bahenní (mud system)** a patentovaným vlastníkem je americká firma EcoSystem Aquarium (Bartečka 2003). Tento systém nevyžaduje k čištění vody odpěňovač ani aktivní uhlí. Lazucha může být ručně sklízena a tím odstraněny živiny ze systému. Také může být použita jako přírodní čerstvé krmivo pro ryby (Garratt et al. 2005).

Třetí systém, tzv. **DSB** (**D**eep **S**and **B**ed) je založen na funkci pískového dna (lůžka) hlubokého 10 cm a více. Aby tento systém úspěšně fungoval, musí být písek osídlen četnými mikroorganismy (Garrat et al. 2005). Dusičnany jsou redukovány anaerobními bakteriemi v hlubokých vrstvách písku a nakonec uvolňovány ve formě vzdušného dusíku. Ke zlepšení efektivity difuze přes pískové lože, je vrstva písku pomocí jemné mřížky zvednuta ze dna. Toto falešné dno vytváří vodní prostor – plenum pod pískem, které napomáhá rovnoměrnému míchání rozpuštěných plynům a živin přes vrstvu písku (Carlson 1999). Tento filtrační systém, dnes také nazývaný Live Sand Filter, se skládá ze 3 komponent – DSB, plenum a odpěňovač. Každá tato komponenta je nedílnou součástí kompletní biologické filtrace, přeměnující amoniak na dusitavy, které jsou

přeměňovány na dusičnany (pomocí aerobních bakterií) a ty pak dále na vzdušný dusík (pomocí anaerobních bakterií)
(http://saltaquarium.about.com/od/livesandjaubertsetups/a/aa052904jalbert.htm).

1.3 Korálnatci a korálové útesy

Korálové útesy jsou vysoce ohroženým ekosystémem. Od roku 1950 bylo celosvětově ztraceno okolo 19% všech korálových útesů a dalších 35% je ohroženo antropogenními vlivy jako nadměrný rybolov, znečišťování moří, eutrofizace, turismus a globální změna klimatu (Haas et al. 2010, Wilkinson 2008).

Tvrdí koráli (Scleractinia) jsou jedním z nejvýznamnějších tvůrců útesů, ale jejich dominance je pod neustálým tlakem (hrozbou) ze strany kompetitorů. Antagonostické interakce jsou běžným jevem a různé druhy organismů si vyvinuly rozmanité strategie, aby si zajistily přežití v životním prostředí limitovaném prostorem. Jejich úspěch však není určován pouze tím jak snadno přemohou druhé v přímé konfrontaci. Další faktory, jako jsou disturbance, podmínky ve vodě, habitatové charakteristiky, predace a vývoj dalších generací mohou způsobit, že jinak úspěšné strategie se mohou stát podružnými (Kuguru et al. 2004, Ninio and Meekan 2002).

Růstové vlastnosti *A. formosa* se mění v závislosti na zeměpisné šířce a tudíž v závislosti na teplotních výkyvech mořské vody během roku (Crossland 1984, Harriott 1998).

Kromě podmínek prostředí korelujících se zeměpisnou šířkou (teplota, světlo), mají na rychlost růstu *A. formosa* významný vliv další faktory prostředí, které jsou určeny habitatovými podmínkami – rozdíly mezi stanovišti (Harriott 1998).

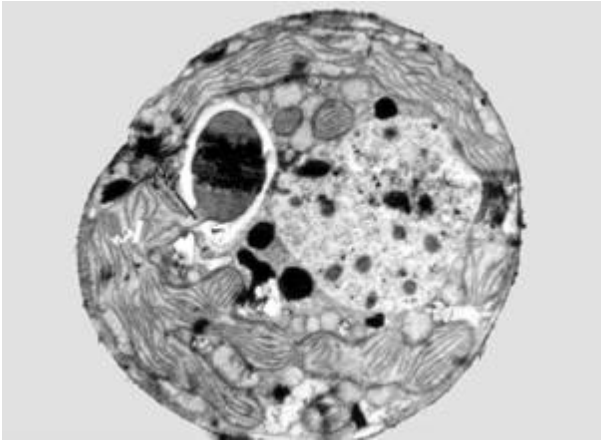
Z tohoto by se dalo vyvodit, že ve stálých (minimálně kolísajících) akvarijních podmínkách by rychlost růstu měla být konstantní a tudíž by se neměla během roku výrazně měnit.

1.3.1 Symbióza korálnatců a zooxantel

Tvrdí koráli jsou hlavními staviteli korálových útesů. Útesotvorní korálnatci mají v trávících buňkách endodermu vždy symbiotické řasy zooxantely (*zooxanthellae*). (Fossa & Nilsen 1998, Richmond 1993)

Zooxantely jsou názvem pro velkou skupinu obrněnek rodů *Symbiodinium,*

Zooxanthella a dalších. Zooxantely, ačkoli jsou velmi rozdílné, mají všechny společný kulovitý tvar (viz obr. č. 2), který jim umožňuje žít uvnitř těla korálů a jiných mořských tropických tvorů v navzájem prospěšném vztahu. Koráli poskytují řasám ochranu a sloučeniny potřebné k fotosyntéze a zooxantely poskytují korálům produkty fotosyntézy jako potravu.



Obr. 2 Zooxantela
(http://www.reefresilience.org/Toolkit_Coral/C2a1_Zooxanthellae.html).

Význam řas pro útesotvorné korály ale nekončí poskytováním potravy – zooxantely se podílejí také na samotném budování korálového útesu. Odebírají z hydrouhličitanů oxid uhličitý pro fotosyntézu a tím napomáhají srážení uhličitanu vápenatého, který tvoří kostru korálů (Thurman & Trujillo 2002).

Endosymbioza obrněnek hraje klíčovou roli ve výživě útesotvorných korálnaců a silně ovlivňuje jejich teplotní toleranci a rychlost růstu (Cantin et al. 2009). Avšak jejich schopnost fotoaklimatizace a tolerance k vysokým hodnotám intenzity záření je také spojena s jejich genetickým typem. (Warner et al. 2006).

Proces, kterým zooxantely ovlivňují kalcifikaci je označován jako světlem zvýšená kalcifikace ("light-enhanced" calcification). (Tambutteé et al. 2007).

1.4 Korálnatci a akvarijní systémy

Živí koráli jsou běžně sbíráni a posíláni do destinací vzdálených tisíce kilometrů od místa jejich původu. Fakt, že koráli mohou přežít sběr, transport a aklimatizaci do úplně

"umělého" prostředí, byl ještě ne tak dávno považován za nemožný. Ale akvaristé a někteří vědci vytrvali a vyvinuli akvarijní systémy a techniky schopné udržovat korály ve zjevně zdravém stavu po mnoho let (Carlson 1999).

Řada studií se zabývá růstem korálů a korálových útesů v jejich přirozeném mořském prostředí, ne mnoho studií se však zaměřuje na růst korálů v akvarijních podmínkách. K druhům, jejichž růstové vlastnosti v mořích jsou dobře známy patří druhy rodů *Acropora, Porites* a *Pocillopora*.

1.4.1 Růst korálů v akváriích

Růstové formy korálů se mohou v akvarijních podmínkách dramaticky měnit, často vytváří nerozlišitelné formy dokonce i pro taxonomy specializující se na korály. Koráli mohou růst v nezvyklých směrech nebo se mohou jejich polypy rozšiřovat mimo koralit. Taxonomové pak často nejsou schopni identifikovat korály chované v akvarijních podmínkách (Carlson 1999).

Navzdory umělým podmínkám ve většině akvárií, jsou růst a kalcifikace korálů v některých akvarijních systémech téměř srovnatelné s těmi na přirozených útesech. U korálů v akvarijních systémech však byly pozorovány jisté anomálie, jako například nižší skeletální hustota a neobvyklé změny v morfologii korálů. Nicméně akvária představují reálnou možnost k chovů korálů pro různé biologické testy, užití v medicíně a pro konzervační (záchranné) účely (Carlson 1999).

Pouze nepatrná část (0,03%) korálů pro akvarijním trh je množena a chována v zajetí a množení korálů je limitováno obecně nízkou mírou přežívání většiny tvrdých korálů v nádržích (Green and Shirley 1999). Vysoká mortalita takto chovaných a množených korálů je přisuzována špatným znalostem o rozhodujících parametrech a podmínkách životní historie (life history parametrs), které tyto kulturu vyžadují (Calfo, 2001 in Schlacher 2007).

1.4.2 Podmínky existence korálových útesů

Útesotvorní korálnatci se vyskytují do určité míry napříč většinou moří tropických a subtropických zeměpisných šířek. Hlavní síť útesů se však nachází převážně na východních stranách kontinentů.

Polypy útesotvorných korálů mohou přežívat pouze ve vodě, která splňuje násldující obecná kritéria: teplota a chemismus musí zůstávat téměř stabilní a během

roku musí být dostatek přímého sluněčního záření (Borneman 2001).

Obecně jsou uváděny jako nejdůležitější následující podmínky: teplota vody, sluneční světlo, salinita, čistota vody, substrát a proudění.

Teplota vody

Teplota vody je uváděna jako absolutně klíčový faktor s velice úzce definovaným rozmezím, ve kterém útesotvorní korálnatci prospívají. Rychlost kalcifikace se snižuje již při teplotě okolo 23°C a zastavuje při teplotách nižších než 20°C. Při teplotách nad 30 - 33°C jsou živočichové stresování a vypuzují symbiotické řasy v procesu zvaném bělení korálů - bleaching. Někteří mohou uhynout při dlouhodobé expozici v teplotách lišících se o 2 – 3°C od jejich optimální teploty nebo cílenému rozpětí 20 – 29°C (Borneman 2001).

Obecně je výskyt korálových útesů omezen na moře s teplotou vody u hladiny neklesající pod 18°C (Thurman and Trujillo 2002).

Některé studie však nasvědčují, že významné množství druhů hermatypických korálů může přežívat i při teplotách jen 14°C (Harriott 1999, Veron 1995).

Světlo

Dostatek světla (přirozeného slunečního záření, resp. Umělého osvětlení) není ani tak důležitý pro samotné korály, jako pro mikroskopické symbiotické řasy zooxantely žijící uvnitř jejich tkání, které korálnatcům poskytují značnou část energie (Thurman & Trujillo 2001).

Z tohoto důvodu je světlo pro hermatypické korály žijící v symbióze se zooxantelami rozhodujícím faktorem (Anthony & Hoegh-Guldberg 2003). Umělé osvětlení suboptimální intenzity nebo špatného spektráního složení zhoršuje metabolickou účinnost korálů a to může být klíčovým faktorem špatného přežívání korálů v akváriích (Riddle & Olaizola 2002).

Detailní experimentální studie zabývající se vlivy zdrojů různého umělého osvětlení na produkci korálů v akváriích jsou překvapivě ojedinělé (Calfo, 2001 in Schlacher et al. 2007).

Při uspokojování nároků mořských živočichů a řas na osvětlení je třeba posoudit tři základní otázky:

- rozložení barev světelného spektra, teplota světla

- intenzita, výkon a druh světelného zdroje
- délka doby osvětlení

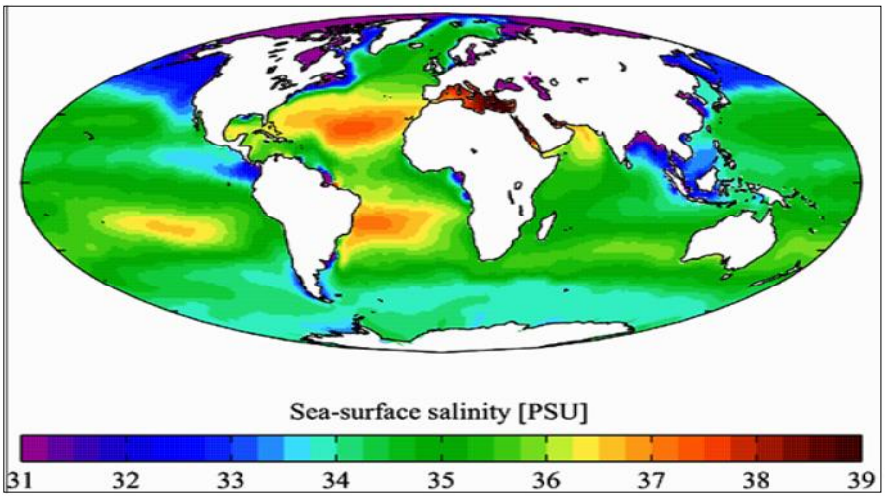
Pro osvětlení mořských akvárií se používají následující světelné zdroje:

T 8 klasické lineární zářivky o průměru 26 mm, T 5 klasické lineární zářivky o průměru 15 mm (větší svítivost, vysoká životnost), PPL jednopaticové zářivky (jednopaticová obdoba T 5. Přesvědčivějších výsledků se dá dosáhnout pomocí metalhalogenidových výbojek (HQI). Jejich světelné spektrum je velice podobné slunečnímu svitu. Tyto výbojky jsou nezbytné pro hlubší rifová akvária (více jak 45 cm) (Garratt et al. 2005). Poslední novinkou jsou tzv. LED rampy. Jedná se o světelné zdroje na bázi světlo emitujících diod (Dařbuján 2009).

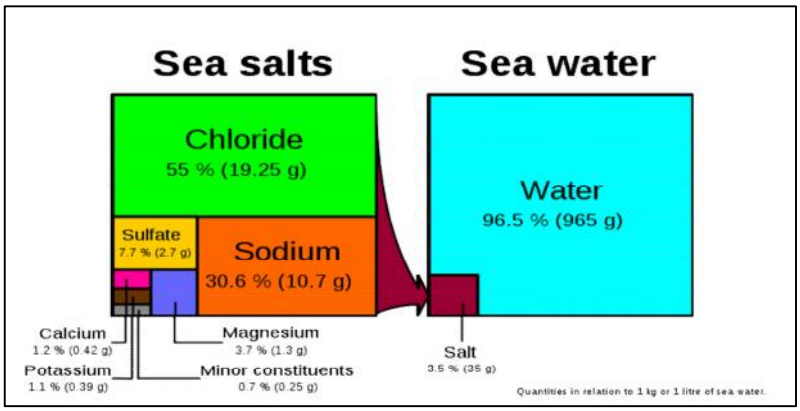
Salinita

Salinita je dána obsahem rozpuštěných látek (solí) ve vodě. Průměrná salinita moří je 35 ‰ (tj. 35g rozpuštěných solí na 1kg vody). Z toho se odvíjí i průměrná hodnota hustoty mořské vody – 1, 025g/ml (http://cs.wikipedia.org/wiki/Mořská_voda).

Salinita a tudíž hustota mořské vody není ve všech mořích a oceánech stejná (viz Obr. č. 3). V oblastech, které nás zajímají z akvaristického hlediska byly naměřeny tyto hodnoty: Středozemní moře 1,025g/ml, Indopacifik 1,023g/ml, Karibik 1,023-1,024g/ml a Rudé moře 1,025-1,028g/ml (Dařbuján 2009).



Obr. 3 Rozložení salinity (http://www.astrovm.cz/userfiles/image/AKA/salinita.png).



Obr. 4 Složení mořské vody (http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Sea_salt-e-dp_hg.svg)

Čistota vody

Koráli vyžadují čistou vodu bez rozptýlených usazenin. Vysoký zákal – turbidita – korálům vadí z několika důvodů: rozptýlené částice jim znemožňuí efektivně filtrovat, pohlcují sluneční světlo a zároveň mohou korálové polypy pokrýt sedimentem. Proto se korálové útesy obvykle nevyskytují poblíž ústí řek do moře (Thurman & Trujillo 2002).

Substrát

Koráli vyžadují pevný a stabilní substrát pro přichycení. Bylo vyzkoušeno mnoho typů substrátu pro upevnění korálů v akváriích. Například plastové vialky, mrtví a živí koráli, upravené přírodní bloky (korál, písek, lastury, aragonit) stejně jako upravené umělé bloky - například cementové (Yap 2004).

1.4.3 Rozmnožování korálnatců

Asi tři čtvrtiny všech hermatypických korálnatců jsou hermafroditi. Zbývající část má buď oddělené samčí a samičí kolonie nebo (u solitérních druhů) pohlavně oddělené jedince. Obecně platí, že sexualita uvnitř druhu a rodů má tendenci být shodná. Avšak výjimky existují (Veron 2000).

Korálnatci se mohou rozmnožovat jak pohlavně, tak i nepohlavně.

Pohlavní rozmnožování

Co se týče sexualní reprodukce, vyvinuli se u korálnatců dva způsoby rozmnožování:

(1) **Broadcast - spawning species** vypouštějí svoje gamety pro vnější oplození do

vodního sloupce. Obvykle se během několika dní z planktoních embryí vyvinou larvy – planuly, které se usadí, přichytí ke vhodnému substrátu a následně proběhne metamorfóza v korálového polypa.

(2) **Brooders** vypouští planulae následně po vnitřním oplození. Tyto larvy jsou obvykle schopny usadit se během několika hodin po vypuštění (Petersen et al. 2007).

Nepohlavní rozmnožování

Také nepohlavní rozmnožování ovlivňuje distribuci a abundanci mnoha druhů. Části větevnatých korálů jsou obvykle rozptylovány bouřemi a mohou pak dát vznik novým koloniím. Fragmentace je tedy přirozeným způsobem nepohlavního rozmnožování korálů (Okubo et al. 2007). Přírodní disturbance však produkují fragmenty různých velikostí, a ne všechny jsou základem pro další novou kolonii. Transplantace korálových fagmentů nebo korálových hlav je však považována za vhodnou techniku pro obnovování korálových útesů (Okubo et al. 2005).

Kromě tohoto existuje mnoho dalších mechanismů asexuální reprodukce jako např. tvorba satelitních kolonií (*Goniopora*), nouzové vypouštění polypů jako reakce na stres, vypuzování plně vyvinutých polypů namísto planul, autotomie, pučení (Veron 2000).

Okubo et al. (2005) zkoumali přežívaní fragmentů v závislosti na jejich velikosti, orientaci k podnoži a době (sezóně) transplantace. Nejvyšší míru přežívání měly velké (20 cm) vertikálně orientované fragmenty a vliv sezóny se projevil pouze u malých (5 cm) fragmentů. Horizontální orientace vykazovala vyšší míru úmrtnosti než vertikální hlavně u středních (10 cm) a velkých fragmentů.

1.4.4 Ohrožení a ochrana

Tvrdí koráli (*Scleractinia*) spadají do CITES II (příloha č. 2 úmluvy o mezinárodním obchodu s ohroženými druhy volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin).

Jedná se o druhy, které je nutno chránit usměrňováním dovozu a vývozu, aby nedošlo k jejich ohrožení vyhubením. Ačkoli se na fosílie těchto druhů CITES nevztahuje, většina zemí obchod s nimi zakazuje či omezuje. Proto patří koráli (respektive fosílie nalezené na plážích) k nejčaněji zabavovaným suvenýrům. Obchod z živými korálnatci je omezen a je k němu třeba povolení.

Jedním z největších hrozeb pro útesotvorné korály je zvyšování teploty mořské vody (Goffredo 2008, Hughes et al. 2003). Současné důkazy nasvědčují, že koráli a jejich symbiotické zooxantely mohou být neschopné se dostatečně rychle aklimatizovat či adaptovat, aby se vyrovnali se současným rychlým tempem oteplování vody (Goffredo 2008, Hoegh-Guldberg et al. 2007).

Při studiju korálů rodu *Acropora, Pocillopora, Turbinaria* a *Porites* byl se vzrůstající teplotou zaznamenán jak nárůst tak pokles procesu kalcifikace.Z toho plyne, že vliv teploty na růst může být druhově specifický (Goffredo 2008).

Toto potvrzují i studie zaměřené na dlouhodobé sledování vlivu teploty na kalcifikaci v různých lokalitách a u různých druhů. Například práce Bessat & Buigues (2001) ukazuje pozitivní vztah mezi růstem (kalcifikací) a teplotou (SST) u *Porites* spp. avšak Tanzill et al. (2009) ve své práci prokázal negativní korelaci mezi nárůstem teploty (SST) a kalcifikací pro druh *Porites lutea.* Nicméně nejnovější práce Cooper et al. (2007), která se týkala rodu *Porites* na Velkém Bariérovém Útesu prokázala pokles rychlosti klacifikace o 21% mezi lety 1988 a 2003 časově shodný s nárůstem SST (sea surface temperature) ve stejném období.

2 Cíle práce a hypotézy

Mořská akvaristika se stává stále populárnější a mnoho amatérských akvaristů i odborníků si klade řadu otázek, které se týkají provozu mořských akvárií a podmínek pro jejich obyvatele.

My jsme položili několik otázek týkajících se chemismu vody v rifových akváriích a růstu vybraných druhů hermatypických korálů.

První naše hypotéza se týkala filtračního systému. Rozhodli jsme se pro srovnání klasické filtrace a bahenní filtrace se substrátem Miracle Mud. K tomu nám sloužila dvě stejně veliká rifová akvária v zoologické zahradě na Sv. Kopečku (Reef1 a Reef2).

Je bahenní filrace Miracle Mud účinnější v odstraňování metabolitů než klasická filtrace?

H1: Bahenní filtrace je účinnější v odstraňování metabolitů.

Abychom mohli tuto domněnku potvrdit, museli jsme sledovat množství metabolitů (celkový N a P) v jednotlivých akváriích.

Tím jsme také zjistili, které akvárium má dlouhodobě nejnižší hodnoty N a P a tudíž by mělo být nejvhodnější pro růst tvrdých korálů. Respektive, korálnatci by v takovém akváriu měli vykazovat největší přírůstky

H2: V akváriu s nejnižšími hodnotami metabolitů mají korálnatci největší přírůstky.

Pro samotný růst korálnatců jsou důležité některé stopové prvky obsažené v mořské vodě. K nejdůležitějším patří vápník, hořčík, stroncium. Také zinek je důležitý pro symbiotické zooxantely. Množství těchto čtyř prvků jsme sledovali v našich akváriích a jejich hodnoty porovnávali mezi sebou. Také jsme tímto mohli ověřit, zda bahenní filtrace je účinnější v udržování stálé hladiny těchto prvků díky substrátu Miracle Mud, jež by měl tyto prvky postupně uvolňovat do vody.

H3: Akvária se liší v množství obsažených prvků Ca, Mg, Sr a Zn.

Do každé experimentální nádrže bylo umístěno 6 jedinců korálů různých druhů. Takto

jsme chtěli sledovat jejich růst v různých akváriích a stanovit, který z druhů vykazuje největší přírůstky, je nejodolnější nebo naopak nejméně odolný k daným podmínkám.

H4: Rod *Acropora* vykazuje největší přírůstky.

3 Materiál a metody

K našemu experimentu jsme využili 7 druhů hermatypických, útesotvorných tzv. "tvrdých" korálů (*Scleractinia*): *Acropora formosa,* dva druhy *Acropora sp., Caulastrea sp., Seriatopora sp.,* dva druhy *Pocillopora sp.*. Každý duh byl zastoupen jedním fragmentem kolonie v každém z pěti experimentálních nádrží. Fragmenty byly získány z jedné mateřské kolonie, která byla rozdělena na pět částí a následně byly přilepeny speciálním dvousložkovým lepidlem pro lepení korálů na vhodný podkladový materiál (kámen, lastura). Takto vytvořené kolonie byly označeny a vyfotografovány a posléze umístěny do nádrží.

3.1 Charakteristika druhů

Čeleď: *Faviidae*

Rod: *Caulastrea* (Dana, 1846)

Kolonie obvykle faceloidní (phaceloid) (Obr.8). Polypy buclaté kruhovité, seskupené na koncích rozvětvených stonků. Septa zřetelná a dobře vytvořená, obvykle vyditelná přes průsvitné zelené nebo hnědé tělo polypa jako jasné jemné proužkování (Borneman 2001).

Jednotlivé druhy rodu Caulastrea jsou snadno rozeznatelné komě C. echinulata a C. furcata, které může být těžké rozlišit, jeikož se zřídka vyskytují společně a protože posledně zmíněný se vyskytuje v mnoha barevných a skeletálních variacích.

Čeleď: *Acroporidae*

Rod: *Acropora* (Oken, 1815)

Existuje 13 – 15 základních růstových forem rodu Acropora (Randall 1981) dělících se podle velikosti, tvaru axiálních a radiálních koralitů, velikosti a tvaru větví, počtu a pozice sekundárních větcí, počtu sept a povahy coenostea (Borneman 2001).

Druh: *A. formosa* (Dana, 1846)

Kolonie stromovité s válcovitými větvemi. Velikosti větví se liší dle hloubky výskytu - v mělké vodě jsou krátké a kompaktní, ve větší hloubce jsou více otevřené. Axiální

korality jsou vyčnívající, radiální jsou tubulární. Barva obvykle krémová, hnědá nebo modrá, zpravidla s bledě zbarvenými konci větví. Jedná se o běžný a často dominantní druh přirozeně se vyskytující v lagunách a na útesových svazích (Veron 2000).

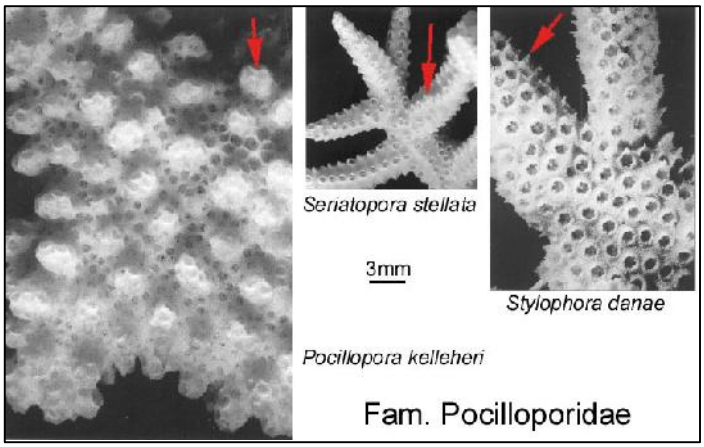
Čeleď: *Pocilloporidae*

Rod: *Pocillopora* (Lamarck, 1816)

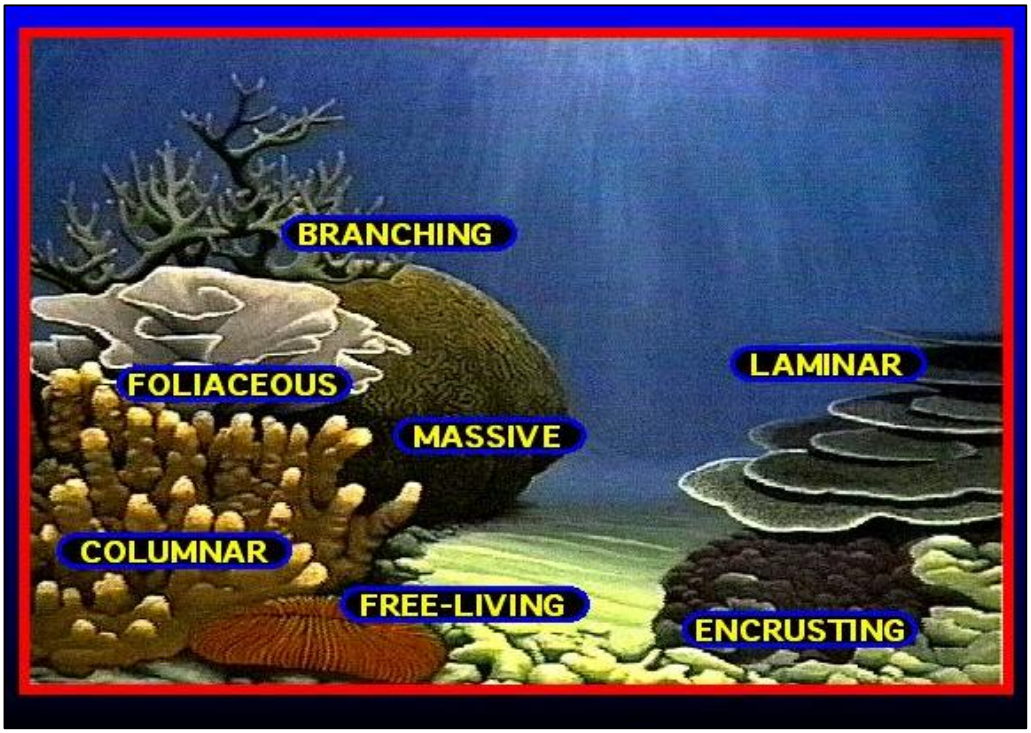
Kolonie jsou submasivní až větvené, s větvemi lehce zploštělými nebo útlými a nepravidelnými (Veron 2000). Hlavním charakteristickým znakem rodu jsou bradavičnaté výrůstky na skeletu nazývané verrucae (bradavice). Polypy jsou malí, ale vyčnívající a chmýřovití. Barva je většinou hnědá avšak mnohé jsou růžové (Borneman 2001).

Rod : *Seriatopora* (Lamark, 1816)

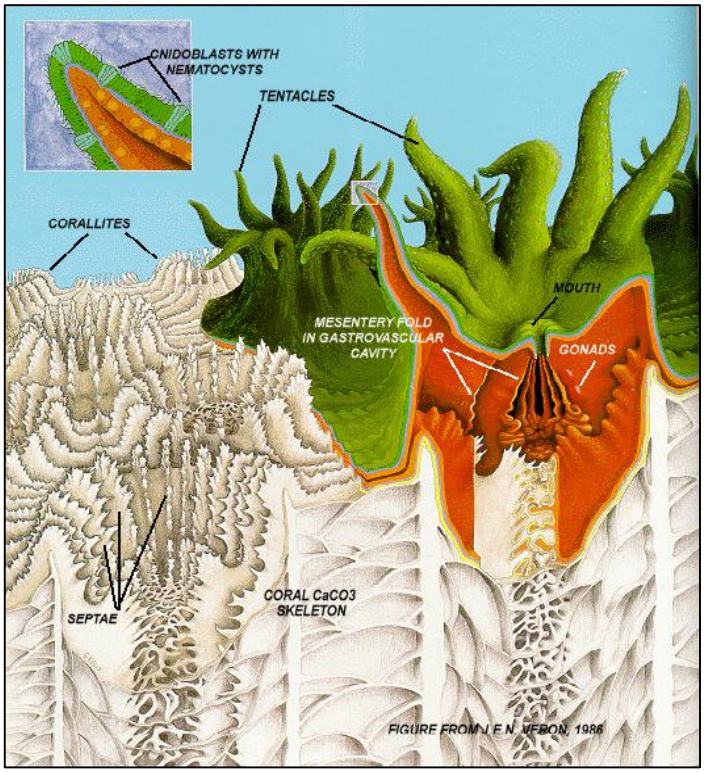
Seriatopora má extrémě tenké větve s jehlicovitými špičkami, propletené a spojené do tvaru hnízda. Kolonie rostou ve tvaru malých keřů s korality větve lemujícími téměř v řadách. Běžné zbarvení je hnědé, růžové a bledě žluté občas se zelenými odstíny a zvýrazněními (Borneman 2001).



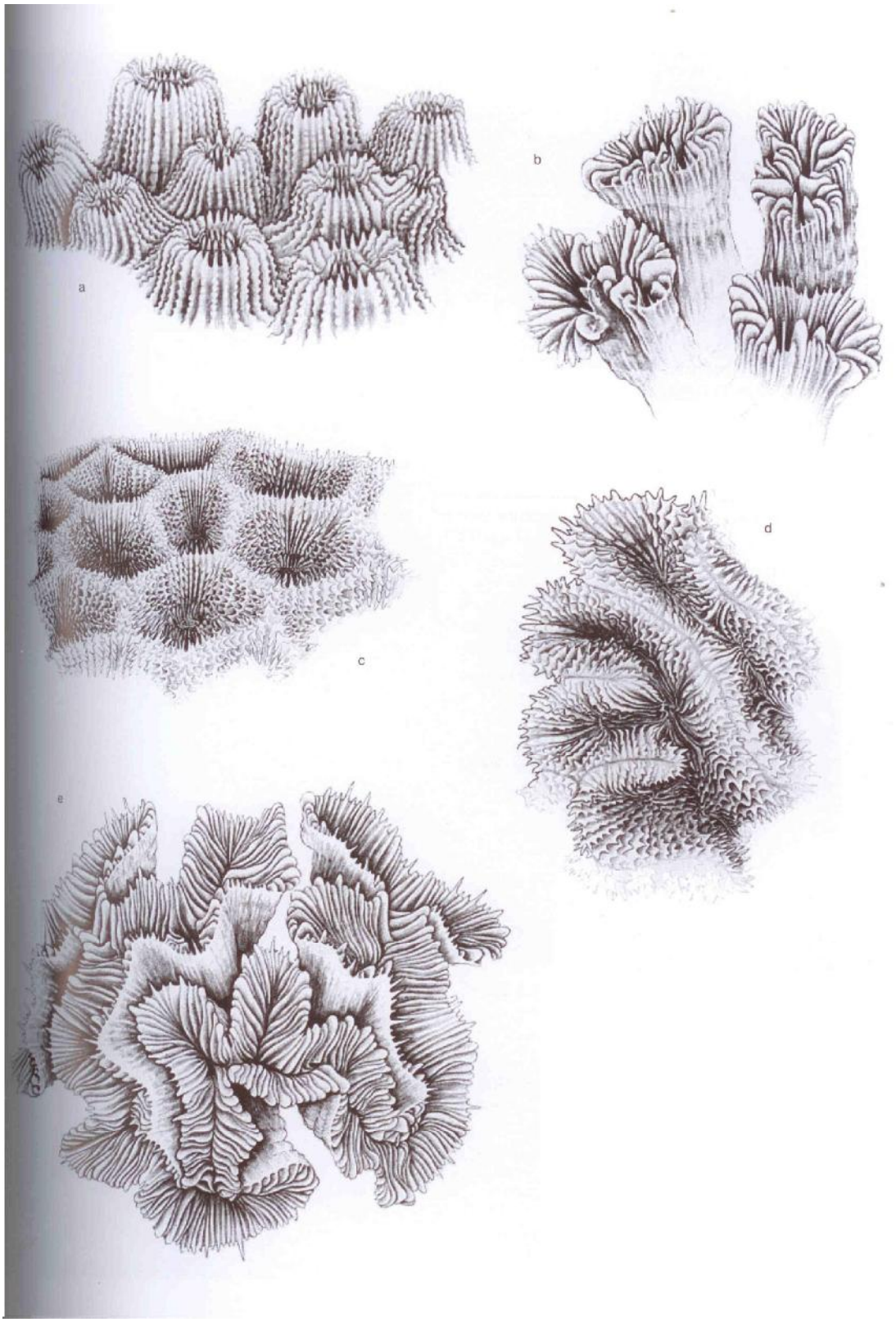
Obr. 5 Verrucae (Veron 2000)



Obr. 6 Růstové formy korálů (Veron 2000)



Obr. 7 Stavba korálu (Veron 2000)



Obr. 8 Tvary koralitů. a) plakoidní, b) faceloidní, c) ceroidní, d) meandroidní, e) flabello-meandroidní (Veron 2000)

3.2 Experimentální akvária

Sledovaná akvária se nachází ve třech lokacích. V Zoologické zahradě na Svatém Kopečku u Olomouce, v Šumvaldu u ing. Berky a na Katedře zoologie PřF UP v Olomouci.

Ve všech případech jde o společenská rifová akvária. V tomto druhu akvárií jsou chováni živočichové bez ohledu na jejich geografický původ či původní biotop. Jediným principem je sloučit mnoho různých druhů organismů s ohledem na jejich přirozený způsob života a dobré zdraví. Technické vybavení pro tento typ akvárií je závislé na jeho osazení. Základní princip je ten, že technické vybavení musí být vhodně přizpůsobené chovaným druhům. (Fosså and Nielsen 1996)

V našem experimentu bylo využito dvou výše zmíněných filtračních systémů. Systém bahenní filtrace se substrátem Miracle Mud a klasický Berlínský systém.

3.3 Základní popis nádrží

Pokusné kolonie korálnatců jsme umístili celkem do pěti nádrží.

Akvárium č.1 – Reef 1
Rifové akvárium o objemu 1000 l.
Filtrace bahenní (Miracle Mud) bez odpěňovače, Ca-reaktor.
Oběh vody cca 4000 l/hod., vnitřní cca 5-6000 l/hod
Osvětlení HQI 2x250 W, 1x400 W.
Počet ryb se pohybuje okolo 30.
Stáří 9 let.

Akvárium č.2 – Reef 2
Rifové akvárium o objem 1000 l.
Filtrace klasická (skrápěcí kaskádová) s odpěňovačem (2x), Ca-reaktor.
Oběh vody cca 1000 l/hod., vnitřní 3000 l/hod.
Osvětlení HQI 2x250 W, 1x400 W.

Počet ryb okolo 30.
Stáří 9 let.

Akvárium č. 3 – Berka interiér
Rifové akvárium o objemu 1200 l, bohatě osídleno korálnatci i rybami.
Simulace přílivu a odlivu.
Filtrace bahenní (Miracle Mud) bez odpěňovače.
Osvětlení HQI
Stáří 11 let.

Akvárium č. 4 – Berka exteriér
Nové akvárium, založené v roce 2008, objem cca 2000 l.
Filtrace bahenní bez odpěňovače.
Toto akvárium je umístěno v zimní zahradě a v letních měsících funguje pouze na přirozené sluneční záření bez dosvěcování. Funguje převážně jako množírna.
Osvětlení HQI

Akvárium č. 5 – Fakulta
Nejmenší sytém o objemu 900 l (2 nádrže, každá 300 l + 100 l filtr + 3 malé provozní nádrže).
Bahenní filtr (Miracle Mud) s odpěňovačem.
Osvětlení HQI (2 x 150W).
Stáří 5 let.

Vodu pro stanovení N,P i kovů jsme odebírali ještě z několika dalších nádrží, do kterých jsme žádné pokusné korálnatce neumístili. Zde jsme pouze sledovali hodnoty stanovovaných prvků a jejich vývoj v čase. Tyto výsledky jsme ale do této práce nezahrnuly, jelikož stanovit všechny odebrané vzorky by bylo finančně velice náročné. Proto jsme museli přistoupit ke stanovování prvků v delších časových intervalech.

Akvárium č. 6 – Žraloci
Žraločí nádrž s objemem 40 000 l.
Filtrace bahenní s odpěňovačem, 2x sedimentační nádrže jako mechanický předfiltr a

filtr se zeolitem + odstraňovač fosfátů, UV-zářič.
Oběh vody celkový 60 000 l/hod., 4x čerpadlo.
Osvětlení 8 HQI výbojek (3x1000 W, 5x400W)
Asi 100 - 150 ryb včetně 3 žraloků, množství měkkých korálů a sasanek, několik zév a ostnokožců.

Akvárium č. 7 – Barakudy/Siba
Nádrž o objemu 17 000 l
Filtr skrápěcí, 2x odpěňovač, UV
Oběh 6000 l/hod.
Osvětlení 6 HQI výbojek (4x250W, 2x400W)
Dříve zde byly umístěny barakudy, později výměna za sibu skvrnitou a kranase. Jde spíše o rybí akvárium s menším množstvím měkkých korálů a sasanek.

3.4 Obsah sledovaných prvků

Zaměřili jsme se na sledování obsahu následujících prvků: Ca, Mg, Sr, Zn, celkový N a celkový P. Obsah kovů byl stanovován pomocí atomovové spektrofotometrie v laboratoři katedry ekologie a životního prostředí v Holici. Celkový N a P byl stanovován tamtéž pomocí zkumavkových setů fy. Hach Lange.

3.4.1 Odběry vzorků

Experiment jsme započali v únoru 2007 odběrem vzorků vody z akvárií a měřením pH ještě před samotnou instalací experimentálních kolonií, která proběhla v červenci 2008. Vzorky vody k analýzám jsme odebírali jedenkrát měsíčně a konzervované dále uchovávali k analýzám. Poslední vzorky byly odebrány v srpnu 2009. Při stanovování celkového dusíku (N) a fosforu (P) jsme nemohli kvůli finanční nákladnosti přistoupit k analýzám všech odebraných vzorků, ale pouze vybrané části jedenácti vzorků pro každou nádrž.

Vzorky vody z jednotlivých akvárií jsme odebírali do plastových 100 ml lahviček. Snažili jsme se o pravidelný interval odběrů 1x měsíčně, ale bohužel bylo nutné se přizpůsobit provozu a přítomnosti majiteů akvárií. Odběry ze všech akvárií

jsme prováděli ve stejný den a vzorky následně v laboratoři nafixovali a uložili do lednice. Fixace vzorků pro analýzy kovů jsme provedli konc. kyselinou dusičnou, pro stanovení N a P chloroformem. Takto stabilizované vzorky jsme později analyzovali níže uvedenými metodami.

3.4.2 Metody stanovení prvků

Celkový dusík a fosfor jsme stanovovali pomocí setů tzv. ´N Tube tests od firmy Hach-Lange a přístroje DR 2000 od téže firmy.

Dusík ve vodě

Dusík spolu s fosforem patří mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky, je nezbytný pro rozvoj mikroorganismů. Obsah celkového dusíku ve vodě, což je analytický skupinový ukazatel, je dán součtem koncentrací dusíku ve všech anorganických (NH_3, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-) a organických dusíkatých sloučeninách. Obsah celkového dusíku se udává jako hmotnostní koncentrace v $mg.l^{-1}$.(http://www.irz.cz/latky/celkovy_dusik).

Při fotometrickém stanovení celkového dusíku metoda spočívá v tom, že amoniakální dusík, dusitany a četné sloučeniny s organicky vázaným dusíkem přítomné ve zkoušeném vzorku se oxidují na dusičnany, které jsou v dalším reakčním kroku redukovány na dusitany. **Celkový dusík je tedy sumárně stanovován jako dusitanový dusík**. Oxidace a mineralizace vzorku alkalickým roztokem peroxodisíranu probíhá v mineralizační nádobce při teplotě 120 ^oC. Následná redukce dusičnanů na dusitany probíhá v redukční kolonce, která obsahuje poměděné kadmium.

Mineralizací persíranem v alkalyckém prostředí se převedou veškeré formy dusíku na dusičnany. Přídavkem disiřičitanu sodného po mineralizaci se eliminuje rušivý vliv halogenů. Dusičnany potom reagují v silně kyselém prostředí s kyselinou chromotropovou za vzniku žlutého komplexu s maximem absorbance při 410 nm. (Dusík, celkový, Metoda 10071)

Fosfor ve vodě

Fosfor je prvek, který se ve vodách vyskytuje v organických nebo anorganických sloučeninách. Anorganické formy jsou ortofosforečnany a polyfosforečnany. Nejčastější formou výskytu jsou ortofosforečnany. Fosfor je významným biogenním prvkem, který se podílí na eutrofizaci vod.

Celkový fosfor ve vodě se stanovuje pomocí převedení všech forem fosforu na formu ortofosforečnanovou. Ortofosforečnany se potom stanovují spektrofotometricky (http://www.irz.cz/latky/celkovy_fosfor).

Fosfáty přítomné v organické a anorganické formě musí být před analýzou převedeny na reaktivní fosforečnan. Anorganické formy se převádí hydrolýzou pomocí kyseliny a tepla. Organické fosfáty se převádí na fosforečnany zahříváním s kyselinou a peroxodisíranem.

Fosforečnan reaguje s molybdenanem v kyselém prostředí za vzniku fosfo-molybdenového komplexu. Komplex je pak redukován kyselinou askorbovou čímž vzniká modré zbarvení (molybdenová modř). Výsledná absorbance se měří při 890 nm. (www.power.hach.com/fmmimghach?/CODE%3AL82261055%7C1). (Fosfor, celkový, Metoda 8190 (PhosVer))

Stanovení kovů - Ca, Mg, Sr, Zn

Kovy (Ca, Mg, Sr, Zn) jsme stanovovali pomocí plamenového spektrometru AVANTA Σ Fy. GBC v laboratoři Katedry ekologie a životního prostředí PřF UP.

Vzorek vody je zmlžen do plamene směsi acetylen-oxid dusný, kde se roztok okamžitě odpaří a rozruší se chemické vazky v molekulách přítomných sloučenin. Plamenem prochází paprsek světla ze speciální výbojky, jehož fotony jsou při setkání s atomy analyzovaného prvku absorbovány a atom prvku přichází do příslušného excitovaného stavu. Vyhodnocení výsledků se provede ze tří hodnot absorbance pro každou koncentraci prvku.
(www.hydrobiologie.upol.cz/.../05_metody_stanoveni_obsahu_kovu.pdf).

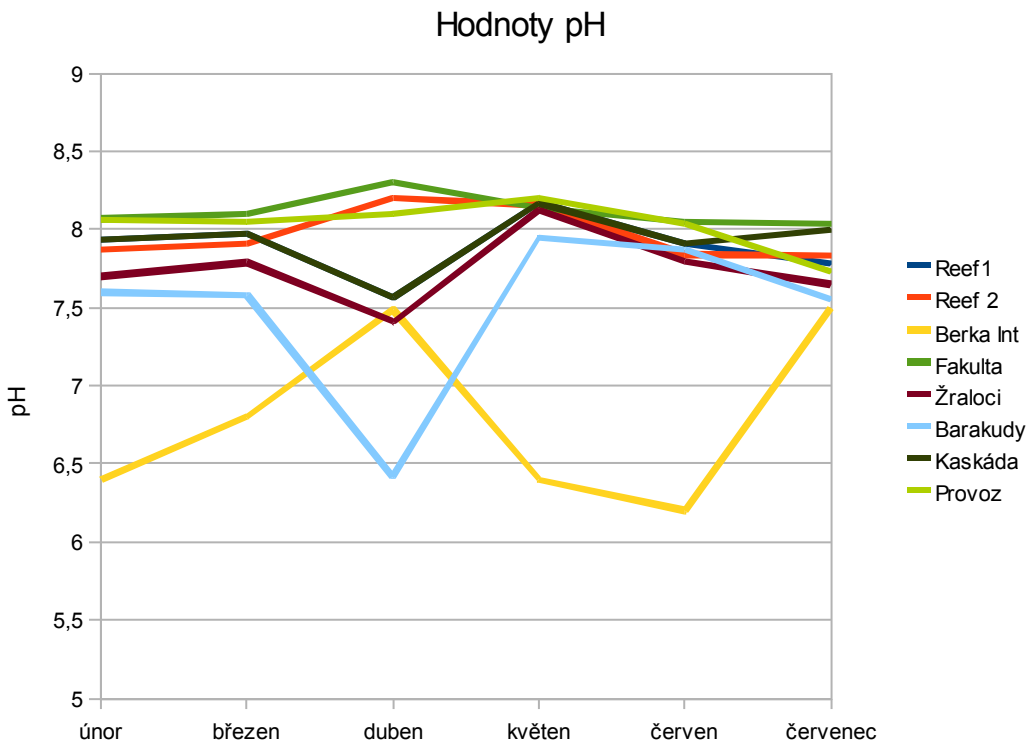
3.5 Statistická analýza dat

Výsledné hodnoty jsme statisticky zpracovávali pomocí programu ANOVA s opakovaným měřením a dále jsme provedli mnohonásobná porovnání Tukey Kramer testem.

Grafy byly vytvořeny pomocí programu NCSS a excelu.

4 Výsledky

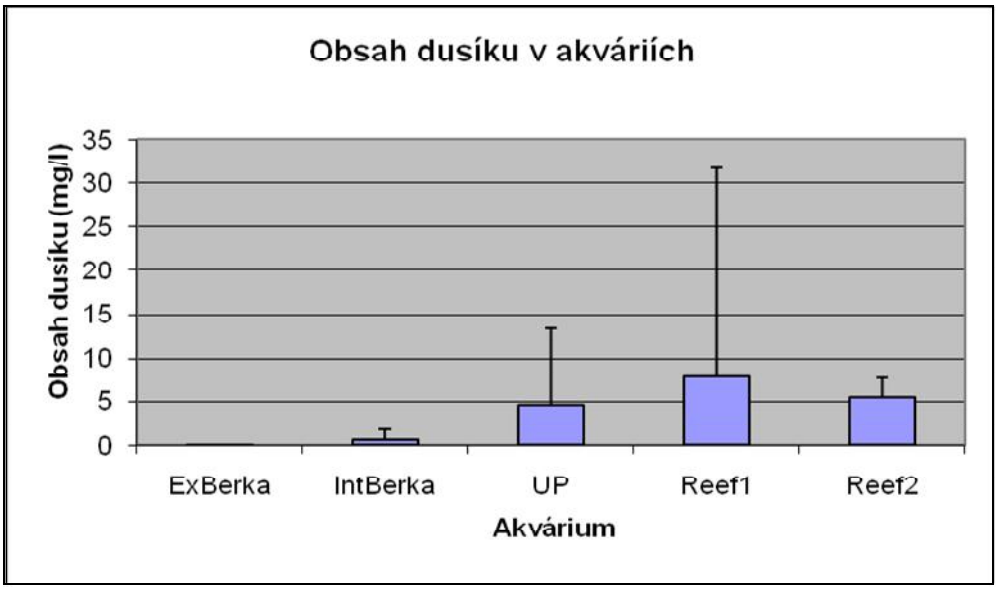
Krátkodobým měřením (viz graf č. 1) jsme zjistili, že hodnoty pH se kromě dvou akvárii (Berka Int a Barakudy) pohybují ve stejném rozmezí okolo pH 8. Pro akvárium Berka Int se hodnoty pH pohybují ve výrazně nižších hodnotách (pH 6,2 – 7,5) a u akvária Barakudy došlo k výraznému poklesu pH od jinak standardních hodnot (v rozmezí pH 7,5 - 8) během měsíce dubna (pH 6,4).



Graf 1 Krátkodobý průběh měření pH v akváriích

4.1 Dusík

Srovnávaná akvária se v obsahu dusíku mezi sebou neliší ve všech kombinacích.
N (F=1,99; P=0,1167)
Nejvyšší průměrné hodnoty obsahu dusíku v tomto případě vykazuje akvárium Reef 1 (7,74; SD 23,98) následované Reef 2 (5,44; SD 2,17) (viz graf č. 2). Avšak průměrná hodnota obsahu dusíku u Reef 1 byla velmi výrazně zvýšena jednou velmi vyskou hodnotou (80 mg/l), která mohla být způsobena jednorázovou kontaminací odebraného vzorku (např. po krmení či úhynem živočichů). Pokud bychom tuto hodnotu vynechali, dostali bychom se na hodnotu 0,51 mg/l. (viz příloha, graf. č. x)



Graf 2 Obsah celkového dusíku

4.2 Fosfor

Srovnávaná akvária se mezi sebou odlišují (P<<0,0001)

Z grafu č.3 lze vyčíst průměrné hodnoty, které akvária vykazovala. Nejvyšší průměrné hodnoty dosahovalo akvárium 2 – tj. Reef 2 (0,78; SD=0,33).

Reef1 a Reef1 se liší

Berka ex a Berka int se liší

Fakulta a Reef1 se neliší

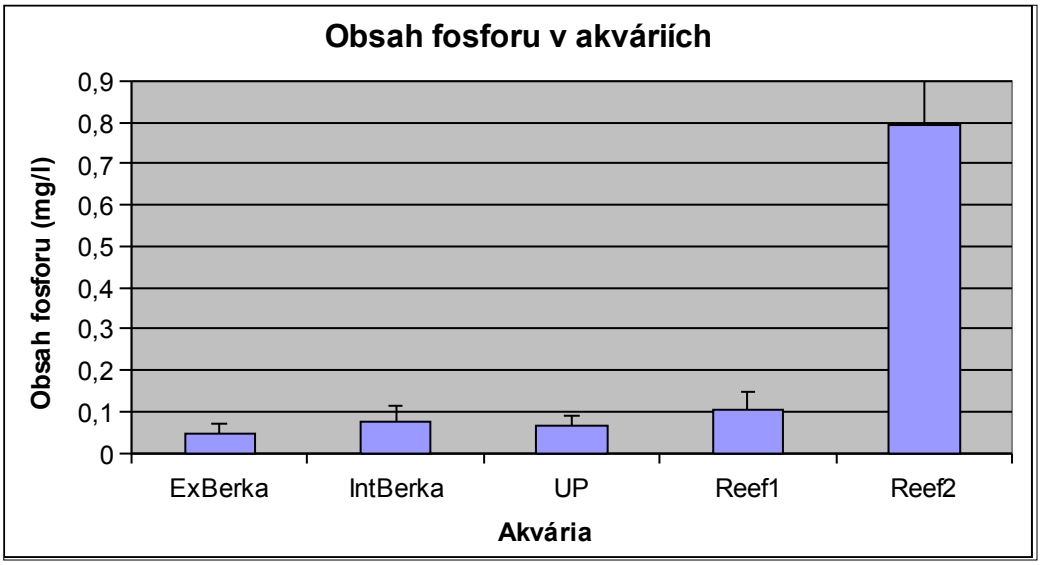
Fakulta a Reef2 se liší

Berka int a Reef1 se neliší

Berka int a Reef2 se liší

Berka Ex a Reef1 se liší

Berka Ex a Reef2 se liší



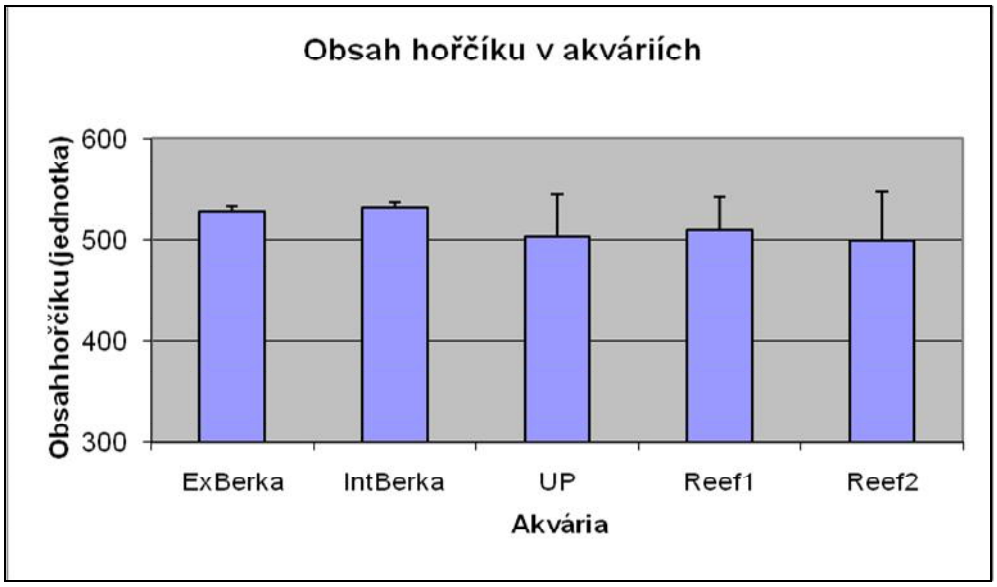
Graf 3 Obsah celkového fosforu v akváriích

4.3 Hořčík

Akvária se mezi sebou v obsahu horčíku neliší.

Mg (F=1,3; P=0,2958)

Obsah hořčíku byl celkově vyrovnaný, pohyboval se těsně nad hranicí 500mg/l. (viz graf č.4). Pouze nádrž Reef 2 měla hodnoty těsně pod hranicí 500 mg/l.(499,71; SD=46,98)



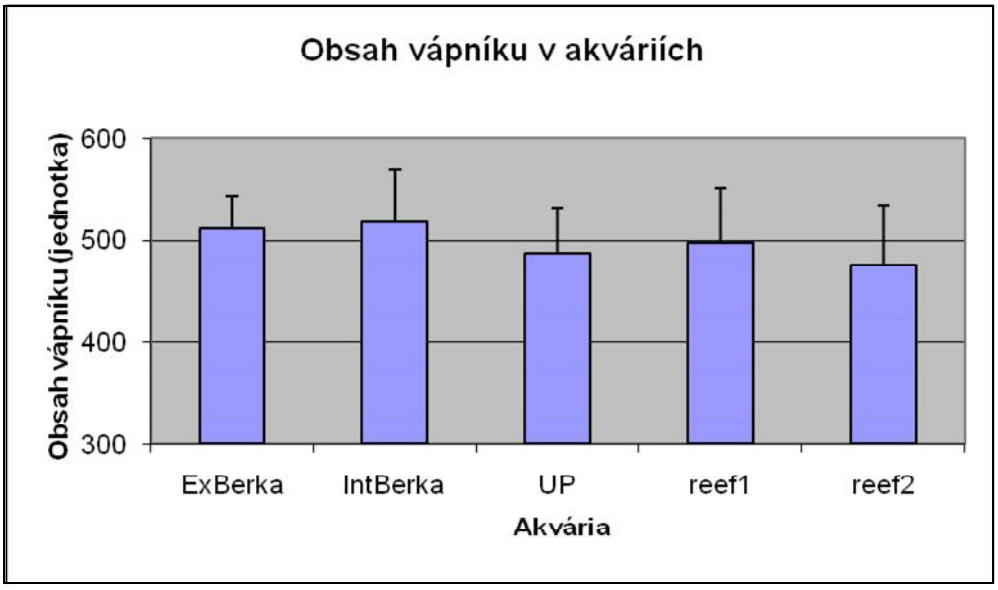
Graf 4 Obsah hořčíku v akváriích

4.4 Vápník

Akvária se mezi sebou v obsahu vápníku neliší.

Ca (F=0,75; P=0,2079)

Obsah vápníku byl taktéž vyrovnaný. Hodnoty se pohybovaly spíše nad optimem. Nejvyšší hodnoty vykazovala akvária ing. Berky, nejnižší opět Reef 2 (475,45;SD= 59,73). (viz graf č.5)



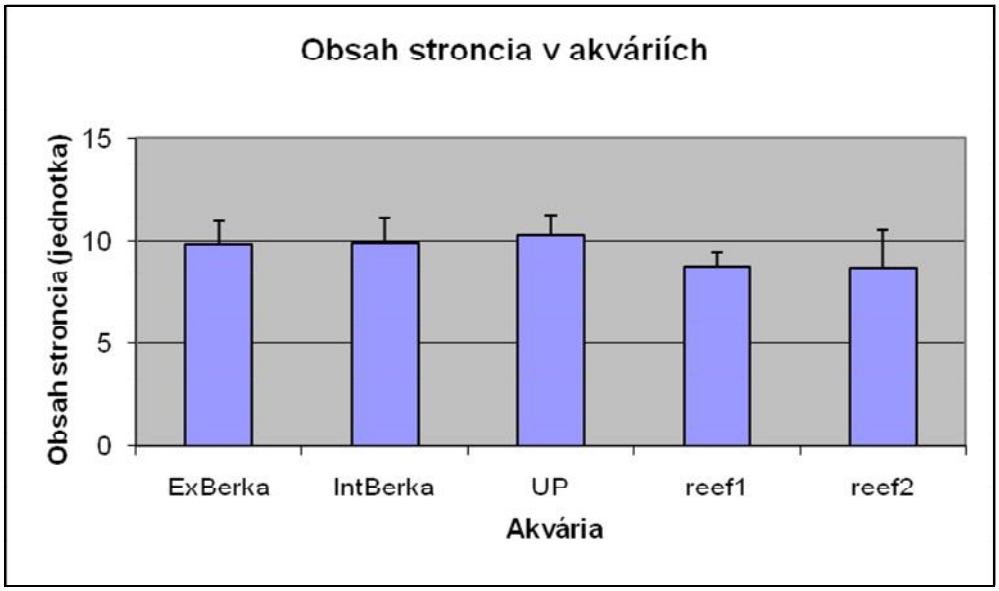
Graf 5 Obsah vápníku v akváriích

4.5 Stroncium

Akvária se mezi sebou v obsahu stroncia neliší.

Sr(F=2,05; P=0,5275)

Nejvyšší hodnoty vykazuje akvárium PřFUP (10,28; SD=1,00), nejnižší hodnotu má opět Reef 2 (8,69; SD=1,84). Ostatní se pohybují v tomto rozmezí, přičemž Reef 1 má hodnotuspíše při spodní hranici a Berka Ext i Int mají hodnoty vyrovnané a spíše v horní hranici. (viz graf č.6)



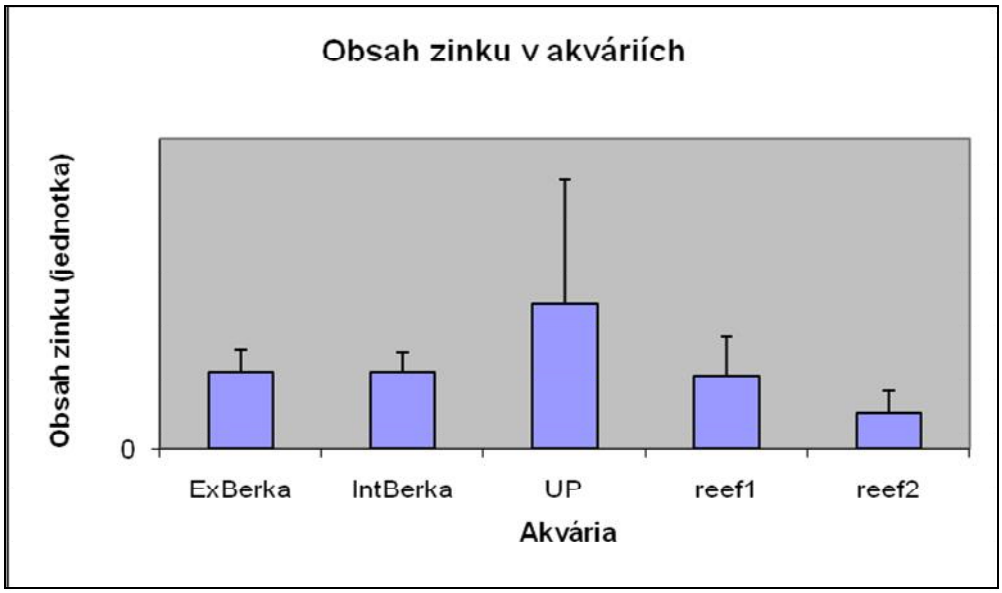
Graf 6 Obsah stroncia v akváriích

4.6 Zinek

Akvária se mezi sebou v obsahu zinku neliší.

Zn (F=2,52; P=0,6277)

Nejvyšší hodnoty dosahovalo akvárium PřF UP (0,02; SD=0,02) naopak nejnižší Reef 2 (0,005; SD=0,003). Ostatní akvária měla hodnoty vyrovnané (0,01; SD=0). (viz graf č.7)



Graf 7 Obsah zinku v akváriích

Akvária se mezi sebou v obsah kovů (Ca,Mg, Sr, Zn) statisticky významně neliší. Avšak z grafů č. 3 - 6 lze vyčíst, že akvárium Reef 2 vykazuje nejnižší hodnoty u všech sledovaných prvků. Lze tudíž předpokládat, že bahenní filtrace má pozitivní vliv na udržování hladiny prvků v akváriu.

4.7 Shrnutí hypotéz

H1: potvrzena pouze pro celkový fosfor.

Účinnost bahenní filtrace v odstraňování metabolitů je prokazatelně vyšší pouze co se týče celkového fosforu. U dusíku, se statisticky významný rozdíl mezi filtracemi neprokázal. Jak je zřejmé z grafu č.3, fosfor se u nárže Reef 2, kde je použita klasická filtrace skrápěcí, pohybuje v 8-krát vyšších hodnotách než u ostatních akvárií s bahenní filtrací.

H2: potvrzena.

V akváriích s nejnižšími hodnotami metabolitů vykazovali koráli největší přírůstky. Nejnižší hodnoty metabolitů vykazovala akvária ing. Berky. V jeho exteriérové nádrži přežilo nejvíce jedinců s relativně největšími přírůstky. V interiérové nádrži jsme bohužel nemohli exempláře porovnat, jelikož se nepodařilo žádného jedince zpětně odlovit. Ježovky a krabi nám tímto znemožnili experiment v tomto akváriu dokončit. Dá se tedy konstatovat, že hypotéza o největších přírůstcích se prokázala. Pokud nám tedy jde o co nejrychlejší a největší přírůstky, není vhodné chovat tvrdé korály s velkým množstvím ryb a je na místě užít bahenní filtraci.

H3: nepotvrzena.

Akvária se neliší v množství obsažených prvků Ca, Mg, Sr a Zn. Měřením obsahu Ca, Mg, Sr a Zn se neprokázal žádný statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými nádržemi. Hodnoty byly srovnatelné, pouze lze zmínit, že ve všech případech byly nejnižší u akvária č, 2 – tj. Reef 2..

H4: nepotvrzena.

Rod *Acropora* nevykazuje největší přírůstky, ale naopak se ukázal jako nejméně odolný. Všechny exempláře rodu *Acropora* uhynuly ještě před dokončením experimentu. Celý experiment přežily pouze dva druhy a to *Caulastrea* a *Pocillopora*. Caulastrea přežila v nádržích č. 1, 2, 4, 5. Zpětně odlovit se podařili pouze jedinci z akvárií č. 4 a 5. V nádrži č. 3 se nám nepodařilo najít žádný z vložených exemplářů.

Jelikož zinek je v mořské vodě obsažen v množství nižším než 0,01 mg/l, byly hodnoty v námi měřených vzorcích vody často pod mírou detekce. Proto se nám jeho vliv na kalcifikaci nepodařilo prokázat.

Naproti tomu, obsah stroncia byl po celou dobu experimentu vyrovnaný a neklesal. V našem případě se nepotvrdilo, že by bylo Sr významně odnímáno odpěňovačem. Stálá a vyrovnaná hladina Sr může být ovšem také dána častou výměnou vody s použitím kvalitní soli.

Je zajímavé, že naměřené hodnoty hořčíku jsou ve všech akvárijích o polovinu nižší než v přírodních podmínkách. Zda je to způsobeno fixací vzorků či jinými vlivy, o tom lze jen diskutovat.

5 Diskuse

Mořská akvaristika se stává stále populárnější i přesto, že chov korálů není nejjednodušší (Carlson 1999) a dochází k mnoha úhynům.A ačkoli existují druhy u kterých je mortalita v domácích akváriích téměř 100%, pokračuje jejich odlov z přírodních útesů a jejich dovoz i nadále. Hlavním důvodem úhynu korálů jsou nevhodné či nedostatečné balení,nevhodné zacházení a prostoje v dopravě (Green & Shirley 1999). Naproti tomu úmrtnost korálů okamžitě po sběru je nízká (Wabnitz et al. 2003). Proto je nutné neustále pracovat na zdokonalování podmínek v akvarijních chovech, protože sexuální i asexuální reprodukce v akvarijních podmínkách hraje důležitou roli v produkci korálů pro účely obnovy korálových útesů a akvarijní trh (Epstein et al. 2001).

Jelikož byla tato práce experimentální, nemohli jsme předem jistě vědět, zda nenastanou nějaké komplikace a zda korálnatci budou reagovat tak, jak jsme předpokládali. Bohužel, k naší škodě, většina korálnatců během experimentu uhynula nebo se díky aktivitě živočichů v nádržích nenašla.

Všechny sledované kovy jsou primárně obsažené v mořské vodě, připravené z komerčně dostupných směsí solí. Avšak podle několika studií (např. Atkinson &Bingman 1998, Hovanec & Coshland 2004) se tyto soli, co se týče obsahu jednotlivých prvků, značně liší. Podle práce Hovanec & Coshland (2004) se žádná z jimi analyzovaných solí dostatečně nepřiblížila svým složením k hodnotám přírodní mořské vody. Je otázkou, které prvky jsou důležitější než jiné pro život v akváriu?

5.1 Zinek

Zinek je esenciálním prvkem pro fotosyntézu a kalcifikaci (Ferrier-Pages et al. 2005). Extrémě nízké hodnoty rozpuštěného zinku v povrchových vodách moří a oceánů mohou být považovány za limitující faktor růstu fytoplanktonu a jeho schopnosti získávat anorganický uhlík (CO_2) (De La Rocha et al. 2000). Stejným způsobem je zinek důležitým stopovým prvkem pro korály, kteří nepřetržitě získávají anorganický uhlík z mořské vody pro fotosyntézu jejich symbiotických obrněnek a pro kalcifikaci. (Benazet-Tambutte´ et al. 1996)

Ačkoli je zinek důležitým stopový prvkem, může být ve vyšších koncentracích také

velmi toxický. Jeho toxicita však závisí na jeho biologické dostupnosti (Sekha 2003).

V našem experimentu se jeho množství pohybovalo často pod mírou detekce a ačkoli se akvária mezi sebou statisticky významně v obsahu zinku nelišila, nejnižší hodnoty byly zaznamenány u akvária č. 2 se skrápěcí kaskádovou filtrací s odpěňovačem. Což nás může vést k potvrzení názoru, že bahenní filtrace kontinuálně uvolňuje potřebné prvky z bahna do vody.

5.2 Stroncium

Co se týče stroncia, existují protichůdné názory na jeho potřebu v mořském akváriu. Částečně je to způsobeno tím, že nikdy nebyla publikována studie, která by přesně ukázala co se stane se zdravím korálů pokud by stroncium ve vodě nebylo (Holmes-Farley 2003).

Při abiotickém srážení uhličitanu vápenatého z mořské vody se stroncium zabudovává do rostoucích krystalů téměř ve stejném poměru jako je obsaženo ve vodě, to je okolo 103:1, Ca:Sr při 25ºC. Při vyšší teplotě se Sr zabudovává méně (105:1 při 30 °C) a naopak (97:1 při 10 °C). U hermatypických korálů je tento teplotně závislý poměr silně ovlivňován aktivitou zooxantel. Avšak míra, kterou zooxantely Sr/Ca ovlivňují nené ani konstantní ani předvídatelná (Cohen et al. 2002). Taktéž mechanizmus, který kontroluje zabudovávání stopových prvků do vápenaté kostry není dokonale pochopen. Koráli zabudovávají trochu více Sr než při abiotickém srážení, což dokazuje, že v přijmu stopových prvků hraje důležitou roli fyziologie (Marshall & McCulloch 2002).

Koráli zabudovávají Sr do své vápenaté kostry. Ukládání stroncia může mít několik důvodů: Pozitivní (potřeba z nějakého důvodu), negativní (eliminace potenciálně toxického Sr) anebo náhodný (Stroncium se podobá vápníku) (Holmes-Farley 2003). Potřebují tedy opravdu koráli stroncium? Mnoho studií se zabývá zvýšenou hladinou stroncia. V tomto případě množství zabudovaného Sr lineárně roste s jeho koncentrací přinejmenším až do 300 ppm u *Stylophora pistillata* (Ferrier-Pages et al. 2002). Avšak jeho toxicita není nijak závažná, alespoň pro hodnoty, které mohou být dosaženy v rifovém akváriu (Holmes-Farley 2003). Shimek (2002) analyzoval vzorky

ze 23 akvárií a jím zjištěné hodnoty Sr se pohybovaly od 4 do 10 mg/l přičemž do některých nádrží bylo přidáváno Sr v doplňcích. Holmes-Farley ve svém vlastním akváriu nepřidává Sr již několik let a hodnoty se stále pohybují okolo 15 mg/l. Námi naměřené hodnoty se pohybovaly okolo 8-10 mg/l. Čímž se nepotvrdil předpoklad podle měření Fosså and Nielsen (1996), kteří po 6 měsících provozu akvária naměřili pouhých 1,5 mg/l a při doplňování Sr se hladina zvýšila pouze na 4 mg/l. Dá se tedy předpokládat, že pravidelná výměna vody s přihlédnutím ke složení směsi na přípravu mořské vody by měla být dostačující k udržování stálé hladiny stroncia. Ovšem nikde není uvedeno, jaký typ filtrace daná akvária měla. Proto nelze vyloučit i vliv bahenní filtrace na doplňování prvků do vody.

5.3 Vápník a hořčík

Vápník je jedním z nejdůležitějších prvků pro mořské akvárium. Vápník je z vody absorbován korálovými polypy a je potom transportován přes buněčné membrány. Uhličitan vápenatý je ukládán ve vrstvách postupně jak korál rozšiřuje svoji vápenatou kostru. Dalo by se zjednodušeně říci, že vápník je pro korál určitým typem "potravy" a proto musí být jeho hladina udržována, abychom dosáhli optimální kalcifikace respektive skleretogeneze (Borneman 2001). Existuje několik způsobů jak to dělat. Jde to několika způsoby. Například pomocí Ca-reaktoru, $Ca(OH)_2$ tzv. Kalkwasser, výměnou vody atd. (Holmes-Farley 2002).

V rifovém akváriu by se měla hodnota obsahu Ca pohybovat okolo 450 mg/l a více. Ovšem je možné ji zvednout až na hodnoty okolo 500 mg/l (Borneman 2001). Ve všech námi sledovaných nádržích se hodnoty vápníku pohybovaly v optimálním rozmezí, což by mělo mít na růst korálů pozitivní vliv.

Obsah hořčíku je velmi důležitý z mnoha důvodů, které byly zmíněny v problematice. V mořské vodě se obsah hořčíku pohybuje okolo 1284 mg/l a tuto hladinu je doporučované udržovat i v mořském akváriu. Není vhodné obsah hořčíku příliš zvyšovat ani snižovat (Bingman 1999). Ve všech sledovaných nádržích jsme naměřili hodnoty o polovinu nižší než by měly být. Nepředpokládáme, že by ve všech akváriích byl stejný nedostatek hořčíku. Spíše se jedná o nějakou chybu, která mohla vzniknout při fixaci nebo měření. Hodnoty jsou jinak vyrovnané.

5.4 Metabolity

Koráli jsou přizpůsobeny k životu ve vodách velice chudých na živiny. Proto je nutné dusík a fosfor v rifových akváriích udržovat na co nejnižších hodnotách. Zvýšené množství dusičnanů vede ke snížení kalcifikace, blokuje fotosyntézu, podporuje růst zooxantel, které tak zvyšují poptávku po CO_2 vedoucí ke snížení kalcifikace limitací uhlíkem (DIC) anebo se snižuje jejich fotosyntetická účinnost nedostatkem světla (Marubini & Davies 1996). Taktéž fosfáty brání kalcifikaci a jsou významným faktorem rozvoje problematických řas. (Borneman 1999)

Hodnoty celkového dusíku a fosforu ve sledovaných akváriích se kromě jediného (Reef 2) pohybovali ve velice nízkých hodnotách. Ačkoli se u dusíku neprokázal statisticky významný rozdíl v obsahu celkového dusíku mezi akvárii, z grafů 1 ,2 uvedených v příloze I lze vyčíst, že hodnoty u nádrže č. 2 se pohybovaly po celou dobu ve zvýšených hodnotách oproti ostatním. U celkového fosforu se statisticky významný rozdíl potvrdil. Lze tedy usoudit, že bahenní filtrace má vliv hlavně na odbourávání fosforu, ale v menší míře i dusíku. Je tedy v tomto ohledu účinnější než klasická filtrace skrápěcí.

5.5 Růst korálů

Rychlost růstu druhů rodu *Acropora* je velice variabilní (Epstein et al. 2001) s průměrným rozsahem od 30 do 200 mm za rok (Wabnitz et al. 2003, Lesser 2004). Obvykle se změny velikosti zaznamenávají jako přírůstky v délce špíše než změny v biomase (Schlacher et al. 2007). Podle lieratury (Miller 1997, Green & Shirley 1999) patří právě druhy rodu *Acropora* k nejsnáze se udržujícím a rozmnožujícím v akváriích. To se ale v našem případě nepotvrdilo. Většina exemplářů rodu *Acropora* odumřela právě mezi prvními. Jako nejodolnější se ukázal rod *Caulastrea* a *Pocillopora*.

5.6 Závěr

Díky pokračující popularitě obchodu s korály pro mořská akvária a jeho negativnímu vlivu na životní prostředí korálových útesů je potřeba vyvinout vhodné techniky pro množení tvrdých korálů. Tyto akvakultury by byly hodnotným přínosem pro udržitelné využívání mořských zdrojů (Schlacher et al 2007).

Bohužel se nám v našem experimentu nepodařilo vyhodnotit všechny předpokládané cíle,. Nemohli jsme přistoupit k měření přírůstků, protože většina exemplářů uhynula před dokončením. I přesto jsme do této práce zahrnuli fotografie některých přeživších jedinců, které se podařilo zpětně z nádrží odlovit. Tato vysoká úmrtnost mohla být způsobena menší velikostí fragmentů ale i vlivem rušivé činnosti živočichů v nádržích a v neposlední řadě i suboptimálními podmínkami pro daný druh.

6 Literatura

Anthony, K.R.N. & Hoegh-Guldberg, O. (2003): Variation in coral photosynthesis, respiration and growth characteristics in contrasting light microhabitats:an analogue to plants in forest gaps and understoreys? *Funct. Ecol.* **17**: 246-259.

Atkinson, M.J. & Bingman, C. (1998): Elemental composition of commercial seasalts. *Journal of Aquariculture and Aquatic Sciences*. **8**: 39-43.

Bessat, F. & Buigues, D. (2001): Two centuries of variation in coral growth ina massive *Porites* colony from Moorea (French Polynesia): a response of ocean-atmosphere variability from south central Pacific. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.* 175: 381 – 392.

Benazet-Tambutte´, S., Allemand, D. & Jaubert, J. (1996) Inorganic carbon supply to symbiont photosynthesis of the sea anemone *Anemonia viridis*: role of the oral epithelial layers. *Symbiosis* **20**: 199–217

Borneman, E.H. (2001): *Aquarium corals, Selection, Husbandry and Natural History.* T.F.H. Publications, Inc., Neptune City, 464pp.

Cantin, N.E.,van Oppen, M.J.H., Willis, B.L., Mieog, J.C. & Negri, A.P. (2009): Juvenile corals can aquire more carbon from high-performance algal symbionts. *Coral Reefs* **28**: 405-414.

Carlson, B.A. (1999): Organism responses to rapid change: What aquaria tell us about nature. *Americ. Zool.* **39**: 44-55.

Carlson, B.A. (2008): General Introduction: Advances in coral husbandry in public aquaria. *Public Aquarium Husbandry Series*, vol. **2**: 9-15 pp.

Cohen, A.L., Owens, K.E., Layne, G.D. & Shimizu, N. (2002): The effect of algal symbionts on the accuracy of Sr/Ca paleotemperatures from coral. Science **296**(5566): 331-334.

Cooper, T.F., Dea´th, G., Fabricius, G.E. & Lough, J.M. (2007): Declining coral calcification in massive Porites in two nearshore regions of the northern Great Barrier Reef. *Global Change Biol.* **14**: 529-538.

Crossland, C.J. (1984): Seasonal variations in the rates of calcification and productivity in the coral *Acropora formosa* on a high-latitude reef. Mar. Ecol. Prog. Ser. **15**: 135-140.

Dařbuján, H. (2009): *Mořská akvaristika*: praktický průvodce. Studio Press s.r.o., 206 s.

De La Rocha C.L., Hutchins, D.A., Brzezinski, M.A. & Zhang, Y. (2000): Effects of iron and zinc deficiency on elemental composition and silica production by diatoms. *Mar Ecol Prog Ser* **195**: 71–79

Epstein, N., Bak, R.P.M. & Rinkevich, B. (2001): Strategies for gardening denuded coral reef areas: The applicability of using different types of coral material for reef restoration. *Restoration Ecology* **9**: 432-442.

Ferrier-Pages, C., Boisson, F., Allemand, D. & Tambuteé, E. (2002): Kinetics of strontium uptake in the scleractinian coral *Stylophora pistillata*. *Marine ecology-Progress series* **245**: 93-100.

Ferrier-Pages, C., Houlbreque, F., Wyse, E., Richard, C., Allemand, D. & Boisson, F. (2005): Bioaccumulation of zinc in the scleractinian coral *Stylophora pistillata*. *Coral Reefs* **24** (4): 636-645.

Fosså, S. A.& Nielsen, A.J. (1996): *The Modern Coral Reef Aquarium*, vol. 1.1. edition. Birgit Schmettkamp Verlag, Bornheim, Germany. 367 pp.

Garratt, D., Hayes, T., Lougher, T.& Mills, D. (2005): *500 ways to be a better marine fishkeeper.* Interpet Publishing, Vincent Lane, Dorking, Surrey, England. 128 pp.

Goffredo, S., Caroselli, E., Mattioli, G., Pignotti, E.& Zaccanti, F.(2008): Relationships between growth, population structure and sea surface temperature in the temperate solitary coral *Balanophyllia europea* (Scleractinia, Dendrophylliidae). *Coral Reefs* **27**: 623-632.

Green, E. & Shirley, F. (1999): *The Global Trade in Corals,* WCMC Biodiversity Series, vol. 10. World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK, 74 pp.

Harriott, V.J. (1998): Growth of the staghorn coral *Acropora formosa* at Houtman Abrolhos, Western Australia. *Marine Biology* **132**: 319-325.

Harriott, V.J. (1999): Coral growth in subtropical eastern Australia. *Coral Reefs* **18**: 281-291.

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.

Hughes, T.P., Baird, A.H., Bellwood, D.R., Card, M.,Connolly, S.R., Folke, C.,Grosberg, R., Hoegh-Guldberg, O., Jackson, J.B.C., Kleypas, J., Lough, J.M., Marshall, P., Nystrom, M., Palumbi, S.R., Pandolfi, J.M.,Rosen, B. & Roughgarden, J. (2003): Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science* **301**: 929-933.

Kuguru, B.L., Mgaya, Y.D., Ohman, M.C. & Wagner, G.M. (2004): The reef environment and competition success in the Coralliomorpharia. *Marine Biology* **145**: 875-884.

Lesser, M.P. (2004): Experimental biology of coral reef ecosystems. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **300**: 217-252.

Marshall, J.F. & McCulloch, M.T. (2002): An assessment of the Sr/Ca ratio in shallow water hermatypic corals as a proxy for sea surface temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **66**: 3263-3280.

Marubini, F & Davies, P.S. (1996): Nitrate increases zooxanthellae population density and reduces skeletogenesis in corals. *Marine Biology* **127**: 319-328.

Okubo, N., Motokawa, T. & Omori, M. (2007): When fragmented coral spawn? Efects of size and timing on survivorship and fecundity of fragmentation in *Acropora formosa*. *Marine Biology* **151**: 353-363.

Okubo, N., Taniguchi, H. & Motokawa, T. (2005): Succesful method for transplanting fragments of *Acropora formosa* and *Acropora hyacinthus*. *Coral Reefs* **24**: 333-342.

Petersen, D., Falcato, J., Gilles,P. & Jones,R. (2007): Sexual reproduction of scleractinian corals in public aquariums: curren status and future perspectives. *Int. Zoo Yp.* **41**: 122-137.

Richmond, R.H. (1993): Coral Reefs: Present problems and future concerns resulting from anthropogenic disturbance. *Amer. Zool.* **33**: 524-536.

Riddle, D. & Olaizola, M. (2002): Lightning the reef aquarium – spectrum or intensity? Advanced aquarist online magazine. Http://www.advancedaquarist.com/2002/2aafeature/.

Ries, J.B., Stanley, S.M., & Hardie, L.A. (2006): Scleractinian corals produce calcite, and grow more slowly, in artificial Cretaceous seawater. *Geology* **34**: 525-528.

Schlacher, T.A., Stark, J. & Fischer, A.P.B. (2007): Evaluation of artificial light regimes and substrate types for aquaria propagation of the staghorn coral *Acropora solitaryensis*. *Aquaculture* **269**: 278-289.

Spotte, S. (1993) *Marine aquarium keeping*. John Wiley& Sons, Inc., USA. 175 pp.

Tambuteé, E., Allemand, D., Zoccola, D., Meiborn, A., Lotto, S., Caminiti, N. & Tambuteé,S. (2007): Observation of the tissue-skeleton interface in the scleractinian coral *Stylophora piscillata*. *Coral Reefs* **26**: 517-529.

Tanzil, J.T.I., Brown, B.E., Tudhope, A.V. & Dunne, R.P. (2009): Decline in skeletal growth of the coral *Porites lutea* from the Andaman Sea, South Thailand between 1984 and 2005. *Coral Reefs* **28**: 519-528.

Thurman, H.V. & Trujillo, A.P. (2002): *Oceánografie. Tajemný svět moří a oceánů*. Prentice– Hall, Inc., Computer Press. 479 s.

Veron, J.E.N. (2000): Corals of the World, vol. 3. Australian Institute of Marine Science, Townsville, 490 pp.

Wabnitz, C., Taylor, M., Green, E. & Razak, T. (2003): *From ocean to aquarium: the global trade in marine ornamental species*. UNEP-WCMC Biodiversity series, vol. 17. Cambridge, UK, 64pp.

Warner, M.E., Lajeunesse, T.C., Robinson, J.D. &Thur, R.M. (2006): The ecological distribution and comparative photobiology of symbiotic dinoflagellates from reef corals in Belize: potential implications for coral bleaching. *Limnol. Oceanogr.* **51**: 1887-1897.

Watanabe, T., Minagawa, M., Oba, T. & Winter, A. (2001): Pretreatment of coral aragonite for Mg and Sr analysis: Implications for coral thermometers. *Geochemical Journal* **35**: 265-269.

Yap, H.T. (2004): Differential survival of coral transplants on various substrates under elevated water temperatures. *Mar. Pollut. Bull.* **49**: 306-312.

Internetové zdroje:

Bartečka, I. (2003): *Rybkovi stránky o mořské akvaristice*. http://sweb.cz/akvarybka/technic_filtration.htm

Bingman, C. (1999): Biochemistry of aquaria: Magnesium-Part II. http://classic-web.archive.org/web/20001120114800/http://www.animalnetwork.com/fish2/aqfm/1999/apr/bio/default.asp

Floor, A.(2000): The chemici composition of seawater.. www.seafriends.org.nz/oceano/seawater.htm

Holmes-Farley, R. (2003): Aquarium Chemistry: Magnesium In Reef Aquaria. http://www.advancedaquarist.com/2003/10/chemistry

Holmes-Farley, R. (2003): Aquarium Chemistry: Strontium and Reef Aquarium. http://www.advancedaquarist.com/2003/11/chemistry

Holmes-Farley, R. (2002): Chemistry and the Aquarium: Calcium. http://www.advancedaquarist.com/2002/3/chemistry

Hovanec, T.A. & Coshland, J.L. (2004): Feature Article: A Chemical Analysis of Select Trace Elements in Synthetic Sea Salts and Natural Seawater. http://www.advancedaquarist.com/2004/9/aafeature

Marulla, M. & O'Toole, T. (2005): Feature Article: Inland Reef Aquaria Salt Study, Part I. http://www.advancedaquarist.com/2005/11/aafeature1#section-24

Marulla, M. & O'Toole, T. (2005): Feature Article: Inland Reef Aquaria Salt Study, Part II. http://www.advancedaquarist.com/2005/12/aafeature1

Miller, T. (1997): Captive reef propagation series. Part IV: Coral reef gardening – grow your own stony corals, live rock and live sand. http://webspace.webring.com/people/tu/um_1108/RaiseSimplySpeaking5_97.html

Sekha, H. (2003): Feature Article: Toxicity Of Trace Elements: Truth Or Myth?http://www.advancedaquarist.com/2003/5/aafeature

Shimek, R.L. (2002): It's (in) the water. Reefkeeping.com http://reefkeeping.com/issues/2003-04/rhf/feature/index.htm

Warrick, J. (2003): Advanced Beginnings: The Basics Of Filtration For The Reef Aquarium. http://www.advancedaquarist.com/2003/2/beginner

http://www.irz.cz/latky/celkovy_dusik

http://www.irz.cz/latky/celkovy_fosfor

http://www.power.hach.com/fmmimghach?/CODE%3AL82261055%7C1

http://www.hydrobiologie.upol.cz/.../05_metody_stanoveni_obsahu_kovu.pdf

http://cs.wikipedia.org/wiki/Mořská_voda

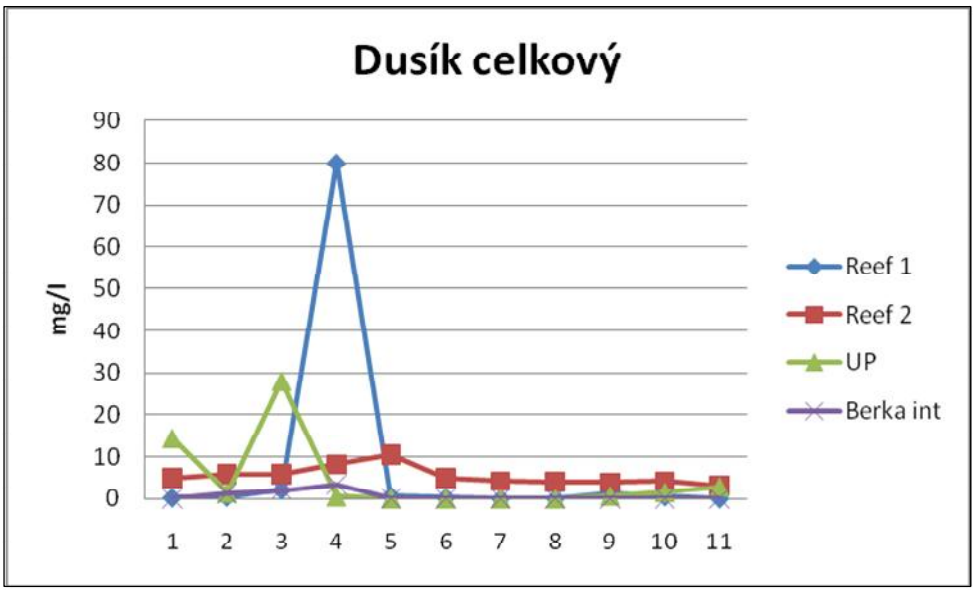
Přílohy

Příloha I. Srovnání časových řad metabolitů (N, P) v akváriích

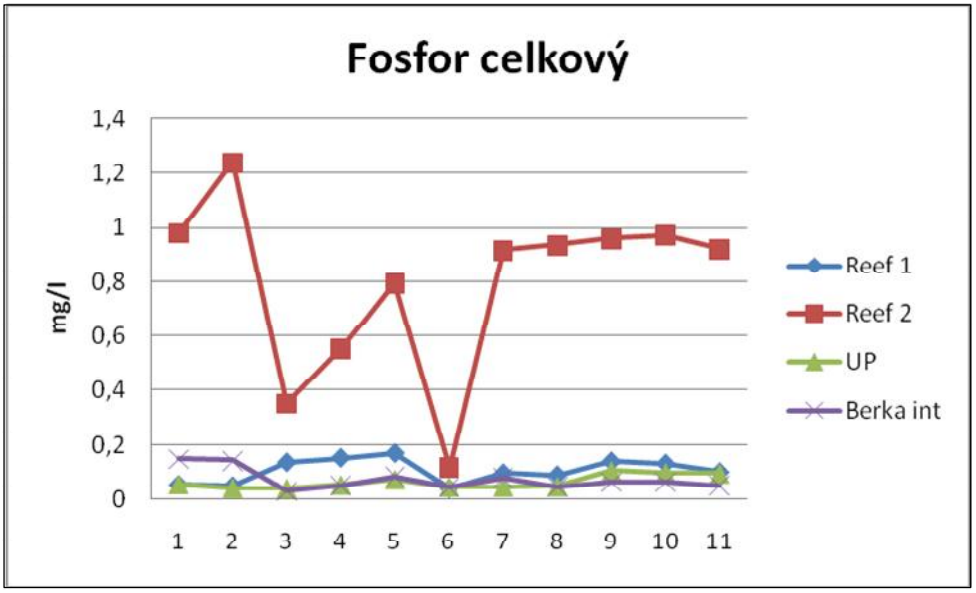
Příloha II. Fotodokumentace korálů

Příloha III. Akvárium číslo 5 – Přírodovědecká fakulta

Příloha I.Srovnání časových řad metabolitů (N, P) v akváriích



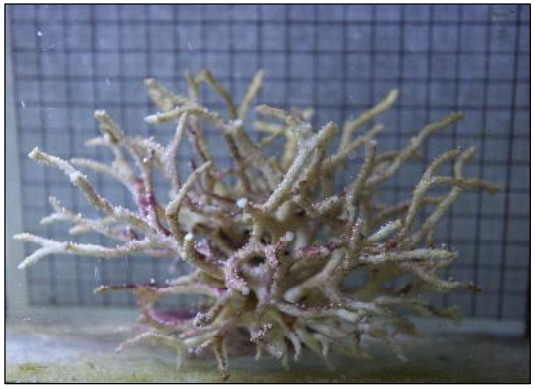
Graf 1 Srovnání časových řad obsahu celkového dusíku v akváriích za období 2007 - 2009



Graf 2 Srovnání časových řad obsahu celkového fosforu v akváriích za období 2007 - 2009

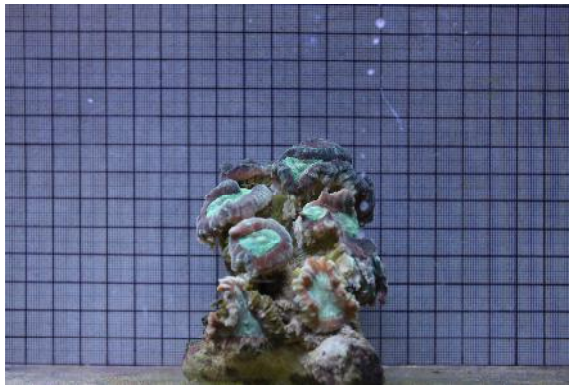
Příloha II.Fotodokumentace korálů

Obr. 1 *Pocillopora*, nádrž č. 4 začátek experimentu



Obr. 2 *Pocillopora*, nádrž č. 4 konec experimentu

Obr. 3 *Caulastrea* nádrž č. 5 začátek experimentu



Obr. 4 *Caulastrea* nádrž č. 5 konec experimentu

Obr. 5 *Caulastrea* nádrž č. 4 začátek experimentu

Obr. 6 *Caulastrea* nádrž č. 4 konec experimentu

Příloha III. Akvárium číslo 5 – Přírodovědecká fakulta

Obr. 8 Celkový pohled na akvárium č. 5

Obr. 9 Bodlok (*Naso ep)*