



**MASARYKOVA  
UNIVERZITA  
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA  
ÚSTAV BOTANIKY A ZOOLOGIE**

---



**SLADKOVODNÍ AKVÁRIUM  
JAKO UŽITEČNÁ UČEBNÍ  
POMŮCKA**

Bakalářská práce

**Karolína Šebová**

Vedoucí práce: doc. RNDr. Michal Horsák, Ph.D.

Brno 2015

## Bibliografický záznam

<b>Autor:</b>	Karolína Šebová Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita Ústav botaniky a zoologie
<b>Název práce:</b>	Sladkovodní akvárium jako užitečná učební pomůcka
<b>Studijní program:</b>	Chemie
<b>Studijní obor:</b>	Chemie se zaměřením na vzdělávání Biologie se zaměřením na vzdělávání
<b>Vedoucí práce:</b>	doc. RNDr. Michal Horský, Ph.D.
<b>Akademický rok:</b>	2014/2015
<b>Počet stran:</b>	54 + 10
<b>Klíčová slova:</b>	akvariální organismy; akvárium; cyklus dusíku; nitrifikace; pracovní listy; sladkovodní krevety; výuka

## Bibliographic Entry

**Author** Karolína Šebová  
Faculty of Science, Masaryk University  
Department of Botany and Zoology

**Title of Thesis:** Freshwater aquarium as a useful didactic aid

**Degree Programme:** Chemistry

**Field of Study:** Chemistry with a view to Education  
Biology with a view to Education

**Supervisor:** doc. RNDr. Michal Horsák, Ph.D.

**Academic Year:** 2014/2015

**Number of Pages:** 54 + 10

**Keywords:** aquarium; aquarium organisms; freshwater shrimp; nitrification; nitrogen cycle; teaching; worksheets

## **Abstrakt**

Práce se zabývá využitím sladkovodního akvária jako učební pomůcky. Akvárium je uměle vytvořený ekosystém, nicméně v něm dochází ke koloběhu prvků i toku energie a lze jej využít k vysvětlení a praktické demonstraci různých jevů a procesů z oborů biologie, chemie a fyziky. Je tedy také vhodnou pomůckou pro demonstraci mezioborových vztahů, mimo jiné také proto, že se jedná o cenově dostupnou mnohostrannou pomůcku. Ta může studentům lépe přiblížit přírodní vědy a také ukázat, že vyučovaná témata se zabývají existujícími ději v přírodě. V rámci práce byl také sledován nitrifikační proces v čerstvě založených akváriích. Vztah mezi objemem nádoby a časovým intervalem, během něhož dojde k ustálení metabolismu dusíkatých látek, nebyl potvrzen.

## **Abstract**

This thesis studies the use of freshwater aquarium as a didactic aid. An aquarium is an artificially created ecosystem, in which however, element cycles and flow of energy occur. It is therefore possible to use it for an explanation and demonstration of different phenomena in domains of biology, chemistry and physics. An aquarium is also convenient aid for a demonstration of interdisciplinary relations, because it is easily available and versatile, besides other reasons. This aid can make students relate to natural sciences and it can also show that the phenomena explained occur in nature. This thesis also studies a nitrification process occurring in freshly set up tanks. Relation between a volume of a tank and an interval, in which nitrogen metabolism stabilizes, was not conclusively proven.



**Masarykova univerzita**

**Přírodovědecká fakulta**



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student:** Karolína Šebová  
**Studijní program:** Chemie  
**Studijní obor:** Chemie se zaměřením na vzdělávání  
Biologie se zaměřením na vzdělávání

Ředitel Ústavu botaniky a zoologie PřF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje bakalářskou práci s tématem:

**Sladkovodní akvárium jako užitečná učební pomůcka**  
**Freshwater aquarium as a useful didactic aid**

### Oficiální zadání:

Sladkovodní akvárium je umělý ekosystém, jehož biocenóza byla uměle dodána a sestavena člověkem. Nicméně v něm dochází ke koloběhu prvků i toku energie, a lze jej využít k vysvětlení a praktické demonstraci různých jevů a procesů z oborů biologie, chemie a fyziky. Je tedy také vhodnou pomůckou pro demonstraci mezioborových vztahů, mimo jiné také proto, že se jedná o cenově dostupnou mnohostrannou pomůcku. Ta může studentům lépe přiblížit přírodní vědy a také ukázat, že vyučovaná témata se zabývají existujícími ději v přírodě.

Ve své bakalářské práci bych se chtěla věnovat využití akvária při výuce na střední škole. Práce bude obsahovat návod na založení akvária, přehled témat, která se dají s použitím akvária vysvětlit či demonstrovat, a pracovní listy s úlohami a otázkami pro procvičení problematiky se studenty. Práce bude obsahovat i vyhodnocení měření změn koncentrací dusíkatých látek v nově založených akváriích v závislosti na objemu nádoby.

### Cíle práce:

- 1) Pomocí rešerše odborné literatury popsat základní principy a procesy související s vytvářením a udržováním akvariálních ekosystémů.
- 2) V rozsahu obvyklém pro látku vyučovanou na středních školách popsat témata oborů biologie, chemie a fyziky, která se dají vysvětlit či demonstrovat za pomoci akvária.
- 3) Vytvořit pomocné učební texty pro učitele a pracovní listy s otázkami a úlohami pro studenty.
- 4) Sepsat stručný a přehledný návod k založení a údržbě akvária, včetně popisů a řešení možných problémů.

5) Pomocí experimentu se třemi akvárii různé velikosti vyhodnotit vztah mezi objemem nádoby a dobou potřebnou k ustálení metabolismu dusíkatých látek.

**Seznam odborné literatury:**

- HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. české vyd., 2. dotisk. Překlad Jan Obdržálek, Bohumila Lencová, Petr Dub. Brno: Prometheus, 2006. ISBN 80-214-1868-0.
- KALINA, Tomáš a Jirí VÁŇA. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2005, 606 s., 32 s. obr. příl. ISBN 978-802-4610-368.
- LELLÁK, Jan a František KUBÍČEK. *Hydrobiologie*. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova, 1992, 257 s. ISBN 80-706-6530-0.
- PETROVICKÝ, Ivan. *Akvaristická příručka*. 4. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1983. ISBN 07-119-83.
- PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. vyd. Praha: VŠCHT, 2009, viii, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
- TOWNSEND, Colin R, Michael BEGON a John L HARPER. *Základy ekologie*. 1. české vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010, xii, 505 s. ISBN 978-802-4424-781.

**Jazyk závěrečné práce:** český

**Vedoucí bakalářské práce:** doc. RNDr. Michal Horsák, Ph.D.

**Podpis vedoucího práce:**

**Datum zadání bakalářské práce:** 12. 11. 2014

V Brně dne 13 - 11 - 2014

MASARYKOVA UNIVERZITA  
Přírodovědecká fakulta  
4020 ÚSTAV BOTANIKY A ZOOLOGIE  
602 00 Brno, Kdtilská 2

doc. RNDr. Jan Helešic, Ph.D.  
ředitel Ústavu botaniky a zoologie

Zadání bakalářské práce převzal dne: 13 - 11 - 2014

Podpis studenta

## Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat Michalu Horsákovi za vstřícné přijetí, přátelský přístup, pohotové připomínky a za svobodu, kterou mi při tvorbě mé práce věnoval. Dále bych chtěla poděkovat Marcele Růžičkové a Michalu Pavoničovi za pomoc s organizací experimentu a za uvedení do praktického laboratorního prostředí. Děkuji i Petru Křivánkovi za jeho praktické typografické rady a povzbuzování během semestru. Velký dík patří také Petru Havlínovi za jeho trpělivost při opravování práce a neutuchající podporu během celého mého studia.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracovala samostatně s využitím informačních zdrojů, které jsou v práci citovány.

Brno 20. dubna 2015

.....

Karolína Šebová



# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Akvárium jako ekosystém .....</b>	<b>12</b>
2.1 Biotop.....	12
2.1.1 Nádoba, osvětlení a filtrace.....	12
2.1.2 Substrát.....	13
2.1.3 Voda.....	13
2.2 Biocenóza.....	16
2.2.1 Prokaryontní organismy .....	16
2.2.2 Řasy.....	18
2.2.3 Akvarijní rostliny .....	19
2.2.4 Bezobratlí živočichové.....	21
2.2.5 Obratlovci – ryby .....	24
2.3 Koloběh živin.....	25
2.3.1 Koloběh uhlíku.....	25
2.3.2 Koloběh dusíku .....	26
2.4 Tok energie .....	27
2.4.1 Primární produkce.....	27
2.4.2 Sekundární producenti .....	28
2.4.3 Rozkladné procesy .....	28
2.5 Stabilita systému .....	28
<b>3. Akvárium jako učební pomůcka.....</b>	<b>30</b>
3.1 Zařízení akvária.....	30
3.1.1 Témata vhodná pro kapitolu 3.1.....	31
3.2 Založení akvária.....	31
3.2.1 Témata vhodná pro kapitolu 3.2.....	32

3.3 Rostliny, řasy a sinice .....	32
3.3.1 Témata vhodná pro kapitolu 3.3.....	33
3.4 Živočichové.....	33
3.4.1 Témata vhodná pro kapitolu 3.4.....	34
3.5 Údržba akvária .....	34
<b>4. Experimentální zjištění rychlosti stabilizace metabolismu dusíku v systému .....</b>	<b>36</b>
4.1 Cíl.....	36
4.2 Metodika .....	36
4.2.1 Vybavení .....	36
4.2.2 Založení.....	36
4.2.3 Průběh .....	37
4.2.4 Sběr a zpracování vzorků .....	37
4.3 Výsledky .....	38
4.3.1 Amonné ionty.....	38
4.3.2 Dusitany .....	40
4.3.3 Dusičnany.....	42
4.3.4 Teplota a pH.....	45
4.4 Diskuze.....	47
<b>5. Závěr .....</b>	<b>50</b>
<b>6. Seznam literatury .....</b>	<b>51</b>
<b>7. Přílohy .....</b>	<b>55</b>

# 1. Úvod

Sladkovodní akvárium je umělý ekosystém, jehož biocenóza byla uměle dodána a sestavena člověkem. Nicméně v něm dochází ke koloběhu prvků i toku energie a lze jej využít k vysvětlení a praktické demonstraci různých jevů a procesů z oboru biologie, chemie i fyziky.

V této práci představím sladkovodní akvárium jako užitečnou učební pomůcku, pomocí které lze demonstrovat mezioborové vztahy. Kromě toho má akvárium dekorativní funkci, může studentům zajímavým způsobem přiblížit středoškolské učivo a případně zlepšit vztah k přírodě a přírodním vědám. Vzhledem k malé finanční a materiálové náročnosti se v práci věnuji malým sladkovodním nádržím do objemu 50 l. Bakalářská práce je členěna do tří částí.

V první, rešeršní části se věnuji akváriu jako ekosystému a jeho základním součástem, rostlinám a živočichům, se kterými se v souvislosti s akvaristikou můžeme nejčastěji setkat. Cílem této rešeršní části je shrnutí obecných poznatků hydrobiologie, pomocí kterých popisují základní principy a procesy související s vytvářením a udržováním akvariálních ekosystémů. Tato část práce je také zamýšlena jako průvodní text pro učitele, kteří nejsou s akvaristikou obeznámeni. Taxonomie sinic a řas, která byla v této části použita, byla čerpána z Kalina & Váňa (2005). Taxonomie bezobratlých a obratlovců byla použita podle Behrendt & Lukhaup (2011), Lukhaup & Pekny (2008) a Schliewen (2012).

Druhá část se zabývá akváriem jako učební pomůckou. V této části jsou vyjmenovaná středoškolská témata z oblasti biologie, chemie a fyziky, které lze na akváriu vysvětlit a demonstrovat. Kapitola chronologicky postupuje od zařízení a založení akvária přes výběr vhodných rostlin a živočichů až po doporučení pro udržení stabilního prostředí akvária. Cílem této části bylo sepsat krátký návod na založení a údržbu akvária, včetně postupů a řešení možných problémů. Dalším cílem bylo popsat témata oborů biologie, chemie a fyziky, která lze pomocí akvária prezentovat a vytvořit pomocné pracovní listy s otázkami a úlohami pro studenty, pomocí kterých by šlo ověřit nabyté znalosti studentů. Ilustrace obsažené v pracovních listech jsem vytvořila sama v programu Macromedia Flash. Podkladem pro ilustrace byly mé vlastní fotografie či ilustrace z laboratorních protokolů z mého studia na VŠ. K sestavení témat jsem použila publikace Halliday *et al.* (2006), Honza & Mareček (2005), Jelínek & Zicháček (2005), Rosypal *et al.* (2003), Svoboda *et al.* (2006) a Vacík *et al.* (1999).

Třetí část práce je věnována pokusu, jehož cílem bylo sledovat průběh nitrifikace a zjistit, zda je doba, za kterou se v nádrži ustálí metabolismus dusíkatých látek, závislá na objemu nádoby. Naměřená data byla zpracována v programu MS Excel.

## 2. Akvárium jako ekosystém

Termín ekosystém se používá k označení biologického společenstva spolu s abiotickým prostředím, ve kterém dochází k výměně energie a hmoty (Townsend *et al.* 2010). Můžeme tedy akvárium označit jako ekosystém? Abiotické prostředí (biotop) akvária standardně tvoří substrát, voda, filtrační jednotka a osvětlení. Biologické společenstvo (biocenóza) akvária sestává z prokaryontních organismů, mikro- a makrofauny, vodních rostlin, řas a sinic. Dochází v něm k toku energie i koloběhu látek. Jedná se tedy o ekosystém, i když uměle vytvořený. Je na rozhodnutí učitele, jestli se rozhodne využít biotop typický pro určitou oblast (např. jezero Malawi, řeka Rio Negro, nebo český potok) nebo bude složky biotopu a biocenózy volit dle dostupnosti a kombinovatelnosti.

### 2.1 Biotop

#### 2.1.1 Nádoba, osvětlení a filtrace

Akvária jsou nádoby typicky tvaru kvádrů ze skleněných tabulí slepených silikonem. Silikon neovlivňuje chemismus vody, navíc akvárium s lepenými spoji je pružnější než akvárium z litého skla a je u něj nižší pravděpodobnost prasknutí. Číré skleněné stěny umožňují přístup světla i tepla. Nad hladinou je možné mít i tzv. krycí sklo, které zabraňuje kontaktu vody s technikou a úniku živočichů.

Osvětlení akvária je (kromě denního světla) realizováno prostřednictvím světelných zdrojů umístěných nad hladinou. Jako světelné zdroje je možné použít zářivky, halogenové výbojky nebo LED diody. Světelných zdrojů je nepřeborné množství, proto je třeba ještě před sestavením akvária vědět, jaké rostliny v něm budeme pěstovat, protože druhy se mohou odlišovat optimem pro teplotu světla. Barevná teplota je udávána v Kelvinech. Pro akvária jsou nejvhodnější zdroje s teplotou v intervalu 4000–6000 K (Schliewen 2012). Intenzita osvětlení by měla odpovídat plánovanému osázení rostlinami.

Filtrační jednotka sestává ze dvou částí – z filtrační hmoty a čerpadla, které nasává vodu přes filtrační hmotu. Filtrační hmota by měla být chemicky inertní a porézní, aby poskytovala velký povrch pro růst nitrifikačních bakterií. Neměla by být příliš hrubá, aby jí neprošli mladí plži nebo krevety a naopak by neměla být příliš jemná, aby se nezahlcovala částicemi detritu. V českých akvaristikách se běžně prodává vhodná filtrační hmota jako tzv. „bioakvacit“. Do malých nádrží je vhodný plošný filtr s rotačním čerpadlem, nebo rohový filtr (Schliewen 2012).

## 2.1.2 Substrát

Substrát ovlivňuje pochody v akváriu svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Rostliny se v substrátu uchycují kořeny, živočichové v něm hledají potravu a úkryt, tvoří také významný povrch pro růst mikroorganismů. Nejvhodnější je substrát, který neovlivní chemismus vody, tzn., že neobsahuje žádné ve vodě rozpustné sloučeniny. Často používaný je křemičitý písek přírodní nebo tmavší barvy obarvený pryskyřicí (která zároveň ohlazuje hrany). Jak přírodní, tak dobarvený křemičitý písek je inertní a barevně podobný přirozenému substrátu dna. Naprosto nevhodný je např. bílý vápenatý (mramorový) štěrk, který má ostré hrany, jasně bílou barvu, která odráží velké množství světla a navíc zvyšuje koncentraci hydrogenuhličitanu vápenatého ve vodě a tím i její tvrdost. Do malých nádrží je vhodný písek o menší zrnitosti 1–3 mm (Schliewen 2012). Zakládat akvárium s použitím hlíny nebo substrátu dna určitého ekosystému je možné, nicméně pro vysoký obsah kalu, humusu a nežádoucích organismů je použitelný zejména pro rostlinná akvária (Walstad 2012).

## 2.1.3 Voda

### 2.1.3.1 Struktura

Molekula vody sestává z dvou atomů vodíku vázaných na jeden atom kyslíku. V přírodě zcela převládá voda složená z izotopů  $^1\text{H}$  a  $^{16}\text{O}$  (Pitter 2009). Atom kyslíku je v hybridizovaném stavu  $sp^3$ , dva z těchto orbitalů jsou obsazeny volnými elektronovými páry, zbývající dva orbitály se podílejí na vazbě s vodíky. Molekula vody tedy není lineární, což v kombinaci s rozdílnou elektronegativitou kyslíku a vodíku vytváří dipólový moment (McMurry 2007). Polární charakter molekul vody určuje jejich interakci s polárními sloučeninami. Další charakteristickou vlastností molekul vody je jejich schopnost tvořit vodíkové můstky, tj. nevazebné interakce mezi vodíkem a volnými elektronovými páry kyslíku jiné molekuly. Vodíkové můstky způsobují soudržnost molekul, jejich řetězení a shlukování do klastrů (Pitter 2009).

### 2.1.3.2 Hustota, viskozita

Hustota vody je závislá na množství rozpuštěných látek, na teplotě a tlaku. Se zvyšujícím se obsahem rozpuštěných látek hustota vody stoupá téměř lineárně. Hustota sladkých vod je výrazně ovlivňována teplotou, přičemž ale se stoupající teplotou vody změny její hustoty neprobíhají lineárně. Například mezi 24 a 25 °C je rozdíl v hustotě třicetkrát větší než mezi 4 a 5 °C. Změny hustoty ve vodních nádržích ovlivňují jejich stratifikaci a koloběh živin (Lellák & Kubíček 1992).

Viskozita neboli vnitřní tření charakterizuje odpor, který klade voda vlastnímu pohybu. Viskozita vody je asi stokrát větší než viskozita vzduchu a je závislá na teplotě. Výrazně tak ovlivňuje plovoucí a vznášející se organismy, jelikož v teplejší vodě se organismus pohybuje s menším výdejem energie, ale také klesá ke dnu podstatně rychleji (Lellák & Kubíček 1992). Následkem viskozity je také laminární proudění, což je pohyb molekul vody po lineárních trajektoriích. S vyšší rychlostí v momentě, kdy je setrvačnost vyšší než mezimolekulové síly, laminární proudění přechází na turbulentní, kde jsou trajektorie pohybu molekul různě zakřivené. Typ proudění ovlivňuje distribuci tepla, živin a pohyb organismů ve vodní nádrži (Lampert & Sommer 1997).

#### 2.1.3.3 Adheze, koheze, povrchové napětí

Adheze označuje přilnavost molekul vody vůči pevným povrchům, koheze označuje soudržnost molekul vody. Povrch, vůči němuž je adheze větší než koheze, nazýváme hydrofilní. Pokud je koheze molekul větší než adheze k určitému povrchu, nazýváme tento povrch hydrofobní (Lampert & Sommer 1997). Hypopneustičtí živočichové mají hydrofilní žábry nebo i celý povrch těla, např. vodní korýši, larvy hmyzu, žahavci, hlísti a ploštěnci (Lellák & Kubíček 1992).

Povrchové napětí vzniká na rozhraní mezi kapalným a plynným prostředím díky zvýšené soudržnosti molekul vody. Je závislé na teplotě a obsahu rozpuštěných látek (např. huminové látky snižují povrchové napětí). Díky povrchovému napětí se řada organismů adaptovala pro život na hladině. Takové organismy označujeme jako neustonní (Lellák & Kubíček 1992).

#### 2.1.3.4 Konduktivita, redoxní potenciál

Elektrickou konduktivitu (vodivost) vody způsobují rozpuštěné minerální látky disociované na nabitě částice. Vodivost vody je úměrná koncentraci nabitých částic, ale neurčuje původ ani druh rozpuštěných látek. Destilovaná voda má vodivost téměř nulovou (Lellák & Kubíček 1992).

Redoxní potenciál označuje napětí elektrody ponořené do vody obsahující látky v redukované nebo oxidované formě. Redoxní potenciál je závislý na pH a koncentraci rozpuštěného kyslíku. Hodnota redoxního potenciálu může napovědět, k jakým pochodům ve vodě dochází. Obvyklý rozsah redoxního potenciálu ve vodě je -500 mV až +500 mV, přičemž aerobním podmínkám odpovídají pozitivní hodnoty, anaerobním podmínkám odpovídají negativní hodnoty potenciálu (Pitter 2009).

### 2.1.3.5 pH

Vztah mezi pH a chemickými reakcemi ve vodě je poměrně složitý. Změna koncentrace různých látek může ovlivnit pH, změna pH může ovlivnit chemické rovnováhy a enzymatické procesy. V přirozených vodách je reakce vody (pH) určována rovnovážnými stavy mezi kyselinou uhličitou, jejími solemi, oxidem uhličitým a hydrogenuhličitany. Změna koncentrace jednoho z těchto iontů má za následek změnu koncentrace druhého. Pro vyjádření pH používáme vztah  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ , neboli záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových protonů (v  $\text{mol l}^{-1}$ ). V čisté vodě je disociováno  $10^{-7} \text{ mol l}^{-1}$  protonů, pH čisté vody je tedy 7. Jestliže obsah protonů vzroste, pH se sníží a reakce je kyselá. Pokud koncentrace protonů klesne, pH se zvýší a reakce je zásaditá.

Přirozené vody jsou roztoky mnoha látek o různých koncentracích. Vody rašelinné s vysokým obsahem huminových kyselin mohou mít pH až 3, vody s vysokým obsahem uhličitánů a vegetace mohou dosáhnout pH až 10. Intenzivní fotosyntéza společně se spotřebou  $\text{CO}_2$  rozpuštěného ve vodě může mít za důsledek zvýšení pH až na hodnotu 11. Někteří živočichové, které označujeme jako euryiontní, snášejí široké rozpětí pH vody. Naopak živočichové, označované jako stenoiontní, jsou schopni žít pouze v prostředí s určitou hodnotou pH.

### 2.1.3.6 Voda jako rozpouštědlo

Díky polárnímu charakteru svých molekul má voda schopnost disociovat polární vazby, což z ní dělá výborné rozpouštědlo. Pro vodní organismy je schopnost rozpouštění látek a plynů ve vodě jedním z důležitých faktorů jejich životního prostředí.

Plyny se do vody dostávají z atmosférického vzduchu nebo jako produkt organismů ve vodě. Z atmosféry se do vody dostává zejména kyslík, dusík a oxid uhličitý, přičemž kyslík je také produktem fotosyntézy vodních rostlin, dusík je produktem činnosti bakterií a oxid uhličitý je produktem respirace. Další plynné látky jako je sulfan či methan jsou produkty bakteriálního metabolismu (Lampert & Sommer 1997). Koncentrace těchto plynů závisí na teplotě, tlaku a dalších faktorech.

Z nabitých částic rozpuštěných látek jsou nejvíce zastoupené uhličitany a hydrogenuhličitany. Následují méně zastoupené sírany, chloridy a dusičnany. Z kationtů jsou ve vodě nejčastěji přítomné kationty vápenaté, hořečnaté, sodné a draselné. Další částice (např. železnaté kationty, fosfátové anionty) mají podstatně nižší koncentrace a mohou být limitujícím faktorem pro růst některých organismů (Lampert & Sommer 1997).

Kromě anorganických látek mohou být ve vodě obsaženy i látky organické, avšak pouze polárního charakteru, např. látky huminové, což jsou vysokomolekulární cyklické, převážně aromatické sloučeniny (Pitter 2009).

## 2.2 Biocenóza

### 2.2.1 Prokaryontní organismy

#### 2.2.1.1 Sinice

Sinice řadíme do oddělení Cyanobacteria (syn. Cyanophyta, Cyanoprokaryota), říše Bacteria. Jedná se tedy o prokaryontní autotrofní organismy se schopností fotosyntézy, při které vzniká kyslík. Mají jednobuněčné nebo vláknité stélky, jsou rozšířené všeobecně jak ve vodním prostředí, tak i v půdě či biotopech s extrémními podmínkami, jako je salinita, pH a teplota (Kalina & Váňa 2005).

Jejich fotosyntetický aparát sestává z tylakoidů a fykobilizomů. Jako fotosyntetické pigmenty sinice využívají v různém zastoupení chlorofyl *a*, *b*, *c*, *d*, dále modré fykobiliproteiny allofykocyanin, fykocyanin a červený fykoerytrin. Pro sinice je typická reakce na změnu spektrálního složení světla, tzv. chromatická adaptace. Sinice mají schopnost fixovat plynný dusík a pomocí nitrogenázy jej přeměňovat na amonné sloučeniny. Fixace probíhá v heterocytech, což jsou specializované snadno rozpoznatelné buňky bezbarvého obsahu s tlustou buněčnou stěnou. Mnohé sinice produkují biologicky aktivní sekundární metabolity, tzv. cyanotoxiny. Tyto látky jsou jedovatější než rostlinné alkaloidy např. kurare či strychnin. Požitím kontaminované vody může dojít k otravě, kontakt s kůží vyvolává alergie (Kalina & Váňa 2005).

Výskytu buněk sinic v akváriu nelze zabránit a jejich samotná přítomnost ničemu nevadí. Problematické je jejich přemnožení, které nastává při vysokém nárůstu koncentrací sloučenin dusíku a fosforu (tzv. eutrofizaci) a zároveň silnému osvětlení (Schliewen 2012). V akváriích se nejčastěji vyskytují drkalky - rod *Oscillatoria*. Sinice vytváří rychle rostoucí slizovité povlaky modrozeleného zbarvení a nevábného zápachu. Povolávají celá těla rostlin, substrát, techniku i sklo akvária. Rostlinám znemožňují asimilaci a produkují cyanotoxiny, jejich přemnožení v akváriu je tedy velice nežádoucí a svědčí o nezdravých podmínkách pro živočichy a o nestabilitě systému (Sadílek 1965).

#### 2.2.1.2 Nitrifikační bakterie

Nitrifikační bakterie patří do skupiny chemoautotrofních bakterií, tedy těch, jež jsou schopné oxidovat anorganické látky se ziskem chemické energie (Dobiáš *et al.* 2003). Bakterie oxidující amonné ionty na dusitany označujeme jako nitrifikační. Patří mezi ně rody *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus* a *Nitrosolobus*. Bakterie oxidující dusitany na dusičnany nazýváme nitratační a patří mezi ně rody *Nitrobacter*, *Nitrospira* a *Nitrococcus* (Kopřivík 1982).



Tyto organismy jsou obligátně aerobní, ke své existenci tudíž potřebují kyslík (Dobiáš *et al.* 2003). Jako zdroj uhlíku využívají CO<sub>2</sub>, jsou tedy také autotrofní (Klaban 2001). Nitrifikační bakterie jsou gramnegativní tyčinky, koky nebo spirochéty netvořící endospory, některé jsou bičíkaté. Jejich výskyt v nádrži je ukazatelem fungujícího procesu samočištění (Kopřivík 1982). Kromě sladkovodních biotopů osidlují také brakické a mořské vody, půdy, skály a místa, kde se nachází mineralizovaný organický materiál (Dobiáš *et al.* 2003). V akváriu jsou součástí biofilmu, který sestává z bakterií, řas a prvoků a který pokrývá plochy v akváriu – substrát, filtrační médium, rostliny, dekorace (Walstad 2012).

### 2.2.1.3 Aerobní a anaerobní heterotrofní bakterie

Stejně jako nitrifikační bakterie i tyto bakterie jsou součástí biofilmu. Pro naše účely postačí jejich rozdělení dle zdroje uhlíku a typu finálního příjemce elektronu v průběhu metabolismu. Bakterie pro syntézu svých organických látek využívají buď uhlík anorganického původu (autotrofní) nebo organického původu (heterotrofní). Všechny typy metabolismů (cukrů, tuků i bílkovin) na molekulární úrovni produkují elektrony. Tyto elektrony se navazují na finálního příjemce – akceptora. Eukaryotní organismy, chemoautotrofní bakterie a část heterotrofních bakterií využívají jako akceptora kyslík – nazýváme je aerobní. Organismy, které jako akceptora mohou nebo musí využít jinou částici, např. síranový anion, označujeme jako anaerobní (Votava 2005).

Rozkladné heterotrofní bakterie v akváriích rozkládají odumřelé zbytky krmiv, rostlin, živočichů a dalších organismů obsahující proteiny, sacharidy a lipidy na jednodušší sloučeniny amoniaku, fosfátů a sulfidů za tvorby CO<sub>2</sub>. Kromě těchto látek, k jejichž rozkladu dojde během několika hodin až dní, tyto bakterie také rozkládají i složitější organické látky, např. lignin a huminy, jejichž degradace je mnohem časově náročnější (Pitter 2009). Aerobní rozklad je mnohonásobně rychlejší než anaerobní, tudíž podpoření fotosyntézy a čerení hladiny může pozitivně stimulovat aerobní rozkladné procesy.

Rozklad organických látek aerobními bakteriemi vytváří oxid uhličitý, anaerobní bakterie produkují metan a sulfan. Jelikož anaerobní bakterie rostou v místech s nízkou koncentrací kyslíku, není překvapením, že se nachází převážně mezi částicemi substrátu pod povrchem. Methan a sulfan jsou jedovaté plyny, které mohou vytvářet plynové kapsy v substrátu. Tyto kapsy se mohou uvolnit a promíchat substrát, čímž dojde k okysličení prostředí a inhibici činnosti anaerobních bakterií. Nicméně sulfan i methan jsou oxidovány dalšími aerobními typy bakterií na hydrogensíranu a oxid uhličitý, který rostlinám neškodí a naopak se jedná o zdroj živin – tento proces lze také pozitivně stimulovat podpořením fotosyntézy a čerením hladiny. Anaerobní bakterie mohou působit jako škodlivý faktor v akváriu, nicméně mají také prospěš-

nou funkci – jako příjemce elektronu můžou sloužit atomy manganu a železa v nerozpustných sloučeninách. Redukované kationty jsou již rozpustné ve vodě a mohou být vstřebány kořeny rostlin (Walstad 2012).

### 2.2.2 Řasy

Řasy jsou součástí biofilmu a jsou potravou nebo vítaným zpestřením potravy mnoha živočichů. Jejich přemnožení je ale nežádoucí, a to nejen z estetického hlediska. Jelikož při pokryvu povrchu těla rostlin brání asimilačním procesům, můžou způsobit odumírání rostlin. Řasy s vláknitými stélkami mohou ucpávat techniku nebo znemožňovat volný pohyb rybám. K jejich přemnožení dochází při eutrofizaci vody a tento jev svědčí o nerovnováze v systému akvária (Sadílek 1965).

Řasy mají stejně jako vyšší rostliny schopnost fotosyntézy a spotřebovávají z vody sloučeniny dusíku a fosforu (Pouličková 2011).

#### 2.2.2.1 Rozsivky, „Hnědé řasy“

Označení rozsivky používáme pro třídu Bacillariophyceae (syn. Diatomeae, Diatomophyceae), která je řazena v oddělení Heterokontophyta (syn. Heterokonta, Chromophyta, Ochrophyta), říše Chromista (syn. Stramenopila, Straminipila). Jejich lidové označení „hnědé řasy“ je nepřesné, jelikož název hnědé řasy náleží třídě Fucophyceae (syn. Phaeophyceae) stejného oddělení.

Rozsivky jsou jednobuněčné řasy, jejichž buňka je uzavřena do křemičité frustuly. Jsou to jediné eukaryotní organismy závislé na dostupnosti sloučenin křemíku. Křemičité sloučeniny jsou většinou nerozpustné, nicméně při pH 8 se ve vodě vyskytuje kyselina křemičitá. Chloroplasty obsahují chlorofyl *a+c*,  $\beta$ -karoten a xantofyly fukoxantin, diatoxantin a diadinoxantin (Kalina & Váňa 2005).

Rozsivky se vyskytují většinou v přítmí, v akváriu se tedy vyskytují na méně osvětlených místech, kde vytvářejí povlak hnědé barvy. Z mnoha druhů se v akváriích nejčastěji vyskytují rozsivky rodů *Tabellaria*, *Fragilaria*, *Asterionella* a mnohé další. Přemnožení rozsivek může být důsledkem znečištění vody odpadními látkami, slabým osvětlením a snížením tvrdosti vody (Sadílek 1965).

#### 2.2.2.1 Zelené řasy

Zelené řasy je český název oddělení Chlorophyta, patřící do říše Rostliny – Plantae. Jedná se o velice rozsáhlou skupinu, u které lze najít téměř všechny typy stélek (Kalina & Váňa 2005).

Všechny zelené řasy obsahují chlorofyl *a+b*, některé i chlorofyl *c*. Důležitou složkou je  $\beta$ -karoten a xantofyly lutein, zeaxantin, violaxantin, anteraxantin a neoxantin. Zelené řasy se rozmnožují pohlavně i nepohlavně (Kalina & Váňa 2005).

V akváriích se vyskytují ve formě biofilmu nebo vytváří husté vláknité porosty. Zelené zbarvení vody způsobují řasy rodu *Pediastrum* a *Scenedesmus*. Tohoto zbarvení se lze zbavit filtrací nebo nasazením perlooček. Slizové povlaky tvoří nejčastěji řasy rodu *Chlamydomonas*. Tyto povlaky živočichové rádi ožirají a lze je snadno oškrábat. V přesvětleném akváriu se můžou začít objevovat husté, obtížně odstranitelné vláknité povlaky řasy rodu *Oedogonium*. Intenzivně osvětlené nádrže mohou také poskytnout prostor pro růst vláknitých řas rodu *Vaucheria* a *Cladophora*. Pro jemnolisté rostliny jsou škodlivé porosty dlouhých vláknitých chomáčů šroubatek (rod *Spirogyra*).

Výskyt zelených řas je ukazatelem příliš silného osvětlení. Pro potlačení jejich růstu je třeba snížit osvětlení a podpořit jejich konzumaci řasožravými živočichy (Sadílek 1965).

Výjimkou je řasokoule zelená, *Cladophora aegagrophila*. Tato zajímavá řasa vytváří kulovité útvary z pevně srostlých vláken, které jsou vyhledávaným dekoračním prvkem a častým artiklem v nabídce akvaristik (Schliewen 2012). Řasokoule vytváří ve švédských jezerech a klidných zátokách Adriatického moře koule dosahující velikosti lidské hlavy (Kalina & Váňa 2005).

### 2.2.3 Akvarijní rostliny

Jsou to fotoautotrofní organismy vázané na vodní prostředí buď zcela, nebo alespoň v některé růstové fázi (Vaněk & Stodola 1987). Vodní rostliny můžeme rozlišit podle polohy fotosyntetizujících orgánů na hydrofyty – přímo vodní rostliny a helofyty – bažinaté rostliny. Mezi hydrofyty patří rostliny submerzní (ponořené), s orgány zcela ponořenými pod vodní hladinou, a rostliny natantní (vzplývavé), jejichž orgány leží na hladině. Do skupiny holofytů řadíme rostliny emerzní, které mají fotosyntetizující orgány na vzduchu (Zahrádková 2014).

Anatomie vodních rostlin má svá specifika. Submerzní rostliny mají tenkostěnné epidermální buňky, které nejsou kryté kutikulou, což usnadňuje výměnu látek a minerálních živin, které tak mohou být přijímány celým povrchem těla (Votrubová 2010). Průduchy v ponořené epidermis chybějí, ale jsou přítomné na svrchní straně listů rostlin plovoucích na hladině (Černohorský 1967). Vodní rostliny nemají ve stoncích vyvinutá mechanická pletiva a lignifikace cévních svazků je nízká, mívají také redukovanou xylémovou část (Votrubová 2010). Potenciálně problematická výměna plynů je vyřešena soustavou propojených kanálků v intercelulárních prostorech – aerenchymem. Aerenchym umožňuje rychlý přenos plynů v rostlinném těle a jejich skladování. Obsažené plyny také způsobují, že rostlina ve vodě vzplývá (Černohorský 1967,

Votrubová 2010). Kořeny vodních rostlin také obsahují aerenchym, mají redukované cévní svazky a postrádají kalyptru. Některé vodní rostliny kořeny vůbec nevytvářejí, jiné jsou schopné na vhodném substrátu vytvořit i kořenové vlásky (Vaněk & Stodola 1987).

Vnější stavba těla vodních rostlin je velice rozmanitá, což je důsledkem adaptace na různé podmínky prostředí a dostupnost zdrojů. Nejčastější druhy akvariálních rostlin se dají morfologicky rozčlenit na několik skupin (dle Vaněk & Stodola 1987):

#### 1. Typ – plovoucí rostliny

Rychle se množící zástupci pleustonní (povrchové) vegetace. Mají silně redukované orgány, těla rostlin plavou na hladině, můžou z nich vystupovat jemné kořínky. Preferují klidné hladiny, kde se množí převážně vegetativně. Mají dobrou schopnost odčerpávat živiny, ale při přemnožení pokrývají hladinu a stíní tak vegetaci vodního sloupce. Do této skupiny můžeme řadit okřehek menší *Lemna minor*, jež lze najít na hladinách slepých ramen toků a na živiny bohatých stojatých vod. Při odběru je však třeba být na pozoru, jelikož některé druhy okřehek jsou zařazeny do červené knihy, podobně jako drobnička bezkořená *Wolffia arrhiza*. Dále sem můžeme zařadit i nepukalku vzplývající *Salvinia natans*, kterou lze zakoupit v akvaristice. Nepukalka vzplývající se však řadí dle vyhlášky č. 395/1992 Sb. mezi kriticky ohrožené druhy – při nákupu je třeba požádat o paragon pro pozdější možné prokázání původu. Mezi populární akvariální rostliny tohoto typu patří také trhutka plovoucí *Riccia fluitans*, která vytváří porosty ve tvaru bochánků a lze ji podobně jako mechy připevnit k pevnému podkladu a nechat jej zarůstat. Babelka řezanovitá *Pistia stratiotes* též patří mezi rostliny plovoucí na hladině, ale má vyvinuté kořeny a listy. Preferuje spíše klidné, na živiny bohaté vody, kde dorůstá velkých rozměrů.

#### 2. Typ – vzplývavé rostliny bez kořenů

Tento typ rostlin je schopen života výhradně ve vodním prostředí, nikdy netvoří emerzní formy. Nemají kořeny, živiny přijímají celým povrchem těla, pod vodou i kvetou a tvoří semena. Významný je jejich rychlý růst a odčerpávání živin. Listy mají rozděleny na jednotlivé segmenty, což zajišťuje lepší využití rozptýleného světla. Do této skupiny můžeme zařadit růžkatec ponořený *Ceratophyllum demersum* a jemu podobný růžkatec potopený *C. submersum*. Zajímavý je rod bublinatky *Utricularia* – tyto rostliny jsou buďto náročné na pěstování, nebo se doporučují spíše k pěstování v jezírcích, mimo jiné z důvodu jejich masožravosti. Dále sem můžeme zařadit mechy a játrovky – vodní mechy se většinou upevňují vláknem ke kořenům či kamenům, které postupně obrůstají. Mechy rostou pomaleji než výše zmíněné rostliny, ale vytváří hustý porost, který je vítanou skrýš pro mnoho drobných živočichů. Oblíbenými akvariálními mechy jsou měchýřka jávská *Vesicularia dubyana*, kuželočepka napuchlá *Fissidens fontanus*. Mezi játrovky patří *Monosolenium tenerum*.

#### 3. Typ – ponořené zakořeněné rostliny s pentlicovitými listy

Dlouhé úzké listy těchto rostlin se sbíhají v růžici u dna, ve kterém kořenují pravými kořeny. Tyto rostliny nemají lodyhu a netvoří jiné typy listů. Množí se vegetativně oddenky a mohou vytvářet nekvetoucí porosty, tzv. vodní louky. V akvaristikách lze zakoupit mnoho vyšlechtěných variant rodu šípatek *Echinodorus*, zákrutich *Vallisneria* a šípatek *Sagittaria* s různými nároky na osvětlení a vlastnosti vody.

#### 4. Typ – bahenní a obojživelné tropické rostliny

Jedná se o pobřežní a bahenní rostliny s mohutnou stavbou těla. Tvoří submerzní i emerzní formy, trvale ponořené v akváriu vytváří velké měkké listy bez mechanického pletiva, v submerzní formě nekvetou. Pro velký vzrůst je většina těchto rostlin vhodná pouze do velkých nádrží. Do této skupiny řadíme kryptokoryny rodu *Cryptocoryne*, kalatky rodu *Aponogeton* a anubiasy rodu *Anubias*.

#### 5. Typ – vzplývavé kořenící rostliny

Tyto vodní rostliny jsou vázány pouze na vodní prostředí. Mají dlouhé článkované a hustě olistěné lodyhy, listy jsou často děleny v segmenty. Rostlina tak zvyšuje svoji schopnost využívat rozptýlené světlo. Chomáče lodyh mohou vytvářet vhodné útočiště pro potěr ryb a drobné živočichy. Do této skupiny patří kabomby rodu *Cabomba*, stolístky rodu *Myriophyllum*, dále vodní mor kanadský *Elodea canadensis* a v akvaristikách častá douška hustolistá *Egeria densa*, která je pro svůj rychlý růst a odolnost vyhledávanou rostlinou při zakládání akvária.

## 2.2.4 Bezobratlí živočichové

### 2.2.4.1 Zooplankton a ploštěnky

Zooplankton je tvořen druhy, které bývají neúmyslně zaneseny do akvária z vnějšího prostředí, většinou v podobně různých klidových stádií. Tato mohou být přítomna ve vodě, na rostlinách, kamenech, ale mohou je přenášet i živočichové. Jedná se převážně o mikrofágní filtrátory, jejichž přítomnost v akváriu není škodlivá, pokud nedojde k jejich přemnožení (Petrovický 1983). Makroskopicky je možné pozorovat nejčastěji buchanky a hrotnatky. Buchanky (Cyclopoida) jsou členovci o velikosti 1–3 mm. Hrotnatky patří mezi perloočky (Cladocera) ze skupiny žábronohých korýšů (Branchiopoda) a dorůstají až 5 mm v závislosti na druhu. Zooplankton je vítaným zdrojem potravy pro vyšší živočichy v akváriu, hrotnatky se prodávají i jako komerční krmivo.

Ploštěnky se nevznášejí ve vodním sloupci, lezou po skle, rostlinách a substrátu, neřadí se tedy mezi zooplankton. Ploštěnky patří do kmene ploštěnci, Platyhelminthes. Mají drobné, podlouhlé, dorzoventrálně zploštělé tělo dosahující velikosti od desetin mm po několik cm. Po-

hybují se volně, nejsou dravé. Pokud se zavlečené ploštěnky v nádrži udrží a přemnoží, likvidují vodní plže, krevety, jikry a potěr, proto jsou v akváriích nežádoucí (Petrovický 1983).

#### 2.2.4.2 Plži

V akváriích můžeme narazit na sladkovodní plže náležejících dvou odlišných skupin: plicnatých spodnookých - Pulmonata: Basommatophora nebo předožábřích - Prosobranchia (Behrendt & Lukhaup 2011).

Vodní plži mohou sloužit nejen jako potrava rybám, mnohé druhy jsou díky krásným ulitám vyhledávaným okrasným prvkem, jiní plži i přes ne příliš atraktivní ulity jsou využíváni jako čistíči a požírači řas (Behrendt & Lukhaup 2011).

Tělo vodních plžů sestává z hlavy, nohy, útrobního vaku a pláště. Na hlavě má plž ústní otvor s radulou, pomocí které přijímá potravu seškrabáváním, dále pár tykadél s hmatovými receptory, na jejichž bázi se nachází oči. Svalnatou nohou se plž pohybuje, plave, ryje, zachytává potravu atp. V útrobním vaku se nachází vnitřní orgány. Plášť má podobu dvojitého závitu a vylučuje vápenatou schránku (ulitu). Prostor mezi pláštěm a ulitou nazýváme plášťová dutina. Zde ústí trávicí, vylučovací a pohlavní soustava. Předožábří plži mají žábry umístěné v přední části plášťové dutiny před srdcem, plicnatí plži dýchají plicním vakem. Tělo plže je k ulitě připevněno pevným svalem, kožní žlázy vylučují hlenovité látky usnadňující pohyb. Předožábří plži mají víčko (operculum), které je připevněno k noze a při zatažení plže uzavře ulitu a znemožní (nebo alespoň ztíží) vstup do ulity, např. při útoku predátora (Behrendt & Lukhaup 2011). Plži mohou být odděleného pohlaví (tzv. gonochoristé) nebo jsou hermafrodité. Při rozmnožování mohou klást snůšky vajíček i mimo vodu – akvárium s vodními plži by tedy mělo být zakryté.

Plži se mohou živit řasami, mrtvými živočichy, zbytky krmiva, odumřelými zbytky rostlin i živými rostlinami. Potravní nároky se liší druh od druhu a je třeba je vzít v potaz při volbě vhodného plže.

Mezi oblíbené předožábří plže patří příslušníci čeledi zubovcovití (Neritidae), v akvaristice lze zakoupit populární neritinu *Neritina natalensis*. Neritiny (zubovci) mají krásné ulity, dorůstají se až 3 cm. Jsou řasožraví, pohybují se pomalu a pouze po pevném podkladu, vyžadují dobře okysličenou vodu. Vkládáme je tedy pouze do řádně zařazeného akvária a dostatkem kamenů a plochých kořenů. Jsou to gonochoristé.

Dalším oblíbeným druhem je ampulárka argentinská *Pomacea bridgesi*. Tento plž je všežravý, může napadat i jiné pomalejší druhy plžů. Pohybuje se poměrně rychle, dá se často koupit v akvaristikách, včetně vyšlechtěných forem. Ampulárky jsou gonochoristé.

Poslední skupinu oblíbených předožábrych plžů tvoří rody piskořek *Thiaria*, *Melano-**ides* a *Faunist*. Piskořky si do akvária můžeme spíše zavléct s nákupem akvariálních rostlin, jsou ale přínosné – prolézají substrát, požírají zbytky krmiva a řasy. Patří mezi nápomocné, uklízecí plže. Jsou aktivní převážně během tmy.

Další skupinou plžů jsou plicnatí, kde mezi nejčastější rody náleží okružáci – zejména severoamerický rod *Planorbella*. Okružáci jsou plži, jejichž krevní barvivo je hemoglobin. Okružáci mají ploskou ulitu a červenohnědé tělo. Svůj ne příliš dekorativní vzhled vynahrazují přínosným čištěním akvária – živí se odumřelými částmi rostlin, zbytky potravy a některými řasami (Behrendt & Lukhaup 2011).

#### 2.2.4.3 Sladkovodní řasožravé krevety

Druhů sladkovodních krevet, které lze chovat v akváriu je velké množství, pro potřeby této práce budou zmíněny pouze řasožravé nedravé krevety snadno se množící ve sladké vodě, zejména zástupci rodů *Caridina* a *Neocaridina*, tzv. „trpasličí krevety“ (Lukhaup & Pekny 2008).

Trpasličí krevety jsou mimořádně vhodnými živočichy pro chov v akváriu. Většina druhů má široké optimum pro teplotu, tvrdost a pH vody. V samostatné nádrži nebo společenské nádrži s malými rybkami jsou nestresované krevety aktivní i během celého dne, snadno a rychle se množí, živí se řasami, detritem a odumřelými zbytky rostlin, přičemž ale neožirají zdravé rostliny a neútočí na jiné živočichy.

Tělo krevet sestává z hlavohruď (cephalothorax) a zadečku (abdomen). V přední části hlavohruď se nachází rostrum, na jehož ventrální bázi vychází dva páry tykadél obsahující rovnovážné a vylučovací orgány. Na kaudální straně rostra jsou umístěny stopkaté pohyblivé oči. Zbytek hlavohruď je krytý hřbetním štítem, tzv. karapaxem, který chrání žábry v žaberní dutině i další důležité orgány. Z ventrální strany karapaxu vychází pět párů kráčivých noh, tzv. pereopod. Hlavohruď kaudálním směrem přechází v zadeček (abdomen, nebo také pleon). Zadeček obsahuje mohutný sval a prochází jím střevo, cévy a nervová soustava. Exoskelet zadečku je členěn do šesti segmentů, z každého segmentu vychází na ventrální straně pár dvouvětvých plovacích noh, tzv. pleopod. Samice pleopodami chrání svá vajíčka. Na kaudální straně posledního článku je poslední tělní článek nazývaný telson. Telson nese dva páry uropod, což jsou dvouvětvé končetiny podobné ploutvím. Společně s telsonem uropody tvoří tzv. ocasní vějířek, který umožňuje rychlé únikové reakce (Barbier 2010).

Pro úspěšný chov krevet je zapotřebí splnit určité podmínky v akváriu. Ačkoliv jsou krevety nenáročné na prostor, jsou velice citlivé na výkyvy teploty, pH a chemismu vody. Proto je tedy třeba důkladně zvážit, zdali má případné akvárium o malém objemu dostatečně stabilní prostředí. Ze stejného důvodu se krevety zavádí do nového akvária až po jeho řádném ustálení

a zakořenění rostlin (či jejich přechodu na submerzní formu), nejdříve cca 2 měsíce po založení akvária. Aby bylo možné úspěšně pozorovat nerušené projevy krevet, je třeba jim zajistit také dostatek úkrytů, aby se cítily bezpečně. K tomuto poslouží různé mechy, husté osázení rostlinami atp. Skvělým úkrytem a zároveň zdrojem potravy je i dubové listí a olšové šištice, které se do akvária vkládají pro vysoký obsah huminových látek. Krevety často ožirají biofilm na listech i listy samotné (Lukhaup & Pekny 2008).

Mezi druhy vhodné pro chov patří nenáročná krevetka *Neocaridina heteropoda*, všechny barevné formy vyšlechtěné z *Neocaridina denticulata* a barevné variety krevetky *Caridina babaulti* (Lukhaup & Pekny 2008).

### 2.2.5 Obratlovci – ryby

Tělo ryby je přizpůsobené jejímu prostředí a poloze ve vodním sloupci, ve které se vyskytuje nejčastěji. Ryby obývající dno mají většinou dorzoventrálně zploštělé tělo, ryby žijící u hladiny, případně v proudu mají torpédovitý tvar těla a ryby žijící v klidných vodách mají laterálně zploštělá těla s klenutým hřbetem (Petrovický 1983). Tělo většiny ryb kryjí šupiny nebo kostěný pancíř, pokrytý vrstvou slizu. Sliz umožňuje ochranu před choroboplodnými zárodky a snižuje odpor vody při pohybu. Hlava ryby začíná rypcem, na kterém jsou smyslové jamky obsahující čichové a chuťové buňky. Na hlavě ryby jsou výrazným prvkem skřele (opercula), jež kryjí žábry, což jsou primární dýchací orgány ryb. Ryby původně žijící ve vodách chudých na kyslík mohou mít vyvinuty přídatné dýchací orgány, jež jim umožňují dýchat atmosférický vzduch z hladiny. Rozmístění vnitřních orgánů se liší druh od druhu, většinou však při kaudální straně útrobní dutiny leží plynový měchýř. Ten slouží rybě k regulaci pozice ve vodním sloupci, přičemž ryby žijící u dna ho můžou mít zakrnělý. Po stranách těla mají ryby v kůži mechanorecepční orgán, tzv. postranní čáru (Schliewen 2012). Standardně má tělo ryby hřbetní (dorzální), ocasní (kaudální) a řitní (anální) ploutev, navíc také pár břišních (ventrálních) a prsních (pektorálních) ploutví. Velikost, tvar a vzdálenost ploutví se druhově odlišují. Ploutve slouží ke stabilizaci těla ve vodě a k pohybu, případně jejich funkce byla změněna na hmatové či kopulační (Schliewen 2012).

Různé druhy ryb jsou přizpůsobeny různým podmínkám, na což je třeba brát zřetel. Při výběru druhů vhodných do nádrže je třeba zhodnotit následující faktory:

- Pozice ve vodním sloupci, kde se ryba nejčastěji pohybuje, zda je přizpůsobena životu u dna či u hladiny, zda jim vyhovuje proudění či klidná voda atp.
- Společenské chování – zda je daný druh hejnový či samotářský, zda je teritoriální, agresivní či naopak plachý atp.
- Velikost, do které ryba doroste v korelaci s objemem nádrže.



- Nároky na potravu – ryby mohou požírat jiné živočichy v akváriu nebo akvariijní rostliny.
- Nároky na pH, tvrdost vody, teplotu a kvalitu vody – vyšlechtěné druhy s okrasnými ploutvemi jsou velice citlivé na kvalitu vody.

Obecně platí, že ryby přijímají živočišnou nebo rostlinnou potravu dodanou nebo se přímo vyskytující v akváriu. Vylučují amonné sloučeniny a další látky, které se stanou součástí systému a jsou mineralizovány a oxidovány mikroorganismy na netoxické sloučeniny. Krevní barvivo ryb je hemoglobin, což má za následek, že jsou citlivé na zvýšené koncentrace amoniaku a dusitanů ve vodě (Petrovický 1983).

## 2.3 Koloběh živin

Živiny jsou chemické látky, které živé organismy odebírají ze svého prostředí, nějakou dobu je poutají a poté opět uvolňují do prostředí za vzniku energie. Na rozdíl od energie hmota může být opakovaně využita. Při využití těchto látek dochází k opakovaným změnám jejich struktury, které můžeme označit jako cykly, neboli koloběhy (Begon *et al.* 1997). Akvárium je systém, do nějž jsou živiny dodávány ve formě krmiva a ve vodě rozpuštěných látek a plynů. Při údržbě akvária dochází také k odebírání živin, zejména látek rozpuštěných ve vodě při výměně za čerstvou vodovodní vodu, případně při odsání kalu dna. Samovolně dochází též k výměně plynů mezi atmosférickým a vodním prostředím. Koloběh živin tak není dokonalý, stejně jako v přírodě (Begon *et al.* 1997).

### 2.3.1 Koloběh uhlíku

Uhlík se ve vodních ekosystémech vyskytuje ve třech základních formách: sloučeniny rozpuštěného anorganického uhlíku, tzv. DIC, rozpuštěného organického uhlíku, tzv. DOC a částicového organického uhlíku, tzv. POC (Lampert & Sommer 1997).

Anorganický uhlík je ve vodě přítomný ve formě oxidu uhličitého, tj.  $\text{CO}_2$ . Tento plyn se do vody dostává rozpuštěním atmosférického oxidu uhličitého a respiračními organismy, z vody se zpětně vylučuje vypařováním. Rozpuštěním ve vodě dochází k vzniku velice slabé kyseliny uhličité  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , která rychle disociuje na hydrogenuhličitanový anion  $\text{HCO}_3^-$  a uhličitanový anion  $\text{CO}_3^{2-}$  (Wetzel 1975). Mezi jednotlivými stupni disociace je rovnováha a uhličitan, hydrogenuhličitan, kyselina uhličitá a oxid uhličitý tak tvoří tzv. hydrogenuhličitanový pufr, který významně snižuje změnu pH při zvýšeném výskytu oxoniových nebo hydroxylových iontů v systému (Wetzel 1975). Molekuly oxidu uhličitého jsou využívány rostlinami při fotosyntéze, čímž je uhlík včleněn do primární produkce. Uhlík může posloužit k syntéze tuků, bílkovin a sacharidů, zejména pak celulózy. Tyto látky mohou být dále konzumovány a asimilovány

dalšími organismy, které při dýchání vylučují oxid uhličitý a trávením vylučují organické molekuly, jejichž uhlíkový skelet je ale činností mikroorganismů opět přeměněn na molekuly oxidu uhličitého (Begon *et al.* 1997).

Rozpustné sloučeniny obsahující organický uhlík jsou v největší míře výsledky sekrece a exkrece organismů všech trofických úrovní. Tyto látky jsou zpracovány heterotrofními bakteriemi v procesu mineralizace, jehož výsledkem jsou jednoduché molekuly např. oxidu uhličitého a vody. Mezi DOC také patří vysokomolekulární, vůči rozkladu odolné huminové látky (Lampert & Sommer 1997). Tyto látky jsou výluhem tzv. vodního humusu, který vzniká rozkladem planktonu a vodních rostlin. Huminové látky jsou vysokomolekulární, převážně aromatické sloučeniny s vysokým obsahem karboxylových a fenolových skupin. Ve vodě jsou chemicky stabilní a odolné vůči biodegradaci. Projevují se hnědožlutým zabarvením vody a snižují pH. Jejich důležitou vlastností jsou chelační účinky, tj. schopnost vázat kationty kovů do komplexu (Pitter 2009). Navázání kationtu kovu do komplexu významně snižuje jeho toxicitu pro organismy. Huminové látky navíc snadněji vážou kationty těžkých kovů než kationty např. vápníku. Měď, která je nezbytná pro správný růst rostlin, je i ve velice malých koncentracích toxická pro vodní plže a krevety (Walstad 2012). Sladkovodní krevety mají z koryšů nejnižší toleranci vůči měďnatým kationtům. Dle pokusu na krevetách *Macrobrachium rosenbergii* koncentrace, která zabije 50 % jedinců během 24, 48, 72 a 96 hodin činí 0,60; 0,55; 0,45 a 0,35 mg l<sup>-1</sup> (Kaoud & Ahmed 2013). Ve vodovodní pitné vodě je dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. nejvyšší mezní hodnota pro měď 1000 µg l<sup>-1</sup> (=1 mg l<sup>-1</sup>). Na příkladu mědi je patrné, že i v čerstvé vodovodní vodě mohou být (pro člověka bezpečné) koncentrace kovů, jež mohou potenciálně ohrožovat životy bezobratlých živočichů chovaných v akváriu. Chelační účinky huminových látek jsou tedy pro akvaristy velice užitečné, jelikož cheláty jsou využitelné rostlinami a přesto snižují toxicitu prostředí pro živočichy (Walstad 2012). Akvaristé huminové látky do akvárií dodávají uměle v podobě spařeného dubového listí a olšových šištic (Lukhaup & Pekny 2008).

Sloučeniny částicového uhlíku zahrnují uhlík vázaný v tělech organismů a v detritu. Zdrojem POC je primární produkce, ke změnám množství POC dochází smrtí, konzumací a parazitismem (Lampert & Sommer 1997).

### 2.3.2 Koloběh dusíku

Dusík se ve vodách vyskytuje ve formě anorganického dusíku a organického vázaného dusíku. Nejčastěji vyskytující se forma anorganických dusíkatých látek je rozpuštěný plynný dusík N<sub>2</sub>, nicméně v této formě je využitelný pouze pro organismy, které syntetizují enzym nitrogenázu (např. sinice). Autotrofní organismy bez schopnosti syntetizovat nitrogenázu přijímají dusík jako živinu zejména ve formě dusičnanů, dusitanů a amonných iontů (Lampert & Sommer

1997). Amoniakální dusík ( $\text{NH}_3$  a  $\text{NH}_4^+$ ) je primárním produktem rozkladu organických dusíkatých látek rostlinného a živočišného původu. Jejich biochemickou oxidací vznikají dusitany (nitritace) a dusičnany (nitratice). Mezi nedisociovaným amoniakem  $\text{NH}_3$  a disociovaným amonným kationtem  $\text{NH}_4^+$  je ustavena rovnováha, která se při zásaditém pH a vyšší teplotě posouvá směrem k  $\text{NH}_3$ , což znamená, že čím zásaditější prostředí s vyšší teplotou, tím větší je poměr, v němž je v systému obsažen  $\text{NH}_3$  (Pitter 2009). Amoniak je velmi toxický pro ryby, bezobratlé i zooplankton, jako malá nepolární molekula totiž snadno proniká buněčnými membránami, kdežto amonný kationt organismus může přijmout do buňky přes iontové kanály nebo proteinové přenašeče (Pitter 2009). Amonné kationty jsou preferovaným zdrojem dusíku pro vodní rostliny, které jej spotřebovávají pro výstavbu aminokyselin a peptidů (Walstad 2012).

Dusitanový aniont  $\text{NO}_2^-$  je meziproduktem procesu nitrifikace a případné denitrifikace. Jsou nebezpečné jednak pro živočichy, jejichž krevní barvivo je hemoglobin, (jelikož s ním reagují za vzniku methemoglobinu, který nemá schopnost dále přenášet kyslík), ale také pro živočichy, jejichž krevní barvivo obsahuje měď (tzv. hemocyanin). Měď v barvivu může být dusitany zoxidována a stejně jako methemoglobin ztrácí schopnost přenášet kyslík a tyto živočiškové umírají na anoxii (Alonso & Camargo 2006). Horní mez koncentrace dusitanů v pitné vodě je  $0,5 \text{ mg l}^{-1}$  dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.  $\text{LC}_{50}$  pro 72 hodin, tedy koncentrace dusitanů, při které uhynulo 50 % zkoumaných živočichů, se pohybuje od 0,1 do  $10 \text{ mg l}^{-1}$  dle druhu ryby. Koncentrace, při které se začíná oxidovat krevní barvivo ryb, činí  $0,05 \text{ mg l}^{-1}$  (Walstad 2012).

Dusičnany  $\text{NO}_3^-$  vznikají při nitrataci amoniakálního dusíku a jsou využívány rostlinami a řasami jako zdroj dusíkatých látek pro syntézu aminokyselin apod. (Walstad 2012). Horní mez koncentrace dusičnanů v pitné vodě činí  $50 \text{ mg l}^{-1}$  dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Jejich toxicita pro živočichy je významně nižší než u dusitanů, nicméně dochází k jejich hromadění v akváriu a ze systému tak část dusíku odchází při pravidelné výměně vody (Schliewen 2012).

## 2.4 Tok energie

Akvárium a organismy v něm žijící jsou otevřené systémy. Mezi nimi a prostředím dochází k výměně hmoty a energie. Tento stav lze udržet pouze kontinuálním tokem energie. Jako zdroj energie může sloužit světlo nebo exergonická chemická reakce vznikající při štěpení makroergních vazeb organických látek, či oxidací anorganických sloučenin (Lampert & Sommer 1997).

### 2.4.1 Primární produkce

Primární produkce je označení pro děj, během kterého rostlina za spotřeby anorganických sloučenin a světelné energie vytváří biomasu (Townsend *et al.* 2010). Proces, pomocí ně-

hož organismus asimiluje uhlík, se nazývá fotosyntéza. Ve vodním prostředí mají schopnost fotosyntézy všechny vyšší rostliny, řasy, sinice a fototrofní bakterie vybavené fotosyntetickými pigmenty. Během fotosyntézy dochází k zachycení fotonů a sledem kaskádovitých reakcí je energie fotonů využita k rozštěpení molekul vody. Protony jsou využity na redukci oxidu uhličitého a syntézu sacharidů. Uvolněný kyslík je využit na syntézu sacharidů, syntézu vody a je vylučován jako odpadní produkt (Lellák & Kubíček 1992). Ve vodním prostředí je omezována dostupností živin a slunečního záření (Townsend *et al.* 2010). Primární producenti představují první trofickou úroveň, neboť jsou konzumováni heterotrofními organismy.

#### 2.4.2 Sekundární producenti

Druhou trofickou úrovní jsou sekundární producenti, což jsou heterotrofní organismy, konzumující primární producenty. Nicméně sekundární produktivita je nižší než primární. Ztráta energie je způsobena předčasným odumřením části biomasy před konzumací, nedokonalou asimilací biomasy v těle konzumenta a vytvářením respiračního tepla. Odumřelá biomasa a výkaly vstupují do rozkladného procesu, který je zodpovědný za většinu sekundární produkce a tím i většinu ztrát respiračního tepla (Townsend *et al.* 2010). Masožravci jsou součástí terminální produkce a třetí trofické úrovně. Při jejich produkci vznikají podobné ztráty energie (Lellák & Kubíček 1992).

#### 2.4.3 Rozkladné procesy

Rozkladný proces zpřístupňuje živiny, dochází při něm k uvolňování energie a přeměně organických látek na anorganické. Mrtvá organická hmota (zbytky rostlinných těl, uhynulí živočichové a výkaly) vytvářející detritus je rozkladači a detritovory přeměněna na anorganické živiny, vodu a oxid uhličitý (Townsend *et al.* 2010). Prvními kolonizátory jsou bakterie a houby spotřebovávající jednodušší sacharidy a aminokyseliny. Mikroorganismy obsahující enzymy pro štěpení polysacharidů, zejména celulózy, se množí pomaleji. Tyto mikroorganismy vytvářející biofilm mohou být společně s detritem konzumováni detritovory. Například sladkovodní krevelty, patřící mezi tzv. drtiče (anglicky shredders) jsou detritovory, živící se rozkládajícím se listím a jiným materiálem, který trhají na menší kousky a konzumují.

### 2.5 Stabilita systému

Nežádoucí jevy v akváriu, jako je přemnožení řas, nálevníků, parazitů atp. je znakem nestabilního prostředí akvária. Ke stabilitě akvarijního systému přispívá mnoho navzájem propojených faktorů. Kromě uhličitánového pufry také ustálený metabolismus dusíku, osázení rostlinami, uměřené dodávání živin a pravidelná výměna vody.

Uhličitanový systém zahrnuje rozpuštěný oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ , kyselinu uhličitou  $\text{HCO}_3^-$ , hydrogenuhličitanové anionty  $\text{HCO}_3^-$  a uhličitanové anionty  $\text{CO}_3^{2-}$ . Tento systém významně ovlivňuje vlastnosti vody (pH, tlumivou kapacitu, inkrustační účinky). Zvýšená koncentrace uhličitanů zvyšuje pH vody a zvyšuje účinnost pufru. Obsah rozpuštěného  $\text{CO}_2$  přímo souvisí s pH. Při fotosyntéze dochází během dne ke snížení koncentrace  $\text{CO}_2$  ve vodě a dochází tím ke zvýšení pH. Posunem rovnováhy dojde opět ke snížení pH, přičemž všechny tyto výkyvy nemají účinek na živočichy díky pufrací kapacitě tohoto systému (Walstad 2012).

Ustálený metabolismus dusíku označuje dostatečnou kulturu nitrifikačních bakterií, které jsou schopny oxidovat toxické sloučeniny dusíku. Díky činnosti těchto bakterií koncentrace těchto látek zůstávají na stabilní nízké úrovni a produkce výkalů tak přímo neohrožuje zdraví živočichů v nádrži.

Rostliny spotřebovávají dusíkaté látky rozpuštěné ve vodě a finální produkty rozkladu tak asimilují do své biomasy. Rostliny spotřebovávají oxid uhličitý, který je produktem respirace živočichů, a vylučují kyslík, který živočichové dýchají, a který přispívá k aerobním procesům v nádrži, např. nitrifikaci. Spotřebovávají kovové kationty, které by mohly působit toxicky na živočichy, huminové látky vylučující se při jejich rozkladu mají chelační účinky a snižují toxicitu kovových kationtů. Rostliny zároveň spotřebou živin (především železa) a alelopatii brání přemnožení řas. Odumřelá těla rostlin jsou potravou dalších organismů, těla rostlin vytváří komplexní prostředí a potřebné úkryty pro živočichy (Walstad 2012). Vodní rostliny jsou kvůli své schopnosti zpracovávat různé odpadní látky, neodstranitelné mechanickou nebo chemickou cestou, nenahraditelnou součástí akvarijního ekosystému (Sadílek 1965).

Dalším faktorem přispívajícím ke stabilitě akvária je biodiverzita. Biodiverzita, chápána jako rozmanitost druhů na určitém území, umožňuje lepší využívání zdrojů stanoviště, což vede ke vzniku udržitelného společenstva (Rotter 2013). Druhová pestrost rostlin vysázených v nádrži může zajistit stabilní odčerpávání sloučenin dusíku, železa a jiných živin. Zároveň však při nedostatku živin esenciálních pro jeden druh nedojde k úhynu všech rostlin a kolapsu systému. Druhová pestrost živočichů může zajistit efektivní zpracování a koloběh živin, např. v akváriu s rybami žijícími u hladiny, rybami žijícími u dna a krevetami je krmivo mnohem rychleji konzumováno než v nádrži s pouze jedním druhem.

### 3. Akvárium jako učební pomůcka

S použitím akvária lze demonstrovat nemalé množství témat přírodovědných oborů. Ekosystém nicméně není didakticky vhodně sestavená učebnice, všechny jevy v něm obsažené jsou provázané, existují nezávisle na tom, zda je již studenti probrali, či ne. Proto může být obtížné akvárium využít. Je možné akvárium založit bez účasti studentů a v průběhu výuky na něm demonstrovat vhodná témata dle osnov. Jako vhodnější se mi však jeví zapojení studentů přímo do procesu vzniku akvária a přednesení problémů týkající se přímo určité probíhající fáze chodu akvária. Akvárium může být využito při opakování pro studenty vyšších ročníků, kteří již mají přehled o problematice fyziky, chemie a biologie a kterým se tak některé učivo vztáhne na děje v přírodě. Je také možné jej využít pro studenty nižších ročníků pro první seznámení s tématy různých předmětů. Uschované pracovní listy by jim poté mohly připomenout danou problematiku a pomoci ji pochopit.

Využití akvária závisí také na finančních možnostech a vybavení školy – na akváriu lze ukázat použití pH metru, dusitany lze kvantitativně stanovit s použitím spektrofotometru, mikroskopy lze pozorovat řasy, sinice, mikrobiotu atd. Se studenty je možné společně vybrat typ biotopu, vhodné osazení rostlinami a vhodný výběr živočichů.

Následující kapitoly jsou seřazeny chronologicky od zařízení akvária přes vypuštění živočichů až k udržování stabilního prostředí. V úvodu každé kapitoly jsou velice stručné informace k praktické stránce zařizování nádrže. Poté následuje výčet témat, která lze během dané kapitoly využít. Témata jsou stručně vztažena na akvarijní tematiku a uvedené informace nepřevyšují úroveň běžného středoškolského učiva. Vhodný rozsah výkladu posoudí nejlépe každý učitel sám. Je možné využít i pracovní listy pro studenty, které jsou obsaženy v příloze této práce.

#### 3.1 Zařízení akvária

Před samotným nákupem vybavení je třeba řádně rozmyslet, jak bude akvárium vypadat a kam jej umístíme. Mimo hmotnosti vody je třeba počítat i s hmotností písku, kamenů a dalších případných dekorací, je tedy potřeba zařídit vhodný podstavec dle objemu akvária. Akvárium by také nemělo být umístěno na přímém slunečním světle, např. u okna, jelikož přesvětlení často způsobuje přemnožení řas. Také by nemělo být na příliš rušném místě a blízkost přívodu elektřiny je velkou výhodou.

Z potřebného vybavení je nutné zajistit akvárium, pěnovou podložku (která zabrání prasknutí akvária tíhou vlastní váhy na nerovnostech povrchu, nebo zapomenutému zrnku písku), substrát (nejvhodnější je říční křemičitý písek), zdroj osvětlení (pro akvária o malých objemech doporučuji lampy s LED diodami, které lze upevnit na stěnu akvária) a filtr vhodný do

malého akvária. Mezi další vhodné (ale ne nezbytné) vybavení patří topné těleso s termostatem (tropická akvária by měla mít teplotu okolo 22 °C), teploměr a kryt na akvárium (postačí skleněná tabulka). Pro údržbu je potřeba kbelík a kus hadice, případně odkalovací zvon. Veškeré toto vybavení je standardním sortimentem dobré akvaristiky.

### 3.1.1 Témata vhodná pro kapitolu 3.1

Kapitola 3.1 je spíše technicky zaměřenou kapitolou, je vhodné se v ní věnovat vodě jako prostředí. Vlastnosti vody jako rozpouštědla a prostředí látkové výměny v akváriu jsou velice podstatnými faktory určující chod nádrže. Polarita vody ovlivňuje schopnost rozpouštění kationtů a aniontů, což přímo navazuje na problematiku tvrdosti vody. Současně s vysvětlením trvalé a zejména přechodné tvrdosti vody je vhodné vysvětlit uhličitánový pufr, jeho vlastnosti a význam, a například poukázat na změny probíhající při posunutí rovnováhy mezi jednotlivými složkami pufru, které souvisejí se změnou pH. Fyzikální vlastnosti, jako je smáčivost a nesmáčivost lze prezentovat na stěnách akvária, ale lze poukázat i na využití tohoto jevu v přírodě, například na vodních rostlinách či živočiších, jenž porostem jemných chloupků vytváří nesmáčivý povrch, například babelka řezanovitá (vodní rostlina) a vodouch stříbřitý (vodní pavouk). Na to je vhodné navázat vysvětlením povrchového napětí vody, které pro svůj život využívají například vodoměrky a bruslačky (vodní plošnice). Během vysvětlování funkce filtru je vhodné vysvětlit typy proudění a jejich vliv na životní projevy a adaptaci živočichů. Živočiškové žijící v klidných vodách s mírným prouděním mají odlišný tvar těla a chování než živočiškové žijící v proudících vodách. Při menších rychlostech obtékání je totiž proudění kolem živočicha laminární, při vyšších se ale proudění mění na turbulentní, které způsobuje zvětšení odporové síly. Adaptací na vysokou rychlost obtékané vody je hydrodynamický (torpédovitý) tvar těla organismů žijících ve vodním sloupci a dorzoventrálně zploštělý tvar těla u organismů žijících i dna. S použitím různých nástavců na vývod filtru lze přímo demonstrovat rovnici kontinuity (kdy se rychlost proudící vody zvyšuje se zmenšujícím se průřezem trubice) a Bernoulliho rovnici (kde kapalina proudící v trubici se zmenšujícím se průměrem má vyšší rychlost, ale menší tlak). Vztakovou sílu a s ní související Archimedův zákon je možné demonstrovat na vzduchových bublinách.

## 3.2 Založení akvária

Do podloženého akvária vložíme 2-3 cm vysokou vrstvu substrátu a upevníme veškerou (předem omytou) techniku. Akvárium opatrně naplníme přibližně do jedné třetiny vodou a vysázíme rostliny. Poté opatrně dolijeme zbytek vody a zapneme filtr. Filtr musí pracovat neustále, světlo by mělo být zapnuté cca 10 hodin denně. Pro urychlení stabilizace systému je

vhodné dodat dusíkaté látky, nejspíše ve formě vločkového krmiva pro ryby. Orientační množství je 0,5–1,0 g (1 čajová lžička) na 10 l vody. Po následující měsíc je nevhodné do systému přidávat jakékoliv živočichy, neboť hrozí jejich úhyn.

### 3.2.1 Témata vhodná pro kapitolu 3.2

Kapitola 3.2 je věnována procesu založení akvária a tzv. záběhové fázi, během které se množí nitrifikační bakterie. Základním tématem této kapitoly jsou prokaryontní organismy. Jako úvod je vhodné charakterizovat prokaryontní buňku, rozdělit bakterie dle typu trofie a vysvětlit jejich rozmnožování, což lze učinit s pomocí grafického znázornění nitrifikačního procesu v čase. Nitrifikační bakterie patří mezi chemoautotrofní bakterie, což znamená, že uhlík pro syntézu organických látek získávají z okolí ve formě oxidu uhličitého a energii pro tyto reakce získávají oxidací amonných iontů a dusitanů. Na tuto informaci je vhodné navázat polorovnicemi oxidace amonného kationtu na dusitan a oxidace dusitanového aniontu na dusičnanový aniont. Dále je vhodné vysvětlit rozdíl mezi standardními redoxními rovnicemi anorganické chemie a dějem probíhajícím v buňkách bakterií za účasti enzymu. V této souvislosti je vhodné zmínit princip enzymatických reakcí a jejich důležitost v živých systémech. Pro proces nitrifikace je charakteristické kolísání koncentrací jednotlivých sloučenin, je tedy možné použít změřené koncentrace k teoretickým výpočtům. Pokud během záběhové fáze dojde k přemnožení nálevníků a dojde k opaleskujícímu zakalení vody, lze např. pomocí kapesní svítilny demonstrovat Tyndallův jev.

## 3.3 Rostliny, řasy a sinice

Rostliny do akvária vybíráme dle několika kritérií: tvrdost vody, potřebná síla osvětlení, maximální vzrůst a celková náročnost pěstování (některé rostliny jsou velmi citlivé a vyžadují specifické mikroživiny, což z nich dělá poměrně nevhodné kandidáty). V akvaristikách se prodávají akvariální rostliny od komerčních pěstitelů v tzv. emerzní formě, tj. stavu, kdy je rostlina adaptovaná na příjem atmosférických plynů (nad vodní hladinou). Tyto rostliny se prodávají v plastových košíčcích s kořeny zabalenými do vaty. Rostliny do akvária vysazujeme zbavené košíčků i vaty, očištěné od odumřelých listů. Po cca dvou týdnech lze pozorovat odumírání emerzních listů a růstu nových, tzv. submerzních listů, které jsou adaptovány na příjem plynů z vodního prostředí. Velmi často se vzhled emerzní a submerzní formy rostliny dramaticky liší. Úspěšný přechod na submerzní formu a správné zakořenění je ovšem pomalý proces, pro prevenci přemnožení řas a sinic v akváriu je vhodné v nádrži pěstovat i nekořenicí, avšak rychle rostoucí rostliny, které snadno odčerpávají dusíkaté látky, jako je např. douška hustolistá (*Egeria densa*).



### 3.3.1 Témata vhodná pro kapitolu 3.3

Kapitola 3.3 by měla přiblížit „zelenou“ složku akvariálních organismů. Sinice, jako prokaryotické organismy je vhodné porovnat s rostlinnou buňkou, nejen z hlediska rozdílů v morfologii buněk, ale také z hlediska shod či podobností, např. ve fyziologických procesech, jako je fotosyntéza. Ta je společným jevem pro sinice, řasy i rostliny, je tedy vhodné demonstrovat její důležitost pro celý systém. Před vysvětlením fotosyntézy je vhodné přednést základní informace o viditelném světle, vztah barvy světla, frekvence a vlnové délky, jelikož každé fotosyntetické barvivo absorbuje fotony o určitých vlnových délkách. Poté je vhodné navázat charakteristikou akvária jakožto optického prostředí (např. odraz a lom světla, index lomu) a porovnat jej s přirozenými vodními nádržemi. Ačkoli bez rostlin se jedná o homogenní optické prostředí, v zarostlé nádrži dochází k difuzi světla, na což se mnohé rostliny adaptovaly zvýšením povrchu těla. Při nasvícení rostliny tedy probíhá fotosyntéza. Je vhodné zdůraznit fyzikálně-chemický princip přenosu světelné energie na kinetickou energii molekuly excitací elektronů. Na fotosyntézu lze navázat vysvětlením rozpustnosti plynů ve vodě. Z anatomie rostlin lze zmínit typy stélek řas, standardní cévní svazky a pletiva u rostlin lze stručně porovnat s cévními svazky a pletivy vodních rostlin. Fyziologické procesy vyšších rostlin lze aplikovat také na látku chemie a vysvětlit anabolismus rostlin a přeměnu oxidu uhličitého na mono- a polysacharidy, například celulózu, a přeměnu dusíkatých látek na aminoskupiny integrované do struktur aminokyselin a purinových či pyrimidinových bází.

## 3.4 Živočichové

Po ustálení metabolismu dusíkatých látek a přechodu rostlin na submerzní formu je možné přejít k dalšímu kroku – dodání živočichů do akvária. Při nákupu je třeba dbát opatrnosti. Pokud se v prodejních nádržích vyskytují uhynulé kusy, svědčí to buď o nemoci, nebo nevhodných podmínkách a špatné péči prodejce. Voda s modrým nádechem poukazuje na léčivo obsažené ve vodě, voda se žlutým nádechem poukazuje na vysoký obsah odpadních látek (pokud v ní nejsou přítomny kořeny, listí nebo šišťice). Zdraví plži mají celistvé ulity, jsou aktivní a žerou. Zdravé krevety neustále něco ožirají, jsou sytě vybarvené a jejich tělo je průsvitné. Zdravé ryby mají čisté oči, tělo i ploutve, bez problémů plavou. Živočichové jsou prodáváni v pytlích naplněných vodou přímo z jejich nádrže, krevetám se do pytlů přidává kus rostliny, které se během transportu zachytí. Živočichy je vhodné transportovat ve tmě, aby se nestresovali, osvědčené jsou různé uzavíratelné termoboxy. Do akvária živočichy přidáváme při vypnutém světle. Nejdříve pytle vložíme do vody uzavřené, aby se voda v pytli postupně temperovala na teplotu akvária. Po vyrovnání teplot je možné pytle pootevřít, a nechat do něj mírně natéct vodu z akvária. Difuzí by mělo dojít k postupnému promísení koncentrací různých látek a vytvoření

gradientu, aby živočichové nepodlehli šoku z náhlé změny chemismu vody. Pytel během cca dvou hodin postupně otevíráme až do úplného promísení, poté jej vyjmeme (pokud živočichové pytel neopustili sami od sebe dříve).

#### 3.4.1 Témata vhodná pro kapitolu 3.4

V této kapitole, převážně orientovanou na živočišnou složku organismů akvária, je vhodné poukázat nejprve na mikrobiotu. Z akvária je možné odebírat vzorky a pokoušet se zařadit nalezené živočichy do systému. Při plánovaném pořízení živočichů je při jejich vypouštění možné vysvětlit difuzi a porovnat ji vůči osmóze. Jak u bezobratlých, tak u obratlovců je vhodné popsat anatomii a základní charakteristiku, včetně mechanismu přenosu kyslíku ze zevního prostředí (vody) až do tkání. Je možné též probrat metabolismus sacharidů, lipidů a proteinů, zajímavé je porovnat krevní barviva bezobratlých a obratlovců. Na živočiších lze pozorovat a vysvětlit různé životní projevy (například u dostatečně velkých hermafroditních plžů lze často přímo pozorovat rozmnožování), potravní strategie a typy vztahů. S mechanickými vlastnostmi vody souvisí pohyb ryb a odlišné tvary rybího těla, případně přítomnost či absence plynového měchýře. V této kapitole je též vhodné demonstrovat pojmy jedinec, populace a společenstvo. Na akvárium s živočichy lze pozorovat jejich disperzi, natalitu, mortalitu, případně lze rozdělit organismy v akváriu na r- a K-strategie.

### 3.5 Údržba akvária

Krevety a plži se mohou živit řasami, odumřelými zbytky těl rostlin a živočichů. Rybám je třeba dodávat krmivo. Kromě vloček existují i granule, lyofilizované krmivo a mražené krmivo. Velikost a složení krmiva je třeba přizpůsobit velikosti a preferencím vybraného druhu ryb. Pokud v akváriu nejsou přítomni živočichové, kteří by zlikvidovali zbytky krmiva (plži, krevety, ryby žijící u dna), je třeba tyto zbytky odsát. Obecně je velice nevhodné živočichy překrmovat. Jednou za týden až dva týdny je třeba vyměnit 20–30 % vody v nádrži za čistou vodu pro snížení koncentrace dusičnanů. Čím více je v nádrži živočichů a čím méně je v nádrži rostlin, tím častěji je třeba vyměňovat vodu.

Pro udržení stabilního ekosystému doporučuji nádrž osázet rostlinami na 2/3 až 3/4 plochy nádrže. Velice vhodné je pokusit se o co nejvyšší diverzitu rostlinných druhů. Po založení je nezbytně nutné nechat v nádrži proběhnout nitrifikační proces, během kterého rostliny zakoření, přejdou na submerzní formu a započnou růst. Po této fázi je vhodné přidat do nádrže plže a krevety, a až poté ryby. Druhovou skladbu dodaných živočichů je pro stabilní nádrž vhodné zvolit tak, aby byli přítomni živočichové žijící u hladiny, ve střední části vodního sloupce a u dna. Živočichům poskytujeme střídme množství rozmanité potravy.

Vytvoření drsných hnědých povlaků v nádrži může znamenat přemnožení rozsivek, což indikuje nízké osvětlení v akváriu. Přemnožení sinic poznáme dle modrozelených slizovitých povlaků na všech plochách v akváriu. Tento nepříjemný úkaz je způsobený eutrofizací vody (například překrmováním nebo zviřením dna). Mezi nejúčinnější postupy likvidování sinic patří častá výměna velkého množství vody spojená s mechanickým odstraňováním povlaků a několikadenní kompletní zatemnění nádrže. Vytvoření bílého opaleskujícího zákalu může poukazovat na přemnožení nálevníků, které však většinou samo od sebe pomine, jelikož nálevníci rychle spotřebují svůj potravní zdroj (bakterie). Vytvoření bílého blánovitého povlaku na hladině akvária je způsobené přemnožením prokaryontních i eukaryontních organismů. Tento povlak zabraňuje volné výměně plynů se vzduchem a podporuje anaerobní procesy v nádrži, což je nežádoucí. Tento povlak je možné zredukovat čeráním hladiny (upravením směru výtoku vody z filtru). Přemnožení ploštěnek nastává při překrmování a může být nepříjemné pro kreve-ty. Ploštěnky se likvidují nasazením pastí a omezením krmení. Při vytvoření bílého drsného povlaku na povrchu rostlin v dobře osvětlené nádrži došlo k posunutí rovnováhy důsledkem intenzivní fotosyntézy, při které se snížila koncentrace rozpuštěného oxidu uhličitého. Tímto se zvýšilo pH, a snížila rozpustnost uhličitanu vápenatého, který se začal vylučovat v nádrži.

## 4. Experimentální zjištění rychlosti stabilizace metabolismu dusíku v systému

### 4.1 Cíl

Cílem tohoto pokusu je zjistit čas, za který se ustálí metabolismus dusíku v nádržích o různém objemu (10, 20 a 30 litrů) a zda délka této doby ustálení závisí na objemu nádoby.

### 4.2 Metodika

#### 4.2.1 Vybavení

K pokusu byly použity tři skleněná akvária s lepenými spoji o objemech 10, 20 a 30 l (dále označovány jako A1, A2, A3), tři rohové filtry s čerpadlem pro akvária o malém objemu Dennerle Nano Eckfilter, křemičitý písek o zrnitosti 1-2 mm, tři lampy obsahující 24 LED diod s příkonem 1,6 W, vodovodní pitná voda, rostliny douška hustolistá (*Egeria densa*) o různých délkách a vločkové krmivo pro ryby Sera Vipán. Původním záměrem bylo použití filtrů, jejichž filtrační hmoty by měly různé objemy v poměru 1:2:3 s ohledem na různé objemy akvárií, nicméně dostupná čerpadla měla příliš vysoký výkon (a rychlost průtoku) pro takto nízké objemy akvárií, proto jsem použila rohové filtry Dennerle, jejichž objem filtrační hmoty je sice stejný, ale i při nízkém výkonu mají regulovatelný průtok, což umožňuje alespoň částečné uzpůsobení různým objemům akvárií. Douška hustolistá byla vybrána pro rychlost růstu, snadné měření délky těla rostliny a snadnou dostupnost.

#### 4.2.2 Založení

Do akvárií jsem vložila křemičitý písek, na stěny akvárií jsem upevnila filtry a lampy. Akvária jsem naplnila vodou a 6 hodin jsem je nechala temperovat na pokojovou teplotu. Do vody jsem vložila rostliny tak, aby vzplývaly, dále jsem přidala krmivo, zapojila filtry a osvětlení a odebrala první vzorky. Údaje o objemu písku, délce rostlin a hmotnosti krmiva pro každé akvárium a opakování jsou uvedeny v tabulce 1.

**Tabulka 1:** Použité materiály pro založení akvárií.

1. opakování	Objem akvária [l]	Objem písku [l]	Celková délka rostlin <i>Egeria densa</i> [cm]	Počet rostlin <i>Egeria densa</i>	Hmotnost krmiva [g]
Akvárium A1	10	2,5	149	6	0,74
Akvárium A2	20	5,0	295	11	1,48
Akvárium A3	30	7,5	463	17	2,22
2. opakování					
Akvárium A1	10	2,5	150	5	0,78
Akvárium A2	20	5,0	300	12	1,52
Akvárium A3	30	7,5	450	15	2,31

#### 4.2.3 Průběh

Každý druhý den jsem v každém akváriu měřila teplotu a pH ručním měřicím přístrojem Hach HQ40d, elektrodami zn. Hach. Po ukončení těchto měření jsem z každého akvária odebrala 2x50 ml akvarijní vody, vzorky jsem okamžitě označila a zamrazila. Následně jsem z A2 odebrala dalších 100 ml akvarijní vody a z A3 dalších 200 ml akvarijní vody. Odebrané objemy jsem ve všech akváriích doplnila čerstvou vodovodní vodou temperovanou na pokojovou teplotu. Světelný režim akvárií probíhal v době 9-22 hodin. Každé opakování pokusu probíhalo 28 dní, z každého akvária jsem tedy za jedno opakování odebrala 2x14 vzorků po 50 ml. Po ukončení prvního opakování jsem akvária vypustila, rostliny jsem změřila a uchovala pro další použití, písek jsem vybrala, vyprala třikrát ve vodě o teplotě 70 °C, vysušila a uchovala. Filtry jsem proprala ve vodě o teplotě 70 °C, vysušila a uschovala. Stěny akvárií jsem umyla saponátem, opláchlá a usušila. Po dvou týdnech jsem akvária znovu založila pro druhé opakování.

#### 4.2.4 Sběr a zpracování vzorků

Vzorky jsem označila číslem akvária (1-3), číslem odběru (1-14) a písmenem varianty (a/b). Rozlišení variant mi sloužilo při pozdější analýze vzorků, varianta *a* sloužila k analýze dusitanů, varianta *b* sloužila k analýze amonných kationtů a dusičnanů. První vzorek odebraný z akvária o objemu 10 l určený k analýze dusitanů tedy nesl označení 1-1a.

V den analýzy jsem vzorky dané varianty rozmrazila v laboratoři a následně analyzovala, tzn., že analýza koncentrace dusitanů proběhla v jiný den než analýza koncentrace amonných iontů a dusičnanů.

Analýzu amonných iontů jsem provedla přímým měřením pomocí ručního měřicího přístroje GMH 3530 se zapojenou amoniovou kombinovanou iontově selektivní elektrodou Theta '90. Kalibrační křivku jsem sestavila dle normy ČSN ISO 7150-1 v rozsahu 5-20 mg l<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Samotné měření spočívá v ponoření elektrody do vzorku a odečtení hodnoty napětí po ustálení. Součástí těla kombinované elektrody je i referenční elektroda. Odečtené hodnoty napětí a vypočtené koncentrace jsou uvedeny v příloze (tab. 1).

Analýzu dusitanů jsem uskutečnila plně v souladu s normou ČSN EN 26777. Kalibraci jsem provedla pro rozsah 0-0,625  $\mu\text{g ml}^{-1}$   $\text{NO}_2^-$ . Jedná se o spektrofotometrické stanovení, ve kterém dusitany obsažené ve vzorku reagují s vybarvujícím činidlem za vzniku růžového zbarvení, jehož absorbance je poté měřena. Měření jsem prováděla ve spektrofotometru Helios s použitím kyvety s optickou dráhou 40 mm. Objemy vzorků, naměřené absorbance a vypočtené koncentrace jsou uvedeny v příloze (tab. 2).

Analýzu dusičnanů jsem provedla současně s analýzou amonných iontů. Obsah dusičnanů jsem zjistila opět přímým měřením pomocí ručního měřicího přístroje GMH 3530 se zapojenou dusičnanovou kombinovanou iontově selektivní elektrodou Theta '90. Kalibrační křivku jsem sestavila dle normy ČSN ISO 7890-3 v rozsahu 0-100  $\text{mg l}^{-1}$   $\text{NO}_3^-$ . Součástí těla kombinované elektrody je i referenční elektroda. Odečtené hodnoty napětí a vypočtené koncentrace jsou uvedeny v příloze (tab. 3).

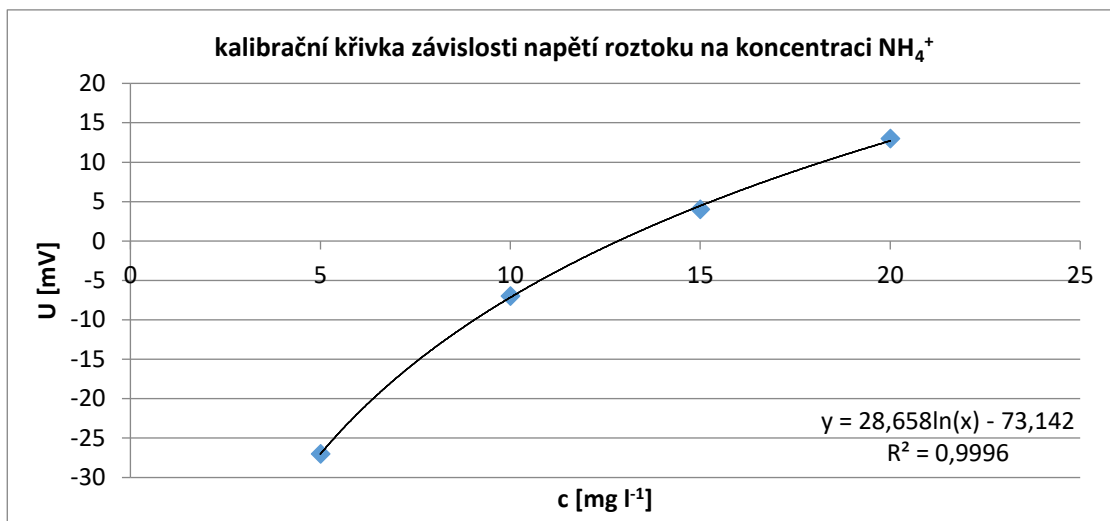
## 4.3 Výsledky

### 4.3.1 Amonné ionty

Kalibrační křivku pro stanovení amonných iontů jsem vytvořila na základě měření napětí roztoků kalibrační sady. Jednalo se o roztoky chloridu amonného o přesně stanovených koncentracích. Naměřené hodnoty napětí pro kalibraci jsou uvedeny v tabulce 2, kalibrační křivka je uvedena v grafu 1.

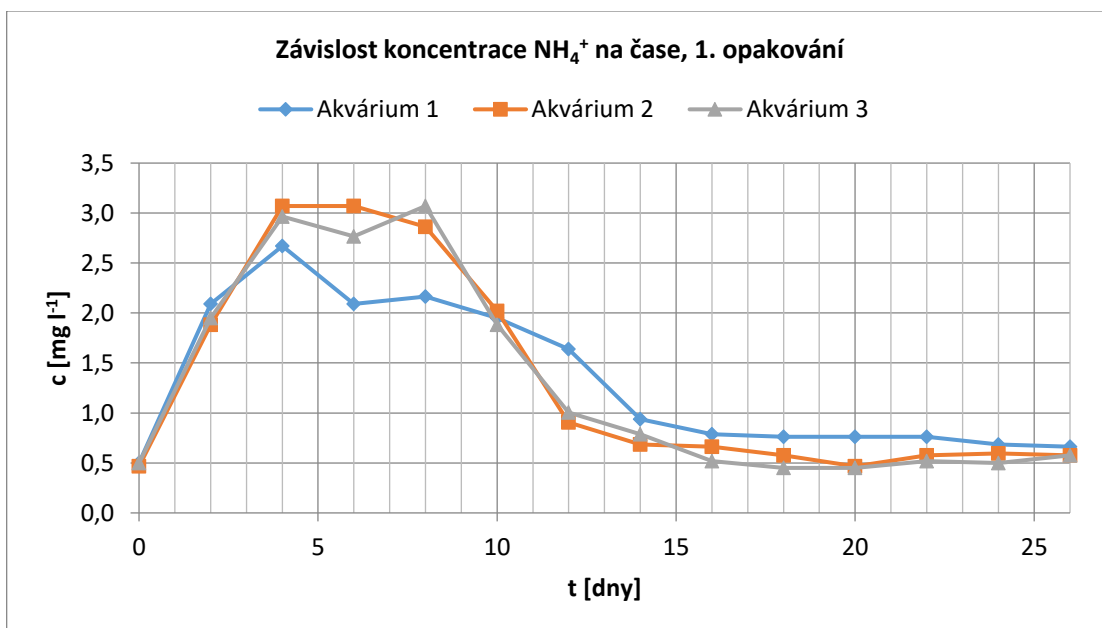
**Tabulka 2:** Naměřené hodnoty napětí pro dané koncentrace amonných iontů.

c [ $\text{mg l}^{-1}$ ]	U [mV]
5	-27
10	-7
15	4
20	13



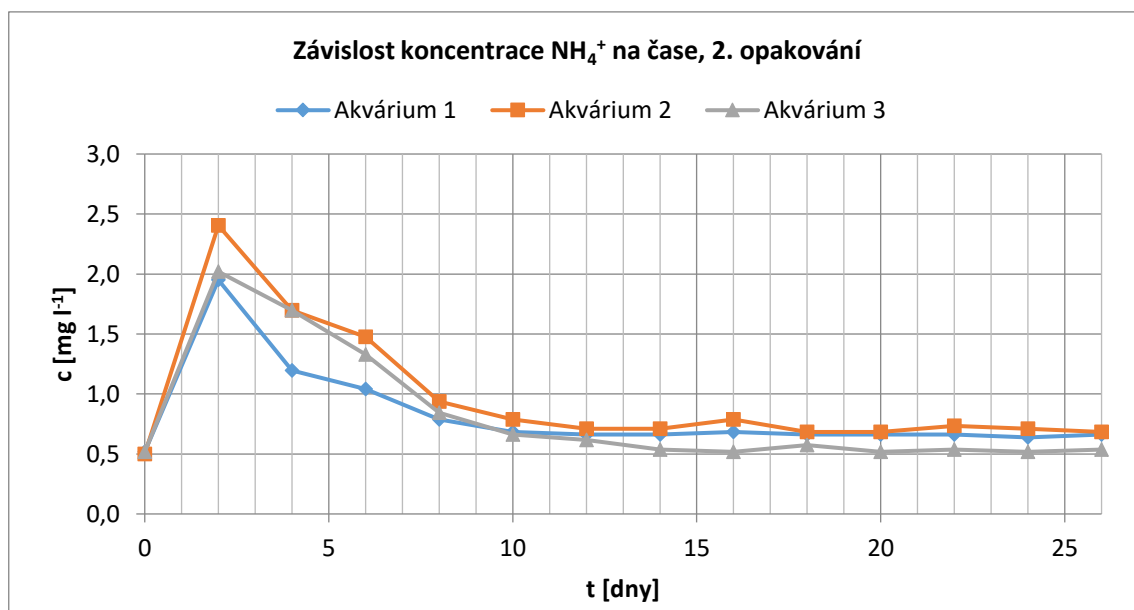
**Graf 1:** Kalibrační křivka závislosti napětí na koncentraci  $\text{NH}_4^+$ .

Z rovnice kalibrační křivky jsem získala vztah pro výpočet koncentrace amonných iontů z naměřených hodnot napětí  $c = e^{(U+73,14)/28,65}$ , kde U je daná hodnota napětí. Výsledky měření (souhrnně sepsané v příloze, tab. 1) jsem zpracovala do grafu 2 (pro 1. opakování) a grafu 3 (pro 2. opakování).



**Graf 2:** Grafické znázornění závislosti koncentrace  $\text{NH}_4^+$  na čase, 1. opakování.

V průběhu prvního opakování došlo k výraznému nárůstu koncentrace amonných iontů v prvních 6 dnech. Po 8. dni se začaly koncentrace ve všech akváriích snižovat. V akváriu o objemu 10 l docházelo ke snížení koncentraci pozvolněji a výsledné ustálení, ke kterému došlo ve všech akváriích po 14. dni, bylo v A1 na vyšší hladině než u zbývajících dvou akvárií.



**Graf 3:** Grafické znázornění závislosti koncentrace NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na čase, 1. opakování.

V průběhu druhého opakování došlo opět k strmému nárůstu koncentrací amonných iontů ve všech akváriích, oproti prvnímu opakování však došlo k strmému poklesu a rychlejšímu ustálení ve všech akváriích. K ustálení na přibližně stejné hodnotě došlo již během 10. dne.

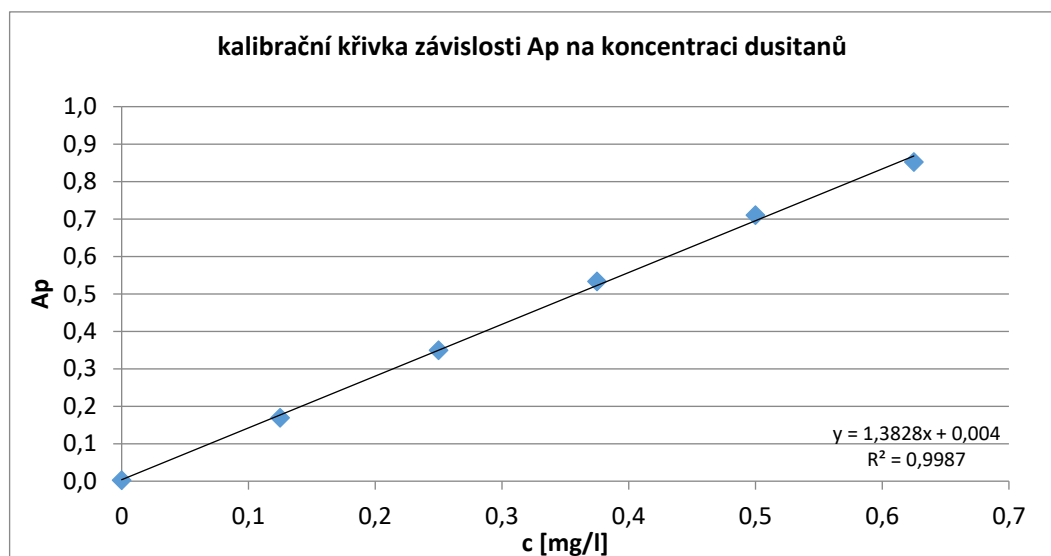
#### 4.3.2 Dusitany

Kalibrační křivku pro stanovení dusitanů jsem vytvořila na základě měření absorbancí sady roztoků dusitanu sodného o známých koncentracích. Každý roztok jsem změřila třikrát, z absorbancí pro každý roztok jsem spočítala aritmetický průměr, který jsem použila k sestavení kalibrační křivky. Naměřené absorbance pro dané koncentrace jsou uvedeny v tabulce 3. Kalibrační křivka je uvedena v grafu 4.

**Tabulka 3:** Naměřené hodnoty absorbancí pro dané koncentrace dusitanů a jejich průměrné hodnoty. Vysvětlivky: c je koncentrace dusitanů v roztoku, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> jsou naměřené absorbance, A<sub>p</sub> je průměrná absorbance.

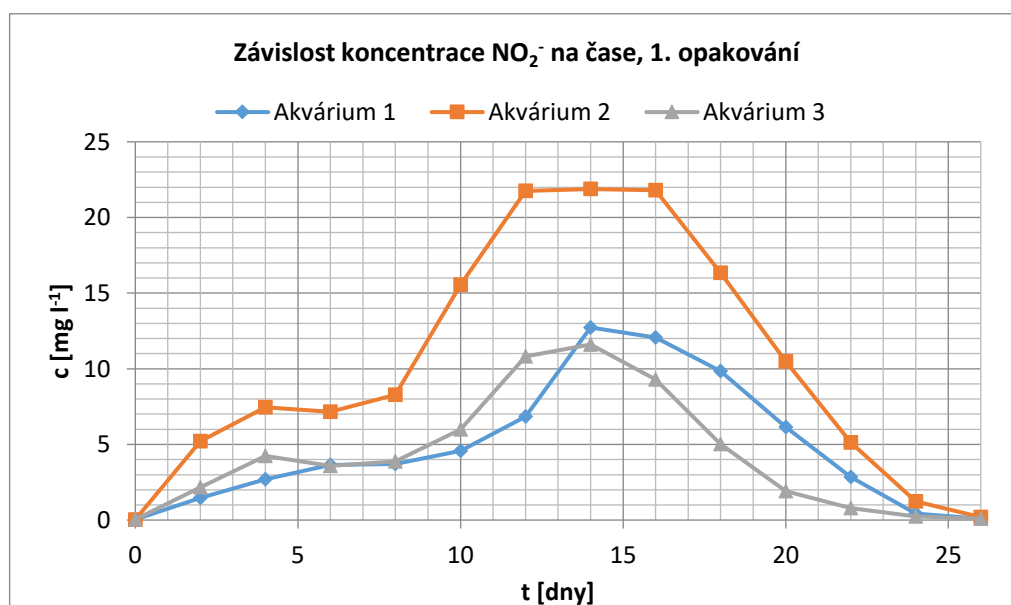
c [mg l <sup>-1</sup> ]	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>p</sub>
<0,001	0,0024	0,0027	0,0029	0,0027
0,125	0,1659	0,1710	0,1713	0,1694
0,250	0,3428	0,3526	0,3538	0,3497
0,375	0,5308	0,5344	0,5342	0,5331
0,500	0,7081	0,7114	0,7102	0,7099
0,625	0,8494	0,8530	0,8525	0,8516





**Graf 4:** Kalibrační křivka závislosti absorbance na koncentraci  $\text{NO}_2^-$ .

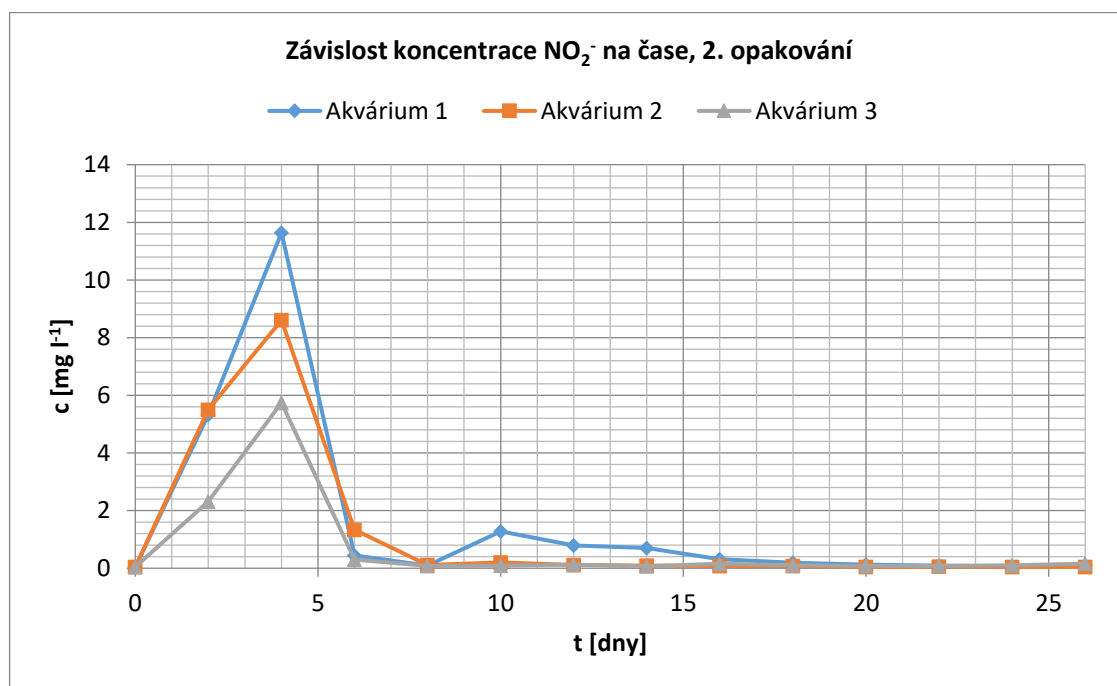
Z rovnice směrnice kalibrační křivky jsem získala vztah pro výpočet koncentrace dusitanů z naměřených hodnot absorbancí  $c = (A_r - 0,004)/1,3828$ , kde  $A_r$  je korigovaná absorbance, tj. rozdíl naměřené absorbance a absorbance blanku (jako kontrola sloužila destilovaná voda). Výsledky měření (souhrnně sepsané v příloze, tab. 2) jsem zpracovala do grafu 5 (pro 1. opakování) a grafu 6 (pro 2. opakování).



**Graf 5:** Grafické znázornění závislosti koncentrace  $\text{NO}_2^-$  na čase, 1. opakování.

V průběhu prvního opakování se koncentrace dusitanů rychle zvyšovala, již druhý den dosahovala koncentrace dusitanu ve všech akváriích hodnot, které již způsobují oxidaci krevní-

ho barviva ryb (tj.  $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ ). Mezi 12.–16. dnem pokusu byly koncentrace dusitanů ve všech akváriích na vrcholu, po 16. dnu začalo odbourávání dusitanů převažovat nad jejich produkcí, což se projevilo ve snižování koncentrace ve všech akváriích. Pro ryby bezpečná koncentrace se v akváriu ustálila až po 26. dnu. Nejvyšší obsah dusičnanů byl naměřen v akváriu o objemu 20 l, v tomto akváriu byl obsah dusitanů vyšší po celou dobu odběrů.



**Graf 6:** Grafické znázornění závislosti koncentrace NO<sub>2</sub><sup>-</sup> na čase, 2. opakování.

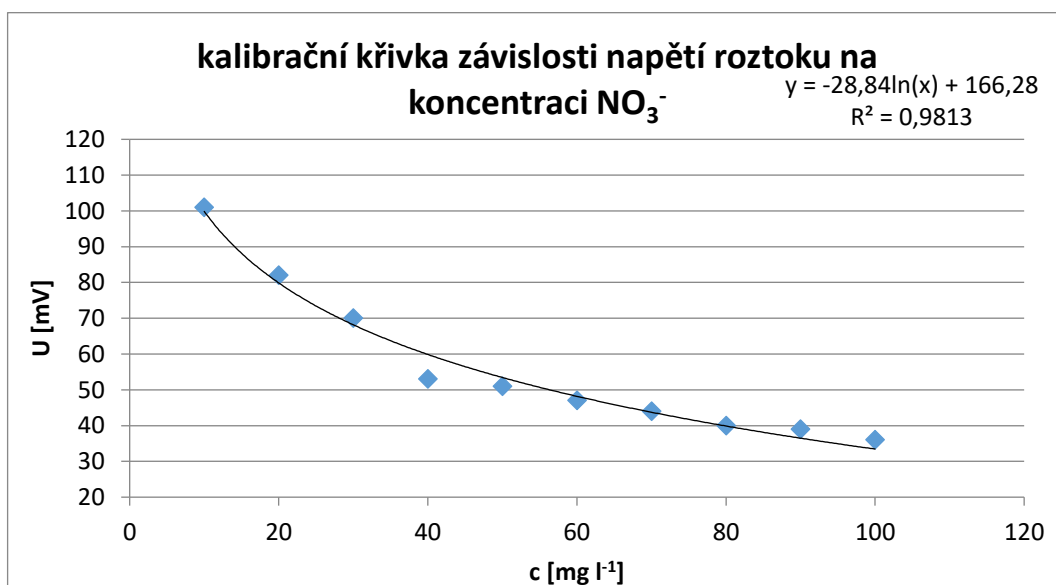
V průběhu druhého opakování došlo k překvapivě strmému nárůstu koncentrací dusitanů během prvních pěti dnů ve všech akváriích. Odbourávání začalo také velice rychle, což se projevilo strmým poklesem koncentrací dusitanů ve všech akváriích. V akváriích o objemu 20 a 30 l se koncentrace ustálila na bezpečné úrovni, v akváriu o objemu 10 l došlo k mimořádnému mírnému vzestupu a následnému poklesu koncentrace v průběhu 10.–16. dne. Na rozdíl od prvního opakování zde nedošlo k mimořádně vysokému obsahu dusitanů v A2.

#### 4.3.3 Dusičnany

Kalibrační křivku pro stanovení dusičnanů jsem vytvořila na základě měření napětí roztoků kalibrační sady. Jednalo se o roztoky dusičnanu draselného o přesně stanovených koncentracích. Naměřené hodnoty napětí pro kalibraci jsou uvedeny v tabulce 4, kalibrační křivka je uvedena v grafu 7.

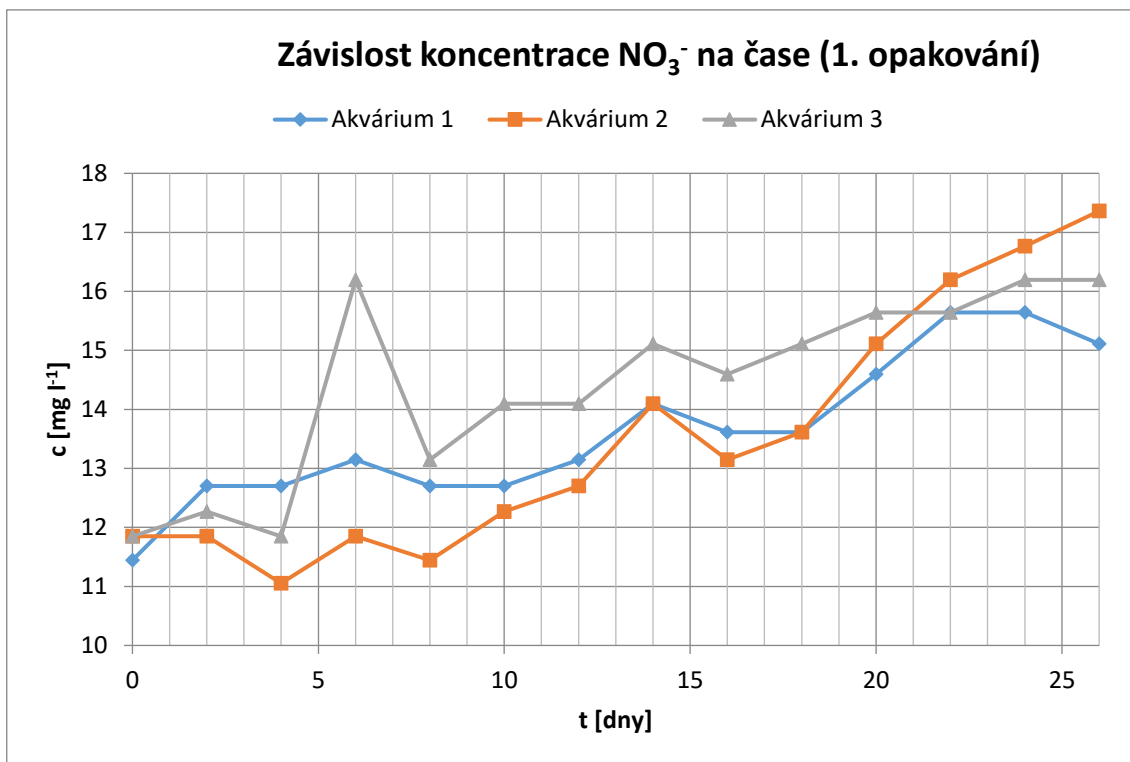
**Tabulka 4:** Naměřené hodnoty napětí pro dané koncentrace amonných iontů.

c [mg l <sup>-1</sup> ]	U [mV]
10	101
20	82
30	70
40	53
50	51
60	47
70	44
80	40
90	39
100	36



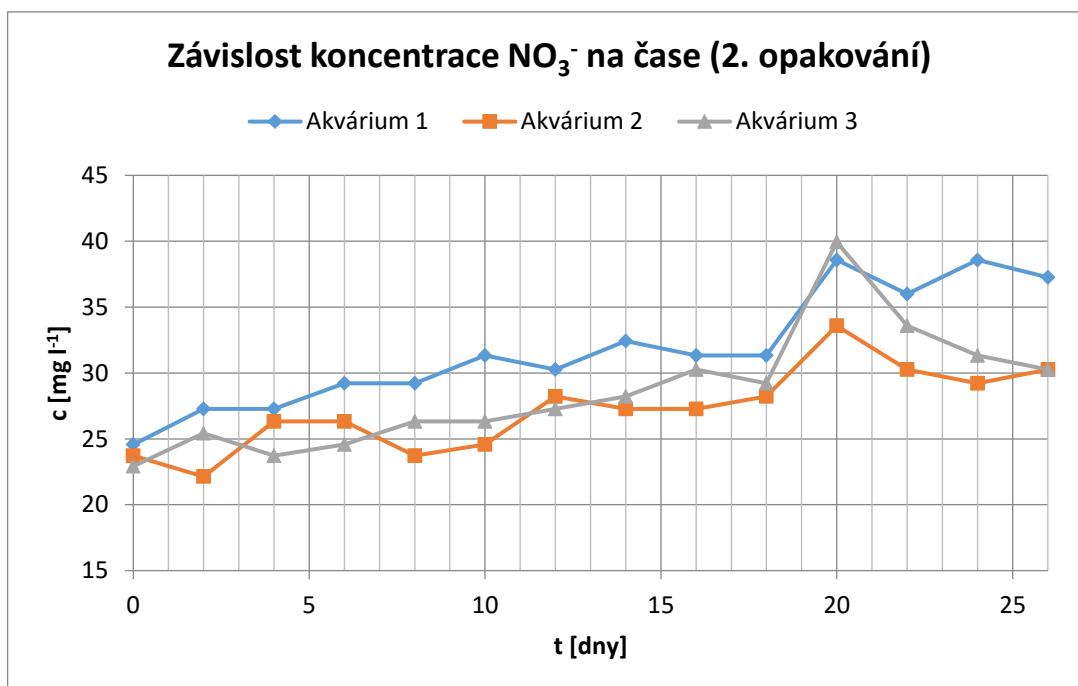
**Graf 7:** Kalibrační křivka závislosti napětí na koncentraci NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Z rovnice kalibrační křivky jsem získala vztah pro výpočet koncentrace dusičnanových aniontů z naměřených hodnot napětí  $c = e^{(166,2-U)/28,8}$ , kde U je daná hodnota napětí. Výsledky měření (souhrnně sepsané v příloze, tab. 3) jsem zpracovala do grafu 8 (pro 1. opakování) a grafu 9 (pro 2. opakování).



**Graf 8:** Grafické znázornění závislosti koncentrace  $\text{NO}_3^-$  na čase, 1. opakování.

V průběhu prvního opakování došlo k postupnému navyšování koncentrací dusičnanů ve všech akváriích. i přes občasné mírné poklesy lze pozorovat dlouhodobý trend, během kterého dochází k nárůstu koncentrace dusičnanů ve všech nádržích. Mimořádně vysoká koncentrace v A3 zjištěná ve vzorku z 6. dne není opodstatněná žádným dějem v akváriu a může být způsobená chybou měření.

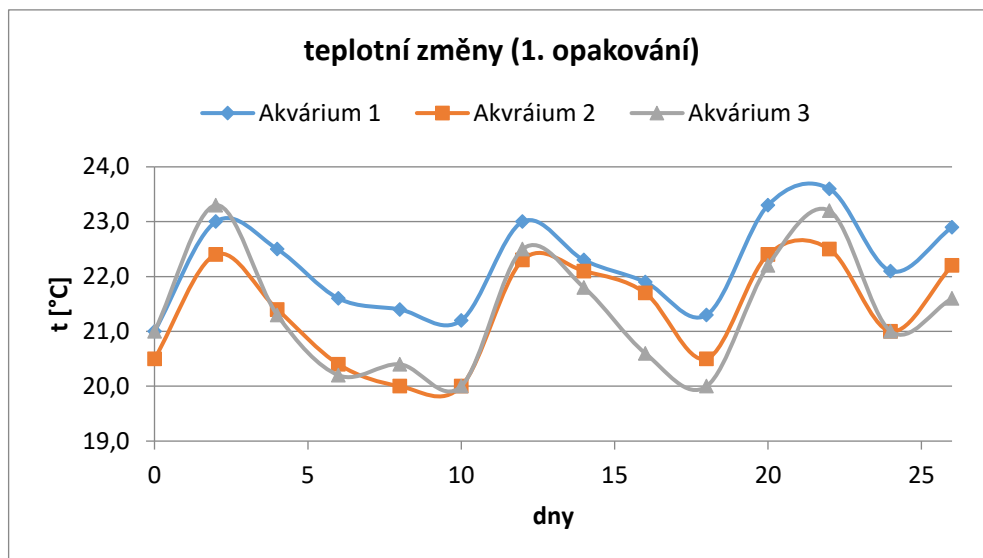


**Graf 9:** Grafické znázornění závislosti koncentrace NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na čase, 2. opakování.

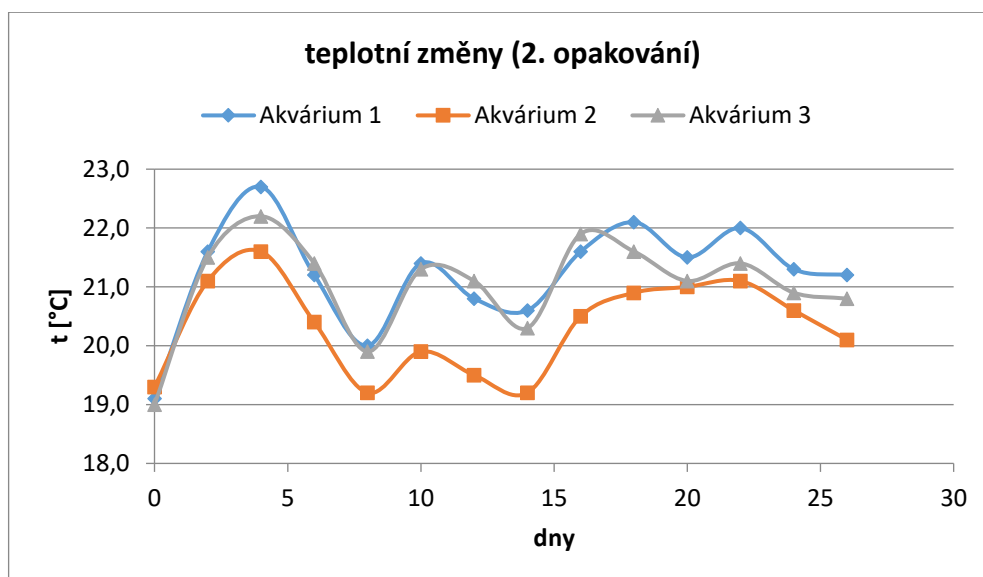
V průběhu druhého opakování opět docházelo ke kontinuálnímu nárůstu koncentrace dusičnanů ve všech nádržích. Počáteční koncentrace prvního dne pokusu jsou však výrazně vyšší než při prvním opakování, nicméně nárůst dusičnanů je podobný. Během 20. dne došlo ve všech nádržích k mimořádnému zvýšení koncentrací dusičnanů, oproti dosud plynule stoupajícímu trendu.

#### 4.3.4 Teplota a pH

Naměřené hodnoty teplot a pH, včetně průměrných hodnot jsou sepsány v příloze (tab. 4).

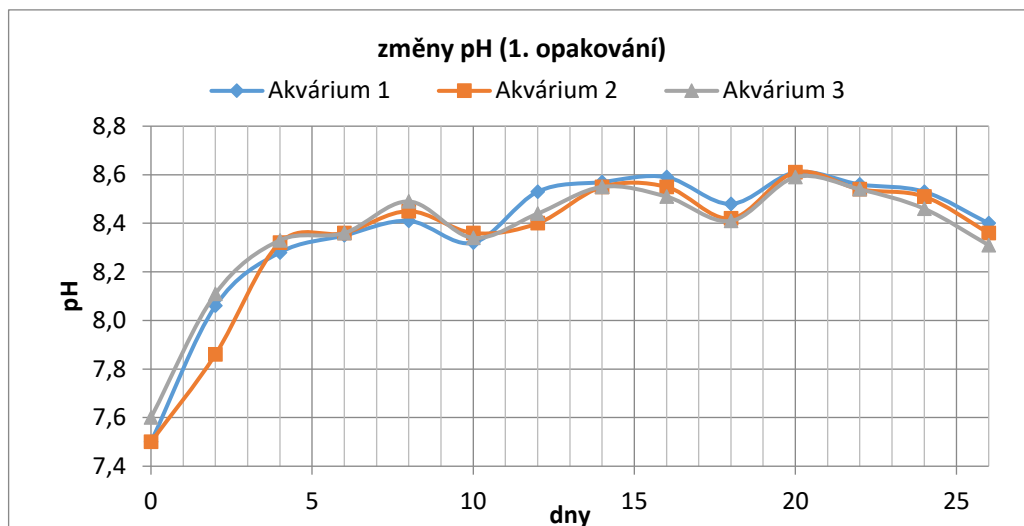


**Graf 10:** Teplotní změny v nádržích v průběhu 1. opakování.

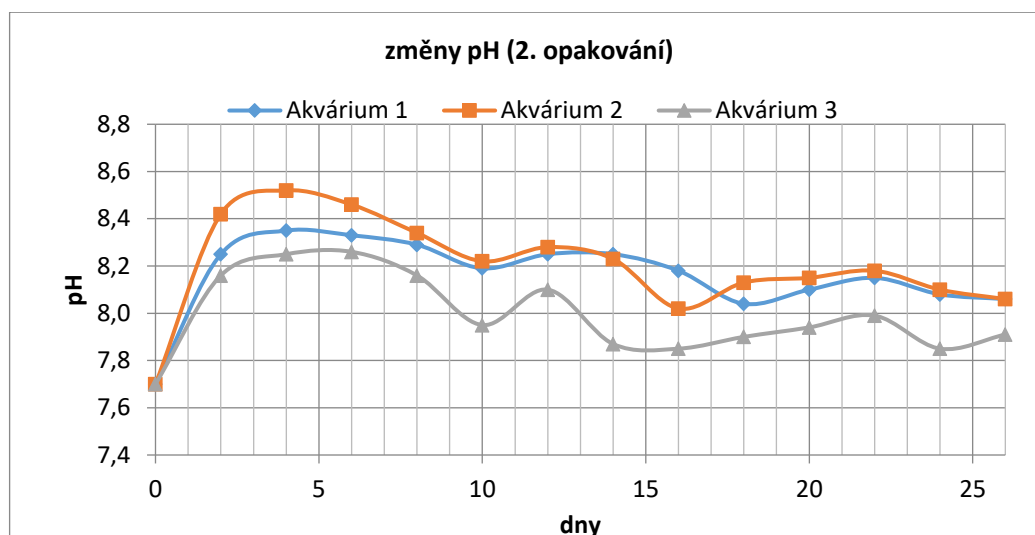


**Graf 11:** Teplotní změny v nádržích v průběhu 2. opakování.

Teplota akvárií se v průběhu obou opakování odvíjela od teploty místnosti. K odběrům docházelo vždy ve stejnou dobu.



**Graf 12:** Změny pH v nádržích v průběhu 1. opakování.



**Graf 13:** Změny pH v nádržích v průběhu 2. opakování.

V akváriích došlo poměrně rychle k výraznému nárůstu pH. Výkyvy v hodnotě pH jsou dány změnami v rovnováhách rozpuštěných látek a dalšími procesy ve vodě. Během prvního opakování byly patrné menší rozdíly v hodnotách pH mezi jednotlivými nádržemi. Při druhém opakování došlo k viditelnému rozestupu, obecně nejnižší pH měla nádrž o objemu 30 l.

#### 4.4 Diskuze

Během prvního opakování došlo k postupnému rozložení dusíkatých organických látek obsažených v krmivu a uvolnění amonných kationtů, jejichž koncentrace se začala zvyšovat. Se zvyšující se koncentrací  $\text{NH}_4^+$  začaly růst bakterie oxidující  $\text{NH}_4^+$  na  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$ , což se projeví snížením koncentrace  $\text{NH}_4^+$  a zvyšující se koncentrací  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$ . Zvyšující se koncentra-

ce  $\text{NO}_2^-$  stimulovala růst bakterií oxidujících na  $\text{NO}_3^-$ , což mělo za následek snížení koncentrace  $\text{NO}_2^-$  a nárůst koncentrace  $\text{NO}_3^-$ . Průměrná hodnota pH byla 8,4 pro A1; 8,3 pro A2 a 8,4 pro A3 (tab. 4 v příloze), rovnováha mezi disociovaným a nedisociovaným amoniakálním dusíkem se tedy posouvá směrem k nedisociovanému dusíku a jeho koncentrace tím vzrůstá. Dle Pittera (2009) činí nedisociovaný amoniakální dusík při teplotě 20 °C a pH 8,0-8,5 mezi 3,8-11,2 % celkového amoniakálního dusíku (tabulka 4.31 na str. 207). Koncentrace amonných iontů a dusitanů se snížily na živočichům bezpečné úrovně, kde se stabilizovaly. Koncentrace dusičnanů se kontinuálně zvyšovaly. Změny koncentrací dusíkatých látek a jejich průběh v čase proběhly podle očekávání. Ve všech akváriích se metabolismus dusíkatých látek ustálil ve stejném časovém období. Pro živočichy vhodné prostředí se v akváriích ustálilo po 26. dni.

Během druhého opakování došlo k několika změnám v časovém průběhu změn koncentrací. Strmý pokles koncentrace  $\text{NH}_4^+$  po dosažení vrcholu poukazuje na rychlý a účinný proces odčerpání ze systému. Výraznější je tento jev u dusitanů, k jejichž odčerpávání a udržení koncentrací na nízkých hladinách dochází již během prvního týdne. Koncentrace dusičnanů kontinuálně stoupala, zajímavá je změna u jejich počáteční koncentrace. Při založení druhého opakování byla opět použita vodovodní pitná voda, nicméně mezi opakováními uplynul měsíc a půl, hodnota dusičnanů ve vodovodní vodě tedy zřejmě kolísá. K ustálení metabolismu dusíkatých látek došlo ve všech akváriích během stejného časového období, pro živočichy vhodné prostředí se v akváriích ustálilo po 16. dni, tedy o 10 dní dříve než během 1. opakování.

Ve všech akváriích došlo k ustálení metabolismu dusíkatých látek ve stejnou dobu. Z toho můžeme vyvodit, že pro akvária o objemech 10 l, 20 l a 30 l čas ustálení nebyl na objemu nádoby závislý. Rozdíl mezi opakováními je dle mého názoru způsoben přežitím nitrifikačních bakterií z prvního opakování. Po založení akvárií druhého opakování došlo k jejich rychlému pomnožení a účinnější přeměně dusíkatých látek. Největší pravděpodobnost pro jejich přežití je v substrátu – má největší povrch. Substrát jsem promývala horkou vodou a poté vysušila, nečistila jsem jej chemickými prostředky, abych neovlivnila výsledky měření, chemismus vody atp. při nedokonalém odstranění prostředku. Je tedy možné, že bakterie, které přežily, urychlily metabolismus dusíkatých látek. Obě opakování tak poskytují zajímavé srovnání, jelikož poskytování vody, písku či rostlin ze stabilizovaných akvárií do nově založených je mezi akvaristy jeden ze způsobů, jak nitrifikaci urychlit a tento jev se této práci také dotýká.

Akvária o větších objemech nejsou předmětem této práce, ale myslím, že by bylo zajímavé pozorovat chování nádrží, mezi jejichž objemy by byly výraznější rozdíly, ale kterým by byly dané stejné podmínky (osvětlení, rostlinný materiál, poměr dodaných dusíkatých látek atp.). Informace o člácích či publikacích věnujících se déle nitrifikačního cyklu v závislosti na objemu nádoby jsem nenalezla, k tématu nitrifikace však existují zajímavé články, které dolo-



ručují k přečtení. Za zmínku stojí zejména komparativní analýza nitrifikačních bakterií sladkovodních a mořských akvárií (Hovanec & DeLong 1996), která došla k zajímavému závěru, že bakterie rodu *Nitrosomonas* nejsou hlavním činitelem nitrifikace ve sladkovodních akváriích, jak se doposud myslelo. Dalším zajímavým námětem ke čtení je článek o biodiverzitě nitrifikačních bakterií v mobilních biofiltrech využitelných ve sladkovodních akvakulturách (Van Kessel *et al.* 2010), který hodnotí praktické využití těchto biofiltrů ve sladkovodních akvakulturách.

## 5. Závěr

Práce měla za cíl pomocí rešerše odborné literatury popsat základní principy a procesy související s vytvořením a udržením stabilního ekosystému v akváriu. K této stabilitě přispívá kombinace mnoha abiotických a biotických faktorů, kterým jsem se věnovala do takové míry, že text považuji za vhodný podpurný materiál pro učitele.

Pro usnadnění realizace mé bakalářské práce jsem sepsala i stručný návod pro založení a údržbu akvária, popsala jsem problémy, které mohou nastat při údržbě, a také jsem popsala stručné řešení těchto problémů. Postup založení nádrže jsem rozdělila do kapitol, během nichž jsem popsala témata středoškolské chemie, biologie a fyziky, která se dají na akváriu demonstrovat. Fakt, že témata na sebe nenavazují a nejsou utříděná do předmětů, dle mého názoru dobře demonstruje provázanost všech těchto jevů, na kterou bych ve své praxi chtěla klást důraz.

Ve třetí části této práce jsem se věnovala pozorování průběhu procesu nitrifikace a sledování vlivu objemu nádoby na dobu, během níž dojde k ustálení metabolismu dusíkatých látek. Dle výsledků doba, během které dojde ke snížení koncentrace nebezpečných metabolických meziproduktů na bezpečnou úroveň, není závislá na objemu nádoby v rámci zkoumaného rozsahu objemů. V průběhu druhého opakování se doba ustálení metabolismu dusíkatých látek výrazně zkrátila, pravděpodobně z důvodu přežití části nitrifikačních bakterií.

Téma práce jsem si zvolila, protože si myslím, že akvárium je skutečně užitečnou učební pomůckou. Během tvorby této práce jsem se v tomto názoru utvrdila a tuto práci využiji jako pracovní materiál během vlastní práce na škole. Doufám, že případní čtenáři můj názor sdílí, akvaristika je totiž nejen zábavné, ale i přínosné využití volného času.

## 6. Seznam literatury

- ALONSO, Alvaro a Julio A. CAMARGO. Toxicity of nitrite to three species of freshwater invertebrates. *Environmental Toxicology*. 2006, vol. 21, issue 1, s. 90-94. DOI: 10.1002/tox.20155. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/tox.20155>
- BARBIER, Cecile. Crevettes d'eau douce en aquariophilie: exemple de maintenance de la neocaridina heteropoda pour les débutants. *Crevettes d'eau douce en aquariophilie* [online]. 2010, s. 100 [cit. 2014-11-12]. Dostupné z: [http://oatao.univ-toulouse.fr/4229/1/hartmann\\_4229.pdf#?](http://oatao.univ-toulouse.fr/4229/1/hartmann_4229.pdf#?)
- BEGON, Michael, John L. HARPER a Colin R. TOWNSEND. *Ekologie: jedinci, populace a společenstva*. 1. vyd. Překlad Bronislava Grygová. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1997, xxiv, 949 s. ISBN 80-706-7695-7.
- BEHRENDT, Alexandra a Chris LUKHAUP. *Akvarijní plži*. České vyd. 1. Praha: Jan Vašut, 2011, 64 s. ISBN 978-80-7236-748-1.
- ČERNOHORSKÝ, Zdeněk. *Základy rostlinné morfologie*. 4. vyd. Hana Střihavková. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1967, 220 s. ISBN -.
- Česká republika. Vyhláška č. 395/1992 Sb.: Vyhláška MŽP, kterou se provádějí některá ustanovení zákona České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. In: 1992. 1992. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/>
- Česká republika. Vyhláška: ze dne 22. dubna 2004, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: 252/2004. Ministerstvo zdravotnictví, 2004, 82/2004. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=57875&nr=252~2F2004&rpp=15#local-content>
- ČSN EN 26777. *Stanovení dusitanů: Molekulární absorpční spektrofotometrická metoda*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- ČSN ISO 7150-1. *Stanovení amonných iontů: Manuální spektrometrická metoda*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- ČSN ISO 7890-3. *Stanovení dusičnanů: Spektrometrická metoda s kyselinou sulfosalicylovou*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- DOBIÁŠ, Lubomír et al. *Obecná a speciální mikrobiologie*. 1. vyd. Ostrava: Multex Soft, 2003, 261 s. ISBN -.
- HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. české vyd., 2. dotisk. Překlad Jan Obdržálek, Bohumila Lencová, Petr Dub. Brno: Prometheus, 2006. ISBN 80-214-1868-0.

- HONZA, Jaroslav a Aleš MAREČEK. *Chemie pro čtyřletá gymnázia*. 3., přeprac. vyd. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2005, 227 s. ISBN 80-718-2141-1.
- HOVANEC, T. A. a E. F. DELONG. Comparative analysis of nitrifying bacteria associated with freshwater and marine aquaria. *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*. 1996, roč. 62, č. 8, s. 2888-2896.
- JELÍNEK, Jan a Vladimír ZICHÁČEK. *Biologie pro gymnázia: (teoretická a praktická část)*. 7. rozšířené. vyd. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2005, 573 s., barevné přílohy. ISBN 80-718-2177-2.
- KALINA, Tomáš a Jiří VÁŇA. *Sinice, řasy, houby, mechorošty a podobné organismy v současné biologii*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2005, 606 s., 32 s. obr. příl. ISBN 978-802-4610-368.
- KAOUD, H. A. a Quratulan AHMED. Copper intoxication in tropical freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*. 2013, vol. 3, issue 5, s. 220-227.  
Dostupné z: [http://ijeit.com/Vol%203/Issue%205/IJEIT1412201311\\_35.pdf](http://ijeit.com/Vol%203/Issue%205/IJEIT1412201311_35.pdf)
- KLABAN, Vladimír. *Svět mikrobů: Ilustrovaný lexikon mikrobiologie životního prostředí*. 2. rozš. a přeprac. vyd. Hradec Králové: Gaudeamus, 2001, 416 s. ISBN 80-704-1687-4.
- KOPŘIVÍK, Břetislav. *Biologie vodních bakterií: Učební text pro specializaci hydrobiologie (podzemní vody)*. Olomouc: rektorát Univerzity Palackého v Olomouci, 1982, 171 s. ISBN -.
- LAMPERT, Winfried a Ulrich SOMMER. *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. New York: Oxford University Press, 1997, xiv, 382 p. ISBN 01-950-9592-8.
- LELLÁK, Jan a František KUBÍČEK. *Hydrobiologie*. 1. vyd. Alena Kynclová. Praha: Univerzita Karlova, 1992, 257 s. ISBN 80-706-6530-0.
- LUKHAUP, Chris, Reinhard PEKNY. *Sladkovodní krevety*. České vyd. 1. Jaroslav Hofmann. Praha: Vašut, 2008, 64 s. ISBN 978-807-2366-507.
- MCMURRY, John. *Organická chemie*. Vyd. 1. V Brně: VUTIUM, 2007, xxv, 1176, 61, 31 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-3291-8.
- PETROVICKÝ, Ivan. *Akvaristická příručka*. 4. přepracované. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1983, 192 s. ISBN -.
- PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. vyd. Praha: VŠCHT, 2009, viii, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
- POULÍČKOVÁ, Aloisie. *Základy ekologie sinic a řas*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011, 91 s. ISBN 978-802-4427-515.

- ROSYPAL, Stanislav. *Nový přehled biologie*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2003, xxii, 797 s. ISBN 80-718-3268-5.
- ROTTER, Pavel. *Stabilita ekologických systémů*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2013, 266 s. Recetox. ISBN 978-802-1066-083.
- SADÍLEK, Vladimír. *Akvariijní rostliny*. Vyd. 1. Praha: Ústřední rada družstev, 1965, 189 s. ISBN -.
- SCHLIEWEN, Ulrich. *Vaše akvárium*. České vyd. 1. Praha: Vašut, 2012, 144 s. Vaše zvířátko. ISBN 978-80-7236-801-3.
- SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 4. uprav. vyd. Praha: Prometheus, 2006, 531 s. ISBN 80-719-6307-0.
- TOWNSEND, Colin R., Michael BEGON a John L. HARPER. *Základy ekologie*. 1. české vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010, xii, 505 s. ISBN 978-802-4424-781.
- VACÍK, Jiří, Jana BARTHOVÁ, Josef PACÁK, Bohuslav STRAUCH, Miloslava SVOBODOVÁ a František ZEMÁNEK. *Přehled středoškolské chemie*. 2. vyd. Praha: SPN, 1999, 365 s. ISBN 80-723-5108-7.
- VANĚK, Vlastimil a Jiří STODOLA. *Vodní a vlhkostní rostliny*. Vyd. 1. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1987, 305 s. ISBN -.
- VAN KESSEL, Maartje A. H. J., Harry R. HARHANGI, Katinka VAN DE PAS-SCHOONEN, Jack VAN DE VOSSENBERG, Gert FLIK, Mike S. M. JETTEN, Peter H. M. KLAREN a Huub J. M. OP DEN CAMP. Biodiversity of N-cycle bacteria in nitrogen removing moving bed biofilters for freshwater recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*. 2010, vol. 306, 1-4, s. 177-184. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.05.019. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0044848610003285>
- VOTAVA, Miroslav. *Lékařská mikrobiologie obecná*. 2., přepr. vyd. Brno: Neptun, 2005, 351 s. ISBN 80-868-5000-5.
- VOTRUBOVÁ, Olga. *Anatomie rostlin*. 3., přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 2010, 192 s. ISBN 978-802-4618-678.
- WALSTAD, Diana L. *Ecology of the Planted Aquarium: a Practical Manual and Scientific Treatise for the Home Aquarist*. 3. vyd. Chapel Hill: Echinodorus Publishing, 2012. ISBN 978-0-9673773-6-0.
- WETZEL, Robert G. *Limnology*. Philadelphia: Saunders, 1975, xii, 743 p. ISBN 07-216-9240-0.

ZAHRÁDKOVÁ, Světlana. *Přednášky předmětu Základy ekologie: Voda*. Brno, 2014. Dostupné z: <https://is.muni.cz/auth/el/1431/podzim2014/Bi5080/um/um/vodapres1cast2010.pdf?studium=611918>.

## 7. Přílohy

**Tabulka 1:** Výsledky měření koncentrace amonných iontů v akvarijní vodě (pro obě opakování). Vysvětlivky: U je napětí odečtené z přístroje, c je koncentrace amonných iontů ve vzorku spočítaná ze směrnice kalibrační křivky a hodnoty napětí dle vztahu  $c = e^{(U+73,14)/28,65}$ .

	vzorek	U [mV]	c [mg l <sup>-1</sup> ]	vzorek	U [mV]	c [mg l <sup>-1</sup> ]	vzorek	U [mV]	c [mg l <sup>-1</sup> ]
1. opakování	1-1b	-93	0,499977	2-1b	-95	0,466265	3-1b	-93	0,499977
	1-2b	-52	2,091478	2-2b	-55	1,883551	3-2b	-54	1,950455
	1-3b	-45	2,670322	2-3b	-41	3,070422	3-3b	-42	2,965101
	1-4b	-52	2,091478	2-4b	-41	3,070422	3-4b	-44	2,765172
	1-5b	-51	2,165768	2-5b	-43	2,863392	3-5b	-41	3,070422
	1-6b	-54	1,950455	2-6b	-53	2,019736	3-6b	-55	1,883551
	1-7b	-59	1,638109	2-7b	-76	0,904995	3-7b	-73	1,004899
	1-8b	-75	0,937141	2-8b	-84	0,684506	3-8b	-80	0,787067
	1-9b	-80	0,787067	2-9b	-85	0,661026	3-9b	-92	0,517736
	1-10b	-81	0,760069	2-10b	-89	0,574889	3-10b	-96	0,450271
	1-11b	-81	0,760069	2-11b	-95	0,466265	3-11b	-96	0,450271
	1-12b	-81	0,760069	2-12b	-89	0,574889	3-12b	-92	0,517736
	1-13b	-84	0,684506	2-13b	-88	0,595310	3-13b	-93	0,499977
	1-14b	-85	0,661026	2-14b	-89	0,574889	3-14b	-89	0,574889
2. opakování	1-1b	-92	0,517736	2-1b	-93	0,499977	3-1b	-92	0,517736
	1-2b	-54	1,950455	2-2b	-48	2,404849	3-2b	-53	2,019736
	1-3b	-68	1,196507	2-3b	-58	1,696296	3-3b	-58	1,696296
	1-4b	-72	1,040593	2-4b	-62	1,475255	3-4b	-65	1,328591
	1-5b	-80	0,787067	2-5b	-75	0,937141	3-5b	-78	0,843974
	1-6b	-84	0,684506	2-6b	-80	0,787067	3-6b	-85	0,661026
	1-7b	-85	0,661026	2-7b	-83	0,708820	3-7b	-87	0,616455
	1-8b	-85	0,661026	2-8b	-83	0,708820	3-8b	-91	0,536126
	1-9b	-84	0,684506	2-9b	-80	0,787067	3-9b	-92	0,517736
	1-10b	-85	0,661026	2-10b	-84	0,684506	3-10b	-89	0,574889
	1-11b	-85	0,661026	2-11b	-84	0,684506	3-11b	-92	0,517736
	1-12b	-85	0,661026	2-12b	-82	0,733998	3-12b	-91	0,536126
	1-13b	-86	0,638352	2-13b	-83	0,708820	3-13b	-92	0,517736
	1-14b	-85	0,661026	2-14b	-84	0,684506	3-14b	-91	0,536126

**Tabulka 2:** Výsledky měření koncentrace dusitanů v akvarijní vodě (pro obě opakování). Vysvětlivky:  $V_{50}$  je objem vzorku vybarvený v 50ml odměrné baňce, a je změřená absorbance při 540 nm,  $A_b$  je absorbance blanku,  $A_r$  je korigovaná absorbance ( $A_r = A - A_b$ ) z níž je vypočtená koncentrace dusitanů,  $c$  - dle vztahu odečteného z kalibrační křivky  $c = \text{ředění} \cdot (A_r - 0,004) / 1,3828$ .

	vzorek	1. opakování; $A_b=0,003$					2. opakování; $A_b=0,000$				
		$V_{50}$ [ml]	ředění	A	$A_r$	c [mg l <sup>-1</sup> ]	$V_{50}$ [ml]	ředění	A	$A_r$	c [mg l <sup>-1</sup> ]
A1	1-1a	25	2	0,036	0,033	0,041944	25	2	0,036	0,036	0,046283
	1-2a	5	10	0,209	0,206	1,460804	2,5	20	0,372	0,372	5,322534
	1-3a	5	10	0,378	0,375	2,682962	1	50	0,326	0,326	11,64304
	1-4a	5	10	0,512	0,509	3,652010	10	5	0,127	0,127	0,444750
	1-5a	5	10	0,520	0,517	3,709864	20	2,5	0,053	0,053	0,088588
	1-6a	5	10	0,641	0,638	4,584900	20	2,5	0,714	0,714	1,283627
	1-7a	1	50	0,196	0,193	6,833960	20	2,5	0,442	0,442	0,791872
	1-8a	1	50	0,359	0,356	12,72780	15	3,33	0,296	0,296	0,703182
	1-9a	1	50	0,341	0,338	12,07695	15	3,33	0,136	0,136	0,317877
	1-10a	1	50	0,279	0,276	9,835117	20	2,5	0,110	0,110	0,191640
	1-11a	1	50	0,177	0,174	6,146948	20	2,5	0,075	0,075	0,128363
	1-12a	2	25	0,164	0,161	2,838444	25	2	0,065	0,065	0,088227
	1-13a	10	5	0,124	0,121	0,423055	25	2	0,049	0,049	0,065085
	1-14a	20	2,5	0,056	0,053	0,088588	25	2	0,065	0,065	0,088227
A2	2-1a	25	2	0,035	0,032	0,036159	25	2	0,033	0,033	0,041944
	2-2a	5	10	0,731	0,728	5,214058	2,5	20	0,384	0,384	5,496095
	2-3a	5	10	1,041	1,038	7,455887	1	50	0,242	0,242	8,605728
	2-4a	1	50	0,208	0,205	7,159387	2,5	20	0,096	0,096	1,330633
	2-5a	1	50	0,239	0,236	8,280301	15	3,33	0,051	0,051	0,113183
	2-6a	1	50	0,440	0,437	15,54816	20	2,5	0,116	0,116	0,202488
	2-7a	1	50	0,612	0,609	21,76743	25	2	0,083	0,083	0,114261
	2-8a	1	50	0,615	0,612	21,87590	20	2,5	0,057	0,057	0,095820
	2-9a	1	50	0,613	0,610	21,80359	20	2,5	0,048	0,048	0,079549
	2-10a	1	50	0,462	0,459	16,34365	25	2	0,063	0,063	0,085334
	2-11a	1	50	0,300	0,297	10,48597	25	2	0,037	0,037	0,047729
	2-12a	1	50	0,152	0,149	5,134510	25	2	0,041	0,041	0,053515
	2-13a	5	10	0,181	0,178	1,236621	25	2	0,038	0,038	0,049176
	2-14a	10	5	0,063	0,060	0,191640	25	2	0,038	0,038	0,049176
A3	3-1a	25	2	0,038	0,035	0,044837	25	2	0,037	0,037	0,047729
	3-2a	5	10	0,305	0,302	2,155048	5	10	0,323	0,323	2,306914
	3-3a	1	50	0,124	0,121	4,230547	2,5	20	0,401	0,401	5,741973
	3-4a	1	50	0,106	0,103	3,579693	20	2,5	0,174	0,174	0,307347
	3-5a	1	50	0,114	0,111	3,868962	25	2	0,062	0,062	0,083888
	3-6a	1	50	0,173	0,170	6,002314	20	2,5	0,057	0,057	0,095820
	3-7a	1	50	0,306	0,303	10,81140	25	2	0,089	0,089	0,122939
	3-8a	1	50	0,328	0,325	11,60688	20	2,5	0,045	0,045	0,074125
	3-9a	1	50	0,264	0,261	9,292739	20	2,5	0,092	0,092	0,159097
	3-10a	1	50	0,146	0,143	5,026034	25	2	0,072	0,072	0,098351
	3-11a	5	10	0,272	0,269	1,916402	25	2	0,062	0,062	0,083888
	3-12a	10	5	0,225	0,222	0,788256	25	2	0,058	0,058	0,078102
	3-13a	20	2,5	0,137	0,134	0,235030	25	2	0,075	0,075	0,102690
	3-14a	20	2,5	0,058	0,055	0,092204	25	2	0,115	0,115	0,160544



**Tabulka 3:** Výsledky měření koncentrace dusičnanů v akvarijní vodě (pro obě opakování).

Vysvětlivky: U je napětí odečtené z přístroje, c je koncentrace dusičnanů ve vzorku spočítaná ze směrnice kalibrační křivky a hodnoty napětí dle vztahu  $c = e^{(166,2-U)/28,8}$ .

	vzorek	U [mV]	c [mg l <sup>-1</sup> ]	vzorek	U [mV]	c [mg l <sup>-1</sup> ]	vzorek	U [mV]	c [mg l <sup>-1</sup> ]
1. opakování	1-1b	96	11,44439	2-1b	95	11,84875	3-1b	95	11,84875
	1-2b	93	12,70082	2-2b	95	11,84875	3-2b	94	12,26739
	1-3b	93	12,70082	2-3b	97	11,05384	3-3b	95	11,84875
	1-4b	92	13,14957	2-4b	95	11,84875	3-4b	86	16,19532
	1-5b	93	12,70082	2-5b	96	11,44439	3-5b	92	13,14957
	1-6b	93	12,70082	2-6b	94	12,26739	3-6b	90	14,09519
	1-7b	92	13,14957	2-7b	93	12,70082	3-7b	90	14,09519
	1-8b	90	14,09519	2-8b	90	14,09519	3-8b	88	15,10881
	1-9b	91	13,61417	2-9b	92	13,14957	3-9b	89	14,5932
	1-10b	91	13,61417	2-10b	91	13,61417	3-10b	88	15,10881
	1-11b	89	14,5932	2-11b	88	15,10881	3-11b	87	15,64263
	1-12b	87	15,64263	2-12b	86	16,19532	3-12b	87	15,64263
	1-13b	87	15,64263	2-13b	85	16,76753	3-13b	86	16,19532
	1-14b	88	15,10881	2-14b	84	17,35996	3-14b	86	16,19532
2. opakování	1-1b	74	24,56663	2-1b	75	23,72826	3-1b	76	22,9185
	1-2b	71	27,26368	2-2b	77	22,13638	3-2b	73	25,43462
	1-3b	71	27,26368	2-3b	72	26,33327	3-3b	75	23,72826
	1-4b	69	29,22428	2-4b	72	26,33327	3-4b	74	24,56663
	1-5b	69	29,22428	2-5b	75	23,72826	3-5b	72	26,33327
	1-6b	67	31,32588	2-6b	74	24,56663	3-6b	72	26,33327
	1-7b	68	30,25684	2-7b	70	28,22697	3-7b	71	27,26368
	1-8b	66	32,43268	2-8b	71	27,26368	3-8b	70	28,22697
	1-9b	67	31,32588	2-9b	71	27,26368	3-9b	68	30,25684
	1-10b	67	31,32588	2-10b	70	28,22697	3-10b	69	29,22428
	1-11b	61	38,58169	2-11b	65	33,5786	3-11b	60	39,94486
	1-12b	63	35,99332	2-12b	68	30,25684	3-12b	65	33,5786
	1-13b	61	38,58169	2-13b	69	29,22428	3-13b	67	31,32588
	1-14b	62	37,26504	2-14b	68	30,25684	3-14b	68	30,25684

**Tabulka 4:** Naměřené hodnoty teplot a pH. Vysvětlivky: AVG jsou průměrné hodnoty.

1. opakování	odběr	t [°C]	pH	odběr	t [°C]	pH	odběr	t [°C]	pH
	1-1b	21,0	7,50	2-1b	20,5	7,50	3-1b	21,0	7,60
	1-2b	23,0	8,06	2-2b	22,4	7,86	3-2b	23,3	8,11
	1-3b	22,5	8,28	2-3b	21,4	8,32	3-3b	21,3	8,33
	1-4b	21,6	8,35	2-4b	20,4	8,36	3-4b	20,2	8,36
	1-5b	21,4	8,41	2-5b	20,0	8,45	3-5b	20,4	8,49
	1-6b	21,2	8,32	2-6b	20,0	8,36	3-6b	20,0	8,34
	1-7b	23,0	8,53	2-7b	22,3	8,40	3-7b	22,5	8,44
	1-8b	22,3	8,57	2-8b	22,1	8,55	3-8b	21,8	8,55
	1-9b	21,9	8,59	2-9b	21,7	8,55	3-9b	20,6	8,51
	1-10b	21,3	8,48	2-10b	20,5	8,42	3-10b	20,0	8,41
	1-11b	23,3	8,61	2-11b	22,4	8,61	3-11b	22,2	8,59
	1-12b	23,6	8,56	2-12b	22,5	8,54	3-12b	23,2	8,54
	1-13b	22,1	8,53	2-13b	21,0	8,51	3-13b	21,0	8,46
1-14b	22,9	8,40	2-14b	22,2	8,36	3-14b	21,6	8,31	
AVG	A1	22,2	8,37	A2	21,4	8,34	A3	21,4	8,36
2. opakování	1-1b	19,1	7,70	2-1b	19,3	7,70	3-1b	19,0	7,70
	1-2b	21,6	8,25	2-2b	21,1	8,42	3-2b	21,5	8,16
	1-3b	22,7	8,35	2-3b	21,6	8,52	3-3b	22,2	8,25
	1-4b	21,2	8,33	2-4b	20,4	8,46	3-4b	21,4	8,26
	1-5b	20,0	8,29	2-5b	19,2	8,34	3-5b	19,9	8,16
	1-6b	21,4	8,19	2-6b	19,9	8,22	3-6b	21,3	7,95
	1-7b	20,8	8,25	2-7b	19,5	8,28	3-7b	21,1	8,10
	1-8b	20,6	8,25	2-8b	19,2	8,23	3-8b	20,3	7,87
	1-9b	21,6	8,18	2-9b	20,5	8,02	3-9b	21,9	7,85
	1-10b	22,1	8,04	2-10b	20,9	8,13	3-10b	21,6	7,90
	1-11b	21,5	8,10	2-11b	21,0	8,15	3-11b	21,1	7,94
	1-12b	22,0	8,15	2-12b	21,1	8,18	3-12b	21,4	7,99
	1-13b	21,3	8,08	2-13b	20,6	8,10	3-13b	20,9	7,85
	1-14b	21,2	8,06	2-14b	20,1	8,06	3-14b	20,8	7,91
AVG	A1	21,2	8,16	A2	20,3	8,20	A3	21,0	7,99

**List 1:** Pracovní list pro kapitolu 3.1.

Jméno:	Třída:	Datum:
--------	--------	--------

1) Jakými fyzikálními principy lze vysvětlit kulovitý tvar plynových bublin a jejich stoupání k hladině?

2) Napište rovnici autoprotolýzy vody. Jaká je molární koncentrace protonů při  $\text{pH}=7$  ?

3) Napište rovnici reakce oxidu uhličitého s vodou. Kterým směrem se posouvá rovnováha při snížení/zvýšení  $\text{pH}$ ?

4) Nakreslete molekuly uvedených sloučenin a zobrazte jejich dipól.

a)  $\text{CCl}_4$

b)  $\text{CO}_2$

c)  $\text{CO}$

d)  $\text{CHCl}_3$

5) Jaké je v akváriu  $\text{pH}$ , když se na stěnách usazuje vodní kámen?

6) Některé ryby s vyvinutým plynovým měchýřem při vyplutí k hladině ústy vypustí bublinu plynu. Pokuste se vymyslet důvody, proč tomu tak je, a co by se rybě mohlo stát, kdyby bublinu plynu nevypustila.

**List 2:** Pracovní list pro kapitolu 3.2.

Jméno:	Třída:	Datum:
--------	--------	--------

1) Pojmenujte následující sloučeniny a seřaďte je vzestupně dle oxidačního čísla na atomu dusíku.

- a)  $\text{NO}_3^-$       b)  $\text{NH}_3$       c)  $\text{NH}_4^+$       d)  $\text{NO}_2^-$       e)  $\text{N}_2$

2) Označte správné výroky o nitrifikačních bakteriích.

- a) oxidují dusitany na amoniak      b) redukují dusitany na amoniak  
c) při dělení se nejdříve rozdělí jádro, až poté cytoplazma  
d) při dělení se nejdříve rozdělí cytoplazma, až poté začíná dělení jádra  
e) jsou heterotrofní a anaerobní      f) jsou aerobní a fotoautotrofní  
g) žádná odpověď není správná

3) V akváriu o rozměru 60x30x30 cm jsme naměřili koncentraci dusičnanů  $70 \text{ mg l}^{-1}$ . Kolik litrů vody musíme vyměnit za čerstvou, aby se koncentrace dusičnanů snížila na  $30 \text{ mg l}^{-1}$ ? Kolik  $\mu\text{g}$  dusíku ( $A_r = 14$ ) obsahovala vylitá akvarijní voda?

4) Napište obecné redoxní rovnice nitrifikačních procesů. Rovnice nevyčísľujte.

**List 3:** Pracovní list pro kapitolu 3.3.

Jméno:	Třída:	Datum:
--------	--------	--------

1) Proč se důsledkem fotosyntézy vodních rostlin ve vodě zvyšuje pH? Ostatní vlivy zanedbejte.

2) Proč sladkovodní rostliny hynou v brakické a mořské vodě? Pokuste se vysvětlit princip na buněčné úrovni.

3) Řasy, stejně jako rostliny, díky fotosyntéze produkují kyslík, proč tedy lidé ve svých akváriích dbají na to, aby se v nich nepřemnožily? Myslíte si, že existují nějaké praktické důvody, kvůli kterým chovatelé považují většinu řas za nežádoucí?

4) Doplňte do tabulky pro každý plyn, jak daný plyn reaguje s vodou, jaké mechanismy přispívají ke zvýšení jeho koncentrace ve vodě a jaké jevy přispívají ke snížení jeho koncentrace ve vodě.

plyn	reakce s vodou	jevy přispívající ke zvýšení koncentrace	jevy přispívající ke snížení koncentrace
O <sub>2</sub>			
N <sub>2</sub>			
CO <sub>2</sub>			

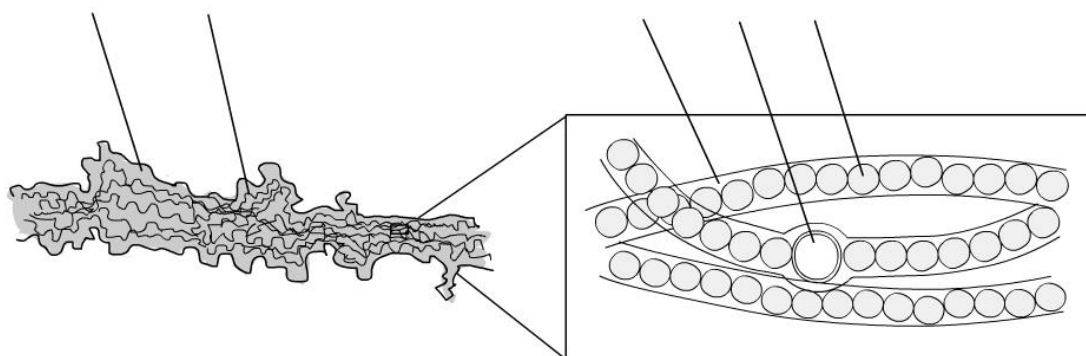
5) Následující pojmy rozřaďte do tabulky podle toho, zda se s nimi setkáme v eukaryontní nebo prokaryontní buňce. Některé pojmy lze použít opakovaně.

*buněčná stěna, jádro, Golgiho aparát, chloroplasty, vakuola, ribosomy, nukleoid, thylakoidy, peroxisomy, plazmidy, cytoplazmatická membrána*

Prokaryontní buňka	Eukaryontní buňka

6) Popište obrázek sinice *Nostoc* s využitím následujících možností:

*vegetativní buňka, slizové pouzdro, celkový slizový obal, heterocyt, řetízkovité vlákno*



**List 4:** Pracovní list pro kapitolu 3.4.

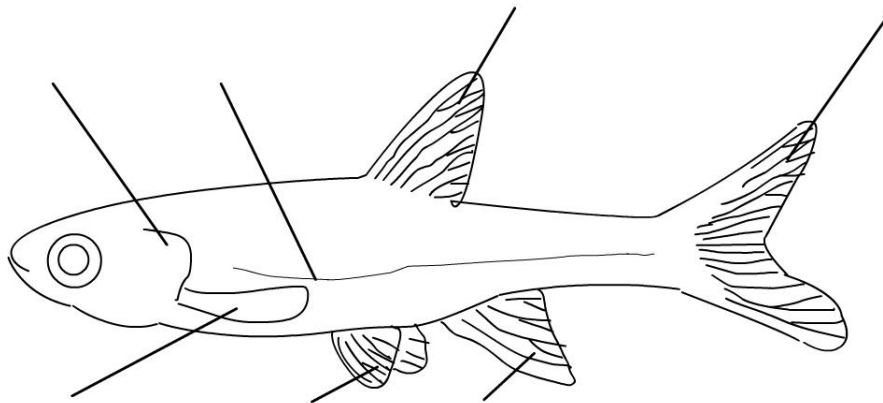
Jméno:	Třída:	Datum:
--------	--------	--------

1) V rostlinném akváriu jsme pozorovali buchanky, ploštěnky a jiné drobné živočichy žijící mezi rozkládajícím se krmením a odumřelými zbytky rostlin. Po přidání krevet, které se živí řasami, biofilmem a detritem se však počty takovýchto živočichů začaly snižovat. Z jakého důvodu?

2) Která barviva, jež jsou zároveň komplexní sloučeniny, znáte? Kde se vyskytují a jakou mají funkci?

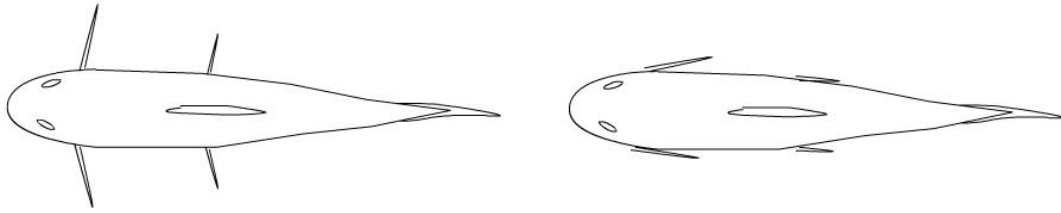
3) K obrázku přiřaďte správné popisky.

*skřele*      *postranní čára*      *hřbetní ploutev*      *ocasní ploutev*      *řitní ploutev*  
*prsí ploutev*      *břišní ploutev*



4) Ve které vodě byste očekávali stabilně větší množství rozpuštěného kyslíku? Ve vodě z velkého rybníku, nebo ve vodě z tekoucího pramene? Z jakého důvodu?

5) Dle následujícího schématu ryby (při pohledu ze shora) určete, na kterém obrázku je ryba v pohybu a na kterém se ve vodě nepohybuje. Vysvětlete fyzikální princip.



6) Vysvětlete následující pojmy

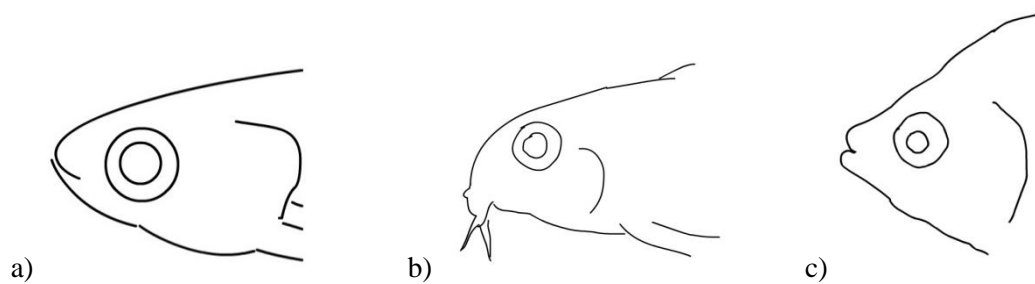
*natalita*

*mortalita*

*populace*

*společenstvo*

7) Podle posazení rybích úst určete, v jaké části vodního sloupce ryba vyhledává potravu, a pokuste se určit její potravní strategii.



8) Vysvětlete rozdíl mezi trvalým a dočasným víčkem plžů.