

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**

**Fakulta zemědělská**

Akademický rok: **2017/2018**

Studijní program: Zemědělské inženýrství (N4101)

Studijní obor: Agroekologie

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vývoj fyzikálně-chemických a biologických parametrů vody  
v nově budovaných přírodních koupalištích

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Libor Pechar, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Marek Baxa, DiS.

Autor diplomové práce: Dana Vlková

České Budějovice 2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Dana VLKOVÁ**  
Osobní číslo: **Z16419**  
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**  
Studijní obor: **Agroekologie - Péče o krajinu**  
Název tématu: **Vývoj fyzikálně-chemických a biologických parametrů vody v  
nově budovaných přírodních koupalištích**  
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je porovnat účinnost čištění na vybraných koupalištích a popsat sezónní vývoj základních parametrů vody v regeneračních a koupacích zónách. Důraz bude kladen na pochopení potravních sítí a jejich využití pro optimalizaci kvality vody. Výstupem práce bude, mimo jiné, sdělení, jak efektivní je využívání biologických procesů k čištění vody a je-li takové čištění vůbec použitelné.

1. Vypracování literární rešerše.
2. Výběr a zpracování dat z podkladů Ing. Marka Baxy.
3. Analýza dostupných dat a statistické zpracování - popisné statistiky.
4. Vlastní odběry a zpracování vzorků, vody, fyto a zooplanktonu.
5. Zpracování zjištěných výsledků a jejich interpretace z hlediska posouzení fungování navržených technologií biologického čištění vody.

Rozsah grafických prací: 5 - 10 grafů a tabulek

Rozsah pracovní zprávy: 40 - 60 stran textu

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Hartman, P., Píkrýl, I., Štědranský, E. (2005): Hydrobiologie, Informatorium Praha.

Janda, J., Pechar, L. a kol. (1996): Trvale udržitelné využívání rybníků v Chráněné krajinné oblasti a biosférické rezervaci Třeboňsko.

International Organization for natural bathing waters - IOB (2013): Performance of Public Swimming Ponds.

Pitter P. (2009): Hydrochemie. VŠCHT Praha, Praha.

Svaz zakládání a údržby zeleně (2008): Stavba přírodních koupališť - šance pro budoucnost, Brno.

Vyhláška č. 238/2011 Sb.: o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch.

Vymazal, J., Kröpfelová, L.: Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow, Springer.

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Libor Pechar, CSc.


Katedra krajinného managementu

Konzultant diplomové práce: Ing. Marek Baxa, DiS.

Katedra krajinného managementu

Datum zadání diplomové práce: 23. března 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2018

  
prof. Ing. Miroslav Šoch, CSc., dr. h. c.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Tudenská 192/1, 370 05 České Budějovice

  
doc. Ing. Pivoň Ondřej, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 23. března 2017

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že v souladu s § 47 b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to (v nezkrácené podobě v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz, provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum: 20. 4. 2018

Podpis studenta: Bc. Dana Vlková

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. RNDr. Liborovi Pecharovi, CSc. za vedení a odbornou pomoc. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Markovi Baxovi, DiS., který mi umožnil účastnit se sledování a měření na koupalištích, seznámil mě s metodami terénní i laboratorní práce a po celou dobu psaní mé DP mi poskytoval odborné konzultace. Také bych ráda poděkovala Ing. Lence Kröpfelové, Ph.D. a Ing. Janě Šulcové, za pomoc v laboratoři ENKI o.p.s. a Mgr. Andree Kučerové, Ph.D. za pomoc s určováním rostlin nacházejících se na koupalištích. A nakonec bych chtěla poděkovat svojí rodině za podporu při studiiích a pomoc při psaní diplomové práce.

## **Abstrakt**

Cílem této práce bylo zhodnotit kvalitu vody v přírodních koupalištích v Borovanech a v Sezimově Ústí, porovnat rozdíly ve výsledcích rozborů vod z vlastní koupací nádrže a z regenerační zóny, a také porovnat obě lokality navzájem. Výsledky byly získány zejména v letech 2016 v Borovanech a 2017 v Sezimově Ústí. Sledované a hodnocené parametry byly: průhlednost, barva, teplota, vodivost, O<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, TN, PO<sub>4</sub>-P, TP, Cl<sup>-</sup>, turbidita, fluorescence, chlorofyl, KNK<sub>4,5</sub>, zooplankton, fytoplankton a bakteriální znečištění. Výsledky ukazují, že v přírodních koupalištích lze dosáhnout uspokojivé kvality vody, přestože významným problémem je odstraňování fosforu. Porovnáme-li koupaliště v Sezimově Ústí a Borovanech, tak hlavním rozdílem je efektivnější čištění vody v regenerační zóně v Borovanech.

**Klíčová slova:** přírodní koupaliště, kvalita vody biologicko-mechanické čištění vod, zooplankton, fytoplankton,

## **Abstract**

The goal of this work was to evaluate of water quality in natural swimming pools in Borovany and Sezimovo Ústí, to compare the differences in the results of water analyses in proper swimming water body and regenerative part, as well as to compare of both these localities. Most of results were gathered during 2016 in Borovany and during 2017 in Sezimovo Usti. Transparency, color of water, temperature, conductivity, concentration of dissolved O<sub>2</sub>, concentrations of NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, TN, PO<sub>4</sub>-P, TP, Cl<sup>-</sup>, turbidity, fluorescence, chlorophyll concentration, alkalinity, zooplankton and phytoplankton composition and bacterial contamination were monitored. The results confirmed the possibility to achieve the good water quality even though the problem with phosphorus removing remains. The comparison of both site showed more efficient functioning of regenerative zone in Borovany natural swimming pool.

**Keywords:** natural swimming pool, water quality, biologically and mechanical water treatment, zooplankton, phytoplankton,

## Obsah

1. Úvod.....	8
2. Literární přehled.....	9
2.1 Přírodní koupaliště .....	9
2.1.1 Typy přírodního koupaliště .....	10
2.1.2. Princip přírodního koupaliště.....	10
2.2 Vodní vegetace.....	12
2.2.1 Vegetace vhodná pro přírodní koupaliště .....	12
2.3. Fytoplankton .....	14
2.3.2 Sezónní dynamika .....	14
2.4 Zooplankton .....	14
2.5. Bakteriální znečištění .....	15
2.5 Fyzikálně – chemické parametry .....	16
2.5.1 Průhlednost.....	16
2.5.2 Barva .....	16
2.5.3 Vodivost .....	16
2.5.5 Dusík ve vodách.....	18
2.5.6 Fosfor ve vodách .....	19
3. Sledované lokality a metodika .....	21
4. Výsledky .....	25
4.1. Borovany.....	25
4.2. Sezimovo Ústí.....	35
5. Diskuze.....	43
6. Závěr .....	50
7. Zdroje .....	52
8. Přílohy.....	55

# 1. Úvod

Z historického hlediska má koupání v přírodních vodách dlouhou tradici. V minulosti se lidé často chodili koupat do řek, rybníků a potoků. S rozvojem zemědělství a průmyslu však docházelo ke znečištění vod a koupání v těchto vodách se postupně stalo u většiny případů téměř nemožné. Proto se začaly rozvíjet koupaliště, kde se voda upravovala chemicky. V dnešní době ale začínají návštěvníci zjišťovat, že chemicky upravená voda může být často problematická (např. podráždění kůže), a proto se začínají vracet zpět k přírodním koupalištím, která se vytvářejí i uměle.

Tato koupaliště jsou typická tím, že se zde využívá k čištění vody přirozených biologicko – mechanických procesů a nepoužívají se zde žádné chemické preparáty.

Koupaliště se dělí na dvě části, regenerační zónu a koupací zónu. V koupací zóně dochází ke znečišťování vody koupajícími se osobami, a to například potem, močí nebo kosmetikou. Regenerační část koupaliště slouží k odbourávání zmiňovaného znečištění.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo porovnat účinnost čištění vody na vybraných koupalištích v Sezimově Ústí a Borovanech a popsat kvalitu vody podle sezónního vývoje základních měřených parametrů vody v regenerační a koupací části koupaliště. Ověřovala jsem dvě základní hypotézy:

1. v případě dostatku zooplanktonu nedojde k výraznějšímu nárůstu chlorofylu a bakteriálního znečištění
2. regenerační zóna bude během sezóny snižovat obsah sloučenin, zejména dusíku, fosforu, jako prvků významně ovlivňujících trofii vod



## 2. Literární přehled

### 2.1 Přírodní koupaliště

První přírodní koupaliště začala vznikat okolo roku 1980 v Rakousku a Německu. Poslední dobou se ale začínají šířit do celého světa, i když nejvíce veřejných bazénů, nebo nádrží s biologickým čištěním vod se stále nachází ve střední Evropě, hlavně v Německu, Švýcarsku, Rakousku a Francii (Schwarzer, 2013; Massana, 2012).

Podle zákona 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a změně některých souvisejících zákonů, je přírodní koupaliště stavba, která je povolena k účelu koupání. Voda, která se zde nachází, je obměňována přítokem chemicky neupravené vody.

Provozovatel má povinnost zajistit, aby voda v přírodním koupališti vyhovovala hygienickým limitům pro mikrobiologické a fyzikálně-chemické ukazatele jakosti vody pomocí laboratorní a vizuální kontroly.

Protokoly o kvalitě vody musí být uchovávány po dobu pěti let. Dále musí být předávány výsledky laboratorní kontroly příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví v elektronické podobě (zákon 258/2000 Sb.).

Na základě rozborů je voda v přírodních koupalištích definována jako:

- Voda je vhodná pro koupání-jakost vody 1, mikrobiální odběry-kvalita vody je vyhodnocena jako výborná, průhlednost vody je větší než 1 m a sledování sinic není třeba provádět

- Voda je vhodná ke koupání, ale má mírně zhoršené vlastnost-jakost vody 2, jedná se o vodu nezávadnou, která nezpůsobuje zdravotní potíže, ale má zhoršené smyslové vlastnosti, např. sníženou průhlednost pod 1 m

- Zhoršená jakost vody- 3, mírně vyšší pravděpodobnost vzniku zdravotních problémů, hlavně u citlivých osob

- Voda nevhodná ke koupání - jakost 4, voda zapáchá nebo má zvýšené hodnoty mikrobiologických ukazatelů, nedoporučuje se již na koupání, hlavně dětem a těhotným ženám

- Voda nebezpečná ke koupání - jakost 5, rozborů vody neodpovídají limitům a hrozí akutní poškození zdraví, vyhláší se zákaz koupání (Vyhláška č. 238/2011 Sb.)

### 2.1.1 Typy přírodního koupaliště

Uměle budovaná přírodní koupaliště se obvykle skládají z jedné koupací části a jedné nebo více částí regeneračních.

Koupací zóna je hlubší část koupaliště, kde se nenachází žádný substrát ani vegetace. Regenerační části mívají obvykle hloubku v rozmezí od 0 cm do 100 cm a jsou osázené speciálními vodními rostlinami, které společně s dalšími procesy pomáhají udržet dobrou kvalitu vody na koupališti (Šimečková, 2005).

Přírodní koupaliště se může stavět jednokomorově, kdy se regenerační část nachází po obvodu koupací nádrže, nebo dvoukomorově, kdy je regenerační část oddělená od bazénu. Propojení je řešeno přepadem vody z regenerační části do bazénu nebo přečerpáváním vody z jedné nádrže do druhé. Pokud se jedná o dvou a vícekomorový systém, nachází se vegetace jen v regenerační části koupaliště. Pokud se jedná o jednokomorové přírodní koupaliště, je regenerační část po obvodu nádrže. Šimečková (2008) uvádí, že dvoukomorový systém je pro veřejné koupaliště jednoznačně lepší.

### 2.1.2. Princip přírodního koupaliště

Původně se lidé koupali v neupravených vodách, ale s rozvojem průmyslu a zemědělství došlo k nárůstu eutrofizace vod (Pechar, 2015) a většina přírodních vod přestala být pro koupání vhodná. Proto také začala vznikat přírodní koupaliště, která se co nejvíce blíží přirozeným koupacím vodám, jaké jsou nebo byly, v přírodě (Šimečková, 2008).

Přírodní koupaliště zkrášluje krajinu a zlepšuje prostředí ve městech i na venkově (Šimečková, 2008; Massana, 2012). Umožňuje koupání ve vodě, která je upravována jen biologickými procesy bez použití chemických preparátů, které

mohou být často pro koupající osoby problematické (vyrážky, zarudnutí očí atd.) (Schwarzer, 2013).

V přírodním koupališti je uzavřená cirkulace vody mezi koupací částí a regenerací. Dopouštění vody ze zdroje je akorát částečné, například při zvýšeném výparu vody (Šimečková, 2005).

Přírodní koupaliště je ve většině případů finančně výhodnější než standardní bazén.

V následující tabulce je porovnáváno financování dvou podobných bazénů, jednoho standardního bazénu a druhého přírodního koupaliště (Šimečková, 2008).

<b>Investiční náklady vztažené na 1 m<sup>2</sup></b>	
Standardní bazén	Přírodní koupaliště
9 000 – 13 000 Kč/m <sup>2</sup>	3 000 – 4 500 Kč/m <sup>2</sup>
<b>Provozní náklady-denní</b>	
Standardní bazén	Přírodní koupaliště
3,50 až 5,50 Kč/m <sup>3</sup>	0,50 až 1,50 Kč/m <sup>3</sup>

Fungování přírodního koupaliště je založeno na zachování a využití přirozených funkcí vodního biotopu a jeho společenstev. Především to jsou zooplankton, mikrobiální společenstva v substrátových filtrech a vodní vegetace (Schwarzer, 2013).

Zooplankton ve vodě je důležitý pro eliminaci rozvoje fytoplanktonu. Důležité je, aby se ve vodě nacházelo dostatečné množství zooplanktonu v různých věkových stádiích a větší druhy zooplanktonu, jako jsou dafnie, které dovedou účinně filtrovat fytoplankton. (Eiseltová, 1996; Scheffer, 1998).

Substrátový filtr by měl být tvořen materiály, které mají velmi dobrou filtrační a čistící schopnost. Je vhodné využívat zrnitější materiály, např. písek, šterkopísek a šterk, které nejsou náchylné k ucpávání (Vymazal, 1995; Vymazal a kol, 2008). Voda je vedena do filtrů tak, aby docházelo k pomalému prostupování vody skrze filtry (Šimečková, 2008).

Vodní vegetace slouží v regenerační části například k tomu, aby do svého těla vážala přebytečné živiny z vody (P, N). Po určité době musí být vzrostlá vegetace sklizena, aby nezačalo docházet k rozkladu odumřelých rostlin a navrácení živin do vody (Čížková a kol., 2017; Šimečková, 2008).

## 2.2 Vodní vegetace

Mokřadní neboli hydrofytní vegetace je definována jako vegetace, která roste v půdě, vodě nebo substrátu, kde je kyslíkový deficit v důsledku vysoké úrovně vody. Jedná se vlastně o rostliny, které jsou schopné růst v zamokřených oblastech s nedostatkem vzduchu (Vymazal, 1995). Ve vodách jsou tyto rostliny důležité hlavně jako zdroj potravy pro některé organismy a dále jako producenti kyslíku, který je nezbytný pro dýchání (Hartman, 1998).

### **Příjem živin rostlinami:**

Emerzní rostliny přijímají živiny ze sedimentu, volně plovoucí rostliny přijímají živiny z vodního prostředí a submerzní rostliny jsou schopné čerpat živiny z obou zdrojů. Příjem živin je ovlivněn množstvím živin v prostředí, schopností rostlin přijímat živiny a délkou vegetačního období (Čížková a kol., 2017).

### **Význam vodních rostlin**

Vodní rostliny při fotosyntéze obohacují vodu o kyslík, napomáhají samočištění vody odčerpáváním živin z vodního prostředí, také mohou sloužit jako vhodné prostředí pro život a rozmnožování drobných vodních živočichů, bakterií a hub. Tyto rostliny chrání břehy před splavováním sedimentů a zpevňují je (Hartman, 1998, Vymazal, 1995).

Vodní vegetace může sloužit jako tepelná izolace, což se využívá například při kořenovém čištění odpadních vod (Vymazal, 2004). Bylo prokázáno, že mokřadní vegetace vylučuje řadu látek, které mají baktericidní účinky. Proto některé vodní rostliny, např. stulík žlutý (*Nuphar lutea*), mohou být použity jako „desinfekční“ prostředky v znečištěných vodách. Podle Seidla (1978) bylo zjištěno, že extrakty na kořenech některých vodních rostlin snižují počty bakterií *Escherichia coli* o 50–90 % (Vymazal, 1995).

### 2.2.1 Vegetace vhodná pro přírodní koupaliště

Kliková (1999) uvádí, že při výběru vegetace použitelné do regenerační zóny bychom měli dbát na speciální požadavky rostlin a podle toho se je snažit správně

umístit. Některé druhy vyžadují hlubší vody nebo proudění, jiné naopak klidnější místa bez proudu. Rostliny by také měly být přizpůsobivé různým podmínkám, jako je například proměnlivý obsah živin. Také by se měly u výsadby upřednostnit původní druhy (Šimečková, 2008).

Dále jsou uvedené vybrané druhy rostlin, které jsou podle Šimečkové pro přírodní koupaliště vhodné a na sledovaných lokalitách se běžně vyskytují.

Příklady možného výběru:

**Rákos obecný** (*Phragmites australis*): Jedná se o rostlinu, která je velmi tolerantní k teplotě, pH a anorganickému i organickému znečištění. Můžeme ho využít od přechodných mezotrofních oblastí až po vysoce eutrofní vody. Vhodná výška vodního sloupce je pro něj 0-40 cm a dorůstá výšky až 4 m. Uvádí se, že je velmi vhodný k využívání v přírodních koupalištích (Šimečková, 2008). Vymazal (1995) však uvádí, že rákos obecný špatně snáší pravidelné sklizení, což je základní předpoklad pro odstraňování živin ze systému koupaliště.

**Rdest kadeřavý** (*Potamogeton crispus*): U nás se může vyskytovat po celém území, obvykle je součástí společenstev rostlin. Roste v mezo až eutrofních vodách a může se nacházet jak v tekoucích, tak stojatých vodách. Dobře snáší znečištění organickými látkami (Hejný, 2000).

**Orobinec úzkolistý** (*Typha angustifolia L.*): Roste v mělkých mezotrofních až eutrofních vodách (Hejný, 2000). Orobinec patří mezi rostliny, které jsou velmi konkurenceschopné. Dobře snáší znečištění a vysoké rozpětí pH (Vymazal, 1995). Patří mezi rostliny, které jsou pro přírodní koupaliště velmi vhodné (Šimečková, 2008).

**Skřípinec jezerní** (*Schoenoplectus lacustris L.*): Roste ve stojatých nebo mírně tekoucích oligo až mezotrofních vodách a dorůstá výšky až 3 metry (Hejný S., 2000). Nevadí mu zaplavení a je tolerantní ke změnám pH (Vymazal, 1995). Šimečková (2008) uvádí, že je velmi vhodný pro využití v přírodních koupalištích.

**Máta vodní** (*Mentha aquatica L.*): Je schopná růst v místech, kde je kolísavá vodní hladina, nachází se v mezotrofních vodách, ale je schopná snášet i hnojené a zasolené stanoviště. Pro přírodní koupaliště je velmi vhodná (Hejný, 2000; Šimečková, 2008).

## 2.3. Fytoplankton

Fytoplankton, jeho sezónní dynamika, druhové složení a primární produkce zásadně ovlivňuje trofické poměry a fyzikálně chemické parametry vody, kam patří průhlednost, pH nebo koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě. Na druhou stranu je fytoplankton ovlivňován množstvím živin ve vodě, a to hlavně dusíkem a fosforem, který je nejčastěji limitujícím prvkem pro jeho rozvoj (Janda, Pechar, 1996; Hrbáček, 1981). Fytoplankton je také ve vodách významným zdrojem potravy pro primární konzumenty a zásadním producentem kyslíku (Adámek, 2010).

### 2.3.2 Sezónní dynamika

K popisu sezónní dynamiky fytoplanktonu na koupalištích lze s výhodou využít zkušenosti z rybníků. Fytoplankton během celého roku, mění jak druhové složení, tak množství tj. biomasu. Na jaře se většinou na všech lokalitách nachází podobné druhy fytoplanktonu. Hlavní skupiny jsou rozsivky (*Stephanodiscus*, *Cyclotella*, *Nitzschia*) a zelení bičíkovci (*Volvocales*). V menším zastoupení se vyskytují ve vodách skrytěnky, zelenivky (*Cryptophyceae*, *chlorococcales*) a sinice *Limnithrix redekei*. V letních měsících většinou dochází k úbytku rozsivek a zvyšování skrytěnek a chlorokokálních řas. K nárůstům fytoplanktonu většinou začíná docházet v dubnu–květnu. Maximální hodnoty však bývají až v srpnu, kdy je fytoplankton tvořen drobnými druhy sinic např. *Aphanizomenon gracile* nebo *Aphanizomenon flos-aquae* (Janda, Pechar 1996). Dále se na rybnících nachází sinice *Microcystis*, např. *Microcystis aeruginosa* nebo *Microcystis viridis*, které vytvářejí drobné kulovité buňky spojené slizem do kolonií, které na vodních hladinách v letních měsících často vytváří vodní květ. Na vodním květu se také podílí rod *Anabaena*, např. *Anabaena flos-aquae*, které svým tvarem připomínají řetízky (Hartman, 1998; Janda, Pechar, 1996). Rozvoj fytoplanktonu během roku je také závislý na rybí obsádce a množství zooplanktonu nacházejícího se ve vodě (Janda, Pechar 1996).

## 2.4 Zooplankton

Zooplankton je zdaleka nejdůležitější skupina organismů z hlediska přirozené kontroly rozvoje řas ve většině nádrží s dostatkem živin. Je to heterogenní skupina

organismů, kde obvykle nejdůležitější taxony z hlediska funkce zooplanktonu jsou vířníci, klanonožci a lupenonožci (Scheffer, 1998).

To, jaké bude množství a druhové složení zooplanktonu ve vodě, je podle Hrbáčka (1981) do velké míry závislé na tom, jestli se ve vodě nachází rybí obsádka a v jakém množství. Pokud ve vodě nejsou ryby, nachází se v ní zejména větší druhy zooplanktonu, tzn. nejen vířníci a klanonožci, ale hlavně perloočky z rodu *Daphnia*, které filtrují vodu účinněji než drobný zooplankton. Tam kde není vysoký predanční tlak ryb, mají perloočky delší psotembryonální vývoj a přetrvávají déle ve vodním systému.

Pokud se ve vodě nachází druhově a věkově rozmanitá struktura zooplanktonu, s přítomností velkých druhů perlooček, dochází k efektivní filtraci vody a nedochází k dominanci fytoplanktonu. Například vířníci *Brachionus* filtrují bakterie a nálevníky, korýši (např. *Daphnia*) účinně filtrují sinice a řasy (Hrbáček, 1998). U velkých druhů *daphnií* víme, že jsou schopné se živit řasami z širokého spektra s výjimkou těch, které tvoří velké kolonií (Scheffer, 1998). Pro představu jedna *Daphnia magna*, která dosahuje velikosti až 6 mm, dokáže za jeden den přefiltrovat až 2 litry vody (Šimečková, 2008; Hartman, 1998). Celkově je možné snížit rozvoj řas a fytoplanktonu s pomocí zooplanktonu zhruba o polovinu (Hrbáček, 1981).

Ve vztahu k fytoplanktonu je vhodné zmínit sezonní cyklus zooplanktonu ve vodě. Na počátku jara dojde k rozvoji řas, které slouží jako potrava pro zooplankton. Zvyšuje se rychlost nárůstu populací a reprodukční aktivita. Populace se rozrůstá do té doby, dokud má ve vodě dostatek potravy, poté se stav dafnií ve vodě začne zhoršovat, sníží se počet vajíček při reprodukci nebo dojde prakticky k úplnému zastavení reprodukce. Nakonec se populace dafnií zhroutlí a společenstva řas se obnoví. Tento cyklus může probíhat během jedné sezóny i několikrát (Scheffer, 1998).

## 2.5. Bakteriální znečištění

Ve vodách na přírodních koupalištích se hodnotí přítomnost *Escherichia coli*, je daná limitní hodnota 100 KTJ/100ml, intestinální enterokoky, u kterých je limit 50 KTJ/100ml a *Pseudomonas aeruginosa*, kde je limit 10 KTJ/100ml (vyhláška č. 238/2011sb.).

Bakteriální znečištění může být způsobené koupajícími se lidmi nebo zvířaty. Voda může být znečištěná fekálními výkaly, hleny, slinami nebo starou kůží. Bakteriálně znečištěná voda je hlavním rizikem pro koupající se lidi v bazénech a v obecně rekreačních vodách, protože může způsobovat různá onemocnění, například leptospirozou (Massana, 2012).

## 2.5 Fyzikálně – chemické parametry

### 2.5.1 Průhlednost

Průhlednost vody ovlivňuje pronikání slunečního záření vodním sloupcem. Tento parametr může být snižovaný zákalem nebo zbarvením vody. Velmi často je také snížení průhlednosti způsobené nárůstem fytoplanktonu. Průhlednost vody se měří pomocí Seccioho desky. Průhlednost se ve vodách často liší, v oligotrofních nádržích může být průhlednost až několik metrů, zatímco u eutrofních vod může být naměřená průhlednost jen v řádu centimetrů nebo decimetrů. To znamená, že průhlednost může sloužit jako první parametr naznačující množství fytoplanktonu ve vodě (Lellák, 1991; Horáková, 1989).

### 2.5.2 Barva

Barva vody může být buď antropogenního nebo přirozeného původu a úzce souvisí s průhledností vody. Zbarvení přírodních vod je ovlivněno hlavně huminovými rozpustnými látkami, které zbarvují vodu do žluté nebo hnědožluté barvy. Mimo rozpustné látky mohou vodu zbarvit i látky nerozpustné, například fytoplankton, který zbarvuje vodu do zelena nebo zelenomodra (Lellák, 1991; Pitter, 1999).

### 2.5.3 Vodivost

Vodivost neboli elektrolytická konduktivita odráží, kolik se ve vodách nachází rozpuštěných minerálních látek, iontů. Vodivost koreluje s koncentrací rozpuštěných látek v roztoku, (Lellák, 1991; Horáková, 1989), a proto může sloužit k ověření výsledků chemických analýz vody.

Konduktivita je závislá na množství iontů a jejich nábojovém čísle, pohyblivosti iontů v elektrickém poli a na teplotě. Pokud dojde ke změně teploty o 1 °C, tak může dojít ke změně vodivosti až o 2 % (Pitter, 1999). Nárůst vodivosti, může svědčit o zvyšujícím se znečištění, např. koupajícími se lidmi.



## 2.5.4 Kyslík a pH

Obsah kyslíku ve vodě je ovlivněn teplotou – čím je teplota vody vyšší, tím méně se kyslíku ve vodě vyskytuje. Například při teplotě 30 °C obsahuje litr vody okolo 7,4mg kyslíku, zatímco při teplotě 1 °C jsou hodnoty kolem 14,2mg kyslíku/litr (Hejný, 2000; Schubert, Lellák, 1973).

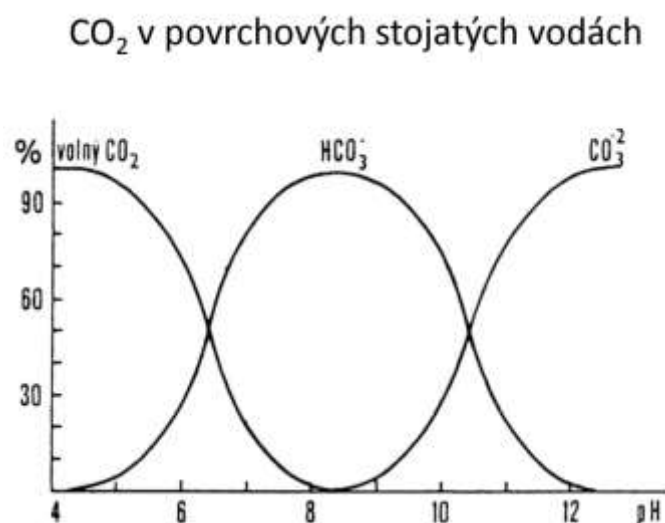
Produkce kyslíku fotosyntézou je částečně závislá na příznivých povětrnostních a stanovištních podmínkách a na působení bakterií a plísní, které zpřístupňují a uvolňují živiny ve vhodné formě pro rostliny. Pro fotosyntézu je důležitá přítomnost rozpustných minerálních látek, oxidu uhličitého, světla, vody a chlorofylu (Hartman, 1998).

Důležité u kyslíku ve vodách je, aby v jeho obsahu nedocházelo k velkým výkyvům. K výkyvům většinou dochází v úživných vodách, kde snadno nastává rozvoj fytoplanktonu. Ten během dne produkuje kyslík, který se dále spotřebovává na rozklad detritu, na dýchání zooplanktonu, zoobentosu, pro rybí obsádku a v nočních hodinách je důležitý i pro dýchání vodní flóry. Za slunečného dne, množství vyprodukovaného kyslíku během dne vystačí na všechny procesy, pokud ale během dne není dostatek světla, dochází k deficitům kyslíku a může docházet k ohrožení vodní fauny (Sukop, 1984).

Hodnota pH je velmi důležitá, protože ve vodách ovlivňuje biochemické a chemické procesy. Proto by se stanovení pH mělo provádět u všech chemických rozborů vody (Pitter, 1999).

Mezi vody kyselé, u kterých může být naměřená hodnota pH 3, patří například rašelinné vody s vysokým obsahem huminových látek. Zatímco vysoké hodnoty pH jsou ve vodě způsobené velkým obsahem uhličitánů (Lellák, 1991). Uhličitánovou rovnováhu ve vodě ve vztahu k pH zobrazuje obrázek č. 1.

Obrázek 1- vliv pH na formu uhličitanu ve vodě (Hartman P., 1998)



### 2.5.5 Dusík ve vodách

Dusík patří mezi nejdůležitější biogenní prvky. Řadíme ho do skupiny nutrientů, které jsou velmi důležité pro rozvoj mikroorganismů (Pitter, 1999). Dusík se uplatňuje při všech biologických procesech probíhajících v podzemních, povrchových i odpadních vodách, dále také při biologickém čištění a samočištění odpadních vod a při úpravě povrchových vod (Pitter, 1999; Heteša, 1997).

Organické sloučeniny dusíku slouží jako stavební materiál pro buňky a tkáň rostlin. Nejčastěji využívané formy dusíku pro asimilaci jsou dusičnany a amoniak, ale přednostně bývá využíván amoniak, který se snadněji zabudovává do aminokyselin, avšak dusičnany musí být nejprve redukovány na využitelnou formu. Dusík a další živiny odebírají rostliny podle toho, jak jsou přizpůsobeny životu ve vodním prostředí.

Dusík se ve vodách může nacházet v různých formách. Následně popisují formy dusíku, které byly stanovovány na přírodních koupalištích – dusitany, dusičnany, amoniak a celkový dusík.

#### **Dusitany NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**

Vznikají ve vodách hlavně biochemickou oxidací amoniakálního dusíku (nitrifikací) nebo redukcí dusičnanů, tento případ je ale méně častý (Pitter, 1999). Dusitany se nachází ve všech typech vod, ale v různých koncentracích. Nízké

koncentrace dusitanů bývají naměřené v povrchových a podzemních vodách, v odpadních vodách bývají hodnoty větší. (V odpadních vodách mohou být vyšší koncentrace například z nemrznoucích kapalin používajících se ve strojírenském průmyslu) (Horáková, 1989). Dusitany se nachází hlavně ve vodách, kde se nachází malý nebo nulový obsah kyslíku, jelikož se jedná o látku velmi nestálou a lehce u ní dochází k oxidaci na dusičnany. Proto se většinou naměřené hodnoty v povrchových vodách nachází v rozmezí 0,01-0,1 mg.l<sup>-1</sup> (Heteša, 1997).

### **Dusičnany NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

Dusičnany jsou konečný produkt mineralizace organicky vázaného dusíku a za aerobních podmínek se považují za stabilní (Heteša J., 1998). Hodnoty dusičnanů se ve vodách stále zvyšují, a to díky vzrůstajícímu počtu obyvatel a intenzivní zemědělské činnosti (Pitter, 1999). V koupacích vodách hodnoty dusičnanů na člověka nemají žádný výrazný vliv, ale velmi zásadně ovlivňují stupeň eutrofizace (Horáková, 1989).

### **Amoniak NH<sub>3</sub>**

Ve vodách je nestálý a snadno ho lze odstranit provzdušňováním, kdy se změní na dusitany a dále na dusičnany. Amoniakální dusík je velmi toxický pro ryby a to ve formě NH<sub>3</sub>, ve formě NH<sub>4</sub><sup>+</sup> je neškodný. Amoniakální dusík patří také mezi indikátory fekálního znečištění (Heteša, 1997; Petter, 1999).

### **Celkový dusík TN**

Jedná se o součet organických a anorganických sloučenin dusíku.

## **2.5.6 Fosfor ve vodách**

Fosfor je limitující živinou pro nárůst fytoplanktonu a jeho zvýšený přísun do vod je hlavní příčinou eutrofizace sladkých vod (Straškrabová, 1996). Pro řasy, sinice a bakterie je ve vodě nejdůležitější fosfor v rozpustné formě PO<sub>4</sub>-P, protože tuto formu přijímají a zabudovávají do svého těla (Krása a kol., 2013). Obecně lze říci, že z přírodních zdrojů se ve vodách vyskytuje fosfor zvětráváním a vyluhováním minerálů například apatitu. Antropogenním zdrojem fosforu ve vodách je splavování fosforečných hnojiv ze zemědělských pozemků a používání pracích prostředků s přídavkem fosforečnanů. Posledním zdrojem je rozklad fytoplanktonu a zooplanktonu na dně nádrže (Pitter, 1999).

Šimečková (2008) uvádí hlavní zdroje fosforu na přírodních koupalištích:

- vody sloužící jako zdroj pro napouštění a doplňování přírodního koupaliště
- kaly v nádržích a vegetace, když není včas sklizená
- spady nečistot z okolí
- dešťová voda
- koupající se lidé (pot, kosmetické přípravky)
- ptáci (trus)
- splachy z okolních pozemků

### 3. Sledované lokality a metodika

#### Odběrová místa

Kvalita vod se kontrolovala na přírodních koupalištích v Borovanech a v Sezimově Ústí. Na obou místech se prováděly odběry a měření z regenerační i z koupací části koupaliště. V regenerační části se měření provádělo u hladiny a v bazénu byly hodnoty měřené rovněž u hladiny a v hloubce přibližně jeden metr.

#### Borovany

Název přírodního koupaliště je Lazna Borovany, v provozu je od roku 2013 a jeho rozloha je 2500 m<sup>2</sup>. Koupaliště je rozdělené na dvě regenerační laguny a koupací část. Regenerační zóna je hluboká přibližně 80 cm a jsou v ní vybudovány příčné šterkové hrázky, které slouží k zpomalení toku a odbourávání živin pomocí bakteriálních společenstev. Koupací část je rozdělená pro plavce a neplavce (internetový zdroj č. 1, informační tabule viz příloha č. 1).

#### Sezimovo Ústí

Přírodní koupaliště v Sezimově Ústí-Pohoda je rozdělené na dvě části, koupací a biologickou (regenerační). Regenerační část slouží k čištění vody z koupacího bazénu. Koupací část je rozdělena na část pro neplavce, kde hloubka vody dosahuje 1,5m, a na plaveckou část, kde je hloubka vody až 2,7m. Regenerační nádrž má hloubku od 0,15m do 0,85m a je osázená vhodnou vegetací, např. orobincem úzkolistým (*Typha angustifolia*) nebo šáchorem hnědým (*Cyperus fuscus*). Koupací část má vodní plochu 1515 m<sup>2</sup> a objem 2730 m<sup>3</sup>, regenerační část má vodní plochu 858 m<sup>2</sup> a objem 430 m<sup>3</sup> (internetový zdroj č. 2).

#### Hodnocení na místě

Na místě odběrů byly měřeny základní fyzikálně-chemické parametry vody: nasycení vody O<sub>2</sub> (mg a %), teplota (°C), průhlednost (cm) a barva vody. Průhlednost a barva se zkoumaly pouze v koupací části. Dále byl sledován zooplankton, hlavně podíl perlooček z rodu *Daphnia* ve vzorku. Pomocí lupy byla zjišťována přítomnost perlooček, typ a množství jejich vajíček a zbarvení jejich střev z důvodu zjištění

potravní aktivity. Záznamy o terénním šetření a návrhy pro příští odběry byly písemně zaznamenávány.

Stanovení teploty a obsahu kyslíku bylo prováděno přenosným multimetrem značky HACH HQ40, který je vybaven optickou sondou LDO. Průhlednost byla měřena pomocí kruhové Seccioho desky.

### **Odběr a zpracování vzorků pro chemické analýzy**

Monitoring v přírodních koupalištích probíhá již řadu let (Borovany od roku 2013, Sezimovo Ústí od roku 2016). Do výsledků byly zahrnuty data pouze ze sezóny 2016 (Borovany) a 2017 (Sezimovo Ústí). Data z ostatních sezón byla využita pro posílení a porovnání naměřených výsledků. V Borovanech byly odběry prováděny každý týden od 17. 5. do 27. 9. 2016, celkem tedy 19 odběrů. Odběrové místo bylo z koupacího mola v bazénu a z výpustě v regenerační zóně.

V Sezimově Ústí byly odběry prováděny ve 14denním intervalu, od 12. 6. do 5. 9. 2017. Celkem tedy 7 odběrů.

Vzorky vody se ze všech míst odebíraly do pětilitrových PE lahví a následně byly zpracovány v laboratoři ENKI, o.p.s.

V Borovanech byly měřeny následující parametry: vodivost, pH, NH<sub>4</sub>-N (mg/L), NO<sub>2</sub>-N (mg/L), NO<sub>3</sub>-N (mg/L), TN síto (mg/L), TN gf/c (mg/L), PO<sub>4</sub>-P (mg/L), TP síto (mg/L), TP gf/c (mg/L), Cl<sup>-</sup> (mg/L), turbidita, fluorescence, KNK<sub>4,5</sub> (milimol na litr).

V Sezimově Ústí byly měřeny tyto parametry: elektrická vodivost, pH, KNK<sub>4,5</sub> (mmol/l), TN (mg/L), N-NO<sub>3</sub> (mg/L), TP (mg/L), P-PO<sub>4</sub> (mg/L), Cl<sup>-</sup> (mg/L).

### **Odběr a zpracování fytoplanktonu**

V průběhu sezóny 2016 (v Borovanech) a 2017 (v Sezimově Ústí) byl sledován parametr chlorofyl-a (µg/l), který slouží jako ukazatel množství zelené hmoty ve vodním sloupci v regenerační části a bazénu. Dále byl vyhodnocen mikroskopický obraz v obou částech přírodního koupaliště. Vzorky byly odebírány

z pětilitrové PV lahve a dále použity na stanovení chlorofylu a na centrifugaci, pro následnou determinaci přítomných skupin fytoplanktonu. Fytoplankton byl určován pod mikroskopem OLYMPUS BX51.

### **Odběr a zpracování zooplanktonu**

Odběr se prováděl pomocí vrhací planktonní sítě o průměru ok 80  $\mu\text{m}$ . U každého odběru se házelo třikrát, do přibližně pětimetrové vzdálenosti, pokaždé jiným směrem, tak aby byla podchycena reprezentativnost a prostorová heterogenita zooplanktonu v nádrži. Nalovené vzorky byly konzervovány formaldehydem na konečnou koncentraci roztoku 4 %. Dále se zooplankton stanovoval v laboratoři ENKI, o.p.s. pod mikroskopem JENAMED 2 a OLYMPUS CX21.

Na výsledcích diplomové práce jsem se podílela aktivní účastí na odběrech v Borovanech v roce 2016, kde jsem pomáhala s odběrem vzorků vody pro následné rozboru vody v laboratoři. Na místě jsem měřila teplotu vody, obsah a nasycení vody kyslíkem, společně s pracovníkem laboratoře ENKI o.p.s. Ing. Markem Baxou jsme prováděli odlov zooplanktonu. V laboratoři jsem dále pomáhala měřit vodivost a turbiditu a prováděla jsem filtrace (příprava vzorku na rozbor chlorofylu). Na konci sezóny 2016 jsem také s pracovníkem ENKI o.p.s. určovala druhy zooplanktonu nacházejícího se na koupališti v Borovanech. Výsledky získané z laboratoře ENKI o.p.s. jsem dále zpracovávala samostatně a jejich analýza a presentace jsou podstatou této diplomové práce.

V roce 2016 jsem se společně s Ing. Markem Baxou podílela na přípravě informačního panelu pro přírodní koupaliště v Borovanech, který popisuje, jak mají přírodní koupaliště fungovat (viz příloha č. 1). Obdobně, ale v menším rozsahu, jsem se účastnila odběrů a zpracování vzorků v roce 2017 v Borovanech a Sezimově Ústí.

### Seznam zkratk:

NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	amoniakální dusík
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	dusitanový dusík
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	dusičnanový dusík
TN (mg/L)	celkový dusík
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	fosforečnany
TP (mg/L)	celkový fosfor
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	chloridy
KNK <sub>4,5</sub> (mmol/l)	kyselinová neutralizační kapacita při hodnotě pH 4,5

Pokud je u parametru zkratka gf/c př. TN gf/c znamená to, že vzorek byl filtrovaný přes skleněný filtr Whatman, když je u parametru psané síto, znamená to, že vzorek byl filtrovaný, jen aby se zbavil hrubých nečistot.



## 4. Výsledky

### 4.1. Borovany

#### Vegetace

Na přírodním koupališti Lazna v Borovanech byly určeny a fotograficky zdokumentovány tyto druhy rostliny:

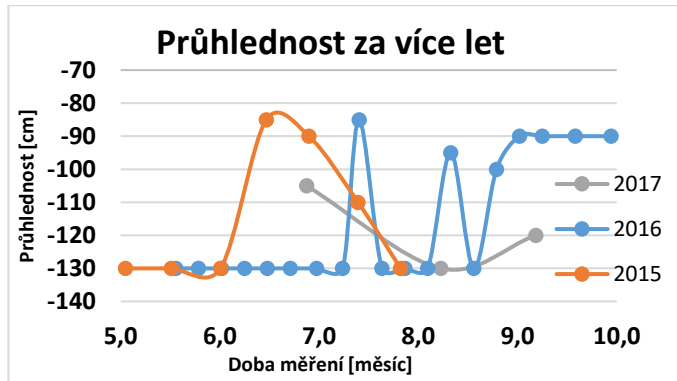
Bahnička mokřadní (bahenní) - *Eleocharis palustris*, kosatec žlutý-*Iris pseudacorus*, kyprej vrbice-*Lythrum salicaria*, leknín - *Nymphaea sp.*, máta - *Mentha sp.*, plavín štítnatý - *Nymphoides peltata*, rákos (kultivar panašovaný) - *Phragmites sp.*, rdest kadeřavý - *Potamogeton crispus*, rdest úzkolistý - *Potamogeton angustifolius*, sítina článkovaná-*Juncus articulatus*, skřípinec jezerní - *Schoenoplectus lacustris*, stolístek-*Myriophyllum sp.*, stolístek vodní - *Myriophyllum aquaticum*, vrba popelavá-*Salix cinerea* a žabník jitrocelový - *Alisma plantago-aquatica*.

#### Fyzikálně chemické parametry

#### Vývoj průhlednosti v letech 2015-2017

Vzhledem k detailnějšímu vzorkování v Borovanech bylo možno ze získaných dat provést porovnání ve vývoji průhlednosti vody v letech 2015–2017. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí od více než 130 cm (tj. průhlednost až na dno) do 85 cm. Průhlednosti na dno byly v letech 2015 a 2016 na začátku sezóny, tj. v období duben-květen. V roce 2015 v červnu se průhlednost snížila na 85 cm. Následně došlo k postupnému zlepšování a v srpnu byla průhlednost opět až na dno, tj. větší než 130 cm. V roce 2017 je patrný obdobný průběh, který byl zaznamenán při kontrolních odběrech během června až srpna, tj. postupné zvyšování průhlednosti. V roce 2016 byly hodnoty průhlednosti do poloviny srpna až na dno, tj. 130 cm. Výjimkou jsou dvě měření, kdy průhlednost klesla pod 100 cm. Snížení průhlednosti na 90 cm nastalo až koncem srpna a nižší průhlednost se udržela během měsíce září. Celkový průměr průhledností ze všech měření byl 117 cm.

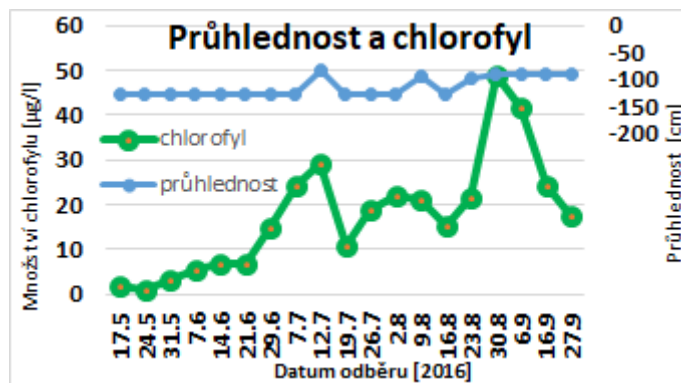
**Graf 1 - Porovnání hodnot průhlednosti na přírodním koupališti v Borovanech během sezón 2015-2017**



### Vývoj chlorofylu a průhlednosti v roce 2016

Z výsledků stanovení koncentrací chlorofylu v roce 2016 je patrné, jak množství fytoplanktonu zásadně ovlivňuje průhlednost vody. Při nízkých hodnotách chlorofylu-a ve vodě, byla voda průhledná až na dno (130 cm). V opačném případě, při zvyšování koncentrací chlorofylu průhlednost klesla až na 85 cm. Průměrné hodnoty během měření byly 115 cm u průhlednosti a 17,7  $\mu\text{g/l}$  u chlorofylu. K nejvyššímu nárůstu koncentrace chlorofylu došlo 30. 8. 2016, kdy byla naměřená hodnota 48,9  $\mu\text{g/l}$ . Průhlednost k tomuto datu byla 90 cm.

**Graf 2 - Porovnání výsledků průhlednosti a chlorofylu během sezóny v koupací části koupaliště**

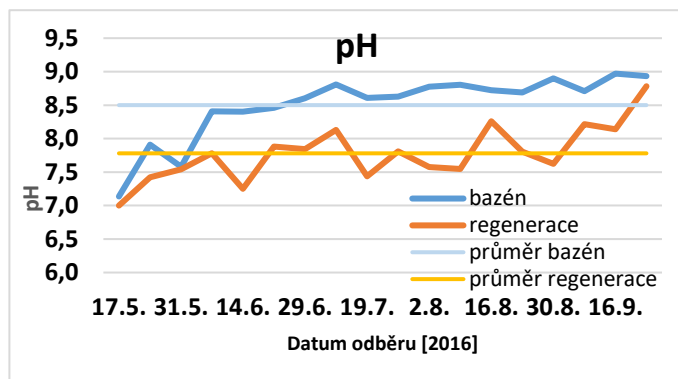


### pH

Naměřené hodnoty pH se pohybovaly od 7,0 do 9,0. Nejnížší hodnota byla naměřená 17. 5. 2016 v regeneraci a nejvyšší 16. 9. 2016 v bazénu. Hodnoty z obou odběrových míst měly podobné výsledky. Regenerace měla vždy nižší hodnoty, ale

byly více rozkolísané než v bazénu. Průměrné hodnoty pH byly v bazénu 8,5 a v regeneraci 7,8.

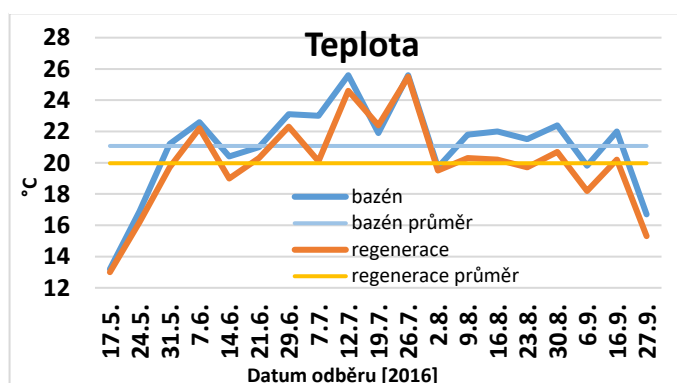
**Graf 3 - porovnání hodnot pH v čase a mezi odběrovými místy**



### Teplota

Minimální hodnoty teploty byly naměřeny na začátku sezóny dne 17. 5. 2016, kdy v regeneraci dosahovala teplota 13 °C a v bazénu 13,2°C. Ke konci května už teplota stoupla nad 20 °C. Ve dnech 12. 7. a 26. 7. 2016 byla zaznamenaná maximální hodnota v bazénu, 25,6 °C. V regenerační části byla maximální hodnota 25,5 °C naměřena 26. 7. 2016. Ochlazení pod 20 °C nastalo až při posledním odběru 27. 9. 2016. Naměřené hodnoty teploty byly podle průměru přibližně o 1 °C nižší v regeneraci než v bazénu. (Průměr v regeneraci byl 20,0 °C a v bazénu 21,1 °C.) Z naměřených hodnot je patrné, že křivka v regeneraci a v bazénu je téměř shodná a nedochází mezi vzorky k žádným výrazným změnám.

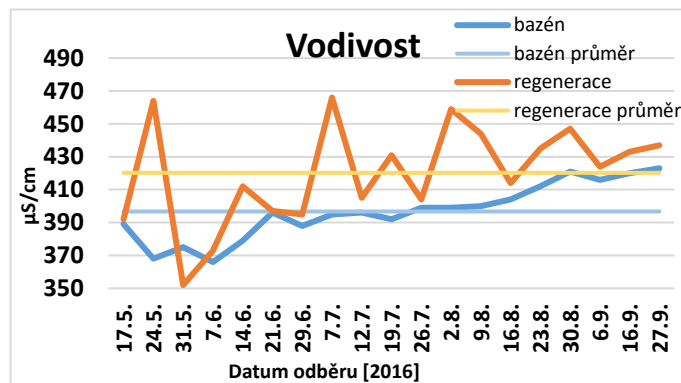
**Graf 4 - Porovnání hodnot teploty v průběhu sezóny mezi regenerací a bazénem**



## Vodivost

Hodnoty vodivosti se pohybovaly od 352  $\mu\text{S}/\text{cm}$  do 466  $\mu\text{S}/\text{cm}$  v regeneraci a od 366  $\mu\text{S}/\text{cm}$  do 423  $\mu\text{S}/\text{cm}$  v bazénu. Celkově nejvyšší i nejnižší hodnoty byly zjištěny v regeneraci, kde byly naměřené hodnoty oproti bazénu více rozkolísané. Zatímco na odběrovém místě v bazénu nedošlo k žádnému výraznějšímu výkyvu. Průměrné hodnoty byly 420  $\mu\text{S}/\text{cm}$  v regeneraci a 396  $\mu\text{S}/\text{cm}$  v bazénu. Také v průběhu sezóny docházelo k postupnému zvyšování hodnot vodivosti, a to na obou odběrových místech.

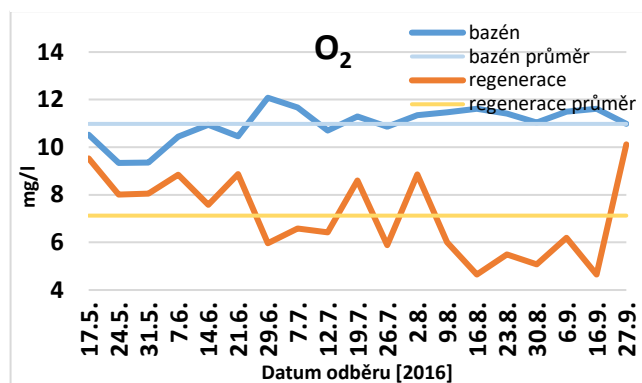
Graf 5 - Porovnání naměřených hodnot vodivosti v čase a mezi odběrovými místy



## Obsah kyslíku

Obsah kyslíku byl výrazně vyšší v bazénu než v regeneraci. Maximální hodnota byla v bazénu 12,08 mg/l, naměřena dne 29. 6. 2016, v regeneraci 10,12 mg/l a byla zaznamenána při posledním odběru 27. 9. 2016. Minimální hodnoty byly 9,34 mg/l v bazénu dne 24. 5. 2016 a 4,65 mg/l v regeneraci dne 16. 9. 2016. Z grafu č. 6 lze usuzovat, že zatímco v bazénu koncentrace kyslíku postupně stoupala, v regeneraci docházelo k jeho postupnému snižování. Průměrné hodnoty u obou měření byly 10,98 mg/l v bazénu a 7,13 mg/l v regeneraci.

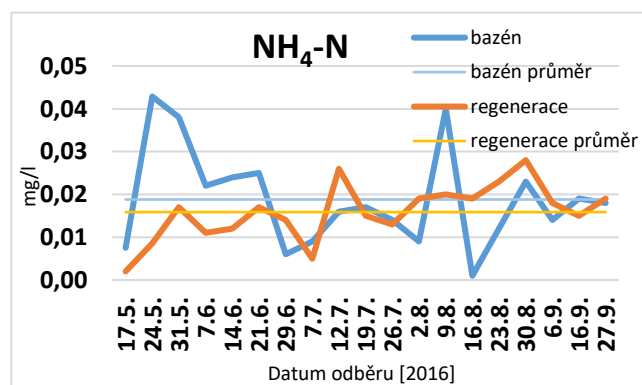
Graf 6 - Srovnání koncentrací O<sub>2</sub> během sezóny a mezi odběrovými místy



### NH<sub>4</sub>-N

Hodnoty amoniakálního dusíku byly rozkolísané od 0,001 mg/l, zaznamenané 16. 8. 2016, do 0,043 mg/l, naměřené 24. 5. 2016. Obě tyto hodnoty byly naměřené v bazénu. Také průměrný obsah NH<sub>4</sub>-N byl vyšší v bazénu než v regeneraci - 0,019 mg/l. Celkově lze ale konstatovat, že množství, ve kterém se amoniakální dusík ve vodě vyskytoval, není výrazné.

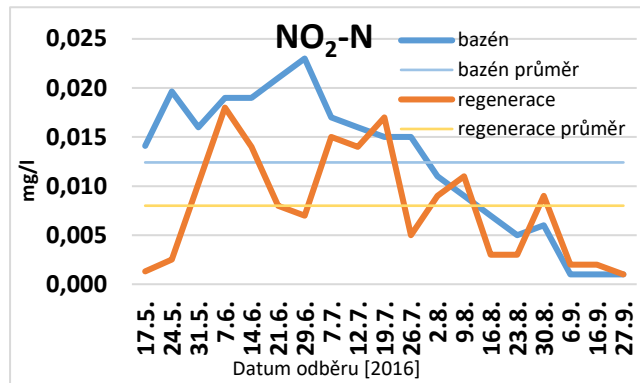
Graf 7 - Porovnání hodnot NH<sub>4</sub>-N mezi regenerací a bazénem během měření



### NO<sub>2</sub>-N

Koncentrace NO<sub>2</sub>-N se pohybovaly v rozmezí od 0,001 mg/l do 0,023 mg/l v bazénu a od 0,001 mg/l do 0,018 mg/l v regeneraci. Průměrná hodnota byla v bazénu 0,0124 mg/l a v regeneraci 0,008 mg/l. Celkově měly koncentrace NO<sub>2</sub> na obou odběrových místech během sezóny sestupnou tendenci a ke konci měření už byly zaznamenány téměř nulové hodnoty.

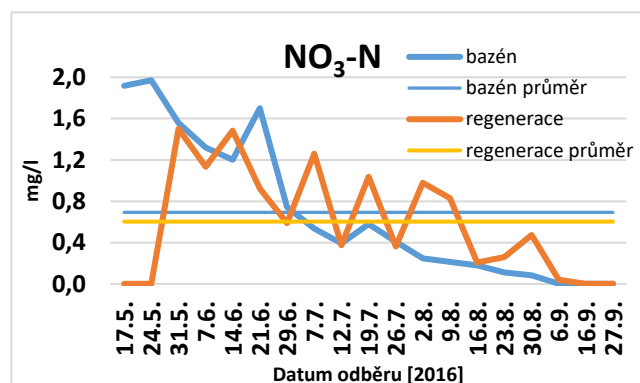
**Graf 8 - Rozdíly naměřených hodnot NO<sub>2</sub>-N mezi bazénem a regenerací**



### NO<sub>3</sub>-N

Na začátku měření byly v regeneraci dvakrát po sobě naměřené takřka nulové koncentrace, zatímco v bazénu hned od počátku měření byly okolo 1,90 mg/l. Při třetím odběru už byly hodnoty velmi podobné, jelikož došlo k náhlému zvýšení koncentrace NO<sub>3</sub> v regeneraci a mírnému poklesu v bazénu. Hodnoty v regeneraci byly po dobu měření více rozkolísané než hodnoty v bazénu. Na obou odběrových místech se také obsah NO<sub>3</sub> ve vodě postupně snižoval. Minimální hodnota byla 0,00 mg/l a byla zaznamenána na obou odběrových místech. Maximální hodnota v bazénu byla 1,97 mg/l a byla naměřena 24. 5. 2016. Maximální hodnota v regeneraci byla 1,50 mg/l a byla naměřena při třetím odběru 31. 5. 2016. Průměrná hodnota byla vyšší v bazénu a to 0,69 mg/l.

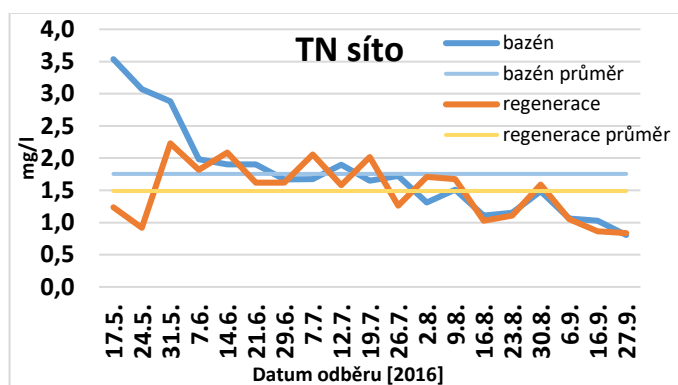
**graf 9 - Porovnání koncentrací NO<sub>3</sub>-N v čase a mezi odběrovými místy**



## TN

Hodnoty celkového dusíku byly na obou místech měření téměř shodné, jediný výraznější rozdíl byl na počátku měření, kdy v regeneraci bylo 17.5.2016 1,24 mg/l a v bazénu 3,54 mg/l, což byla zároveň nejvyšší naměřená koncentrace. Minimální hodnota byla 0,81 mg/l a byla také naměřená v bazénu. Průměrné hodnoty byly 1,76 mg/l v bazénu a 1,49 mg/l v regeneraci. Během sezóny se koncentrace TN postupně snižovala.

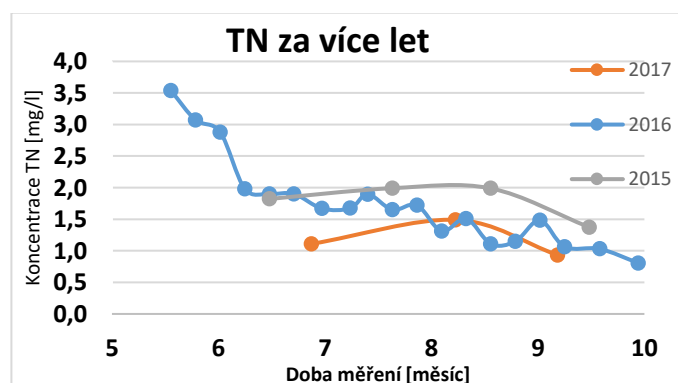
Graf 9 - Srovnání hodnot TN z koupací a regenerační části bazénu



## TN porovnání sezón 2015–2017

Z grafu lze vyčíst, že hodnoty celkového dusíku v roce 2016 během celé sezóny postupně klesaly až pod hodnotu 1,00 mg/l. V letech 2015 a 2017 je patrné mírné navýšení koncentrace TN v červenci a srpnu. Od poloviny srpna i v letech 2015 a 2017 nastal pokles. Hodnoty se během měření v bazénu pohybovaly v rozmezí od 0,66 mg/l do 3,64 mg/l (hodnoty za více let jsou jen z bazénu).

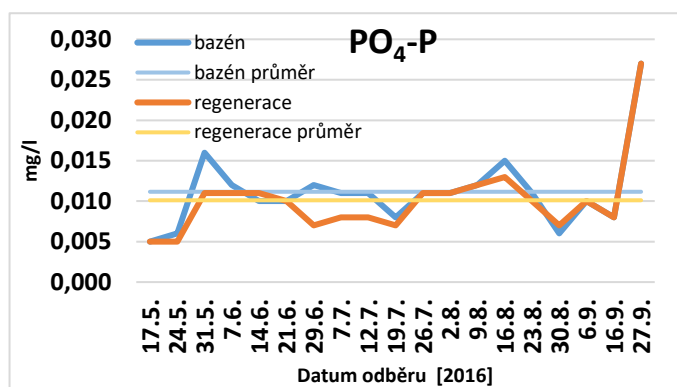
Graf 10- Koncentrace TN během sezón 2015 až 2017 z koupací části bazénu



## PO<sub>4</sub>-P

Koncentrace PO<sub>4</sub>-P se pohybovaly v bazénu i regeneraci v rozmezí od 0,01 mg/l až do 0,03 mg/l. Téměř po celou dobu měření se pohybovaly naměřené koncentrace od 0,01 mg/l do 0,02 mg/l a teprve při posledním odběru 27. 9. 2016 došlo k navýšení PO<sub>4</sub>-P na maximální naměřenou hodnotu 0,03 mg/l, a to na obou odběrových místech. Minimální hodnota 0,01 mg/l byla zaznamenána dne 17. 5. také na obou odběrových místech. Průměrná hodnota PO<sub>4</sub>-P byla vyšší v bazénu – 0,01 mg/l. Oproti regeneraci je to ale jen velmi nepatrný rozdíl, o 0,001 mg/l.

**Graf 11 - Porovnání hodnot PO<sub>4</sub>-P mezi koupací a regenerační částí v průběhu sezóny 2016**

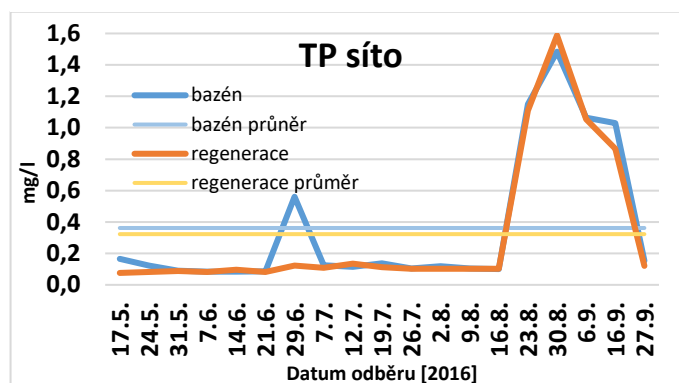


## TP

Hodnoty celkového fosforu byly na obou odběrových místech během měření skoro vždy téměř shodné, jediným rozdílem bylo zvýšení fosforu v bazénu dne 29. 6. na koncentraci 0,56 mg/l. Na grafu si také můžeme všimnout, že až do 16. 8. 2016 byly naměřené hodnoty často podobné-okolo 0,20 mg/l, ale po 16. 8. došlo k výraznému navýšení koncentrace přibližně na 1,50 mg/l. Po 30. 8. však začaly hodnoty klesat a na konci měření bylo v regeneraci naměřeno 0,12mg/l a v bazénu 0,08 mg/l. Maximální naměřená hodnota TP byla v regeneraci 1,59 mg/l a v bazénu 1,49 mg/l. Minimální koncentrace byly v regeneraci i v bazénu stejné - 0,08 mg/l. Průměrné hodnoty byly 0,36 mg/l v bazénu a 0,32 mg/l v regeneraci.



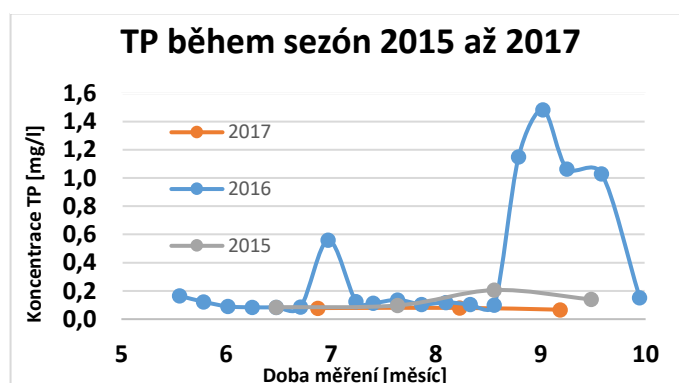
**Graf 12- Srovnání hodnot celkové fosforu v čase a mezi odběrovými místy**



### Hodnoty TP během sezón 2015-2017

U hodnot fosforu během roku 2015 a 2017 nebyl zjištěn žádný velký výkyv a nejvyšší hodnota za tyto roky byla 0,21 mg/l. Naopak během roku 2016 došlo ke dvěma výkyvům, kdy se hodnota poprvé zvýšila na 0,56 mg/l a podruhé na 1,48 mg/l.

**Graf 13 - Srovnání koncentrace celkového fosforu v sezónách 2015 až 2017**

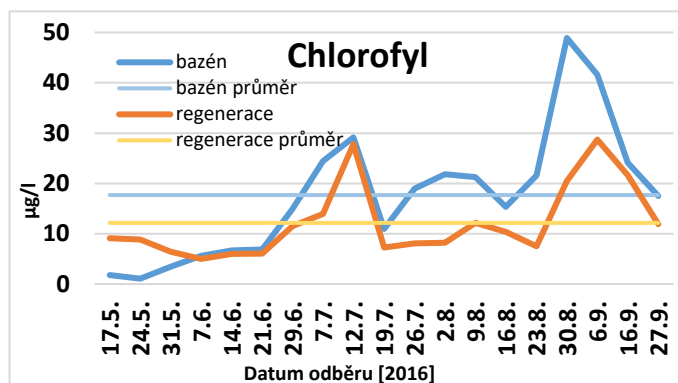


### Chlorofyl

Na výsledcích chlorofylu je dobře patrné, jak hodnoty z regenerace kopírují křivku z bazénu, ale v nižších koncentracích. To dokazují i průměrné hodnoty, které byly v bazénu 17,7 µg/l a v regeneraci 12,2 µg/l. Maximální koncentrace chlorofylu byly naměřené 6. 9. 2016 a měly hodnoty 48,9 µg/l v bazénu a 28,7 µg/l v regeneraci. Minimální koncentrace v bazénu byla 24. 5. 2016 a měla hodnotu 1,1 µg/l, v regeneraci byla nejnižší hodnota naměřena 7. 6. 2016 – 5,0 µg/l. Během sezóny měl chlorofyl na obou odběrových místech trend postupně se zvyšovat, ale

podle grafu č. 15 je patrné, že při posledních dvou měřeních jeho koncentrace ve vodě klesala.

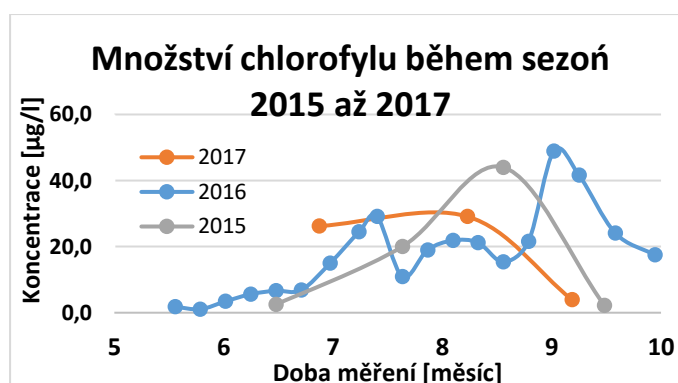
**Graf 14 - Koncentrace chlorofylu v čase a mezi odběrovými místy**



### Chlorofyl v letech 2015-2017

Přibližně v polovině června se začal zvyšovat obsah chlorofylu ve vodě až na hodnotu 49,9 µg/l, která byla naměřená v Borovanech koncem srpna 2016. Na výsledcích je také vidět, že ve všech třech letech se množství chlorofylu na konci sezóny snižovalo.

**Graf 15 - Koncentrace chlorofylu během sezón 2015 až 2017**



### Zooplankton

Množství zooplanktonu bylo monitorováno po celou dobu sezóny. Z hlediska správného fungování přirozených čistících mechanismů na koupalištích je důležitá přítomnost perlooček z rodu *Daphnia*. Rozbory zooplanktonu ukázaly, že se na koupalištích dají udržet dlouhodobě životaschopné populace dafnií. V Borovanech ve všech odběrech 2016 byl zjištěn druh perloočky *Daphnia pulex* a často se zde také vyskytovala *Daphnia magna*. Od počátku sezóny docházelo k postupnému narůstání

biomasy dafniového zooplanktonu až přibližně do konce července. V průběhu srpna došlo k mírnému úbytku dafnií a v září k opětovnému zvýšení jejich biomasy (Baxa. M. a kol., 2016).

Obrázek 2 – BIOMASA ZOOPLANKTONU VE VZORCÍCH V PRŮBĚHU SEZÓNY 2016. ČERNÁ LINKA PROTÍNÁ HRANICI 10ML.



### Bakteriální zatížení

V následující tabulce jsou uvedeny výsledky mikrobiologických vyšetření vzorků vody. Ty jsou převzaty od akreditované laboratoře Zdravotního ústavu se sídlem v Ústí nad Labem a pracovištěm v Českých Budějovicích.

Datum	<i>E. coli</i>	Enterokoky
17.5.	2	2
14.6.	5	1
29.6.	1	0
19.7.	0	5
29.7.	1	1
4.8.	0	8
30.8.	0	0

Jak je patrné z tabulky, naměřené hodnoty *E. coli* a enterokoků měly po celou sezónu nízké nebo nulové hodnoty a ani jednou nedošlo k překročení limitů daných vyhláškou č. 238/2011Sb. (viz příloha č. 10).

## 4.2. Sezimovo Ústí

### Vegetace

Na přírodním koupališti Pohoda v Sezimově Ústí byly determinovány a fotograficky zdokumentovány tyto druhy rostlin:

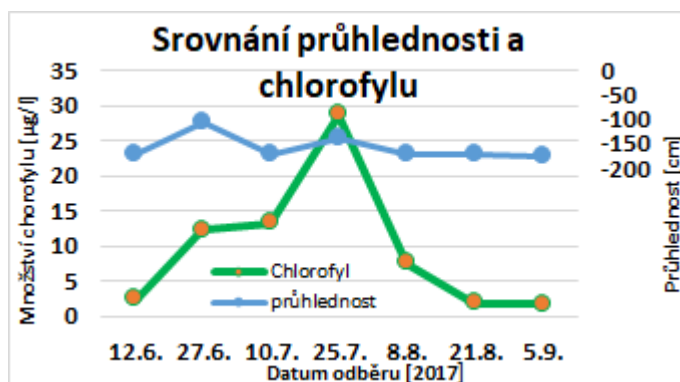
*Chara-Platycerium Sp.* (parožnatka), ježatka kuří noha-*Echinochloa crus-galli*, kejklířka šklebivá - *Mimulus ringens*, orobinec úzkolistý-*Typha angustifolia*, ostřice

– *Carex*, ostřice nedošáchor-*Carex pseudocyperus*, šáchor hnědý-*Cyperus fuscus*, šišák vroubkovaný-*Scutellaria galericulata*

### Průhlednost a chlorofyl

Podle grafu č. 17 je patrné, že nejnižší hodnota průhlednosti 105 cm byla zaznamenaná při druhém odběru 27. 6., u tohoto odběru byla navýšená i koncentrace chlorofylu, ale jen na 12,2  $\mu\text{g/l}$ . Nejvyšší hodnota chlorofylu 28,7  $\mu\text{g/l}$  byla naměřená 25. 7., kdy také došlo k poklesu průhlednosti, ale už ne tak výrazně jako při prvním navýšení chlorofylu.

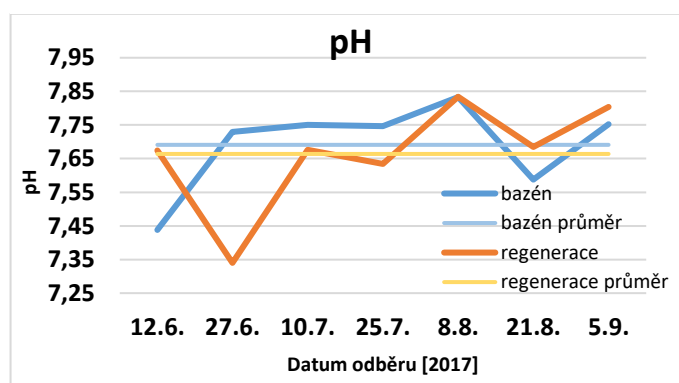
Graf 16 - Porovnání parametrů průhlednosti a chlorofylu během sezóny v koupací části koupaliště



### pH

Na grafu č. 18 je vidět, že křivka hodnot z regenerace částečně kopíruje naměřené hodnoty z bazénu, jen s nižšími hodnotami. Výjimkou byly první dva odběry, kde byly naměřené rozdílné hodnoty oproti bazénu. Zatímco v regeneraci došlo 27. 6. 2017 k poklesu pH, v bazénu pH postupně stoupalo. Průměrné hodnoty na odběrových místech byly 7,69 v bazénu a 7,66 v regeneraci. Maximální hodnoty byly na obou místech měření shodné - 7,83, minimální hodnoty byly 7,34 v regeneraci a 7,44 v bazénu. Celkový trend během sezóny byl mírné zvyšování hodnot pH.

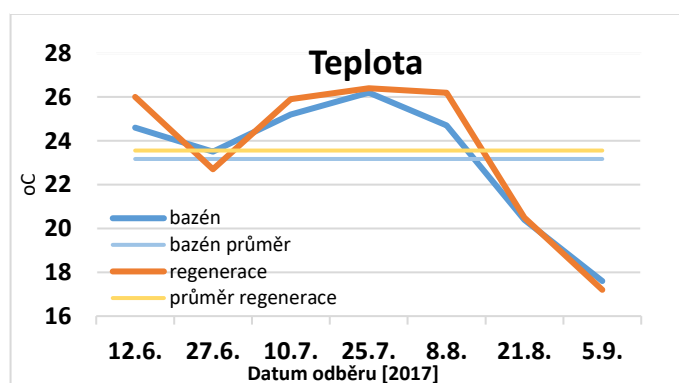
**Graf 17 - Rozdíly naměřených hodnot pH v bazénu a regeneraci během sezóny 201**



### Teplota

Hodnoty teplot jsou na obou odběrových místech podobné, bez žádného výrazného výkyvu. Průměry teplot byly skoro shodné, 23,2 °C v bazénu a 23,6 °C v regeneraci. Maximální hodnota v regeneraci byla při prvním odběru 12.6. - 26,4 °C, v bazénu bylo naměřené teplotní maximum 25.7. - 26,2°C. Minimální hodnoty byly naměřené při posledním odběru 5. 9. 2017, zaznamenáno bylo v regeneraci 17,2 °C a v bazénu 17,6 °C. Z grafu je také patrné, že při posledních 2-3 odběrech začalo docházet k ochlazení vody až na 17,2°C.

**Graf 18 - Porovnání rozdílu teplot mezi regenerační částí a bazénem v průběhu sezóny**

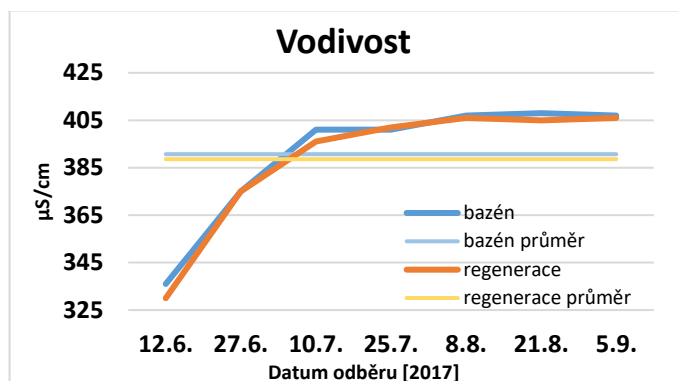


### Vodivost

Hodnoty vodivosti byly na obou odběrových místech takřka shodné. Průměrné hodnoty byly 390  $\mu\text{S}/\text{cm}$  v bazénu a 388  $\mu\text{S}/\text{cm}$  v regeneraci. Maximální hodnota v regeneraci byla 406  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a v bazénu 408  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Minimální vodivost byla na začátku měření 12. 6. 2017 330  $\mu\text{S}/\text{cm}$  v regeneraci a 366  $\mu\text{S}/\text{cm}$  v bazénu.

Hodnoty vodivosti se také během měření na obou odběrových místech zvýšily přibližně o 70  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

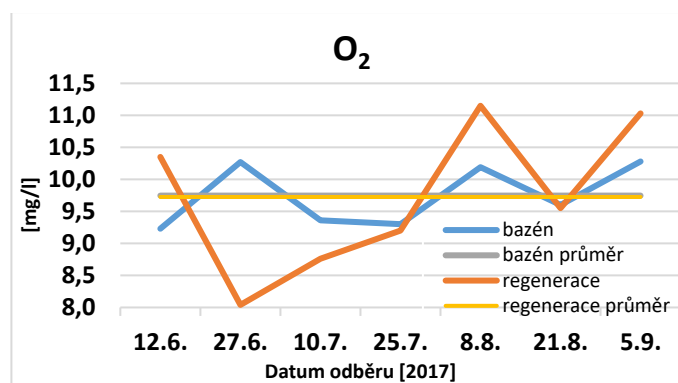
**Graf 19 - Porovnání hodnot vodivosti v čase a mezi odběrovými místy**



## O<sub>2</sub>

Hodnoty O<sub>2</sub> se pohybovaly během měření v rozmezí od 9,23 mg/l do 10,28 mg/l v bazénu a od 8,04 mg/l do 11,15 mg/l v regeneraci. Průměrné hodnoty byly na obou odběrových místech téměř shodné 9,75 mg/l v bazénu a 9,73 mg/l v regeneraci. Během sezóny na obou odběrových místech také docházelo k mírnému navyšování obsahu O<sub>2</sub>.

**Graf 20 - Rozdíly O<sub>2</sub> v čase a mezi odběrovými místy**

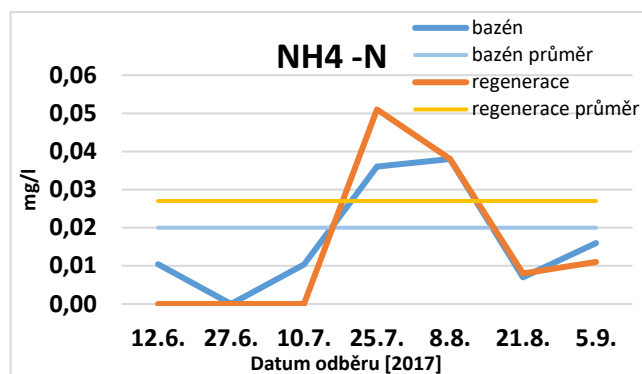


## NH<sub>4</sub>-N

Z grafu je patrné, že koncentrace NH<sub>4</sub>-N byly v bazénu a v regeneraci po dobu měření často podobné nebo téměř shodné. Průměrné hodnoty byly vyšší v regeneraci 0,03 mg/l, v bazénu 0,02 mg/l. Maximální naměřená koncentrace byla

0,05 mg/l v bazénu a 0,04 mg/l v regeneraci. Minimální hodnoty byly 0,00 mg/l v bazénu a 0,01 v regeneraci. Minimální hodnoty byly změřené na začátku sezóny, maximální hodnoty byly zaznamenány v regeneraci 25. 7. 2017 a v bazénu 8.8 2017.

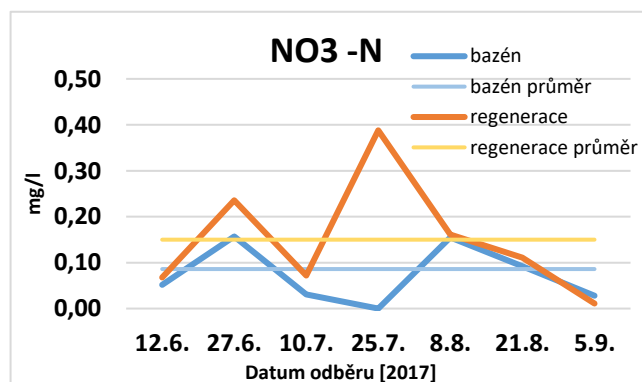
**Graf 21- Porovnání koncentrací NH<sub>4</sub>-N v čase a mezi bazénem a regenerací**



### NO<sub>3</sub>-N

Rozmezí hodnot NO<sub>3</sub>-N bylo od 0,00 mg/l do 0,16 mg/l v bazénu a od 0,01 mg/l do 0,39 mg/l v regeneraci. Nulová hodnota byla naměřená v bazénu a nejvyšší v regeneraci. Obě tyto hodnoty byly naměřené ve stejný den - 25.7. Mimo tento odběr byly hodnoty podobné, i když vždy byly mírně vyšší v regeneraci. Průměrné hodnoty byly 0,15 mg/l v regeneraci a 0,09 mg/l v bazénu. Ke konci sezóny docházelo ke snižování koncentrace NO<sub>3</sub>-N až na 0,03 mg/l v bazénu a 0,01 mg/l v regeneraci.

**Graf 22- Srovnání hodnot NO<sub>3</sub>-N v bazénu a regeneraci během sezóny 2017**

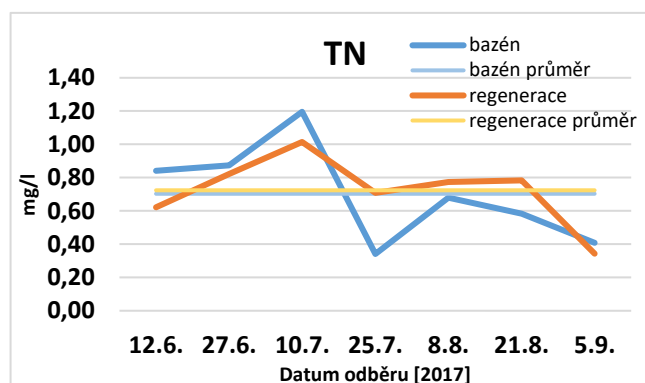


### TN

Na dalším grafu je patrné, že i když byly hodnoty celkového dusíku během měření rozkolísané, a to na obou odběrových místech, průměrné hodnoty byly takřka

stejně (v bazénu 0,70 mg/l a v regeneraci 0,72 mg/l). Maximální hodnoty byly 1,20 mg/l v bazénu a 1,01 mg/l v regeneraci. Obě tyto koncentrace byly naměřené při třetím odběru 10. 7. 2017. Minimální hodnota byla na obou odběrových místech stejná 0,34 mg/l, v bazénu byla naměřena dne 25. 7. a v regeneraci při posledním odběru 5.9. Na obou odběrových místech také docházelo během sezóny k mírnému snižování celkového dusíku.

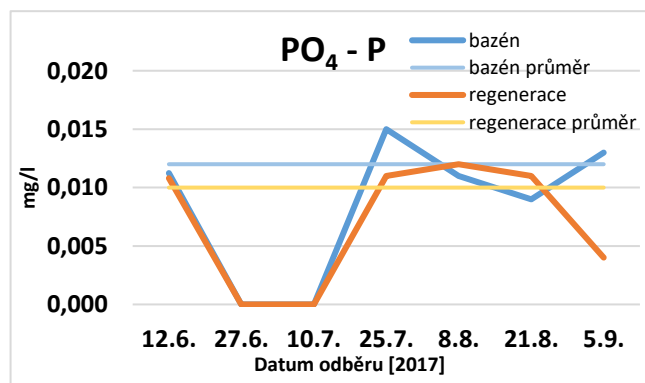
**Graf 23- Porovnání koncentrací celkového dusíku v čase a mezi odběrovými místy**



### PO<sub>4</sub>-P

Koncentrace PO<sub>4</sub>-P se během měření pohybovaly v rozmezí od 0,000 mg/l do 0,015 mg/l v bazénu a od 0,004 mg/l do 0,012 mg/l v regeneraci. Průměrná hodnota koncentrace PO<sub>4</sub>-P byla vyšší v bazénu 0,012 mg/l (v regeneraci byla 0,010 mg/l). Na začátku měření byly výsledky koncentrací z regenerační a koupací částí podobné, ale ke konci sezóny došlo k mírnému navýšení PO<sub>4</sub>-P v bazénu a snížení v regeneraci.

**Graf 24 - Porovnání hodnot PO<sub>4</sub>-P v čase a mezi bazénem a regenerací**

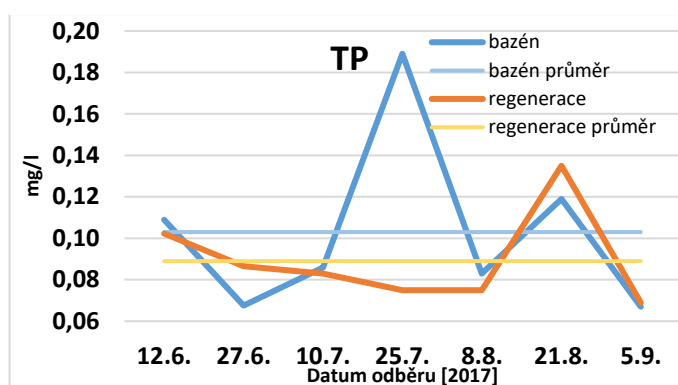




## TP

Hodnoty celkového fosforu byly během sezóny na obou odběrových místech relativně podobné kromě 25. 7., kdy došlo k navýšení TP v koupací části na 0,19 mg/l = celkově nejvyšší hodnota během měření. V regeneraci byla nejvyšší hodnota 0,16 mg/l a byla naměřena 21. 8. 2017. Nejnižší hodnoty byly 0,10 mg/l v bazénu a 0,07 mg/l v regeneraci. Průměrné hodnoty byly v bazénu 0,10 mg/l a 0,09 mg/l v regeneraci.

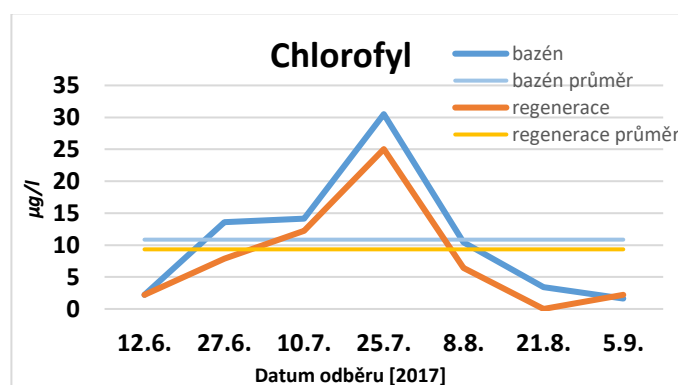
Graf 25 - Srovnání koncentrací TP mezi odběrovými místy během sezóny 2017



## Chlorofyl

Během sezóny docházelo k postupnému navýšování koncentrací chlorofylu až na maximální hodnoty 30,5  $\mu\text{g/l}$  v bazénu a 25,0  $\mu\text{g/l}$  v regeneraci. Obě tyto koncentrace byly naměřeny při čtvrtém odběru 25. 7. 2017. Po tomto měření začaly hodnoty klesat až na 1,6  $\mu\text{g/l}$  v bazénu a 2,2  $\mu\text{g/l}$  v regeneraci. Minimální koncentrace byly v bazénu 1,6  $\mu\text{g/l}$  dne 25. 7. a 2,2  $\mu\text{g/l}$  v regeneraci dne 12.6. Průměrné koncentrace byly 10,9  $\mu\text{g/l}$  v bazénu a 9,3  $\mu\text{g/l}$  v regeneraci.

Graf 26 - Hodnoty chlorofylu v čase mezi odběrovými místy



## Zooplankton

V regenerační laguně se v sezóně 2017 podařilo úspěšně kultivovat daphniový zooplankton. Mechanismus kultivace a způsob přelovování dafnií byl správcem koupaliště důsledně dodržen, což se projevilo v téměř celosezónní přítomnosti velkých filtrujících perlooček v bazénové části. V regenerační zóně byl zooplankton přítomný po celou sezónu. V průběhu sezóny se podařilo udržet pro účinnou filtraci klíčové druhy *Daphnia pulex*, *D. pulicaria*, *D. longispina*, *D. magna*, které se průběžně střídaly v dominanci nebo se efektivně doplňovaly (Baxa M. a kol., 2017).

Obrázek 3 - BIOMASA ZOOPLANKTONU VE VZORCÍCH V PRŮBĚHU SEZÓNY 2017. ČERNÁ LINKA PROTÍNÁ HRANICI 10ML.



## Bakteriální zatížení

V následující tabulce jsou uvedeny výsledky mikrobiologického vyšetření vody v Sezimově Ústí během sezóny 2017. (Data bakteriálního zatížení jsem převzala ze zpráv Zdravotního ústavu se sídlem v Ústí nad Labem, který v Sezimově Ústí prováděl pravidelné odběry vzorků vody na mikrobiologické vyšetření.)

Datum	E. coli	Enterokoky
22.5.	0	18
6.6.	8	10
19.6.	42	25
11.7.	25	20
25.7.	8	120
7.8.	0	0
21.8.	6	15

## 5. Diskuze

### Vývoj legislativy, vztah bakteriálního zatížení a zooplanktonu

Legislativní požadavky na kvalitu vody v přírodních koupalištích jsou definovány vyhláškou o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch. Parametry uvedené ve vyhlášce reflektují pouze možná hygienická rizika spojená s rozvojem nežádoucího bakteriálního zatížení. Kromě bakteriálního zatížení řeší vyhláška pouze průhlednost vody. Limitní hodnoty v legislativě se vyvíjely v čase. Původní vyhláška číslo 135/2004 Sb. udávala maximální hodnoty *E. coli* 100 KTJ/100ml a enterokoků 400 KTJ/100ml. Aktuálně platná vyhláška číslo 238/2011 Sb. udává hodnoty *E. coli* 100KTJ/100ml a enterokoků 50 KTJ/100ml. Podle EU jsou normy pro přírodní koupaliště podobné jako v ČR, maximální hodnota pro *E. coli* je 100 KTJ/100ml, u enterokoků by měly být hodnoty pod 40-50 KTJ/100ml a u *Pseudomonas aeruginosa* je limit 10 KTJ/100ml (Massana a kol.,2012). IOB (2013) se ve svém grafu, frekvence s překročením hygienických limitů odkazuje na následující limity *E. coli* 100 KTJ/100ml, enterokoky 50 KTJ/100ml a *Pseudomonas aeruginosa* 10 KTJ/100ml (Schwarzer, 2013). Významným společenstvem, které efektivně snižuje, případně udržuje množství bakteriálního zatížení pod stanovenými limity, je dafniový zooplankton. Sledované sezóny na obou koupalištích potvrdily vyřčenou hypotézu, že v prostředí s výskytem dafniového zooplanktonu bude množství fekálního znečištění minimální, respektive, bude splňovat legislativní limity.

Poznatek o efektivní schopnosti dafnií snižovat filtrační aktivitou, vyjma fytoplanktonu i bakteriální zátěž zmiňuje Hrbáček (1998). Přítomnost dafnií je i z tohoto pohledu tedy klíčovým faktorem v efektivním čištění vody. Výsledky ukazují, že když je dafniového zooplanktonu dostatek, pak se v systému koupaliště bakteriální znečištění prakticky nevyskytuje, jak ukázala sezóna 2016 v Borovanech i výsledky z roku 2017 v Sezimově Ústí – významné překročení pouze u eneterokoků 25. 7. V minulosti tak nízké koncentrace bakteriální zátěže ale nebyly, např. v roce 2015 se však podařilo úspěšnou inokulací dafniového zooplanktonu bakteriální znečištění snížit – viz příloha č. 8.

Celoroční výskyt zooplanktonu ve vodě byl v roce 2016 v Borovanech a v roce 2017 v Sezimově Ústí docílen pravidelným přelovováním z regenerační

části do bazénu a opačně. Tím se populace zooplanktonu udržovala v partenogenetickém způsobu rozmnožování.

### **Průhlednost**

Cílené udržování dafniového zooplanktonu logicky zapříčinilo snižování množství přítomného fytoplanktonu. To se projevilo na vývoji průhlednosti vody v nádržích, potažmo na hodnotách chlorofylu. Průhlednost vody se měřila pouze v koupací části koupaliště. Na hodnotách z Borovan je jasně patrné z grafu č. 2, že ze začátku měření, když ještě nebyly ve vodě vyšší koncentrace chlorofylu, byla voda průhledná až na dno. 12. 7. došlo k navýšení chlorofylu, průhlednost poklesla na 85 cm, ale se snížením chlorofylu se zase navýšila až na 130 cm (hloubka dna). Ke konci sezóny se průhlednost vody ustálila na 90 cm a už se nezvýšila. To bylo pravděpodobně způsobené opětovným navýšením množství chlorofylu.

Stejný průběh byl pozorován i na výsledcích ze Sezimova Ústí, graf č. 17, kdy se průhlednost snížila u dvou odběrů v době, kdy také došlo k navýšení chlorofylu. Tyto výsledky potvrzují obecně známý fakt, že vysoké hodnoty chlorofylu korelují s nízkou průhledností vody.

Jak již bylo řečeno, výše zmiňované dva parametry (bakteriální znečištění a průhlednost) jsou legislativně ošetřeny. Nicméně kvalitu vodu určují i jiné parametry, které také mají velmi výrazný vliv na výslednou kvalitu vody. Často zapříčiňují zhoršené hodnoty ukazatelů stanovených vyhláškou, tj. zjednodušeně: vysoká živinová zátěž = extrémní nárůst biomasy fytoplanktonu a s tím související nárůst chlorofylu = nižší průhlednost vody. Výsledky této práce potvrzují, že významný podíl na výslednou kvalitu vody má množství dostupných živin (N, P), přítomnost dafniového zooplanktonu a schopnost regenerační zóny tlumit v koupací sezóně zatížení vody v důsledku koupajících se osob.

### **Chlorofyl**

Pomineme-li efekt dafniového zooplanktonu na množství fytoplanktonu (Hrbáček, 1998; Scheffer, 1998; Šimečková, 2008), lze očekávat snižování fytoplanktonu, respektive chlorofylu pomocí průtoku vody přes filtrační materiály. To zabezpečují regenerační zóny. Z grafu č. 15 je patrné, že regenerační zóna

v Borovanech má pozitivní vliv na snižování množství chlorofylu oproti koupací zóně.

Porovná-li hodnoty s koupalištěm v Sezimově Ústí, lze jednoznačně výsledky hodnotit jako velmi podobné. Hodnoty v celé sezóně v Borovanech nepřesáhly koncentraci 48,9  $\mu\text{g/l}$  a v Sezimově Ústí 30,5  $\mu\text{g/l}$ . Lze tedy konstatovat, že biomasa fytoplanktonu v průběhu sezóny byla na obou koupalištích srovnatelná. Pokud zkusíme zhodnotit účinnost regeneračních zón z pohledu schopnosti filtrovat řasy, je možno na základě výsledků říci, že regenerační zóna v Borovanech je efektivnější. Dokládají to grafy č. 15 a 27, kde zejména na grafu z Borovan je patrné, že jsou vyšší rozdíly v hodnotách mezi regenerací a bazénem. Stejně tak rozdíl mezi průměrnými hodnotami regenerace ve srovnání s bazénem je vyšší v Borovanech (5,53  $\mu\text{g/l}$ ) než v Sezimově Ústí (1,52  $\mu\text{g/l}$ ). Otázkou však zůstává, do jaké míry mohou být výsledky ovlivněny množstvím naměřených dat (v Borovanech 19 odběrů, v Sezimově Ústí 7 odběrů). Zmiňované maximální hodnoty lze pro představu konfrontovat s průměrnými hodnotami v rybníčních nádržích jako nejpodobnějšího ekosystému. Například v technické zprávě pilotního projektu (Pechar a kol., 2012) jsou uvedené průměrné hodnoty z let 2000-2012 od 119-143  $\mu\text{g/l}$ , což jsou přibližně trojnásobné koncentrace. Z hlediska ukazatelů trofie vodních nádrží dle OECD z roku 1982 jsou hodnoty na koupalištích na rozhraní mezi eutrofií a slabou hypertrofií (Hartman P., 1998).

## O<sub>2</sub>

Vývoj nasycení kyslíku by měl odpovídat vývoji chlorofylu ve vodě. Grafy č. 6 a 15 z Borovan a 21 a 27 ze Sezimova Ústí.

V Borovanech je patrné, že množství kyslíku je vždy nižší v regeneraci než v bazénu. Lze se domnívat, že řasy schopné aktivní fotosyntézy jsou částečně odstraněny filtračním systémem v regeneraci.

V Sezimově Ústí jsou hodnoty více rozkolísané než v Borovanech. První výkyv při druhém odběru může být způsoben tím, že se v regeneraci nacházelo méně zelených řas. Systém tedy fungoval na obdobném principu, jaký jsem popisovala u koupaliště v Borovanech. Přibližně od poloviny sezóny je patrné, že fotosyntetická aktivita, a tím i vyšší hodnoty O<sub>2</sub>, je intenzivnější v regenerační zóně. Vysvětlují si to v první řadě výrazně nižší hloubkou vody v regeneraci (max. 40 cm) oproti

borovanskému koupališti (cca 80 cm). Dochází tak pravděpodobně k silnému přehřátí vodního sloupce a rychlejšímu nárůstu fytoplanktonu. Druhým důvodem mohla být přítomnost významného množství vláknitých řas, které vodní sloupec v regeneraci, v době tropických dní, obohacovaly o produkovaný kyslík.

## **pH**

Z výsledků vyplývá, že hodnoty pH měly v průběhu sezóny na obou přírodních koupalištích mírně vzestupnou tendenci (graf č. 3 a 18). Byl to důsledek nárůstu chlorofylu během sezóny (graf č. 15 a 27), protože platí, že s intenzivní fotosyntézou rostlin se pH zvyšuje (Lellák a kol., 1991).

Na obou přírodních koupalištích se v jarních měsících projevila mělká (v porovnání s bazénem) regenerační zóna, ve které se voda prohřívala rychleji než v bazénu. Tím lze vysvětlit vyšší hodnoty pH v regeneraci na začátku sezóny, jak je vidět v grafu č. 18. Prohřátá vrstva vody urychluje nárůst biomasy řas a zvyšuje intenzitu fotosyntézy. Tomu odpovídá i vývoj chlorofylu na jaře v regeneraci (graf č. 15) kde se hodnoty pohybují na stejné úrovni jako v bazénu. Stejně tak se v Borovanech i v Sezimově Ústí pravděpodobně v regeneraci projevila vyšší zásoba živin z kalu. Ten nebyl záměrně, na rozdíl od kalu v bazénu, po skončení sezóny odstraněn z důvodu zachování efipiálních vajíček perlooček v systému koupaliště.

Po zbytek sezóny byly v Borovanech hodnoty pH i chlorofylu nižší v regenerační části než v koupací, což bylo pravděpodobně způsobené tím, že se část řas zachytila v mechanickém filtru v regeneraci. Oproti tomu v Sezimově Ústí došlo ke konci sezóny k opětovnému navýšení pH, odpovídá tomu i zvýšený chlorofyl v regeneraci.

## **Vodivost**

U vodivosti se předpokládalo, že vyšší vodivost bude naměřená v koupací části, protože většina iontů bude pocházet z koupajících se osob. Tento předpoklad se ale nepotvrdil ani na jednom koupališti.

V Sezimově Ústí byly naměřené hodnoty vodivosti z bazénu a regenerační části téměř totožné (graf č. 20). To znamená, že v bazénu ionty pocházející z koupacích osob nemají na hodnoty vodivosti v regeneraci pravděpodobně žádný

výrazný vliv a ani regenerační zóna neovlivňuje výsledky vodivosti např. dopouštěním vody z Kozského potoka.

V Borovanech byly zajímavé naměřené hodnoty zobrazující vývoj vodivosti (graf č. 5). Obecně je známý předpoklad, že čím vyšší je vodivost, tím více je ve vodě rozpuštěných iontů (Pitter, 1999). V systému koupaliště Lazna se předpokládalo, že většina takovýchto iontů bude pocházet z koupajících se osob. To znamená, že by v koupací části měla být vodivost vyšší než v regeneraci. Zmiňovaný graf č. 5 však ukazoval zcela opačný výsledek. Prvním vysvětlením mohlo být periodické dopouštění vody z vrtu, který je bohatý na chloridy a dusičnany (Baxa a kol., 2016). Druhým vysvětlením mohl být fakt, že voda protékající přes štěrkopískové lavice je obohacena o nějaký typ iontů zvyšující vodivost. Větší rozkolísanost křivky vodivosti v regeneraci mohla být příkládána pravidelným dešťům v sezóně 2016, čímž mohlo dojít k naředění vody a díky menšímu objemu vody v regeneraci, než v bazénu mohlo dojít k většímu rozředění. Tuto hypotézu podporovaly i výsledky znázorněné na grafu č. 9, kde koncentrace dusičnanů byly rovněž více rozkolísané v regeneraci a pravidelně převyšovaly hodnoty v bazénu.

## **Dusík**

Průměrná koncentrace dusíku byla v Borovanech vždy nižší v regeneraci než v bazénu, ale v Sezimově Ústí byla vždy vyšší v regeneraci než v bazénu.

To znamená, že regenerační část v Borovanech se lépe vyrovnává se zatížením jednotlivých forem dusíku. Může to být výsledek lepší stabilizace biologických pochodů, protože regenerační zóna je starší. Oproti tomu v Sezimově Ústí byly v roce 2016 a na jaře 2017 změněny filtrační substráty v regeneraci, včetně osázení nové vegetace. Biologické pochody se zde tak teprve ustalují (Baxa, ústní sdělení). V Borovanech také měly koncentrace dusíku (kromě  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) vždy s průběhem sezóny sestupnou tendenci. Dusík se během sezóny postupně vázal do vegetace nacházející se v dočišťovacích lagunách a do biomasy fytoplanktonu. Tento poznatek si můžeme ověřit porovnáním grafu chlorofylu (graf č. 15) s grafy dusíku (č. 8, 9, 10), z čehož je jasně patrné, že se snižujícími se hodnotami dusíku se zvyšuje množství chlorofylu ve vodě. Toto tvrzení je ve shodě např. s Šimečkovou (2008) nebo Čížkovou (2017).

V Sezimově Ústí byly hodnoty daleko nižší než v Borovanech, pro představu průměr TN byl v bazénu v Borovanech 1,76 mg/l a v Sezimově Ústí 0,34 mg/l. V Sezimově Ústí byl dne 25. 7. proveden odběr zachycující výrazný výkyv koncentrací všech forem dusíku oproti ostatním odběrům. Tento výkyv byl pravděpodobně způsoben vyšším zatížením vody koupajícími se osobami a přívalovými srážkami. Většina dusíku v bazénu se navázala do fytoplanktonu (viz graf č. 27), ale hodnoty dusičnanů v regeneraci zůstaly zvýšené (viz graf č. 13). Můžeme si to pravděpodobně vysvětlit tak, že díky srážkám došlo k propláchnutí sedimentů a filtrů v regeneraci a ty do vody uvolnily usazené živiny. Přítomná vegetace v regeneraci poté nestihla vyšší koncentrace dusíku z vody odstranit.

### **Fosfor**

Dosažené výsledky napovídají, že klíčovou roli k udržení optimální kvality vody pro koupací účely hraje fosfor. Ukazuje se, že regenerační zóny nejsou schopné se vyrovnat se zatížením fosforu. Hodnoty fosforu v Borovanech byly takřka stejné v koupací části i v regeneraci po celou dobu sezóny. To znamená, že regenerační zóna v Borovanech nedokáže účinně snižovat znečištění vody fosforem. To představuje riziko nárůstu řas nebo dokonce sinic. Příznivá je však skutečnost, že podíl dostupného fosforu, ve formě  $PO_4\text{-P}$ , je nízký. To znamená, že fosfor je méně přístupný pro fytoplankton. Dostatečné množství zooplanktonu, hlavně dafnií, za těchto podmínek účinně omezuje rozvoj fytoplanktonu v koupací vodě a kvalita vody se během sezóny výrazně nezhoršuje.

Přírodní koupaliště v Sezimově Ústí vykazovalo nižší hodnoty celkového fosforu než koupaliště v Borovanech, průměrně 0,103 mg/l v bazénu a 0,089 mg/l v regeneraci. Během odběrů zde také došlo k nečekanému navýšení celkového fosforu v bazénu dne 25. 7., kdy byla hodnota zvýšená skoro na dvojnásobek dosavadních hodnot. Pravděpodobně byl tento nárůst způsoben ptactvem, např. divokými kachnami, které zde během nepřítomnosti lidí (díky špatnému počasí) našly zázemí a pravděpodobně zde strávily delší dobu.



## Vodní vegetace

Na koupališti se nachází spousta vhodných druhů rostlin pro efektivní snižování živin např. orobinec úzkolistý (*Typha angustifolia*) nebo máta vodní (*Mentha aquatica*). Také rákos obecný (*Phragmites australis*) se podle Šimečkové (2008) uvádí jako velmi vhodný druh pro přírodní koupaliště, prakticky se s ním ale na sledovaných koupalištích nesetkáme, to podporuje teorii Vymazala (1995), který tvrdí, že rákos je náchylný na sklízení zelené hmoty, což je v přírodních koupalištích jeden z hlavních způsobů, jak odstraňovat živiny z koupaliště. Na přírodních koupalištích se také nachází některé nepůvodní druhy. Tyto druhy by bylo vhodné vyměnit za místní druhy rostlin. V Sezimově Ústí byla z nepůvodních druhů nalezena kejklířka šklebivá - *Mimulus ringens* a v Borovanech stolístek vodní – *Myriophyllum aquaticum*. Na koupališti v Borovanech byla také nalezena vrba popelavá-*Salix cinerea*, která se zde pravděpodobně vyskytuje z náletu. Otázkou zůstává, do jaké míry jsou nepůvodní druhy, které mohou, často lépe, odstraňovat živinovou zátěž, nebezpečné v uzavřeném systému koupaliště.

## 6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo posoudit kvalitu koupací vody dvou nových přírodních koupališť, v Borovanech a Sezimově Ústí. Vyhodnotit sezónní změny v hydrochemických parametrech a v planktonu a na základě těchto dat porovnat obě lokality.

Kvalita vody v koupacích nádržích, bazénech, byla příznivě ovlivněna přítomností dostatečného množství zooplanktonu, ve kterém převládaly velké druhy perlooček rodu *Daphnia*. Jak na koupališti Borovany, tak v Sezimově Ústí velké perloočky omezovaly rozvoj fytoplanktonu, i rozsah bakteriálního znečištění. Oslabení, nebo vymizení dafnií se projevilo velmi rychle jako nárůst koncentrace chlorofylu.

Stabilitu perloočkového zooplanktonu podpořily provozní zásahy, tj. pravidelné přelovování zooplanktonu z regenerační zóny do koupacího bazénu. Tímto opatřením se dařilo v obou případech udržet zooplankton ve vodě po celou sezónu v dostatečném množství a odpovídající druhové i velikostní struktuře.

Předpoklad, že regenerační zóny budou na obou koupalištích aktivně snižovat znečištění v koupací části koupaliště, se splnil jen částečně. V Sezimově Ústí se snižovala většina sledovaných parametrů v regeneraci jen minimálně a hodnoty dusíku byly v regeneraci dokonce vyšší než v bazénu. Toto chování je pravděpodobně způsobené tím, že regenerace v Sezimově Ústí byla nově upravena a biologické pochody zde ještě nebyly ustálené. Přesto parametry sledované vyhláškou 238/2011 Sb., splňovaly limity dané normy s jednou výjimkou nárůstu počtů enterokoků.

Naproti tomu v Borovanech regenerační část koupaliště fungovala v roce 2016 relativně dobře. Úspěšně zde docházelo ke snížení dusíku, chlorofylu a dalších parametrů. Také bakteriální znečištění mělo po celou dobu měření nízké hodnoty, které ani jednou nepřekročily limity dané vyhláškou 238/2011 Sb. Fosfor byl jediný parametr, kde čištění v regenerační části nebylo efektivní.

I přes určitou vysledovanou rozdílnost v účinnosti eliminace živin lze princip přírodních koupališť s cirkulací vody mezi bazénem a regenerační částí považovat za perspektivní řešení pro rekreační koupání. Jedná se o využití přirozeného přírodního procesu, během kterého dochází k omezení živinové zátěže. Tu využívají přítomné řasy, které jsou eliminovány celoročním výskytem hrubého zooplanktonu.

## 7. Zdroje

ADÁMEK Z., HELEŠIČ J., MARŠÁLEK B., RULÍK M., Aplikovaná hydrobiologie, Vydala Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2010

BAXA M., BENEDOVÁ Z. A KOL., Závěrečná zpráva – 2016 Koupaliště LAZNA – Borovany, 2016

BAXA M., BENDO VÁ Z. A KOL., Odborná zpráva o výsledcích monitoringu v roce 2017 – přírodní koupaliště Pohoda v k.

ČÍŽKOVÁ H., VLASÁKOVÁ L., KVĚT J., Mokřady Ekologie, ochrana a udržitelné využívání, Vydala Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2017

EISELTOVÁ M., Obnova jezerních ekosystémů holistický přístup, Wetlands International, 1996

HARTMAN P., PŘIKRYL I., ŠTEDRONSKÝ E., Hydrologie, vydavatelství INFORMATORIUM, Praha 1998

HEJNÝ S. A KOL., Rostliny vod a pobřeží, 2000

HRBÁČEK J., Produkční vztahy, výchozí struktura pro posouzení faktorů eutrofizace údolních nádrží, ACADEMIA nakladatelství Československé akademie věd, Praha 1981

JANDA J., PECHAR L., Trvalé udržitelné využívání rybníků v Chráněné krajinné oblasti a biosférické rezervaci Třeboňsko, Vydavatel České koordinační středisko IUCN, 1996

KLIKOVÁ G., PAVELKOVÁ Z., VODA, Zahrada a vodní rostliny, Vydala Grada Publishing, spol. s.r.o., 1999

KRÁSA J. A KOL., Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy, Vydalo ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2013

MASSANA A., BLANCH A., Characterization of microbial populations associated with natural swimming pools, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2012

PECHAR A KOL., Komplexní systém kvality rybníčních nádrží – klíčový nástroj pro efektivní produkci ryb, *Technická zpráva pilotního projektu (OPR 2012)*

PECHAR L., Století eutrofizace rybníků – synergický efekt zvyšování zátěže živinami (fosforem a dusíkem) a nárůstu rybích obsádek, *Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta a ENKI, obecně prospěšná společnost pro výzkum a osvětu v oborech životního prostředí*, 2015

SCHEFFER M., *Ecology of Shallow Lakes*, CHAPMAN & HALL, 1998

SCHUBERT A., LELLÁK J., *Život ve sladkých vodách*, Praha státní pedagogické nakladatelství, 1973

SCHVARZER U., *Performance of Public Swimming Ponds*, International Organization for natural bathing waters IOB (Editor), 2013

STRAŠKRABOVÁ V. A KOL., *Mikrobiální ekologie vody*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 1996

ŠIMEČKOVÁ J., VEČEŘOVÁ I., *Stavba přírodních koupališť – šance pro budoucnost*, Vydal: Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno 2008

ŠIMEČKOVÁ J., VEČEŘOVÁ I., *Ekologická koupací jezírka*, Vydal svaz zakládání a údržby zeleně, Brno 2005

VYMAZAL J., *Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách*, Vydalo ENVI s.r.o., 1995

VYMAZAL J., *Kořenové čistírny odpadních vod*, ENKI s.r.o., 2004

VYMAZAL J., KRÖPFLOVÁ L., *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*, Springer, 2008

ČZÚ, *TECHNICKÉ ZPRÁVA PILOTNÍHO PROJEKTU – Komplexní systémy kontroly kvality rybníčních nádrží - klíčový nástroj pro efektivní produkci ryb*, 2012

Internetové zdroje:

Zdroj č. 1: <https://www.borovansko.cz/sport/koupaliste-a-vodni-plochy#Rozbory%20vody>

Zdroj č. 2: <http://www.koupalispohoda.cz/pohoda/index.php?vyber=pohoda>

Zákony a vyhlášky:

Vyhláška č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch

Vyhláška č. 135/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů

## 8. Přílohy

*Příloha 1 - Přírodní koupaliště Lazna Borovany*



Foto: Dana Vlková, 2017

*Příloha 2 - Horní laguna regenerační část v koupališti Lazna v Borovanech*



Foto: Dana Vlková, 2017

*Příloha 3 - Koupací část přírodního koupaliště Pohoda v Sezimově Ústí*



Foto: Dana Vlková, 2017

*Příloha 4 - Regenerační část koupaliště Pohoda v Sezimově Ústí*



Foto: Dana Vlková, 2017



*Příloha 5 - Přírodní koupaliště Pohoda v Sezimově Ústí*



<http://www.koupalispohoda.cz/pohoda/index.php?vyber=fotogalerie>

*Příloha 6 - Plavín štítnatý, Borovany 2016*



Foto: Dana Vlková

*Příloha 7 -Stolístek, Borovany 2016*



Foto: Dana Vlková

*Příloha 8- Šáchor hnědý, Sezimovo Ústí 2017*

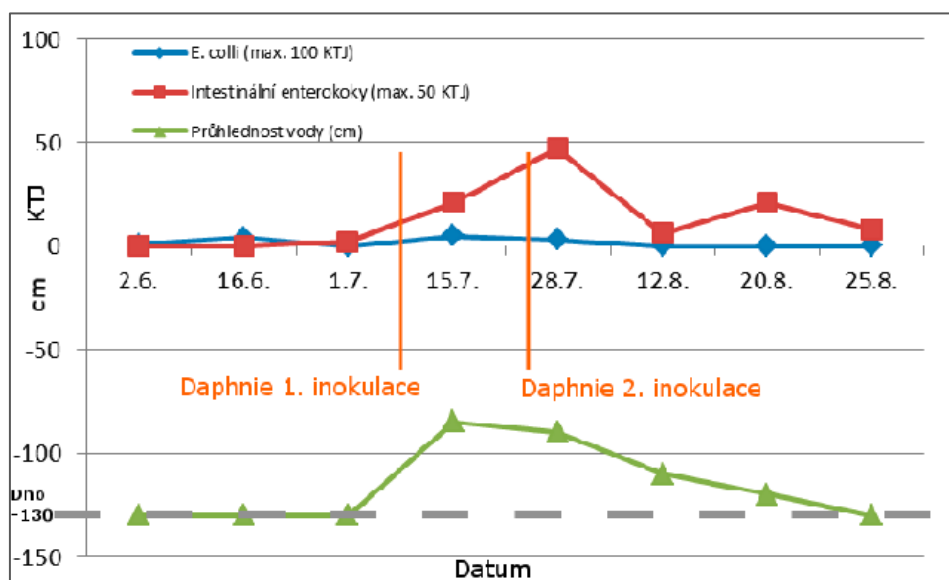


Foto: Dana Vlková

Příloha 9 – požadavky na jakost vody v přírodních koupalištích podle vyhlášky 238/2011 Sb.

ukazatel	Jednotka	Limitní hodnota	Četnost	Metody
Escherichia coli	KTJ/100ml	100	14denní	ČSN EN ISO 9308-3 nebo ČSN EN ISO 9308-1
Intestinální enterokoky	KTJ/100ml	50	14denní	ČSN EN ISO 7899-1 nebo ČSN EN ISO 7899-2
Pseudomonas aeruginosa	KTJ/100ml	10	14denní	ČSN EN ISO 16266
průhlednost	metr	1	14denní	ČSN EN ISO 7027 nebo TNV 57340

Příloha 10- graf s vývojem parametrů předepsaných vyhláškou v roce 2015

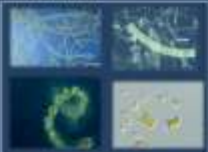


## LAZNA - PŘÍRODNÍ KOUPALIŠTĚ V BOROVANECH

### Koupání bez chemie!

#### CO ZDE ŽIJE?

**FYTOPLANKTON**



**ZOOPLANKTON**



#### JAK FUNGUJE PŘÍRODNÍ KOUPALIŠTĚ?

Přírodní koupaliště je vodní nádrž bez ryb. Takové nádrže mají obdobný sezónní vývoj: střídají se periody s nadbytkem zooplanktonu nebo fytoplanktonu a s různou průhledností vody. Pokud rozumíme potravním vztahům v nádrži, můžeme částečně předcházet některým nežádoucím jevům jako jsou: výskyt síní, nízká průhlednost vody nebo přítomnost fekálních bakterií. Udrživáním rovnováhy mezi jednotlivými živými složkami v nádrži můžeme dosáhnout uspokojivé kvality vody ke koupání. Místní podmínkou je zachycení a odstranění živinového zatížení pocházejícího z koupajících se osob. K tomu slouží tzv. REGENERAČNÍ ZÓNA.

#### ZOOPLANKTON

Zooplankton tvoří zpravidla tři základní skupiny: **vlnění, bocharanky a vlnatolky a perloolky.** Každá skupina má svůj význam. Pro udržení uspokojivé kvality vody ve stojatých vodách má však klíčovou úlohu skupina poslední – perloolky. Zejména rod *Daphnia* dokáže účinně filtrovat/konzumovat zelené řasy, ale i bakterie, které se ve vodě vyskytují přirozeně. V koupacích vodách se mohou objevit ve zvýšené míře i nebezpečné fekální bakterie. Nechceme-li používat „chemii“ musíme se snažit udržet ve vodě dostatečnou biomasu dafnií po většinu koupací sezóny. To není jednoduché, protože populace dafnií v průběhu roku výrazně kolísají. Často mizí.

#### LITORÁLNÍ VEGETACE

Tvoří ji například násožny, ostřice, rdesty atd. Místním územím této vegetace je zachycení co možná největšího množství živin. Rostliny zadržují živiny v kořenové zóně a využívají je ke svému růstu. V nadbytku živin tak dochází k extrémním nárůstům zelené hmoty, která se musí kosit a kompostovat. Problémem však je, že tyto rostliny odstraňují jen menší část živin. Pro čistší vody tak musí být využita kombinace řady biologických principů.



*Daphnia*



**1.** Živiny (N, P) obohacená, znečištěná voda je z koupací zóny čerpána do regenerační zóny.

**2.** Zde se odstraňují hrubé nečistoty a částečně se odbourávají živiny.

**3.** Takto přečištěná voda odchází zpět do koupací zóny.

**ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ**  
pot, moč, dešť, prach, pyl, přípravky na opalování

**Koupací zóna**

**Regenerační zóna**

**Zde se, v masivní míře, kontinuálně rozmnožují řasy a bakterie. Pokud jsou ve vodě dafnie, dokáží toto „znečištění“ utlumit.**

#### VODNÍ VEGETACE - MAKROFYTA



#### VYŠŠÍ ŽIVOČICHOVÉ



Přírodní koupaliště je v provozu od roku 2013. Jeho rozloha je 2500m<sup>2</sup>. Je rozdělena na koupací a regenerační zónu. Dočišťování vody zabezpečují:

1. **mechanicko-biologické filtry**
2. **dvě regenerační laguny.**

Zároveň jsou využívány samočistící procesy vody v celém systému koupaliště. V regenerační zóně jsou vybudovány příčné, šterkopiskové hrázky, ve kterých probíhá odbourávání živin pomocí žádoucích bakteriálních nárůstů.



Vývoj základních parametrů v průběhu sezóny v nádržích bez ryb.

Příloha 12 - Tabulka naměřených hodnot v Sezimově Ústí v roce 2017

Datum	Typ	Průhlednost	pH	Teplota	Vodivost	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> -4	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP	SO <sub>4</sub>	Cl-	Chla	KNK <sub>4,5</sub>
		cm		°C	μS/cm	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μg/l	mmol/l
12.6.	Bazén	170	7,44	24,6	336	9,23	117	0,010	0,003	0,05	0,84	0,011	0,11	48,8	23,53	2,2	1,68
	Regenerace		7,67	26,0	330	10,35	135	< 0,001	0,003	0,07	0,62	0,011	0,10	49,6	23,56	2,2	1,64
27.6.	Bazén	105	7,73	23,5	375	10,27	128	< 0,001		0,16	0,87	< 0,001	0,07	48,6	27,14	13,6	1,85
	Regenerace		7,34	22,7	375	8,04	98	< 0,001		0,24	0,82	< 0,001	0,09	49,2	27,26	7,9	1,85
10.7.	Bazén	170	7,75	25,2	401	9,36	121	0,010		0,03	1,20	< 0,001	0,09	49,4	31,86	14,1	2,02
	Regenerace		7,68	25,9	396	8,76	115	< 0,001		0,07	1,01	< 0,001	0,08	50,5	32,11	12,3	2,00
25.7.	Bazén	140	7,75	26,2	401	9,30	114	0,036		0,00	0,34	0,015	0,19	46,0	35,59	30,5	1,99
	Regenerace		7,630	26,4	402	9,20	114	0,051		0,39	0,71	0,011	0,08	48,7	35,56	25,0	1,99
8.8.	Bazén	170	7,83	24,7	407	10,19	129	0,038		0,16	0,68	0,011	0,08	46,5	38,29	10,5	2,05
	Regenerace		7,83	26,2	406	11,15	145	0,038		0,16	0,77	0,012	0,08	46,8	38,59	6,4	2,05
21.8.	Bazén	170	7,59	20,4	408	9,60	111	0,007		0,09	0,58	0,009	0,12	43,6	38,58	3,4	2,00
	Regenerace		7,69	20,5	405	9,55	111	0,008		0,11	0,78	0,011	0,14	43,4	38,72	x	1,97
5.9.	Bazén	175	7,75	17,6	407	10,28	113	0,016		0,03	0,41	0,013	0,07	45,2	40,21	1,6	2,02
	Regenerace		7,81	17,2	406	11,03	120	0,011		0,01	0,34	0,004	0,07	44,1	38,88	2,2	2,02

Příloha 13- Tabulka naměřených hodnot v Borovanech v roce 2017

Lokalita	Vodivost **	pH **	KNK <sub>4,5</sub> **	KNK <sub>8,3</sub> **	Chla **	Chla cor **	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TN síto	TN GF/C	PO <sub>4</sub> -P	TP síto	TP GF/C
	μS/cm				μg.L <sup>-1</sup> (avg)	μg.L <sup>-1</sup> (avg)	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
<b>bazén 27.6.2017</b>	257	8,48	1,95	0,20	28,1	26,2	0,005	0,05	1,11	1,04	0,017	0,08	0,07
<b>regenerace 27.6.2017</b>	297	7,10	2,03		10,3	8,3	0,003	0,67	1,39	1,26	0,001	0,07	0,04
<b>bazén 7.8.2017</b>	276	8,50	1,85	0,20	25,1	29,1	0,053	0,12	1,49	1,16	0,003	0,08	0,07
<b>regenerace 7.8.2017</b>	318	7,23	1,98		5,5	4,2	0,123	0,64	1,74	1,71	0,005	0,07	0,07
<b>bazén 5.9.2017</b>	292	8,28	1,89		4,6	4,0	0,037	0,09	0,93	0,91	0,003	0,07	0,07
<b>regenerace 5.9.2017</b>	300	7,56	1,90		1,8	0,2	0,017	0,15	0,77	0,71	0,003	0,07	0,07

Příloha 14 - Tabulka naměřených hodnot v Borovanech v roce 2016

datum	Typ	Průhlednost cm	Barva	pH	Teplota (hl.)	Teplota (dno)	Vodivost μS/cm	O2 (hl.)	O2 (dno)	O2 (hl.)	O2 (dno)	NH4-N	NO2-N	NO3-N	TN sito	TN gf/c	PO4-P	TP sito	TP gf/c	Cl-	Turbidita	fluorescence	Chla	KNK4,5
					°C	°C		mg/l	mg/l	%	%	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	μg/l
17.5.	Bazén	130	čirá	7,14	13,2	13,3	389	10,52	10,52	108	107	0,007	0,014	1,92	3,54	3,05	0,005	0,16	0,12	53,18	10,8	-17	1,8	1,92
	Regenerace			7,00	13,0		392	9,53		101		0,002	0,001	0,00	1,24	0,70	0,005	0,08	0,04	62,30	8,2	-3	9,1	1,97
24.5.	Bazén	130	čirá	7,91	16,9	16,8	368	9,34	9,35	103	104	0,043	0,020	1,97	3,07	3,06	0,006	0,12	0,12	48,46	4,9	9	1,1	2,12
	Regenerace		HZ	7,42	16,2		464	8,01		87		0,009	0,003	0,00	0,92	0,76	0,005	0,08	0,06	79,41	9,8	154	8,8	1,91
31.5.	Bazén	130		7,58	21,2	20,6	375	9,35	9,53	113	114	0,038	0,016	1,56	2,88	2,23	0,016	0,09	0,09	45,44	4,5	28	3,4	1,97
	Regenerace			7,54	19,7		352	8,05		94		0,017	0,010	1,50	2,23	2,08	0,011	0,09	0,08	47,36	4,5	88	6,4	1,86
7.6.	Bazén	130		8,41	22,6	22,5	366	10,44	10,55	128	129	0,022	0,019	1,32	1,98	1,93	0,012	0,08	0,08	50,64	-3,9	-60	5,6	2,04
	Regenerace			7,78	22,2		373	8,85		108		0,011	0,018	1,13	1,82	1,71	0,011	0,08	0,08	56,83	-1,9	-52	5,0	2,02
14.6.	Bazén	130		8,40	20,4	20,4	379	10,94	10,95	131	130	0,024	0,019	1,20	1,90	1,76	0,010	0,08	0,08	53,25	-4,1	60	6,7	1,98
	Regenerace			7,25	19,0		412	7,58		89		0,012	0,014	1,48	2,09	2,10	0,011	0,10	0,08	57,50	-3,6	58	6,0	2,11
21.6.	Bazén	130		8,46	21,0	20,5	396	10,46	11,16	124	131	0,025	0,021	1,70	1,90	1,84	0,010	0,09	0,08	56,52	5,8	67	6,9	2,04
	Regenerace			7,88	20,3		397	8,87		104		0,017	0,008	0,92	1,62	1,48	0,010	0,08	0,08	53,30	1,1	86	6,0	2,02
29.6.	Bazén	130	světle zelená	8,60	23,1	23,2	388	12,08	12,34	152	154	0,006	0,023	0,74	1,67	1,64	0,012	0,56	0,10	56,76	11,2	132	15,0	2,07
	Regenerace			7,84	22,3		395	5,96		73		0,014	0,007	0,59	1,62	1,57	0,007	0,12	0,10	56,84	9,5	94	11,5	1,98
7.7.	Bazén	130	světle zelená	4,91	23,0	23,2	395	11,67	11,68	144	145	0,009	0,017	0,54	1,67	1,54	0,011	0,13	0,10	50,71	14,3	501	24,4	1,97
	Regenerace			6,38	20,1		466	6,58		77		0,005	0,015	1,26	2,06	2,04	0,008	0,11	0,09	67,68	9,9	285	13,9	2,18
12.7.	Bazén	85	šedozeleá	8,81	25,6	25,4	396	10,70	10,87	131	142	0,016	0,016	0,39	1,90	1,74	0,011	0,11	0,10	62,78	316,3	11	29,1	1,93
	Regenerace			8,13	24,6		405	6,42		83		0,026	0,014	0,37	1,58	1,50	0,008	0,14	0,10	62,26	298,6	7	27,8	1,92
19.7.	Bazén	130	světle žlutá	8,61	21,9	21,7	392	11,29	11,38	137	137	0,017	0,015	0,58	1,65	1,59	0,008	0,14	0,11	62,20	12,5	113	10,9	1,83
	Regenerace			7,44	22,4		431	8,60		105		0,015	0,017	1,04	2,02	2,01	0,007	0,11	0,10	65,88	11,3	79	7,3	1,98
26.7.	Bazén	130	šedozeleá	8,63	25,6	25,5	399	10,86	11,09	141	144	0,014	0,015	0,41	1,72	1,57	0,011	0,11	0,10	62,82	5,8	171	19,0	1,86
	Regenerace			7,81	25,5		404	5,88		76		0,013	0,005	0,36	1,26	1,17	0,011	0,10	0,10	64,10	1,0	82	8,1	1,84
2.8.	Bazén	130	šedozeleá	8,78	19,7	19,6	399	11,35	10,17	144	131	0,009	0,011	0,25	1,31	1,12	0,011	0,12	0,10	69,07	1,4	176	21,8	1,86
	Regenerace			7,58	19,5		459	8,86		110		0,019	0,009	0,98	1,71	1,64	0,011	0,10	0,10	75,82	-2,3	60	8,2	2,10
9.8.	Bazén	95	žlutozeleá	8,81	21,8	21,9	400	11,47	11,80	139	144	0,040	0,009	0,21	1,51	1,27	0,012	0,11	0,10	80,63	14,3	204	21,2	1,90
	Regenerace			7,55	20,3		444	6,00		71		0,020	0,011	0,83	1,67	1,51	0,012	0,10	0,10	74,50	17,9	133	12,2	2,00
16.8.	Bazén	130	zelenošedá	8,72	22,0	22,0	404	11,62	11,65	142	142	0,001	0,007	0,18	1,11	1,01	0,015	0,10	0,10	69,56	4,6	102	15,3	1,85
	Regenerace			8,26	20,2		414	4,65		56		0,019	0,003	0,21	1,03	0,97	0,013	0,10	0,10	70,25	0,1	65	10,4	1,87
23.8.	Bazén	100	žlutozeleá	8,69	21,5	20,9	412	11,42	11,85	136	140	0,012	0,005	0,11	1,15	0,98	0,011	1,15	0,98	67,57	1,2	163	21,6	1,86
	Regenerace			7,80	19,7		435	5,49		62		0,023	0,003	0,26	1,11	1,01	0,010	1,11	1,01	68,95	-1,3	76	7,5	1,94
30.8.	Bazén	90	zelená	8,90	22,4	22,5	421	11,04	11,35	134	138	0,023	0,006	0,08	1,48	1,27	0,006	1,48	1,27	69,79	6,2	466	48,9	1,91
	Regenerace			7,62	20,7		447	5,08		60		0,028	0,009	0,47	1,59	1,36	0,007	1,59	1,36	70,31	1,0	209	20,5	2,01
6.9.	Bazén	90	zelená	8,71	19,8	19,8	416	11,50	11,57	133	133	0,014	0,001	0,00	1,06	0,79	0,010	1,06	0,79	71,77	4,3	411	41,6	1,89
	Regenerace			8,22	18,2		424	6,20		70		0,018	0,002	0,04	1,05	0,89	0,010	1,05	0,89	69,98	-0,8	281	28,7	1,93
16.9.	Bazén	90	zelená	8,97	22,0	22,0	420	11,62	11,65	142	142	0,019	0,001	0,00	1,03	0,76	0,008	1,03	0,76	72,21	4,9	319	24,1	1,85
	Regenerace			8,14	20,2		433	4,65		56		0,015	0,002	0,00	0,87	0,72	0,008	0,87	0,72	72,86	-1,5	227	21,6	1,87
27.9.	Bazén	90	zelená	8,93	16,7	16,3	423	10,98	11,33	120	122	0,018	0,001	0,00	0,81	0,66	0,027	0,15	0,12	68,30	4,3	212	17,5	1,84
	Regenerace			8,78	15,3		437	10,12		107		0,019	0,001	0,00	0,84	0,69	0,027	0,12	0,12	69,10	3,2	129	11,9	1,90

Příloha 15– Tabulka naměřených hodnot v koupací části, Borovany 2015

Datum	pH	Teplota	Vodivost	O2	O2	NH4-N	NO3-N	TN gf/c	TN síto	PO4-P	TP gf/c	TP síto	Turbidita	Fluorescence	Chla
		°C	μS/cm	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l			μg/l
16.3.2015	6,70	7,4	339	12,10	97	0,092	0,13	0,00	0,66	0,001	0,00	0,01	0,0		0,0
15.6.2015	8,40	22,4	275	9,10	12	0,025	0,09	1,71	1,82	0,009	0,08	0,09	-6,2	39	2,5
20.7.2015	9,14	26,8	319	9,70	130	0,015	0,69	1,67	1,99	0,014	0,08	0,10	1,8	368	20,0
17.8.2015	9,08	25,0	334	12,40	136	0,001	0,00	1,76	1,99	0,013	0,20	0,21	-2,5	519	44,0
14.9.2015	8,64	16,9	357	10,80	120	0,080	0,25	1,32	1,37	0,013	0,12	0,14	24,1	40	2,2