

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE**

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ
A ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**

BIOTOPOVÉ KOUPALIŠTĚ RADOTÍN

VLIV ČIŠTĚNÍ NA KVALITU VODY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE:

ING. JANA SOUKUPOVÁ, Ph.D.

AUTOR:

BC. JAKUB BURKET

2019



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce: Bc. Jakub Burket
Studijní program: Krajinné inženýrství
Obor: Voda v krajině

Vedoucí práce: Ing. Jana Soukupová, Ph.D.
Garantující pracoviště: Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování
Jazyk práce: Čeština

Název práce: **Biotopové koupaliště Radotín – vliv čištění na kvalitu vody**

Název anglicky: **Biotope swimming pool Radotín - the effect of water quality cleaning**

Cíle práce: V rešerši diplomové práce definovat základní vlastnosti vody a požadavky na kvalitu vody pro koupání. Popsat biologický systém čištění a navazující mechanické dočišťování, které je v biotopu Radotín prvně použité. Součástí rešerše bude také popis bioty v biologické nádrži a obecně provozu koupališť biotopového typu.

Vlastní výzkumná práce spočívá v odběru vzorků a vyhodnocování obsahu prvků ve vodě. Zpracování statistickými metodami zohlední počasí, návštěvnost a hlavně vliv biologického čištění a mechanického dočišťování.

Metodika:

A. Literární rešerše
Přírodní koupání a význam biotopových koupališť
Přírodní koupaliště Radotín
Voda a její vlastnosti
Živiny ve vodě
Biologické a mechanické čištění
Vodní rostliny

B. Odběr vzorků a laboratorní práce
Odběr vzorků
Laboratorní práce
Vyhodnocení vzorků

Doporučený rozsah práce: 60

Klíčová slova: koupaliště biotopového typu, voda, fosfor, čištění

Doporučené zdroje informací:

1. FRANCIS, Alison. Vaše vodní zahrada. Praha: Grada, 2001. Pěkná zahrada. ISBN 80-7169-194-1.
2. HIMMELHUBER, Peter. Zahradní rybníčky, potůčky a koupací jezírka: [stavba krok za krokem]. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3327-2.
3. HRÍBAL, Vladimír. Voda v zahradě a vodní rostliny. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1985.
4. HRÍBAL, Vladimír. Zahradní jezírka a vodní rostliny. Praha: Grada, 2003. Česká zahrada. ISBN 80-247-0590-7.
5. PITTER, Pavel. Hydrochemie. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 9788070809280.
6. SEDLÁK, J. *Koupací jezírka*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2554-3.
7. ŠIMEČKOVÁ, Jana, VEČEROVÁ, Irena. Stavba přírodních koupališť - šance pro budoucnost. Brno: Svaz zakládání a údržby zeleně, 2008. ISBN 978-80-254-4251-7.
8. VANĚK, Vlastimil, STODOLA, Jiří. Vodní a vlhkomilné rostliny. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1987.
9. WEIXLER, Richard. Garden und Schwimmteiche. Graz: Stockler, 2008.
10. WEIXLER, Richard, HAUERD, Wolfgang. Garten und Schwimmteiche. Graz: Stockler, 2000.

Předběžný termín obhajoby: 2018/19 LS - FŽP

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jany Soukupové, Ph.D.. Prohlašuji, že jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých má práce vychází. Prohlašuji také, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze, dne:

.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Janě Soukupové, Ph.D. za vedení mé práce. Dále pak Ing. Pavlu Radovi za inspiraci, pomoc a jeho práci na biotopu Radotín. Poděkování dále patří Ing. Vladimíře Belušové za pomoc a vedení v laboratoři, za konzultace prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc. a Ing. Janě Šimečkové za poskytnutou literaturu. Velké díky také patří Tomáši Jiroutovi z biotopu Radotín a Atelier Schlitz s.r.o. za poskytnuté podklady. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, partnerce a blízkým za podporu, kterou mi při studiu prokazují. Také díky nim mohla vzniknout má diplomová práce.

ABSTRAKT

Biotopové přírodní koupaliště Radotín, jako i ostatní biotopová koupaliště, jsou přírodní alternativou chemicky ošetřovaných koupališť a zároveň kontrolovanou alternativou koupaní v přírodní vodě. Biotopy jsou založeny na přírodních samočisticích procesech, ve kterých jsou zapojeny vodní rostliny, řasy a bakterie. Hlavním cílem této práce je podložení těchto čisticích procesů a mechanického dočišťování na kvalitu vody v biotopovém koupališti Radotín. K tomuto účelu posloužilo pravidelné pozorování a odebrání vzorků vody z daného koupaliště. Následnou analýzou byla zjištěna velká čistící schopnost přírodních procesů, a to i přes velké zatížení koupaliště návštěvníky a vysokými teplotami, které panovaly v roce 2018. Byla také definována některá pravidla pro pravidelnou údržbu koupaliště a způsobu mechanického dočišťování. Všechny tyto poznatky lze aplikovat při návrhu budoucích koupališť, nebo na jejich základě zvýšit efektivitu údržby v koupalištích již existujících pro dosažení co nejlepších výsledků vody z estetického i hygienického hlediska.

Klíčová slova: Biotopové koupaliště, přírodní koupaliště, přírodní čištění vody

ABSTRACT

Biotope natural swimming pool Radotín, as well as other biotope swimming pools, which are a natural alternative to chemically treated swimming pools and at the same time a controlled alternative to swimming in natural water. Biotopes are based on natural self-cleaning processes involving water plants, algae and bacteria. The main aim of this work is to support these cleaning processes and mechanical purification to the water quality in the Radotín biotope swimming pool. For this purpose, regular observation and sampling of water from the pool was used. Subsequent analysis revealed a great cleansing ability of natural processes, despite the large swimming pool load by visitors and the high temperatures that prevailed in 2018. Some rules for regular maintenance of the swimming pool and the method of mechanical cleaning have also been defined. All these findings can be applied in the design of future swimming pools, or on their basis to increase the efficiency of maintenance in already existing swimming pools to achieve the best water results from aesthetic and hygienic point of view.

Keywords: Biotope swimming pool, natural swimming pool, natural water purification

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle práce	2
3	Metodika	3
4	Biotopová koupaliště	4
4.1	Rozdělení biotopových koupališť	5
4.2	Důležité pojmy	5
4.3	Navštívená biotopová koupaliště	7
4.3.1	Kovalovice u Brna	7
4.3.2	Dobřany u Plzně	7
4.3.3	Blovice u Plzně	8
4.3.4	Borovany u Českých Budějovic	8
4.3.5	Jince na Příbramsku	9
4.3.6	Sezimovo Ústí	9
4.3.7	Biotop Lhotka	10
5	Biotopové koupaliště Radotín	11
5.1	Historie	11
5.2	Technické parametry přírodního koupaliště Radotín	12
5.2.1	Koupací jezero	13
5.2.2	Čistící jezero	13
6	Hygiena v biotopových koupalištích	15
6.1	Udržení kvality vody	15
6.2	Ukazatelé znečištění	16
6.3	Legislativa ČR	17
6.3.1	Legislativní požadavky	17
6.3.2	Stupně jakosti přírodních koupacích vod	18
7	Chemické a fyzikální vlastnosti vody	20
7.1	Chemické látky ve vodě	20
7.1.2	Kyslík	20
7.1.3	Oxid uhličitý	21
7.1.4	Vápník	21
7.1.5	Fosfor	22
7.1.6	Dusík	22

7.1.7	Síra	23
7.2	Fyzikální vlastnosti vody.....	24
7.3	Typizace stojatých vod	26
8	Biologické čištění vody	27
8.1	Organismy	27
8.1.1	Nekton.....	27
8.1.2	Plankton.....	27
8.1.3	Bentos	28
8.1.4	Pleuston a neuston	28
8.2	Koloběh živin	29
8.2.1	Destruenti	29
8.2.2	Producenti.....	30
8.2.3	Konzumenti	31
9	Mechanické dočišťování	32
9.1	Péče o rostliny.....	32
9.2	Odstraňování řas.....	32
9.3	Odkalování	33
9.4	Mechanické čištění.....	34
9.5	Podpora biologického čištění.....	34
9.6	Omezení vstupu nadbytečných živin	35
10	Mokřadní a vodní rostliny	36
10.1	Emerzní rostliny	38
10.2	Submerzní rostliny	42
10.2.1	Zakořeněné submerzní rostliny	42
10.2.2	Vznášející submerzní rostliny.....	43
10.3	Plovoucí rostliny.....	44
11	Řasy a sinice	45
11.1	Životní cyklus řas.....	45
11.2	Druhy řas.....	46
11.2.1	Červené řasy (ruduchy)	46
11.2.2	Rozsivky.....	46
11.2.3	Zelené řasy	47
11.2.4	Opatření proti řasám.....	48

11.2.5	Další druhy řas.....	49
12	Metodika laboratorní práce a vlastní výzkum	50
12.1	Způsob vzorkování	50
12.1.1	Četnost vzorkování.....	50
12.1.2	Místo a hloubka vzorkování	51
12.2	Zjišťované parametry vody	52
12.2.1	Formy dusíku.....	52
12.2.2	Formy uhlíku	54
12.2.3	Formy fosforu.....	54
12.2.4	Ostatní hodnoty	55
12.3	Způsob vyhodnocování	55
12.4	Terénní měření.....	56
12.5	Poskytnutá data	56
13	Výsledky a vyhodnocení.....	57
13.1	Metodika zpracování výsledků.....	57
13.2	Výsledky	58
13.3	Vyhodnocení	73
14	Diskuse	74
15	Závěr a přínos práce.....	78
16	Přehled literárních a použitých zdrojů.....	79
17	Přílohy	83
18	Fotografie.....	97

1 Úvod

Lidé vyhledávají přírodu a vnáší ji i do svých zahrad mimo jiné také vytvářením rybníčků a okrasných, někdy i koupacích jezírek. Ta jsou přírodní alternativou zahradních bazénů, které jsou finančně náročné na výstavbu i údržbu. Každý ale zahradu nemá, a tak musí vyhledat k rekreaci a ochlazení v letních tropických dnech veřejné koupaliště nebo vodu ve volné přírodě, která je však v současné době zatížena plošnou eutrofizací. Veřejná koupaliště a přírodní koupací vody kombinuje biotopové koupaliště, které je na rozdíl od technologie chemicky upravované (mrtvé) vody v bazénech, založeno na přírodním způsobu čištění. Biotopová koupaliště jsou inovativní a šetrná jak k životnímu prostředí, tak i k samotným návštěvníkům koupaliště. Oproti živé vodě v biotopech není chemicky upravená voda vhodná k celodennímu koupání, a to zvláště nejmladším návštěvníkům, citlivým jedincům a lidem s kožními a respiračními problémy. Další velkou výhodou biotopových koupališť jsou pořizovací a provozní náklady, což umožňuje jejich realizaci především menším obcím s omezeným rozpočtem, kde tato koupaliště nejčastěji vznikají. V těchto obcích se mění původní nefunkční koupaliště v koupaliště s přírodním systémem čištění vody. Vznikající obliba přírodního koupání přichází i do měst a v budoucnu můžeme v tomto směru očekávat bioboom. Naopak nevýhodou biotopových koupališť závislých na přírodních procesech, je oproti chemicky upravované vodě v krytých bazénech, jejich sezónní provoz. Biotopové koupaliště Radotín již od otevření navštěvují každou sezónu desítky tisíc návštěvníků, a to nejen ze samotného Radotína, ale i z dalekého okolí. Vysoká návštěvnost má však vliv na kvalitu vody v koupališti. Pro její trvale udržitelnou kvalitu v mezích estetické přijatelnosti a hygienických předpisů je třeba správné funkce biologických procesů a mechanického dočišťování. Účelem následující diplomové práce je ozřejmit tyto procesy, zjistit jejich efektivitu a podložit je laboratorně vyhodnocenými daty.

2 Cíle práce

V rešeršní části je cílem seznámit se se všemi dostupnými informacemi a zdroji týkajícími se problematiky biotopových koupališť založených na přírodním systému čištění vody. Vznikne tak ucelený přehled o biotopových koupalištích, jejich historii a požadavcích na kvalitu vody. Rešerše se bude dále zabývat popisem biologického čištění v závislosti na aktivitě organismů, rostlin a řas a s tím související fyzikálně-chemické procesy podmiňující tyto funkce. Obsahem bude také atlas, v kterém budou zmíněny rostliny vyskytující se v čistícím jezeře biotopu. Zvláštní pozornost bude věnována právě koupališti Radotín a všem informacím, které se podaří získat. Dále pak údržbě čistícího jezera a mechanickému dočišťování, které se zde využívá k udržení požadované kvality vody. Celou rešerši budou doplňovat fotografie pořízené autorem vzniklé během pozorování.

Laboratorní část zaujímá vlastní výzkumná práce, spočívající v systematickém odběru vzorků během roku 2018 s pravidelným časovým odstupem. Během odběrů vznikne fotodokumentace a poznámky z pozorování, popřípadě i doplňkové terénní měření. Odebrané vzorky budou podstoupeny analýze samotným autorem práce v laboratoři FŽP ČZU. Vzniklé výsledky budou porovnávány s meteorologickými daty, daty o množství vytěženého kalu, daty o návštěvnosti a daty naměřenými hygienickou stanicí. V závěru práce budou okomentovány zjištěné skutečnosti, které povedou k podložení účinnosti biologického a mechanického čištění v zájmovém koupališti.

3 Metodika

Literární rešerše poskytuje základní informace o biotopových koupalištích založených na přírodním systému čištění vody, zmíněna je také historie tohoto typu koupališť a některá biotopová koupaliště v ČR navštívená v roce 2016. Stěžejní částí je kapitola věnující se přímo biotopovému koupališti Radotín a mechanickému dočišťování, díky kterému je voda biotopu udržována v přijatelných mezích jakosti. Celé rešerše se nese ve smyslu poznání systému přírodního čištění vody, který je závislý na hydrobiologických a hydrochemických procesech. Důraz je kladen na funkci vodních organismů, řas a využití vodních a mokřadních rostlin. Rostlinám je věnována zvláštní kapitola, která je doplněná vlastními fotografiemi vzniklých především v biotopovém koupališti Radotín v roce 2018.

K vypracování laboratorní části a vyhodnocení účinnosti čištění vody v biotopovém koupališti Radotín byly použity vzorky vody odebrané během pravidelných návštěv tohoto koupaliště. Při každé návštěvě byly pořizovány vlastní fotografie, které jsou použity v celé práci. Také vznikaly poznámky z pozorování a doplňková terénní měření pro případné použití při vyhodnocování čistící schopnosti jezera. Sledována byla také intenzita růstu vegetace v čistícím jezeře a míra zakalení vody. Podrobná metodika způsobu odběrů vzorků, jejich četnosti a následné laboratorní analýzy se nachází přímo v laboratorní části této práce. Zde je také podrobně popsán každý metodický krok, díky kterému se bylo možné dopracovat k výsledkům a vyhodnocení účinnosti čištění vody.

4 Biotopová koupaliště

Blanch a Casanovas-Messana (2013) uvádí, že první veřejná koupaliště byla založena v 80. letech 20. století v Rakousku. Od té doby se díky vzrůstající oblibě rozšiřují a do roku 2010 jich bylo po celé střední Evropě více než 20 000. Weixler (2007) se zmiňuje o prvním koupališti tohoto typu v rakouském Grazu (Štýrském Hradci), postaveném v roce 1953 za původním účelem pěstování leknínů. V roce 1976 postavil Richard Weixler přírodní koupaliště v rakouském Braunau. Další koupaliště vzniklo v roce 1985 v německém Michelsdorfu (Baumhauer a Schmidt 2008). Od té doby rostla biotopová koupaliště jako houby po dešti a v roce 2007 vzniklo první koupaliště i v České republice v Kovalovicích u Brna. Do dnešních dní je jich v republice již na dvě desítky a s dalšími se počítá. Zatím chybí také normy a doporučení. Kumpfmüller (2013) uvádí, že společně s rozvojem přírodního koupání se dá v budoucnu očekávat vznik norem, zásad plánování, výstavby a údržby.

Z Rakouska a Německa také pochází veškerá dostupná literatura na toto téma. Především od Richarda Weixlera, který je v současné době předsedou svazu rakouských zahradních jezírek a také prezidentem mezinárodní organizace pro přírodní vody ke koupání (zdroj: gardora.at). Čeští autoři mají mnoho publikací na téma vodních zahrad a nově i koupacích jezírek.

Jako u mnoha odvětví, je i u přírodního koupání zřízena mezinárodní organizace pod názvem *International Organization for natural bathing waters (Mezinárodní organizace pro přírodní koupací vody)*, která byla založena v roce 2009 za účelem propagace a distribuce přírodních vod ke koupání s plně biologickým čištěním. IOB sdružuje asociace několika zemí, včetně České republiky. Mezi jednotlivými členskými asociacemi IOB jsou vyměňovány zkušenosti z oblasti plánování, výstavby a provozu zahradních jezírek a biotopových koupališť. IOB také pořádá pravidelné konference a semináře, které přináší nové poznatky (zdroj: iob-ev.com). Organizací IOB v ČR je *Asociace biobazénů a jezírek. ABAJ* vznikla v roce 2008 profesním sdružením se *Svazem zakládání a údržby zeleně* (zdroj: jezirka-biobazeny.cz, szuz.cz), kde byly vytvořeny první publikace na biotopová koupaliště v českém jazyce.

4.1 Rozdělení biotopových koupališť

Šimečková a kol. (2008) rozdělují biotopová koupaliště podle dispozice na jednokomorové, dvoukomorové, či vícekomorové. Liší se také tvary a hloubkami koupacích a čistících jezer. Obzvláště poměr vodní plochy k rekreaci a k čištění je velmi důležitý. Koupaliště jsou vybavena cirkulačními systémy, které pomocí čerpadel zajišťují nucený oběh vody mezi koupacími a čistícími jezery. Cirkulační systém je tvořen trubní sítí, která čerpá vodu vždy z níže položeného koupacího jezera do výše položeného čistícího jezera. Koupacího jezero opouští voda ve většině případů hladinovými sběrači (skimmery) a někdy i spodní výpustí. Skimmery jsou vybaveny koši pro zachycení velkých nečistot (např. listí). Před čerpadly je vždy umístěn filtr chránící samotné čerpadlo před poškozením. Trubní sítí je pak voda čerpána do jemných mechanických filtrů (většinou flísové filtry) odkud vtéká do čistícího jezera. V čistícím jezeře se nachází hrázky, ve kterých jsou zasazené vodní rostliny a voda tyto hrázky pomalu gravitačně obtéká. V čistícím jezeře dochází k přírodnímu čištění vody za působení rostlin, řas a vodních organismů. Dochází zde také k sedimentaci. K vybavení přírodního koupaliště také neodmyslitelně patří herní prvky pro děti, nebo umělé potůčky, které mají navíc dobrý vliv na okysličování vody.

4.2 Důležité pojmy

Problematika biotopových koupališť nemá dodnes ucelený, mezinárodně používaný slovník. Proto je třeba na začátku rešeršní části definovat několik základních slov a slovních spojení a vysvětlit jejich význam.

- Jezero = myšleno ve smyslu uměle vybudované nádrže pro účely biotopového koupaliště.
- Čistící jezero = jezero, ve kterém probíhají biologické čistící procesy. Synonymy jsou regenerační zóna, nebo také čistící laguna. Je zde zamezen přístup veřejnosti.
- Koupací jezero = jezero určené ke koupání návštěvníků. Má proměnlivou hloubku a bývá rozděleno na plaveckou a neplaveckou zónu. Neplavecká zóna je většinou doplněna brouzdalištěm a vodními atrakcemi. V koupacím jezeře dochází také k čištění a sedimentaci, ale v menší míře než v čistícím jezeře.

- Filtrační zóna = mělká zóna po okrajích koupacího jezera určená k osazení vodními rostlinami.
- Biotopové koupaliště = veřejné koupaliště založené na přírodním způsobu čištění vody. K hygienizaci není užito žádných chemických prostředků. Koupaliště mohou být jednokomorová, dvoukomorová či vícekomorová.
- Jednokomorové koupaliště = koupaliště tvoří koupací jezero. Biologické čištění probíhá ve filtrační zóně.
- Dvoukomorové koupaliště = je biotopové koupaliště skládající se z koupacího a čistícího jezera.
- Vícekomorové koupaliště = skládá se z koupacího jezera a více čistících jezer většinou menších rozměrů.
- Biologické čištění vody = veškeré přírodní hydrobiologické a hydrochemické procesy, které se podílí na koloběhu a odbourávání živin, a tím na čištění vody.
- Mechanické dočišťování vody = způsob čištění a údržby biotopového koupaliště vykonávaný provozovatelem.
- Skimmery = hladinové sběrače umístěné po obvodu koupacího jezera zbavující vodní hladinu plovoucích nečistot.
- Flísové filtr = technologie jemného mechanického čištění před vstupem do čistícího jezera. Filtr je založen na průtoku vody přes jemný flís. Při snížení průtočnosti filtr flís převine.
- Cirkulační okruh = systém zajišťující cirkulaci vody mezi koupacím a čistícím jezerem. Skládá se ze vstupů (skimmerů, výpustí), trubního vedení, čerpadel a filtrů.
- Vnitřní cirkulační systém = systém pracující v čistícím jezeře. Účelem je nucený pohyb vody, aby se zabránilo stání vody. Dále napomáhá k okysličení vody.

4.3 Navštívená biotopová koupaliště

V rešerši jsou uvedena některá biotopová koupaliště, která jsem osobně navštívil a jsou doplněna pořízenými fotografiemi. V rámci získávání zkušeností bylo v roce 2016 navštíveno několik biotopových koupališť, kde vzniklo na několik set fotografií a několik rozhovorů s provozovateli. Pokud není uveden zdroj, fotografie jsou autorské.

4.3.1 Kovalovice u Brna

Nejstarším biotopovým koupalištěm v ČR jsou Kovalovice u Brna otevřené v červnu 2007. Koupací jezero má 1000 m² a je doplněno o čtyři čistící jezera o celkové ploše 500 m². Jedná se tedy o biotopové vícekomorové koupaliště.



Obr.: 1, 2 a 3: Biotop Kovalovice, zdroj: Kovalovice.cz

4.3.2 Dobřany u Plzně

Vícekomorové koupaliště Kotynka bylo otevřeno v roce 2011 a skládá se z koupacího jezera (2450 m²) a tří velmi mělkých čistících jezer (celkem 1055 m²), čímž se snižuje účinnost čistících procesů. Při osobní návštěvě v polovině září 2016 bylo na první pohled znát na chřadnoucí, nebo dokonce žádné vegetaci, nedostatečná funkčnost systému. Zdrojem vody pro Kotynku je veřejný vodovod. (zdroj: dobrany.cz)



Obr. 4, 5 a 6: Koupaliště Kotynka u Plzně, 14.9. 2016

4.3.3 Blovice u Plzně

Vícekomorový přírodní koupací biotop Blovice u Plzně byl otevřen v roce 2014. Zvláštností jsou jeho čtyři podlouhlá kaskádovitě uspořádaná čistící jezera umístěná ve svahu (obr. 7). Další zvláštností je použití tzv. vortexové komory, ve které dochází k usazení mechanických nečistot. Další kuriozitou je tobogán spojující větší koupací jezero s menším (obr. 9). Zdrojem vody je vlastní studna. (zdroj: poskytnutý provozní řád).



Obr. 7, 8 a 9: Biotop Blovice u Plzně, 14.9. 2016

4.3.4 Borovany u Českých Budějovic

Biotopové koupaliště LAZNA Borovany u Českých Budějovic bylo otevřeno v roce 2012. Skládá se z koupacího jezera a dvou čistících jezer. Fólie je u hrázek vytažena skoro až k úrovni hladiny a netvoří je kačírek, ve kterém je vysázena vegetace. Nedávají tedy příliš šanci vodním rostlinám. Při návštěvě v září 2016 byly laguny vylepšeny o příčné hrázky zpomalující průtok. Nové hrázky byly vytvořeny z kari sítí a vyplněny kačírkem. Ke zlepšení filtračních vlastností je každý meandr vysypán porézním materiálem (obr. 12).



Obr. 10, 11, 12: Biotopové koupaliště v Borovanech u Českých Budějovic, 15.9. 2016

4.3.5 Jince na Příbramsku

Jednokomorové biotopové koupaliště v Jincích na Příbramsku bylo otevřeno v roce 2013. Jako jediné z navštívených biotopů se neskládá z koupacího a čistícího jezera. Je tvořeno pouze koupacím jezerem s filtrační zónou (obr. 15). Dá se říci, že se jedná o větší koupací jezírko. Vzhledem k proměnlivé hloubce filtrační zóny je zde velká rozmanitost vodních a mokřadních rostlin. Je zde také využíváno vodotrysků a čerpadel k okysličování vody.



Obr.13, 14 a 15: Koupaliště v Jincích na Příbramsku, 14.6. 2016

4.3.6 Sezimovo Ústí

Biotopové koupaliště Pohoda v Sezimově Ústí bylo otevřeno v roce 2014. Koupaliště se skládá z koupacího (1515 m²) a čistícího jezera (858 m²). Čistící jezero s hloubkou 0,85 m je provzdušňováno a vybaveno hrázkami z minerální vaty, které provozovatel postupně nahrazuje hrázkami s kačírkovou výplní. V některých meandrech byl také vysypán kačírek, jako u koupaliště v Dobřanech u Plzně. Zdrojem vody je vlastní studna (zdroj: koupalispohoda.cz).



Obr. 16, 17 a 18: Koupaliště Pohoda v Sezimově Ústí, 15.9. 2016

4.3.7 Biotop Lhotka

V roce 2018 se poprvé otevřelo návštěvníkům druhé biotopové koupaliště na území města Prahy. Koupací biotop vznikl na Praze 4 v místě dřívějšího přírodního koupaliště (obr.19). Nynější biotop tvoří koupací jezero (5570 m²) a dvě čistící jezera (obr. 20).



Obr.19: letecký snímek přírodního koupaliště Lhotka, 2003, ČÚZK, upravil autor



Obr.20: letecký snímek biotopového koupaliště Lhotka, 2003, ČÚZK, upravil autor

5 Biotopové koupaliště Radotín

5.1 Historie

Areál biotopu se nachází v městské části Prahy 16 - Radotín. Biotopové koupaliště bylo postaveno na místě dřívější čističky odpadních vod, která byla po ukončení provozu vystřídána skládkou. Do povodně roku 2002 se v areálu nacházelo zázemí technických služeb Radotín. V roce 2008 se prosadila do rozpočtu hl. m. Prahy likvidace areálu a jeho následná sanace. V té době byl zahradní architekt Jan Schlitz osloven ohledně vytvoření parkových úprav tohoto místa. Ten však přišel s nápadem vybudování biotopového koupaliště, kterými se inspiroval v zahraničí a byla jím vytvořena první studie (viz. příloha č. 1).

V létě 2009 byl definitivně zlikvidován areál ČOV a odvezen skládkový materiál. Stavba koupaliště probíhala v letech 2013 a 2014 městskou částí Praha 16 společně s Hlavním městem Praha, jako investorem. Vzniklo tak ojedinělé koupaliště, které nemělo v Praze a jejím blízkém okolí obdoby. Koupaliště bylo otevřeno v létě 2014.



Obr. 21: Letecký snímek lokality 2003, ČÚZK, upravil autor



Obr. 22: Prolnutí leteckých snímků 2003 a 2018, ČÚZK, upravil autor



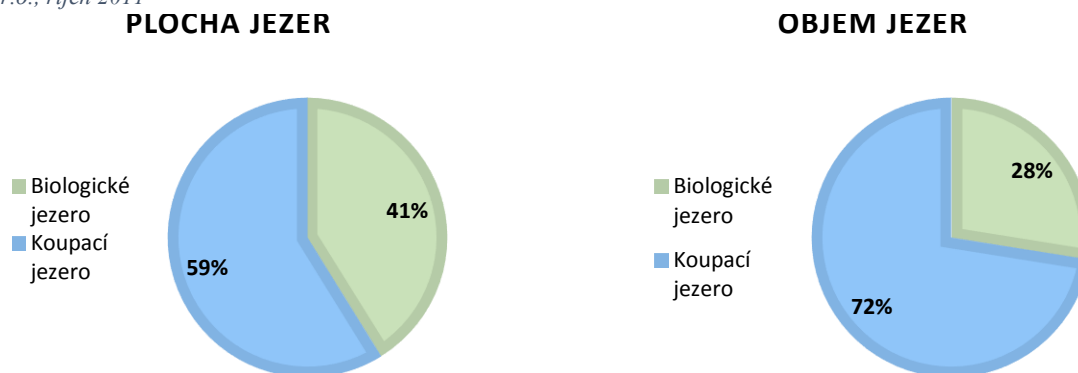
Obr.23: Letecký snímek 2018, ČÚZK, upravil autor

5.2 Technické parametry přírodního koupaliště Radotín

Biotopové koupaliště Radotín je dvoukomorové. Skládá se z koupacího a čistícího jezera. Celkový objem vody v areálu, o celkové vodní ploše 5 373 m², činí 5 850 m³. Jednotlivé parametry a poměry vodních ploch jsou zobrazeny v tabulce 1 a obr. 24.

	Plocha [m ²]	Objem [m ³]	Max. hloubka [m]	Výšková úroveň hladiny [m.n.m.]	Výšková úroveň dna [m.n.m.]
Koupací jezero	3 161	4 650	3,25	196,20	192,95
Biologické jezero	2 212	1 200	0,85	196,55	196,25

Tabulka 1: Parametry jezer v přírodním biotopu Radotín, zdroj: technická zpráva pro stavební povolení, PLÁN PLUS s.r.o., říjen 2011



Obr. 24: Poměr ploch a objemů jezer v biotopu Radotín

Zdrojem vody jsou dvě studny nacházející se v areálu biotopového koupaliště. Značný vliv na kvalitu vody má nedaleká řeka Berounka a základové poměry. Koupací a čistící jezero je propojeno cirkulačním systémem. Podle projektové dokumentace jej tvoří dva, na sobě nezávislé okruhy, které jsou zajištěny oběhovými čerpadly. Jedno z čerpadel odvádí vodu z filtrační zóny



Obr 25: Jeden ze čtyř skimmerů odvádějících nečistoty z hladiny, biotop Radotín

(umístěná pod obvodovou dlažbou), která je tvořená minerálním substrátem a druhé čerpadlo odvádí vodu ze skimmerů (obr. 25). Čerpadla s výkonem 40 000 l/hod jsou umístěna v technologické šachtě, ve které se nachází také filtrace chránící čerpadla proti vniknutí nečistot. Odtud je voda tlačena na nejvyšší místo cirkulačního systému. Tímto místem jsou dva gravitační mechanicko-biologické filtry umístěné na začátku čistícího jezera. Voda jimi protéká přes flísové filtry, na kterých dochází k zachycení jemných mechanických nečistot (v dnešní době nepoužívané), poté vtéká do čistícího jezera. Voda následně gravitačně pokračuje čistícím jezerem, obtéká hrázky vyplněné kačirkem

Tyto problémy se nakonec vyřešily úplným odstraněním minerální vaty. Místo ní byly umístěny betonové tvárnice a na ně se připevnily drátěné koše s kačirkem frakce 16-32 mm. Dle ústního sdělení Pavla Rady není toto řešení příliš ideální. Dochází k akumulaci kalu uvnitř tvárnic, který nelze nijak odstranit.

6 Hygiena v biotopových koupalištích

Slovo hygiena pochází z řečtiny a dá se přeložit jako nauka o zdraví. Cílem hygienických požadavků na koupací vody je minimalizovat riziko infekce a zajistit trvalou hygienickou a estetickou kvalitu koupacích vod. Důraz je kladen na zdraví návštěvníků, kteří by se mohli při vodní rekreaci infikovat. Baumhauer a Schmidt (2008) uvádí, že zhruba 80% všech infekcí je banálních. Provází je respirační nebo kožní problémy, záněty uší, očí, horečky, či průjmy. Tyto infekce způsobují patogeny pocházející ze znečištění způsobené exkrementy zvířat a lidí. Ke znečištění biotopových koupališť nejvíce přispívá svými výkaly vodní ptactvo. Vystavení infekci nemusí nutně vést k onemocnění. Záleží na mnoha faktorech, jako např. množství polknuté kontaminované vody, koncentrace infekce ve vodě, stáří a imunitní systém jedince. Dospělý plavec polkne za jednu koupel cca 50 ml, neplavec cca 10-30 ml (Baumhauera a Schmidta 2008). Nejvíce vody však polknou děti při vodních hrátkách, a tak je u nich pravděpodobnost nakažení patogenními choroboplodnými zárodky daleko vyšší než u dospělých. Snížit výskyt patogenů v biotopovém koupališti je možné velkým objemem vody a dostatečnou hloubkou. V objemných a hlubokých vodách je patogenů méně než ve vodách mělkých. Problémovým místem je tedy dětské brouzdaliště, které je mělké. Toto místo je vždy umístěno mezi čistícím jezerem a plaveckou zónou. Je zde tedy zajištěna dostatečná výměna vody.

Zdravotní rizika u koupališť s přírodním čištěním jsou vyšší než u konvenčních bazénů (Blanch a Casanovas-Messana 2013), ale nelze také opomenout vedlejší účinky přidané chemie v chemicky upravovaných bazénech. Cartel a Joll (2017), nebo Yang (2017) uvádí nejen vliv desinfekčních chemikálií rozpuštěných ve vodě, ale především jejich negativní vliv v ovzduší přímo nad vodní hladinou a prostorách bazénu. Obzvlášť při sportu, kdy je zvýšená dechová frekvence.

6.1 Udržení kvality vody

V chemických bazénech je užito k ničení patogenních bakterií dezinfekčních prostředků. Lze toho dosáhnout především přidáním chloru, který nejlépe účinkuje při pH mezi 7,2 a 7,6, kdy nepřináší nepříjemné vedlejší účinky v podobě dehydratace, poškození

ochranné vrstvy kůže a podráždění očí a sliznic. Dalšími desinfekčními prostředky může být ozón nebo UV sterilizace.

V biotopových koupalištích se musí brát ohled na zachování biologických procesů důležitých pro přírodní čištění. Proto nejsou vhodné destruktivní způsoby desinfekce chemií, jako u klasických bazénů. Tím se zároveň snižuje riziko podráždění kůže, sliznic a dýchacích cest. Jako nejlepší desinfekce v přírodních koupalištích se dá považovat výborná funkčnost biologického čištění, dostatečná prevence v podobě dodržování maximálních počtů návštěvníků, osprchování se před vstupem do vody a dodržování hygienických návyků (nemočit do vody). Důležité je zamezení pobytu kachen.

6.2 Ukazatelé znečištění

Ke kontrole jakosti vody se používá systém indikátorů. Indikátory znečištění jsou bakterie normálně žijící ve střevní mikroflóře teplokrevných živočichů (včetně člověka). Zjištění těchto indikátorových bakterií je vzhledem k jiným patogenům snadné a finančně nenáročné. V místech s vyšším výskytem těchto indikátorových bakterií je také zvýšené zdravotní riziko způsobené ostatními patogeny (Šimečková 2008). Indikátory jsou uváděny v jednotkách KTJ/ml (KTJ = kolonii tvořící jednotka), zjednodušeně počet bakterií v daném objemu.

- **Escherichia coli** představují hlavní indikátor fekálního znečištění. Jsou součástí střevní mikroflóry teplokrevných živočichů (včetně člověka), kde je prospěšná. Mimo zažívací trakt může způsobovat závažné hnisavé a zánětlivé procesy (infekce ran, močových cest). *Escherichia coli* se sleduje 1x za měsíc ve zdrojové vodě, kde nesmí přesáhnout 15 KTJ/100 ml a jednou za 14 dní ve vodě určené ke koupání, kde nesmí přesáhnout 100 KTJ/ 100 ml.
- **Intestinální enterokoky** jsou považovány za závažný indikátor hygienických závad. Jsou odolnější skupinou fekálních bakterií, nemnoží se ve vodě, přežívají krátce a indikují tak čerstvé fekální znečištění (Amrožová 2003).
- **Chlorofyl-a** je zelený fotosyntetizující pigment, který je obsažen v rostlinách, sinicích a některých řasách.

- **Sinice** vytváří nebezpečné toxiny a napomáhají eutrofizaci. Tyto toxiny upravují ve svém okolí fyzikální a chemické vlastnosti vody (Ambrožová 2014). Mohou negativně působit na živočichy a zdraví člověka (zánět, alergie) (Šimečková 2008).

6.3 Legislativa ČR

V roce 2011 vydalo ministerstvo zdravotnictví ČR vyhlášku, specifikující požadavky na koupaliště se systémem přírodního čištění vody. Vyhláška č. 238/2011 Sb., definuje:

6.3.1 Legislativní požadavky

Požadavky na vybavení, udržení pořádku a provoz

Jedná se o požadavky týkající se areálu, jako například odvodnění a odkanalizování areálu, sečení trávníku, umístění odpadkových košů, úklid a odpadové hospodářství. Dále pak požadavky na sociální zařízení (toalety, sprchy, šatny, převlékací kabinky).

Pravidla pro monitorování jakosti vody

Jakost vody ke koupání musí být kontrolována dle vyhlášky 238/2011 Sb., v rozsahu a četnosti uvedeném v tabulce č. 2. V této části se dále definují zásady pro místo a čas odběru, jejich dopravu a uskladnění, následný způsob vyhodnocení a předání protokolu s výsledky v elektronické podobě příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví.

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
Průhlednost	metr	1	14denní	ČSN EN ISO 7027 nebo TNV 57340

Tab. 2: Limitní hodnoty a četnost odběrů při monitorování jakosti vody, vyhláška 238/2011 Sb.

Při překročení některé z limitních hodnot mikrobiologických ukazatelů je nutný opakovaný odběr. Naopak, pokud jsou zjištěné hodnoty vždy nižší, je možné snížit četnost odběru na polovinu.

Důležitým faktorem pro zhodnocení kvality vody je její průhlednost. V zóně pro neplavce musí být průhlednost až na dno. Pokud je průhlednost nižší než 1 metr, postupuje se u nádrží s přírodním systémem čištění jako u přírodních koupacích vod. Tabulka č. 3 znázorňuje rozdělení dle množství zjištěných sinic a chlorofylu-a do tří stupňů: I. stupeň je zhoršená jakost, II. stupeň je voda nevhodná ke koupání, III. stupeň je voda nebezpečná ke koupání, která může vážně ohrozit zdraví koupajících a je vydán zákaz koupání.

Ukazatel	Jednotka	I. Stupeň	II. Stupeň	III. Stupeň
Sinice	buňky/ml	20000	100000	250000
Chlorofil-a	µg/l	10	50	100

Tab. 3: Stupně eutrofizace vzhledem k nadměrnému výskytu sinic a chlorofylu-a, vyhláška 238/2011 Sb.

Požadavky na jakost zdrojové vody

Jakost vody ve zdroji nesmí překročit limitní hodnoty uvedené v tabulce č. 4.

Ukazatel	Jednotka	Limitní hodnota	Četnost	Metody
Escherichia coli	KTJ/100ml	30	1 x měsíčně	ČSN EN ISO 9308-3 nebo ČSN EN ISO 9308-1
Intestinální enterokoky	KTJ/100ml	15	1 x měsíčně	ČSN EN ISO 7899-1 nebo ČSN EN ISO 7899-2

Tab. 4: Stupně eutrofizace vzhledem k nadměrnému výskytu sinic a chlorofylu-a, vyhláška 238/2011 Sb.

6.3.2 Stupně jakosti přírodních koupacích vod

Dle laboratorních výsledků se koupací vody rozdělují do pěti stupňů jakosti vody.

- **Voda vhodná ke koupání** je nezávadnou vodou s nízkou pravděpodobností vzniku zdravotních problémů při vodní rekreaci a má také vyhovující smyslově vnímané vlastnosti. Průhlednost je větší než 1 metr a při posledním odběru nebyly zhoršeny smyslové vlastnosti. Sinice nedosahovaly při posledním odběru I. stupně.
- **Voda vhodná ke koupání s mírně zhoršenými vlastnostmi** je závadná voda s nízkou pravděpodobností vzniku zdravotních problémů při vodní rekreaci a má zhoršené smyslově vnímané vlastnosti. Po koupeli je vhodné se osprchovat. Průhlednost je menší než 1 metr. Snížená průhlednost se nehodnotí, pokud je způsobena pro lokalitu typickým přirozeným zákalem, který ale nemá původ v přítomných organismech.

- **Zhoršená jakost vody** může způsobit mírně zvýšenou pravděpodobnost vzniku zdravotních problémů při vodní rekreaci, u některých vnímavých jedinců by se již mohly vyskytnout zdravotní obtíže, po koupání je vhodné se osprchovat. Nálezy sinic a chlorofylu-a překročily v posledním odběru limity I. stupně.
- **Voda nevhodná ke koupání** je voda neodpovídajícím hygienickým požadavkům. Pro koupající představuje zdravotní riziko a nedoporučuje se provozování rekreace zejména pro děti, těhotné ženy, alergiky a osoby se sníženým imunitním systémem. Nález sinic a chlorofylu-a překročil při posledním odběru limit II. stupně.
- **Voda nebezpečná ke koupání** je voda neodpovídající hygienickým požadavkům a hrozí akutní poškození zdraví. Vyhláší se zákaz koupání. Při posledním odběru došlo k překročení limitních hodnot III. stupně pro ukazatele vodní květ nebo sinice a chlorofyl-a.

7 Chemické a fyzikální vlastnosti vody

Přírodní čištění vody a procesy v ní, ovlivňuje a limituje mnoho chemických a fyzikálních vlastností vody. Největší vliv na procesy ve vodním prostředí má teplota a sluneční aktivita (Doležal 2006). Ve vodě se nachází mnoho organických látek, které jsou přírodního nebo antropogenního původu. Přírodním znečištěním mohou být různé výluhy sedimentů, nebo produkty vznikajících při činnosti rostlin, živočichů a bakterií.

Sedlák (2008) uvádí optimální hodnoty vody pro koupací jezírka, které můžeme vztáhnout i na větší koupací přírodní biotopy:

- pH 6–7
- obsah fosforu 0,01 mg/l
- vodivost menší než 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ při 20 °C
- obsah dusičnanů pod 50 mg/l
- obsah amoniaku pod 0,2 mg/l
- obsah manganu pod 0,05 mg/l
- obsah železa pod 0,2 mg/l
- tvrdost menší než 1 mmol/l

7.1 Chemické látky ve vodě

Obsah chemických látek ve vodě má vliv na produkci biomasy. Organismy potřebují k metabolickým pochodům, vývoji, rozmnožování a své existenci živiny. Voda je schopna rozpouštět minerální i chemické látky, které jsou přijímány vyššími i nižšími rostlinami a organismy. V závislosti na chemicko-fyzikálně-biologických procesech se obsah látek ve vodě mění.

7.1.2 Kyslík

Kyslík (O_2) je nejdůležitějším plynem ve vodě. Je hlavním biogenním prvkem, který pohání všechny biologicko-chemické procesy, díky kterým mohou probíhat čistící procesy. Nejvíce kyslíku se do vody dostává z atmosféry a fotosyntézou rostlin, především těch ponořených (růžkatec, stolítek, vodní mor). Největší vliv na obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě má teplota. Při kolísání teploty kolísá také jeho množství. Čím je voda teplejší, tím je schopnost vody rozpouštět kyslík menší. Podle Doležala (2006) nastává stoprocentní nasycení vody kyslíkem při 0 °C, kdy je voda schopna pojmout

až 14,65 mg/l. Při teplotě vody 25 °C je to ale už jen 8,18 mg/l. Hodnoty kyslíku během dne kolísají. To je způsobeno proměnlivou sluneční aktivitou během dne, činností organismů, rostlin a hnilobných procesů. Maximum kyslíku ve vodě nastává po poledni a k večeru, díky intenzivní činnosti rostlin a řas. Naopak minimum kyslíku se ve vodě nachází v ranních hodinách. Obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě lze měřit oxymetry (Ambrožová 2003).

7.1.3 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý (CO₂) je ve vodě dobře rozpustný plyn. Dostává se do vody z atmosféry a díky činnosti bakterií při rozkladu organické hmoty. Oxid uhličitý je důležitým zdrojem uhlíku, který je nejdůležitější biogenní prvek pro fototrofní (fotosyntetizují) organismy (rostliny, řasy a fototrofní bakterie) (Ambrožová 2003). Kolísání hodnot CO₂ způsobené činností rostlin v průběhu dne má přímý vliv na hodnoty pH. Nedostatek zapříčiní zvýšení pH, dostatek naopak snížení. Stěžejním faktorem je uhličitanová rovnováha mezi ionty HCO₃⁻, volným CO₂ a kationty Ca²⁺. Nedostatek volného CO₂ způsobí rozkolísání pH, přebytek naopak způsobí vysrážení nerozpustného uhličitanu vápenatého v podobě povlaku na povrchu vegetace a někdy i blokaci fosforu (Doležal 2006). Ambrožová (2003) uvádí, že množství a průběh CO₂ má inverzní charakter vůči kyslíku.

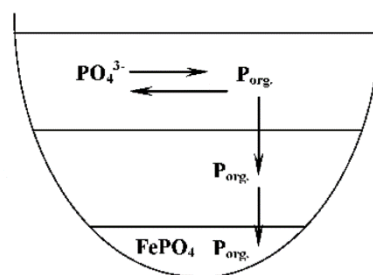
7.1.4 Vápník

Společně s uhlíkem tvoří vápník základní kámen živých organismů. Také má hlavní podíl na tlumení výkyvů pH (Doležal 2006). Ambrožová (2003) zmiňuje indikaci hodnot vápníku díky vyskytujícím se druhům. Vysokou koncentraci vápníku vyhledávají například rozsivky (*Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Diatoma*, *Asterionella*), zelené řasy (*Chaetophora*, *Cosmarium*, *Vaucheria*, *Chara*, *Haematococcus*, *Staurastrum*, *Closterium*), rákos (*Phragmites*), rdest (*Potamogeton*), vodní mor (*Elodea*), nebo korýš blešivec (*Gammarus*). Naopak se jí vyhýbají rozsivky (*Pinnularia*, *Eunotia*), šídlatka (*Isoetes*), stolítek (*Myriophyllum*), nebo perlorodka (*Margaritina*). Vápník se dostává do vody buď společně s podzemní vodou, nebo z nějakého antropogenního zdroje. Vápník se ve vodě vyskytuje především jako iont Ca²⁺ (Pitter 2015).

7.1.5 Fosfor

Patří mezi důležité biogenní prvky. Vyskytuje se v minimálních koncentracích a limituje procesy produkce biomasy producentů ve vodách. Zdrojem fosforu jsou fosfátové bazické horniny (apatit), ložiska guana (trus mořských ptáků), fosforečná hnojiva, odpadní voda (prací, čistící, odmašťovací, mycí prostředky) nebo exkrementy živočichů. Ve vodě se vyskytuje jako organická forma (ortofosforečnan PO_4^{3-}) a fosforečnan železitý (FePO_4).

Koloběh fosforu je znázorněn na obrázku č. 29. Při fotosyntéze je využíván fosfor ve své anorganické formě fotosyntetizujícími organismy, které jej využívají k tvorbě své biomasy. Po jejich odumření se organicky vázaný fosforečnan (P_{org}) uvolňuje zpět do vodního prostředí a sedimentuje na dně, kde přechází na formu fosforečnanu železitého



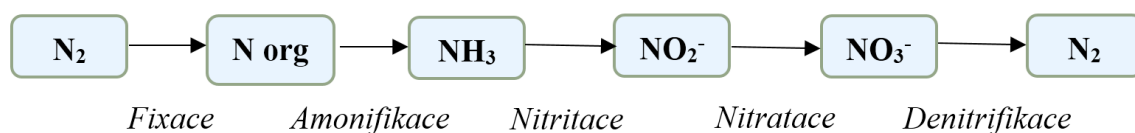
Obr.29: Koloběh fosforu (Ambrožová 2003)

(FePO_4). Nadměrné množství fosforu způsobuje eutrofizaci vod, přitom dojde nade dnem k vyčerpání kyslíku, což vede ke vzniku zápachajícího bahna. (Ambrožová 2003). Pokud přesáhne hodnota fosforu 0,5 mg/l nastává intenzivní růst řas a sinic (Doležal 2006).

7.1.6 Dusík

Dusík, společně s kyslíkem, uhlíkem a vodíkem představuje nejvíce zastoupený biogenní prvek ve vodě, kde ale nebývá limitujícím prvkem. Vysoký nárůst fytoplanktonu vykazuje sníženou koncentraci dusíku ve vodě. Dusík se do vody může dostat formou dusíkatých hnojiv, nebo spalováním fosilních paliv. Ve vodě se v přírodní formě vyskytuje v podobě atmosférického dusíku, anorganických sloučenin (amoniaku, dusitanu a dusičnanů) a organických sloučenin (nukleonových kyselin obsažených v živých buňkách a virech, bílkovin a močoviny). Exkrementy živočichů se do vodního prostředí dostává amoniak, močovina a kyselina močová (Ambrožová 2003). Sedlák (2008) uvádí, že rozpuštěná plynná forma dusíku má zanedbatelný význam, převážná část sloučenin dusíku vzniká hnilobnými procesy.

Koloběh dusíku (obr. 30) je komplikovaný systém reakcí biologické fixace, amonifikace, nitrifikace a denitrifikace. Atmosférický dusík jsou schopny přijímat díky biologické fixaci do svých buněk některé aerobní a anaerobní bakterie, nebo také některé druhy sinic. Producenti přijímají výlučně dusičnany a přeměňují je do své organické hmoty. Dusík je pak uvolňován rozkladem uhynulých organických částí. Organicky vázaný dusík (N_{org}) jsou schopny mineralizovat na amoniak chemotrofní bakterie¹ při procesu amonifikace. Amoniak dále využívají řasy a nitrifikační bakterie. Při nitrifikaci se za aerobních podmínek oxiduje amoniak na dusitany NO_2^- (nitrity, nitritace bakteriemi *Nitrosomonas*) a následně se dusitany přeměňují na dusičnany NO_3^- (nitráty, nitratace bakteriemi rodu *Nitrobacter*). Dusičnany jsou pak dále v anaerobním prostředí denitrifikovány bakterie rodu *Pseudomonas*) na plynný dusík N_2 z kterého si vytváří kyslík pro své potřeby.



Obr.30: Koloběh dusíkatých látek ve vodě

7.1.7 Síra

V přírodě se síra vyskytuje v podobě síranů. Anaerobní organismy pak využívají sírany jako zdroj kyslíku pro svůj metabolismus a začleňují jí do své biomasy. Zpětně je síra uvolňována rozkladem organické hmoty. Na koloběhu síry se také podílí sírné bakterie projevující se purpurovou barvou (viz. obr. 31). Jedná se o bakterie rodu *Rhodospirillum*, *Rhodomicrobium*, *Rhodopseudomonas* (Ambrožová 2003).

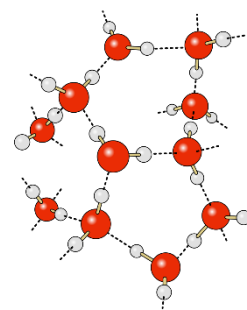


Obr. 31: Výskyt sírných bakterií v sedimentační nádrži, biotop Radotín, 4.8. 2018

¹ Chemotrofní bakterie získávají energii oxidací anorganických látek. K získání energie nepotřebují světlo jako fototrofní bakterie.

7.2 Fyzikální vlastnosti vody

Molekula vody nemá z hlediska fyzikálně-chemického mezi sloučeninami obdoby. Má mnoho zvláštních vlastností, které jsou způsobeny samotnou stavbou molekuly a vazbami mezi nimi (obr. 32). Voda se skládá z jednoho atomu kyslíku (O) a dvou atomů vodíku (H), které vůči sobě svírají úhel 105° . Molekuly vody tak tvoří vodíkové vazby (můstky) (Pitter 2015), které nejsou tak pevné jako chemické vazby, ale dávají vodě zcela ojedinělé vlastnosti (Ambrožová 2003). Pitter (2015) uvádí celkem 40 zatím pozorovaných anomálií molekuly vody, jejichž většinu lze přisoudit



Obr.32: Vodíkové vazby molekul vody (černé přerušované čáry). Kyslík (červený) a vodík (bílý) jsou spojeny kovalentními vazbami

právě vodíkové vazbě. Díky vazbě má voda největší hustotu při $3,98^\circ\text{C}$. Teplejší, nebo chladnější voda má vždy hustotu menší, tím dochází k teplotní cirkulaci vody. Doležal (2006) uvádí název těchto procesů jako jarní a podzimní cirkulace a letní a zimní stagnace. Tento jev, obzvláště zimní stagnace, umožňuje přežití živočichů pod zamrzlou hladinou. Hustota je závislá na obsahu rozpuštěných látek a na teplotě.

Akumulace tepla

Správná teplota podporuje růst rostlin a činnost organismů. K prohřívání vody dochází při prostupu slunečních paprsků vodním sloupcem (infračervená oblast záření). Voda má vysokou hodnotu měrné tepelné kapacity (Pitter 2015), slouží jako akumulátor tepelné energie. Optimální teplota vody je důležitá pro správný chod biotopového koupaliště.

Povrchové napětí

Voda má na rozhraní mezi kapalným a plynným prostředím díky pevným vazbám molekul také velké povrchové napětí. Její povrch tvoří pružná blána, která je útočištěm pro neustonní a pleustonní organismy. Toto napětí však ovlivňuje rozpuštěné látky ve vodě (Sedlák 2008) a teplota (Ambrožová 2003). Pitter (2015) uvádí snížení napětí povrchově aktivními látkami (tenzidy), které mohou být přírodního, nebo antropogenního původu. Dále lze povrchové napětí snížit čeráním hladiny, například provzdušňováním, což se používá v biologických čistírnách odpadních vod. Díky povrchovému napětí vzniká také kapilární vztlakovost.

Vodivost

Elektrická konduktivita nebo také vodivost nepřímo vyjadřuje obsah minerálních rozpuštěných látek ve vodě. V hydrochemii se vodivost vody měří $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mikrosiemensech na cm) (Pitter 2015). Sedlák (2008) definuje vodivost jako vyjádření všech vodivých sloučenin ve vodě. Chemicky čistá voda má hodnotu $0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, voda v koupacích biotopech se pohybuje v řádu stovek $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a mořská voda vykazuje cca $50\,000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Při zvýšeném znečištění stoupá vodivost.

pH

Hodnota pH je definována jako záporný dekadický logaritmus vodíkových iontů (Ambrožová 2003). Hodnota pH se vyjadřuje stupnicí od 0 do 14, kdy neutrální voda má hodnotu 7, hodnoty menší než 7 značí kyselou reakci a hodnoty vyšší než 7 zásaditou reakci. Fotosyntéza rostlin má vliv na kolísání pH tím, že z vody odčerpává oxid uhličitý. Narušuje se tak uhličitano-vápenná rovnováha a pH může dosáhnout až hodnoty 11. Každý organismus snáší kolísání pH jinak, např. vírník snáší velké rozpětí (pH 4,5 – 11), naopak nálevník malé (pH 7,4 – 7,6) (Amborožová 2003). Pokud je pH menší než 6, nebo větší než 9, znamená to nevhodné podmínky. Je třeba najít příčinu a odstranit ji. Dočasně může pomoci vhodná úprava vody. Pokud je voda příliš zásaditá, lze použít pytle s rašelinou a vhodně je umístit do místa proudění vody. Pokud je voda příliš kyselá, může se zvýšit pH přidáním vápence (Sedlák 2008).

Tvrdost vody

Na tvrdost vody má vliv koncentrace kationtů vápníku a hořčíku ve vodě. Součet přechodné a stálé tvrdosti má vliv na celkovou tvrdost vody. Síranová tvrdost je stálá (tvoří ji sole vápníku a hořčíku), naopak přechodná je uhličitánová tvrdost, kterou lze odstranit vysrážením při převaření vody a vzniku vodního kamene (Doležal 2006). Dále Sedlák (2008) uvádí silnou vazbu tvrdosti vody na pH. Pro účely biotopových koupališť a koupacích jezírek je vhodná měkká voda s nižšími hodnotami vápníku a hořčíku. Extrémně nízká a naopak extrémně vysoká hodnota tvrdosti vody není vhodná. Na regulaci tvrdosti vody mají vliv řasy a rostliny vytvářející velké množství biomasy. Tvrdost vody se uvádí v mmol/l .

Voda jako rozpouštědlo

Sedlák (2008) označuje vodu jako výborné rozpouštědlo, což zajišťuje rozpustnost tuhých látek, plynů a kapalin ve vodě. Voda tedy umožňuje akumulaci, transport a distribuci živin pro potřeby vodních organismů. Rozpustnost je závislá na teplotě a tlaku (Pitter 2015). V hydrochemii se rozpustnost ve vodě vyjadřuje hmotnostní koncentrací (mg.l^{-1}).

7.3 Typizace stojatých vod

Typizace stojatých vod se podle obsahu chemických látek a jejich fyzikálně-chemických vlastností (především biodostupný dusík a fosfor) dělí podle úživnosti (trofie) na několik stupňů (obr. 33): oligotrofní, mezotrofní, eutrofní a hypertrofní. Přičemž koupací jezírka a biotopová koupaliště by se měla nacházet maximálně na úrovni mezotrofie. Toho se docílí pravidelnou údržbou (odstraňování odumřelých rostlin a odsáváním kalu). Vyšší trofie se projeví zvýšeným výskytem zelených řas, sníženou průhledností, přesycením vody kyslíkem a prudkým zvýšením pH (nad 8), což má za následek negativní vliv na čistotu vody, a tím i na zdraví návštěvníků biotopu (Šimečková a kol. 2008).

Úživnost	Celkový P (mg.l^{-1})	Chlorofyl a ($\mu\text{g.l}^{-1}$)		Průhlednost (m)	
		prům.	max.	prům.	max.
Oligotrofie	<0,010	<2,5	<8	>6	>3
Mezotrofie	0,010–0,025	2,5–8	8–25	3–6	2–3
Eutrofie	0,025–0,100	8–25	25–75	1,5–3	0,7–1,5
Hypertrofie	>0,100	>25	>75	<1,5	<0,7

Obr. 33: Klasifikace stojatých vod dle úživnosti (OECD 1992), převzato od Šimečkové a kol. (2008)

8 Biologické čištění vody

Biologické čištění vody je založeno na přírodních procesech. Stejného principu se mimo jiné využívá také v kořenových čističkách odpadních vod, kde se však pracuje s vodami vyšší úrovně trofizace.

Životní prostředí se dělí na neživou a živou složku. Tyto dvě složky tvoří ekosystém. Ekosystém je tedy soubor organismů a jejich okolního prostředí. Každý organismus zaujímá svůj životní prostor, říká se mu biotop. Soubor více organismů na biotopu se nazývá biocenóza a v té se odehrává neustálý vývoj – sukcese. Biocenóza se skládá ze společenstva rostlin, živočichů a bakterií (Ambrožová 2003).

8.1 Organismy

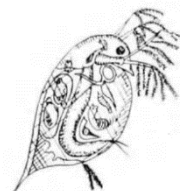
Skupiny organismů lze rozdělit podle stanoviště ve kterém žijí na nekton, plankton, bentos, pleuston a neuston.

8.1.1 Nekton

Jedná se o živočichy schopné ve vodě aktivního pohybu (vodní hmyz, ptáci, ryby, vodní hlodavci, plazy a obojživelníci). Přítomnost vodních ptáků, hlodavců a ryb není v biotopových koupalištích ku prospěchu. Mají totiž hned několik negativních vlivů na kvalitu vody a technické zařízení biotopu. Zejména vodní ptáci a hlodavci mohou být vážným zdravotním rizikem pro návštěvníky (Baumhauer a Schmidt 2008). V čistícím jezeře se však daří obojživelníkům. Žáby redukují počty vodního hmyzu a tím chrání zooplanktonní organismy, užovky pak zase snižují počty žab.

8.1.2 Plankton

Plankton je společenstvo organismů, které se pasivně vznáší ve vodním sloupci, popřípadě využívá jednoduché pohybové orgány (Ambrožová 2003). Planktonní organismy jsou důležité pro čistící procesy. Plankton může být mikroskopických rozměrů, nebo rozměrů pozorovatelných lidským okem. Lze jej rozdělit na zooplankton (prvoci, korýši, vířníci), fytoplankton (řasy, sinice), bakterioplankton a viroplankton.



Obr.34: Perloočka
(Daphnia),
Ambrožová (2003)

- **Zooplankton** se živí fytoplanktonem a zooplanktonem. Tím přispívá ke zprůzračnění vody. Je však velmi citlivý na toxické látky. Mezi zooplankton patří vířníci (např. *Brachonius*) požírající nálevníky a bakterie, dále korýši (např. *Daphnia*, perloočka) požírající řasy a sinice. Podle Šimečkové (2008) je jedna *Daphnia magna* schopna přefiltrovat 2 litry vody denně. Pro správnou populaci zooplanktonu je důležitá jeho rozmanitá věková a druhová struktura.
- **Fytoplankton** je skupina organismů schopných fotosyntézy. Jedná se o vláknité řasy, sinice a rozsivky, vířníky a nálevníky. Dominující skupiny a jejich množství má vliv na pH a kyslíkový režim biotopu. Dobře fungující systém má dominanci rozsivek a zelených řas do 2000 buněk/ml. Během roku se mění druhové složení a poměr zastoupení řas a sinic. Z jara dominují skrytěnky, rozsivky a zlativky, v létě pak zelené řasy a sinice (Šimečková 2008).
- **Bakterioplankton** je pozorovatelný lidským okem jako zákal vody. Počty bakterií vznášející se ve vodním sloupci by měly být minimální. Pro čištění vody jsou důležité spíše bakterie bentické (Šimečková 2008).
- **Viroplankton**, nebo také viry, jsou nejpočetnějšími organismy vod. Fungují jako regulátor bakterií a jsou důležitým hygienizačním faktorem (Šimečková 2008).

8.1.3 Bentos

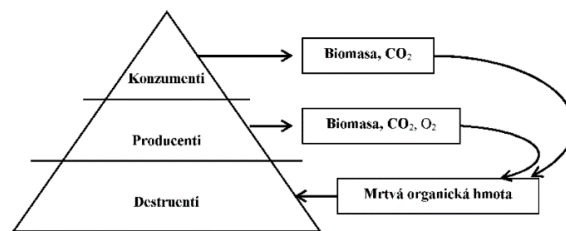
Společenstvo organismů usazených ve dně a na všech površích v podobě biofilmu. Lze je rozdělit na zoobentos, fytoobentos a bakteriobentos. **Bakteriobentos** je velmi důležitý díky své schopnosti udržet živiny (především fosfor) v substrátu a tím omezuje vývoj planktonním organismům. Bentická společenstva jsou tedy tím nejdůležitějším hygienizačním faktorem. Produkují také mnoho aktivních látek (zejména enzymů, antibiotik, alelopatik a kairomonů) (Šimečková 2008).

8.1.4 Pleuston a neuston

Jedná se o organismy vázané k povrchové blance a hladině. Pleuston využívá povrchové blanky k pohybu (znakoplavky, vodoměrky, vířníci). Neuston obývá povrchovou blanku vody.

8.2 Koloběh živin

Vhledem ke koloběhu živin se dají organismy rozdělit podle způsobu výživy (trofie) do tří základních skupin. Na destruenty, producenty a konzumenty (Ambrožová 2003). Tyto trofické úrovně



Obr. 35: trofická pyramida (Ambrožová 2003)

se navzájem ovlivňují a každá z nich podmiňuje intenzitu vývoje těch ostatních. Mezi těmito úrovněmi není rovnováha, na nějaký čas vždy převládá jedna ze skupiny (Doležal 2006). Vzájemné vztahy mezi těmito složkami znázorňuje trofická pyramida (obr. 35).

8.2.1 Destruenti

Destruenti mají nezastupitelnou funkci při biologickém čištění vody (především bakteriobentos). Destruenti rozkládají odumřelé zbytky rostlin a živočichů, které přeměňují na živiny. Živiny jsou následně využívány primárními producenty (rostlinami). Mají také značný vliv na kyslíkový vodní režim. Dle Šimečkové (2008) jsou dále schopni poutat značné množství organického fosforu, čímž konkurují fytoplanktonu a tím omezují jeho růst. Mezi destruenty patří bakterie, drobné houby a viry (Ambrožová 2003).

• Bakterie

Jsou to nejdůležitější činitelé pro docílení požadované kvality vody. Bakterie jsou schopné žít v různém prostředí, existuje tedy mnoho druhů bakterií (např. metanogenní, nitrogenní, nitrifikační, denitrifikační). Nejdůležitější bakterie podílející se na čištění v zahradních jezírkách jsou dle Doležala (2006) nitrifikační a denitrifikační bakterie. Nitrifikační bakterie obývají aerobní prostředí (kyslíkaté prostředí), denitrifikační naopak anaerobní prostředí (bezokyslíkaté prostředí). Nitrifikační bakterie přeměňují amoniak na dusičnany. Dusičnany následně přeměňují denitrifikační bakterie na plynný dusík. Denitrifikace je jediná cesta, jak odbourat a znovu vrátit dusíkaté látky do koloběhu živin.

• Houby

Jsou to drobné houby vyskytující se v povrchových, podpovrchových a podzemních vodách. Společně s bakteriemi se podílí na odbourávání organických látek.

- **Viry**

Viry lze chápat jako vnitrobuněčné cizopasníky. Množí se jen v živých buňkách. Viry napadají bakterie a sinice a tím působí jako jejich regulátor.

8.2.2 Producenti

Amboržová (2003) definuje producenty jako fotosyntetizující organismy, kteří se dělí na vyšší rostliny a nižší rostliny (řasy, sinice).

Jejich funkcí je poutat do sebe živiny uvolněné destruenty. Z těchto živin si vyváří vlastní biomasu. Intenzita produkce biomasy je závislá na množství dostupných živin rozpuštěných ve vodě, teplotě a intenzitě slunečního záření. Vedlejším produktem fotosyntézy je kyslík, který zpětně využívají destruenti a konzumenti. Producenti jsou základní potravou pro planktonní organismy a některé další vyšší konzumenty (Doležal 2006).

- **Makrofyty (vyšší rostliny)**

Patří sem lišejníky, mechorosty, kaprad'orosty a semenné rostliny. Samotným rostlinám je věnována kapitola č. 9.

- **Mikrofyty (nižší rostliny)**

Mezi nižší rostliny patří sinice a řasy. Jedná se o předchůdce zelených rostlin a jsou častými obyvateli koupacích přírodních vod, včetně biotopů.

Sinice (*Cyanobacteria*) jsou jednobuněčné nebo vláknité organismy. Jsou na pomezí mezi řasami a bakteriemi. Díky své přizpůsobivosti na intenzitu světla mohou osidlovat i místa s nízkou, či nulovou světelnou intenzitou. Sinice tvoří tzv. vodní květ, který souvisí s eutrofizací a následnou produkcí toxinů měnící fyzikální a chemické vlastnosti vody v okolí. Příkladem sinic vodního květu jsou *Microcystis*, *Anabaena*, *Nostoc* a *Aphanizomenon*. Dalšími sinicemi jsou vláknité rody *Oscillatoria* (drkalka), *Planktothrix*, *Phormidium*, *Arthospira* (Ambrožová 2003). Velký výskyt sinic (vodní květ) se začíná objevovat až s příchodem letních teplot, zatímco žabí vlas (*Cladophora*) roste v průběhu zimního a jarního období. Její růst byl prokázán už při teplotě vody 6 °C (Doležal 2006).

Baumhauer a Schmidt (2008) doplňují, že sinicím vyhovují vysoké teploty, málo rozpuštěného kyslíku ve vodě a nadbytek fosforu a dusíku. Jejich velký výskyt vede k zákazu koupání, jelikož vylučují toxiny, které mohou vyvolat nevolnost, zvracení, průjmy, dušnost, podráždění kůže a poškození jater. Některé toxiny mohou být také karcinogenní a silně neurotoxické (Sommer 1996). Vytvářením toxinů si sinice budují výhodu oproti jiným organismům i konkurenčním sinicím. Mezi konzumenty nemají sinice žádné nepřátele.

Řasy jsou důležitou součástí biotopových koupališť, je jim proto věnována zvláštní kapitola.

8.2.3 Konzumenti

Mezi konzumenty v biotopových koupalištích patří zooplankton a zoobentos, ale také různé druhy hmyzu, mlžů, plžů a obojživelníků. Spadají sem také ptáci a savci žijící v blízkosti koupaliště. Mezi nejvýznamnější konzumenty patří zooplankton, který se živí nižšími producenty, tedy řasami a sinicemi. Jejich nejznámějšími zástupci ve vodě biotopového koupaliště jsou vířníci, buchanky a perloočky (Doležal 2006).

9 Mechanické dočišťování

Aby měla voda požadovanou jakost a vyhovovala estetickým a hygienickým požadavkům, je třeba nejen správná funkčnost biologického čištění, ale také pravidelná údržba a mechanické dočišťování. Důležitá je především péče o rostliny, odstraňování nadměrného počtu řas a odkalování čistícího jezera. Účelem mechanického dočišťování je konečné odbourání živin z vod biotopového koupaliště.

9.1 Péče o rostliny

Množství rostlin je nutné udržovat i v průběhu sezóny. Rostliny je potřeba pravidelně přesazovat z hustě zarostlých míst, aby nedocházelo k útlumu aktivity rostlin vlivem nedostatku místa. Tyto rostliny se přesadí do méně zarostlých hrázek. Dále je pak nutné odstraňovat odumřelé a rozkládající se zbytky rostlin, aby nedošlo k zpětnému návratu živin.

Aby se zabránilo zpětnému návratu živin do vodního prostředí, je nutné na konci sezóny odstranit rostlinnou biomasu (obr. 36). Šimečková (2008) uvádí, že se jedná o zhruba polovinu října. Je dobré ponechat rostliny, které nemají sklony k hnití (rákos, sítina), jelikož zajišťují prostřednictvím stébel výměnu plynů mezi vodním prostředím a atmosférou i přes zamrzlou hladinu. Tím podporují přežití organismů v mělké regenerační zóně i v zimě. Biomasa rostlin by se měla odstranit také na jaře, avšak s menší důrazností.



Obr.36: Odstraněná biomasa rostlin, 27.9. 2018, biotop Radotín

9.2 Odstraňování řas

Řasy jsou při dostatku živin schopny intenzivního růstu. Zvláště při jarním a podzimním maximu (někdy nastane i maximum letní). V té době je vhodné jejich mechanické odstraňování. Tím se předejde zpětnému návratu živin nahromaděných v řasách zpět do vodního prostředí. Zpětný návrat těchto živin by mohl způsobit přetížení biotopového koupaliště a ohrožení hygienických požadavků na jakost vody. Jejich odstranění se provádí namotáváním jednoduchými nástroji (obr. 37).



Obr.37: mechanické odstraňování řas

9.3 Odkalování

Na dně koupacích jezer dochází k sedimentaci organického materiálu. Jedná se o těla producentů a konzumentů. Aby se zabránilo zpětnému vstupu živin do koloběhu pomocí destruentů, je nutné pravidelné odkalování. K pravidelnému odkalování během sezóny se v biotopovém koupališti Radotín podle sdělení Ing. Pavla Rady přistoupilo až v roce 2017. Do té doby bylo jezero zbavováno sedimentů pouze na konci sezóny při vypuštění čistícího jezera, jako u ostatních biotopových koupališť.

Aby odkalená voda nepřišla nazmar a byla znovu efektivně využita, sestavil Ing. Pavel Rada dvě soustavy sedimentačních nádrží (obr. 38), kterými odkalená voda protéká a dochází zde k usazení kalu. Tyto systémy jsou v Radotíně využívány dva. Na začátku a na konci čistícího jezera. Z usazovacích nádrží odtéká voda zbavená většiny kalu zpět na začátek čistícího jezera k jejímu dočištění.



Obr. 38: sedimentační vany

Odsávání probíhá buď poloautomatickou hlavicí (obr. 39), která se pohybuje po dně pomocí vibrační způsobených nasávanou vodou, nebo speciální hlavicí sestavenou Ing. Pavlem Radou, která je vybavená košem zabraňujícím nadměrné zvíření sedimentů, poškození čerpadla, nebo ucpaní. To mohou způsobit oblázky ležící



Obr. 39: Komerční poloautomatický vysavač

na dně. Do prostoru dna čistícího jezera se oblázky dostávají buď samovolně z hrázek díky jejich špatné konstrukci, nebo tam byly vhozeny úmyslně hrajícími si dětmi.

S odkalovanými sedimenty se odsávají také prospěšné organismy. Jedná se především o bentos a zooplankton. Zabránit odsání bentosu se nedá, jelikož je obsažený přímo v sedimentech. Můžeme však snížit odsátí prospěšných planktonních organismů, které jsou důležitým hygienizačním faktorem. U planktonních organismů totiž dochází k denní (cirkadiánní) migraci vodním sloupcem. Ráno a k večeru se plankton drží u hladiny, kdežto během dne se drží u dna. Je tedy dobré odkalovat v době, kdy se plankton nenachází u dna (Šimečková a kol. 2008).

Odkalování koupacího jezera je o něco složitější než u odkalování čistícího jezera. Koupací jezero má nepravidelný tvar dna, je hlubší a rozlohou větší. Na dně jezera se nachází značné množství prakticky nerozpustných lidských vlasů, které se navíjí na rotační části čerpadel. V Radotíně to řeší občasným nasazením plavčíka, který si procvičí potápění.

Na sezónu 2019 je v biotopu Radotín připravena nově zbudovaná zapuštěná jímka s objemem 12 m³ na odpadní kal. Po jejím naplnění se kal použije jako hnojivo.

9.4 Mechanické čištění

Prospěšné bentonní bakterie vytváří slizký povlak na fóliích a dlažbě pod hladinou, tzv. biofilm. Kromě negativního estetického hlediska je biofilm nebezpečný svou kluzkostí. Proto se přistupuje k jeho odstraňování v místech, kde by mohl způsobit uklouznutí a následné zranění. K jeho odstranění se dá využít vysokotlaký čistič (obr. 41), či koště. Trvalé odstranění biofilmu není přírodní cestou možné, zanedlouho se opět obnoví.

9.5 Podpora biologického čištění

Biologické čistící procesy jsou závislé především na aerobním prostředí. Kyslík se do vody dostává dvěma přírodními způsoby. Z atmosféry a činností vodních rostlin a řas. Vnik kyslíku z atmosféry je však ztížen v důsledku povlaku až mastnoty na hladině, kterou tvoří např. opalovací krémy. Pro zajištění dostatečného prokysličení je nutností okysličování pomocí vzduchových kompresorů vhánějících vzduch do perforovaných hadic umístěných pod hladinou čistícího jezera. Tyto hadice jsou umístěny v biotopu Radotín na několika místech. Nejvíce jich je umístěno podél hrázek.



Obr. 40: Příprava potápěče na odkalování koupacího jezera, zdroj FB Biotop Radotín



Obr. 41: Odstraňování biofilmu, zdroj FB Biotop Radotín



Obr. 42: Okysličování pomocí kompresorů, biotop Radotín



Obr. 43: Čerání hladiny a nucení vody k pohybu pomocí čerpadla, biotop Radotín

K usnadnění vstupu atmosférického kyslíku je potřebné čerání hladiny, o které se starají čerpadla. Navíc jsou tato čerpadla umístěna v místech, kde dochází k stání vody. Svou činností tedy nejen okysličují, ale zároveň zajišťují mísení vody.

9.6 Omezení vstupu nadbytečných živin

Pro udržení vyhovující jakosti vody je nutné dodržovat preventivní opatření, která snižují zatížení biotopového koupaliště nadbytečnými živinami. Ty se mohou do vody dostat několika způsoby. Na návštěvnicích v podobě nečistot a dermatologických prostředků (např. opalovací krémy), proto je nutné před vstupem do vody osprchování. Velký počet návštěvníků během sezóny zatěžuje vodu biotopové koupaliště nadbytečnými živinami. Každé biotopové koupaliště má svou maximální kapacitu, při jejímž dosažení nepouští další návštěvníky.

Je také nutné zamezit pobytu vodních ptáků. Kachny nadměrně znečišťují vodu svými výkaly. Dochází také k jejich krmení návštěvníky a zbytky potravy se ve vodě rozkládají.



Obr. 44: Nálet vodních ptáků, 5.9. 2018, biotop Radotín

10 Mokřadní a vodní rostliny

Mokřadní a vodní rostliny jsou vůbec ty nejproduktivnější rostliny co se tvorby vegetační hmoty týká (obr. 45). Váží velké množství živin (Dykyjová 1992).



Obr. 45: Čistící jezero biotop Radotín, 14.8. 2018

Vodní rostliny (Obr. 45) mají dle Šálka (2006) tyto nezastupitelné funkce:

- Zamezují eutrofizaci a omezují růst řas tím, že čerpají živiny z vodního prostředí do své vegetační hmoty.
- Okysličují okolí a vnášejí kyslík do jinak bezkyslíkatého prostředí prostřednictvím svých kořenů, tím podporují činnost mikroorganismů a vytvářejí jim optimální prostředí
- Rostliny s mohutnými oddenky zajišťují přes zamrzlou hladinu výměnu plynů mezi vodním prostředím a atmosférou (odvádí škodlivé plyny, přivádí kyslík)
- Plní estetickou funkci (kosatce, šmel okoličnatý, kyprej obecný, blatouch bahenní).

Celkově lze rozdělit fotosyntetizující organismy do tří základních skupin: mikrofyty (fytoplankton – řasy, sinice), makrofyty (vyšší rostliny – mechy, chaluhy, ruduchy) a hydrofyty (mokřadní a vodní rostliny). Mokřadní vegetace se dá rozdělit podle adaptace na vodní prostředí na:

- Emerzní rostliny (vynořené)
- Submerzní rostliny (zcela ponořené)
 - Vznášející (okřehek, vodní mor, růžkatec) – nekoření, nebo se jen kotví
 - Zakořeněné (stolístek, žebrotka, některé rdesty)
- Plovoucí rostliny
 - S plovoucími listy
 - S plovoucími listy a kořenicí v sedimentech (lekníny)

Primární funkcí rostlin je vázat do sebe živiny a přeměňovat je do své biomasy (vegetační hmoty), tím se podílí na čisticí funkci v biologickém jezeře. Po odstranění biomasy se uzavírá koloběh živin v biotopovém koupališti. Šálek (2006) uvádí výčet rostlin vytvářejících mnoho vegetační hmoty, které jsou používány také v kořenových

čističkách. Jedná se rákos obecný (*Phragmites australis*), zblochan vodní (*Glyceria maxima*), chrastice (lesknice) rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), skřípinec jezerní (*Schoenoplectus lacustris*), orobinec širokolistý a úzkolistý (*Typha latifolia*, *T. angustifolia*), zevar vzpřímený (*Sparganium erectum*), sítina rozkladitá (*Juncus effusus*), kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*). Každá rostlina je specifická svým složením vegetační hmoty a akumulací živin v ní, viz tabulka č. 5.

Druh rákosiny	Sušina [g/m ²]	Obsah sušiny v %				
		N	P	K	Ca	Mg
Rákos obecný	2960	2,80	0,28	1,70	0,29	0,17
Orobinec úzkolistý	4000	1,80	0,38	1,97	0,73	0,18
Orobinec širokolistý	3600	1,90	0,32	1,50	0,52	0,18
Zevar vzpřímený	1880	2,60	0,48	4,10	1,23	0,29
Puškvorec obecný	1250	3,10	0,47	3,70	0,85	0,48
Skřípinec jezerní	4200	1,70	0,41	2,00	0,23	0,15
Zblochan vodní	2960	1,80	0,30	2,30	0,19	0,13

Tab. 5: Procentuální obsah prvků v sušině různých druhů rostlin, převzato Šálek 2006

V kořenových čističkách se biomasa sklízí až z jara. Během zimy funguje jako tepelný kryt. U biotopových koupališť je to jiné. Biomasa se musí odstranit hned po ukončení sezóny a odbourat tak živiny nashromážděvané během celé sezóny. Podle Šimečkové (2008) se tak děje zhruba v polovině října.

Vodní rostliny se osazují do hrázek, které jsou vyplněny kačírkem. Sedlák (2008) uvádí, že pro zahradní jezírka je vhodné sázet pět velkých rostlin a deset malých na 1 m². Šimečková (2008) uvádí optimální hustotu vysazení 5 ks/m² u robustnějších druhů a 8 až 10 ks/m² u menších rostlin. Lze tedy říci, že je třeba rostliny sázet do hrázek přiměřeně, aby měla každá svůj prostor k růstu. Rostliny je dobré během sezóny protrhávat a přesazovat je z hustě zarostlých hrázek do těch méně zarostlých. Je dobré sázet stejné rostliny po skupinách, jelikož si snáze upraví okolní prostředí (pH) než samostatná rostlina (Sedlák 2008). Samozřejmostí je odstraňování odumřelých částí rostlin a zamezit tak jejich zbytečnému rozkladu v regenerační zóně.

Transpirací rostlin se mimo biotopové koupaliště dostává velký objem vody. Tento výpar společně s výparem z volné hladiny musíme doplňovat k udržení stálé hladiny. Hodnota transpirace závisí na množství biomasy nad hladinou, na kterou působí

činitelé jako teplota, relativní vlhkost, sluneční intenzita a rychlost větru. Podle Čížkové (2003) se jedná o 5-7 mm za den na velkých plochách. Dle zjištění Šálka (2006) je rákos obecný v letních teplotách schopen transpirovat až 30 mm z 1 m².

Rostliny získávají kyslík z atmosféry a přenášejí jej do kořenové zóny, což v ní podporuje činnost bakterií. Dle Vymazala (1995) se difuze kyslíku pohybuje od 0,02 do 12 g na 1 m² za den. Kyslík se rostlinami dostává do kořenové zóny dvěma způsoby – konvektivním tokem (vytvářený termální transpirací) a Venturiho indukovanou konvekcí (způsobuje ji vítr vanoucí kolem odumřelých stonků rostlin, dochází tak k tlakovým rozdílům).

Nedoporučují se rostliny, které mají příliš intenzivní růst a mohou utlačovat ostatní rostliny. Navíc jsou v zahradních jezírkách schopny protrhnout folii. Jedná se hlavně o rákosy. (Sedlák 2008).

10.1 Emerzní rostliny

Rostou v blízkosti vody, zvládnou ale i prostředí s jejím nedostatkem. Mají mohutný kořenový systém a vynořené fotosyntetizující části nad hladinou (Čížková 2003).

- **Blatouch bahenní** (*Caltha palustris*) - Na jaře kvete jako jedna z prvních rostlin. Květ je žlutý, výška 20-50 cm, výška oddenku pod hladinou 0-15 cm, kvete březen až září (Sedlák, 2008). Mokřadní rostlina kvetoucí z jara (stejně jako kosatec žlutý), roste podél toků a v mokřadech. Je víceletá, zimě a příležitostnému suchu odolná bylina. Himmelhuber (2014) uvádí, že existují i kultury s bílými květy. (Obr. 46)



Obr. 46: Blatouch bahenní, biotop Radotín, 14.4. 2018

- **Prustka bahenní** (*Hippuris vulgaris*) - Dekorativní rostlina s nepatrným květem, je schopna emerzní i submerzní formy, stoněk však vypadá jinak, při nedostatku vápníku chřadnou, výška 20-80 cm, potřebné rozmezí uložení oddenku pod hladinou 0-80 (200) cm, kvete červen až srpen (Sedlák 2008), zmiňuje i Šimečková (2008). (Obr. 47)



Obr. 47: Prustka bahenní, Biotop Jince, 14.9. 2016

- **Máta vodní** (*Mentha aquatica*) - Silně vonící, léčivá rostlina s modrofialovým květem, výška 5-20 cm, potřebná hloubka ponoření 0-15 cm (Sedlák 2008). Mokřadní rostlina. Vyžaduje vlhkou až mokrou půdu a slunné místo bohaté na živiny (Himmelhuber 2014). (Obr. 48)



Obr.48: Máta vodní, biotop Lhotka, 11.10.2018

- **Kyprej vrbice** (*Lythrum salicaria*) – Velmi pěkná rostlina s červenofialovým květem, výška 30-200 cm, kvete červen až červenec. (Obr. 49)



Obr.49: Kyprej vrbice, Biotop Radotín, 14.6. 2018

- **Kosatec žlutý** (*Iris pseudacorus*) - Velmi odolná rostlina přežívající i přeschnutí, tvoří hodně biomasy, výška 50-250 cm, potřebná hloubka uložení oddenku 0-30 (50) cm, kvete květen až červenec (Sedlák 2008). Velmi atraktivní mokřadní rostlina, roste divoce na okrajích řek, potoků a jezer. Vyžaduje substrát bohatý na živiny. Není náročný na světlo. (Himmelhuber 2014). (Obr. 50)



Obr.50: Kosatec žlutý, Biotop Radotín, 11.5. 2018

- **Vrbina kytkokvětá** (*Lysimachia thyrsiflora*) - Silně ohrožená mokřadní rostlina vyskytující se také na biotopovém koupališti Radotín. (Obr. 51)



Obr.51: Vrbina kytkokvětá, biotop Radotín, 11.5. 2018

- **Žabník jitrocelový** (*Alisma plantago-aquatica*) - Preferuje vody bohaté na živiny. Roste částečně, nebo zcela ponořeně. Má eliptické šípovité listy a od července do září kvete bílým květem. (Obr. 52)

Obr.52: Žabník jitrocelový,
biotop Radotín, 14.6. 2018



- **Sítina článkovaná** (*Juncus articularis*) - Sítiny jsou vytrvalé mokřadní byliny rostoucí v hustých trsech. Některé dorůstají výšky až jednoho metru. Preferují mírně kyselé prostředí bohaté na živiny (Baumhauer a Schmidt 2008). Doležal (2006) uvádí sítiny, které lze použít v okrasných zahradních jezírkách: Sítina rozkladitá (*Juncus effusus*), sítina mečolistá (*Juncus ensifolius*), sítina slanisková (*Juncus garardii*), sítina sivá (*Juncus inflexus*), sítina klubkatá (*Juncus conglomeratus*) a Sedlák (2008) doplňuje o sítinu článkovanou (*Juncus articulatus*). (Obr. 53)



Obr.53: Sítina
článkovaná, biotop
Radotín, 25.6. 2018

- **Vrbovka chlupatá** (*Epilobium hirsutum*) - Vytrvalá rostlina s lodyhou vysokou až 2 m roste při březích vod a na zaplavovaných půdách. Kvete růžovým květem od července do září (zdroj: botany.cz). (Obr. 54)

Obr.54: Vrbovka chlupatá,
biotop Radotín, 25.6. 2018



- **Dvozubec trojdílný** (*Bidens tripartita*) – Bylina rozšířená po celé Evropě, Asii, Severní Americe a Austrálii. Může být až 120 cm vysoká. Její květ má hnědožlutou barvu. (Obr. 55)

Obr.55: Dvozubec trojdílný
biotop Radotín, 5.9. 2018



- **Šmel okoličnatý** (*Butomus umbellatus*) - Rostlina s dlouhým rovným oddenkem, až 150 cm vysoká, preferuje mělké stojaté vody. Kvete červeno-fialovým květem od června do července. Zajímavostí je jedlost oddenku (Baumhauer a Schmidt 2008). (Obr. 56)

Obr.56: Šmel okoličnatý, biotop Radotín, 5.9. 2018



- **Chrastice rákosovitá** (*Phalaris arundinacea*) - Prospívá ve výživné půdě, vyskytuje se v mnoha kultivarech s pestrým listem, výška 50-200 cm, potřebná hloubka 0-5 cm, kvete od května do července (Sedlák 2008). (Obr. 57)

Obr.57: Chrastice rákosovitá, biotop Radotín, 14.6. 2018



- **Orobinec široolistý** (*Typha latifolia*) - Odolná a vytrvalá rostlina s hnědým válcovitým květem (lidově doutník), kultivar 'Variegatus' má podélné pruhované zelenobílé listy, výška 100-250 cm, potřebná hloubka 0-50 cm, kvete červenec až říjen (Sedlák 2008). Orobince jsou velmi vitální rostliny vytvářející velké množství biomasy, jsou tedy vhodnou filtrační rostlinou (Himmelguber 2014). Dalšími orobinci jsou: orobinec sítinový (*Typha laxmannii*), orobinec nejmenší (*Typha minima*), orobinec stříbrošedý (*Typha shuttleworthii*). (Obr. 58)



Obr.58: Orobinec širokolistý, biotop Radotín, 20.9. 2018

- **Dochan psárkovitý** (*Pennisetum alopecuroides*) - Rostlina pocházející z Asie se využívá jako okrasná rostlina zahradních jezírek. V biotopovém koupališti Radotín doplňuje různorodost rostlinné vegetace. (Obr. 59)



Obr.59: Dochan psárkovitý, biotop Radotín, 5.9. 2019

- **Ostřice štíhlá** (*Carex gracilis*) - Ostřice jsou hojně využívány v biologických čističkách odpadních vod, díky své adaptaci na prostředí, odolnosti a nenáročnosti. Existuje na 1100 druhů ostřic (Baumhauer a Schmidt 2008). Osidlují mokřadní stanoviště a nevdají jim kolísání vody. Květ vypadá jako černohnědý klásek, výška rostliny je 50 cm, s květem až 150 cm, potřebná hloubka vody nad oddenkem 0-30 cm, kvete duben až květen (Sedlák 2008). Baumhauer a Schmidt (2008) uvádí další ostřice využívané v koupacích biotopech: ostřice ostrá (*Carex acutiformis*), ostřice pobřežní (*C. riparia*), ostřice Davallová (*C. davalliana*), ostřice rusá (*C. flava*), ostřice Grayova (*C. grayii*), ostřice převislá (*C. pendula*), ostřice nedošáchor (*C. pseudocyperus*), ostřice vyvýšená (*C. elata*), ostřice srstnatá (*C. hirta*). (Obr. 60)



Obr.60: Ostřice štíhlá, biotop Radotín 26.4.

10.2 Submerzní rostliny

Submerzní rostliny jsou adaptované na prostředí pod vodní hladinou, jsou zcela ponořené. Mohou však vyrůstat i nad ní, kde se jejich části přeměňují na emerzní formu. Submerzní rostliny se dají rozdělit na zakořeněné (kořenicí v substrátu) nebo volně plovoucí ve vodním sloupci (ty



Obr.61: Parožnatka (*Chara* sp.), biotop Radotín 2018

v některých případech kotví v sedimentu). Submerzní rostliny mají velmi kladný vliv na okysličování vody a vytváří úkryt mnohým vodním organismům. V biotopovém koupališti Radotín se vzhledem k aktivní údržbě nevyužívají. Splést si je však můžeme s řasou parožnatkou (*Chara sp.*), která se v čistícím jezeře vyskytuje zcela samovolně (obr. 61).

10.2.1 Zakořeněné submerzní rostliny

Mezi **zakořeněné submerzní rostliny** využívané v mělkých filtračních zónách zahradních jezírek a některých biotopových koupalištích patří například bahnička jehlovitá (*Eleocharis acicularis*), zákucelka bahenní (*Ludwigia palustris*), stolítek střídavolistý (*Myriophyllum alternifolium*), stolítek vodní (*Myriophyllum aquaticum*), stolítek klasnatý (*Myriophyllum spicatum*), stolítek přeslenitý (*Myriophyllum*

verticillatum), rdest kadeřavý (*Potamogeton crispus*), nebo rdest světlý (*Potamogeton lucens*).

- **Zákucelka bahenní** (*Ludwigia palustris*) - Jediný domácí zástupce zákucelek, je nenáročná a má vzpřímenou lodyhu (Doležal 2006). (Obr. 62)



Obr. 62: Zákucelka bahenní, biotop Jince u Plzně

- **Rdest kadeřavý** (*Potamogeton crispus*) - Není zvlášť invazivní, lodyhy dorůstají až 200 cm (Doležal 2006). Vydrží dočasně na suchu. (Himmelhuber 2014). Francis (2001) uvádí, že se jedná o okysličující rostlinu, která není příliš agresivní. Zelené listy s vlnitými okraji vypadají jako chaluhy. Dává však přednost proudící vodě před vodou stojatou.
- **Rdest světlý** (*Potamogeton lucens*) - Má široké, průsvitné, světlezelené listy. Je hodně podobný rdesu kadeřavému (Doležal 2006). Weixler a Hauer (1998) uvádí, že se jedná o jednu z nejkrásnějších vodních rostlin, která má ráda vápnaté a čiré prostředí.

10.2.2 Vznášející submerzní rostliny

Díky absenci kořenů jsou schopny přijímat živiny celým tělem (Francis 2001). Jsou rychle rozrůstavé až invazivní. Spotřebovávají velké množství živin, čímž konkurují řasám. Řasám a sinicím škodí také některé druhy vylučováním jedovatých látek (Sedlák 2008). Mezi vznášející plovoucí rostliny patří například vodní mor kanadský (*Elodea canadensis*), vodní mor drobnolistý (*Elodea nutalii*), douška hustolistá (*Egeria densa*), masožravá bublinatka obecná (*Utricularia vulgaris*), bublinatka prostřední (*Utricularia intermedia*) a růžkatec ponořený (*Ceratophyllum demersum*).

- **Vodní mor kanadský** (*Elodea canadensis*) a **drobnolistý** (*Elodea nutalii*)
Volně plovoucí rostlina, která kotví své kořeny, v rybnících je plevelem, vyžaduje vápnaté prostředí, velmi rychle se množí a z každého úlomku se vytváří nová rostlina, kvete drobnými bělavě i zelenými kvítky (červenec až září), je třeba ji držet v regenerační zóně (Sedlák 2008). Ve vodě funguje jako generátor kyslíku a vodní filtr, to platí také v zimě i pod ledem. Při problémech s morem se doporučuje jeho výlov, snadno se vytahuje společně se zelenými řasami (Himmelhuber 2014).

- **Douška hustolistá** (*Egeria densa*) - Živiny je schopna přijímat listy i kotvícími kořeny (Doležal 2006).
- **Bublinatka obecná** (*Utricularia vulgaris*) a **bublinatka prostřední** (*Utricularia intermedia*) - Masožravé rostliny živící se zooplanktonem jsou nadnášeny měchýřky. Žlutý květ vyrůstá nad hladinu od začátku léta do září (Doležal 2006). V ČR jsou bublinatky chráněné (Himmelhuber 2014).

10.3 Plovoucí rostliny

Listy plovoucích rostlin vzplývají na hladině. Tyto rostliny se používají spíše v okrasných a zahradních jezírkách. V regeneračních zónách biotopových koupališť je však příliš nenalezneme. Jejich plovoucí listy pokrývající hladinu zabraňují světlu pronikat pro potřeby jiných živočichů. Listy kruhovitého či eliptického tvaru plavou na hladině. Jedná se např. o stulíky, lekníny, rdest zplývavý, nepukalka plovoucí.

Žáčková (2012) uvádí, že spotřeba živin vzplývavými rostlinami není příliš vysoká. Vzplývavé listy např. leknínů nelze odejmout. Tyto rostliny mají velké nároky na prostor.

- **Plavín štítnatý** (*Nymphoides peltata*) - Je vytrvalá vodní bylina mající od července až po září žluté, pětičetné květy s brvitým okrajem (Doležal 2006). Rostlina prosperující v hlubší vodě i na mělčině, má veliké žluté květy, výška 5-30 cm, potřebné rozmezí ponoření oddenku 10-30 cm, kvete červenec až září (Sedlák 2008). Je vzácný a chráněný, v ČR je hodnocen jako kriticky ohrožený druh. (Himmelhuber 2014). (Obr. 63)
- **Leknín bílý** (*Nymphaea alba*) - Listy a květ plavou na hladině. Oddenek je vsazen do květináče a umístěn na dně čistícího jezera. Leknín plní funkci spíše okrasnou (zdroj: botany.cz). (Obr. 64)



Obr. 63: Plavín štítnatý, biotop Jince, 14.9. 2016



Obr. 64: Leknín bílý, biotop Radotín., 19.6. 2018

11 Řasy a sinice

Řasy jsou považovány za předky rostlin (Baumhauer a Schmidt 2008). Jsou to fotosyntetizující organismy, které jsou důležité i z globálního hlediska. Mořské řasy jsou schopny vázat velké množství CO_2 a zároveň produkují ohromné množství kyslíku. Na řasy se v koupacích vodách pohlíží spíše negativně, jelikož jsou synonymem pro eutrofizované vody. Naopak mají



Obr.65: Řasy při podzimním maximu, biotop Radotín, 11.9. 2018

kladný vliv na hygienizaci vody. Jsou totiž přizpůsobivější než vodní rostliny, a tak jsou schopné pracovat ve větším teplotním rozmezí, obzvláště z jara a během sezóny, kdy pomalu rostoucí rostliny nestíhají asimilovat nadbytek živin. Při nadbytku řas je negativním vlivem snížení průhlednosti, a tím zabraňují pronikání slunečního záření. Nadbytečné množství řas souvisí také s vyšším výskytem planktonních organismů, které mohou mít negativní vliv na kvalitu vody.

11.1 Životní cyklus řas

Baumhauer a Schmidt (2008) uvádějí, že během roku mají řasy ve vodách několik maxim v závislosti na teplotě, sluneční intenzitě a množství dostupných živin. Ve vodách chudých na živiny mají řasy dvě roční maxima, jarní a podzimní. Ve vodách bohatých na živiny jsou roční maxima dokonce tři. K jarnímu a podzimnímu se přidá ještě letní. Řasy využívají jako primární zdroj uhlíku CO_2 . Jiné druhy mohou využívat krom CO_2 ještě HCO_3^- , což může způsobit zvýšení pH až na hodnotu 11. CO_2 však tyto řasy vstřebávají 5x rychleji než HCO_3^- . Vyšší příjem uhličitánů řasami je ve vodách bohatých na vápník. Obecný vzorec k asimilaci prvků je vyjádřen v následující rovnici (Baumhauer a Schmidt 2008):

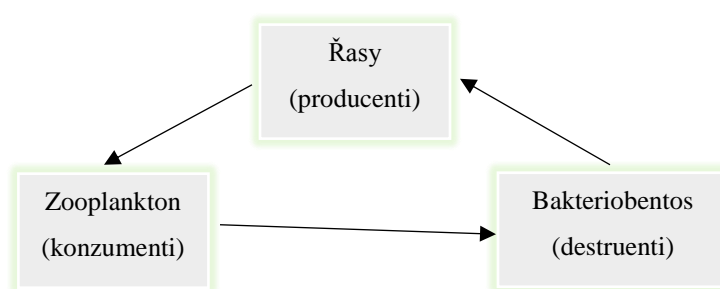
$$C : N : P \\ 130 : 15 : 1$$

Limitujícím prvkem pro růst řas není dusík, ale fosfor. Některé planktonní řasy jsou schopny ukládat fosfor i když ho zrovna nepotřebují. Optimální poměr živin přijímaný řasami je (Baumhauer a Schmidt 2008):

$C : Si : N : P$

$106 : 17 : 16 : 1$

Biomasy vytvořené řasami, jakožto producenty, jsou redukovány konzumenty. Těmi jsou především zooplanktonní organismy, např. perloočky (*Daphnia*). Po odumření sedimentují na dně a jejich těla jsou následně rozkládána destruenty. Tím se uvolňují živiny zpět do koloběhu. Vše je znázorněno na obr. 66. Proto je důležité mechanické dočišťování v podobě odstraňování nadbytečných řas, abychom si posléze ušetřili práci s méně efektivním a pracným odkalováním.



Obr.66: Koloběh živin, v němž jsou zapojeny řasy

11.2 Druhy řas

Baumhauer a Schmidt (2008) rozdělují řasy podle barvy na červené řasy (ruduchy), rozsivky a zelené řasy. Ambrožová (2003) doplňuje o obrněnky, skrytěnky, zlativky, krásnoočka a spájkivé druhy řas.

11.2.1 Červené řasy (ruduchy)

Baumhauer a Schmidt (2008) definují ruduchy jako červené řasy (*Rhodophyceae*), kterých je ve sladkých vodách cca 150 druhů (celkem cca 5500). Na světlo jsou méně náročnější než ostatní řasy. Naopak jsou závislé na trvalém ponoření, jelikož přijímají CO_2 z vody. Zástupci červených řas jsou *Batrachospermum* (žabí sémě obecně) vytvářející sliz (Ambrožová 2003) a řasy přisedlé v podobě štětín na vodních rostlinách.

11.2.2 Rozsivky

Jednobuněčné řasy vyskytující se osamoceně, nebo v koloniích. Jejich buňky jsou uzavřené v křemité schránce z oxidu křemičitého. Mezi centrické rozsivky patří

Cyclotella, *Stephanodiscus*, *Aulacoseira*, *Tabellaria*, *Diatoma*, *Asterionella* (hvězdička), *Fragilaria* (*Synedra*), *Nitzschia*, *Meridion*, *Navicula* (Ambrožová 2003).

Baumhauer a Schmidt (2008) definují rozsivky jako nenáročné řasy, které jsou rozpoznatelné dle hnědé barvy. Kvůli křemičité schránce jsou těžší než ostatní fytoplankton, a tak jsou přisedlé na površích. Rozsivky preferují tvrdou vodu s vysokým obsahem živin. Jsou dále méně závislé na fosforu a dusíku než ostatní řasy. Jejimi konzumenty jsou především šneci. Předními zástupci v biotopových koupalištích jsou *Asterionella f.*, *Synedra sp.* a *Nitzschia sp.*

11.2.3 Zelené řasy

Ambrožová (2003) dělí zelené řasy na chlamydomonády a zelenivky. **Chlamydomonády** jsou jednobuněční nebo koloniálně žijící bičíkovci. Hlavním zástupcem je rod *Chlamydomonas* (pláštěnka), žijící ve stojatých a pomalu tekoucích vodách. Druhy jako *Tetraspora*, *Pandorina*, *Volvox* tvoří sliz, kterým jsou spojeni do kolonií. **Zelenivky** jsou řasy bičíkaté, vláknité, nebo tvořící kolonie spojené slizem. Rybíky osidlují rody *Oocystis* (vejcovka), *Tetraedron* (čtyřstěnka), *Crucigenia*, *Coelastrum*, *Scenedesmus*, *Pediastrum*. Vláknití zástupci řas jsou pak rody *Microspora*, *Oedogonium* (čapkoblanka), *Stigeoclonium*, *Ulothrix* (kadeřnatka), *Cladophora* (žabí vlas).

Baumhauer a Schmidt (2008) uvádějí počet zelených řas na 500 rodů a 8000 druhů. Co do počtu se jedná o největší zástupce řas. To potvrzuje pravidlo, že když se řekne řasa, tak si každý představí právě zelené řasy. Díky fotosyntetickému pigmentu, obsahu škrobů a celulózy jsou ze všech druhů řas nejbliže rostlinám. Zelené řasy obsahují velké množství minerálů, stopových prvků i vitamínů. Zelené řasy mají nízkou hustotu, a tak se mohou vznášet ve vodním sloupci, nebo se mohou vznášet na hladině. Pro vysoký výskyt zelených řas nahrává velké množství dusíku a fosforu, obvykle ve spojení s vyšším pH a nízkými hodnotami CO₂. Jaksch (2006) však uvádí rody *Zygnema* a *Mougeotia*, které zvládají nízký obsah živin i fosforu (pod 0,01 mg/l). Zástupci zelených řas jsou podle Baumhauera a Schmidta (2008) druhy:

- *Mougeotia* podobné druhu *Zygnema*. Upřednostňuje stojaté vody s nízkým obsahem živin a dostatkem světla

- *Zygnema* jako *Mougeotia* upřednostňuje stojaté vody s nízkým obsahem živin. Její vlákna jsou měkká a slizká. Při doteku se rozpadají. Amborožová (2003) řadí řasy rodu *Zygnema* do spájivých řas.
- *Spirogyra* je plovoucí nažloutle-zelená řasa vyskytující se především na jaře. Na dotek je lepkavá a kluzká. Je indikátorem oligo-mezotrofních vod. Vyskytuje se společně s *Mougeotia* a *Zygnema*, jelikož patří do stejného rodu.
- *Cladophora crispata* je vláknitou přisedlou řasou (kameny, substrát, dno), zřídka volně plave. Její odstranění vyžaduje velké úsilí. Zvyšuje pH. Je náročná na živiny, které odebírá pro potřeby rostlin a jiných řas.

11.2.4 Opatření proti řasám

Nadměrný růst zelených řas způsobuje dle Bauhauera a Schmidta (2008) přebytek živin, vysoká intenzita slunečního záření, vysoká teplota vody i vzduchu, málo konkurenceschopných a aktivních rostlin, vysoké pH a nízký obsah kyslíku. Společně s chlorem se v chemických bazénech využívají k jejich odstranění algicidní látky, jako je hliník, měď, nebo přípravky obsahující síru (např. síran měďnatý). Tato opatření se ale nedají využít v biotopových koupalištích vzhledem k jejich destrukčním dopadům na rostliny a mikroorganismy. Proto je důležité zaměřit se na příčinu jejich vzniku, a tedy na zamezení přebytečného vstupu živin do vody (spad listí, exkrementy kachen, krmení kachen) a na pravidelné mechanické dočišťování (odstraňování řas, vysávání sedimentů). Využit se dá také přírodě blízkých opatření v podobě jiných producentů, jako je např. zastínění pomocí plovoucích rostlin (leknínů). Daleko efektivnější je ale využití submerzních plovoucích rostlin, které se vyznačují intenzivním růstem a spotřebováváním velkého množství živin. Tyto rostliny zároveň řasám stíní a vytváří vlastní toxiny škodící jak řasám, tak i sinicím. Jedná se například o rdesty (*Potamogeton*), nebo vodní mor (*Elodea*). Z konzumentů jsou největším spojencem hlemýždi odstraňující řasu z povrchů, nebo také zooplankton (např. perloočka). Negativní vliv na řasu má měkká voda (déšť). Dobré je podle Taubnera (2003) upřednostnit rozsivky, které jsou největšími konkurenty zelených řas.

11.2.5 Další druhy řas

Ambrožová (2003) uvádí další druhy řas.

- **Obrněnky** - Jedná se o bičíkovce. V našich vodách mezi ně patří rody *Peridinium* (pancířnatka), *Ceratium* (růžkatka) a *Gymnodinium*.
- **Skrytěnky** - Bičíkovci vyskytující se hlavně z jara v údolních nádržích a rybnících. Jsou důležitou potravou pro zooplankton. Podle barvy se rozdělují na rody. *Chilomonas* (bezbarvé), *Rhodomonas* (červené), *Chroomonas* (modrozelené) a *Cryptomonas* (hnědé).
- **Zlativky** - Jednobuněčné organismy, které pro svůj růst využívají organický dusík a uhlík. Vyznačují se také nadměrnou spotřebou fosforečnanů, které v sobě hromadí pro případ, kdy v prostředí chybí. Zbarvení je zlatožluté, žlutohnědé, hnědé až olivově zelené. Lze si je splést se zelenými řasami. Zástupci zlativek jsou rody *Chrysococcus* (zlatozrnko), *Dinobryon*, *Synura*, *Mallomonas*, *Uroglena*. Přemnožení zlativek má za následek nepříjemný zápach po rybím tuku. Vyskytují se na blance vodní hladiny, nebo osidlují vláknité řasy (rod *Epipyxis*).
- **Krásnoočka** - Volně žijící jednobuněční bičíkovci. Vyskytují se v silně eutrofizovaných vodách.
- **Spájkivé řasy** - Jsou jednobuněčné nebo vláknité. Žijí pouze ve sladkých vodách, nejhojněji pak v rašeliništních tůních, kde je nízké pH. Zástupci spájkivé řasy jsou *Spirogyra* (šroubatka), *Zygnema* (jařmatka), *Mougeotia* (deskovka), *Closterium*, *Penium* (vřetenovka), *Cosmarium*, *Euastrum*, *Micrasterias*, *Staurastrum*.

12 Metodika laboratorní práce a vlastní výzkum

Pro potřeby laboratorní části diplomové práce bylo biotopové koupaliště Radotín v roce 2018 pravidelně navštěvováno a pozorováno. Při každé návštěvě byly odebrány vzorky. Byla také provedena terénní měření a důkladná fotodokumentace. Celkem bylo odebráno 128 vzorků (obr. 67) a pořízeno na 1000 fotografií. Stěžejní pak byla analýza vzorků v hydrochemické laboratoři FŽP



Obr.67: Polovina odebraných vzorků před analýzou, foto autor

ČZU, kde jsem pod vedením Ing. Vladimíry Belušové zjišťoval nejdůležitější ukazatele vody. Odebrané vzorky byly podrobeny analýze za účelem získání důležitých biogenních prvků. Nejstěžejnějšími pak byly dusík, uhlík a fosfor. Vzhledem k technologickým možnostem jsme zjišťovali daleko více ukazatelů, jako sírany, chloridy, bromidy.

12.1 Způsob vzorkování

Vzorky byly odebrány do sterilních 100 ml lahviček. Odběrovým nástrojem se stala 250 ml PET láhev na dlouhé násadě, jejíž úzké hrdlo umožňovalo odběr z požadované hloubky. Z každého odběru a reprezentativního místa (začátek, konec a molo) byly odebrány vždy dvě lahvičky. Jedna byla zamrazena, druhá zafixována kyselinou sírovou (H_2SO_4 , koncentrace 1:4), která byla uskladněna v temném místě. Z každého odběru bylo odebráno 6 lahviček (tři místa odběru a z každého se jeden vzorek zamrazil druhý fixoval).

12.1.1 Četnost vzorkování

Bylo odebráno na 128 vzorků s pravidelným časovým odstupem. Na jaře a na podzim byl interval odběru ob týden, během sezóny pak každý týden, jelikož se dá předpokládat větší proměnlivost hodnot v důsledku odlišného zatížení koupaliště.

Odběry se uskutečnily v těchto dnech:

14.3.2018	27.3.2018	14.4.2018	26.4.2018	2.5.2018	4.5.2018
11.5.2018	14.5.2018	25.5.2018	1.6.2018	14.6.2018	19.6.2018
25.6.2018	2.7.2018	9.7.2018	20.7.2018	4.8.2018	14.8.2018
26.8.2018	2.9.2018	5.9.2018	11.9.2018	20.9.2018	27.9.2018
11.10.2018					

12.1.2 Místo a hloubka vzorkování

Všechny vzorky byly odebrány ze stejných míst a relativně stejné hloubky (obr. 68). V regeneračním jezeře byla místa odběru dvě. Jednalo se o místa označována jako začátek (1) a konec (2). Rozdíl mezi těmito dvěma hodnotami odpovídá čistící schopnosti čistícího jezera. V průběhu sezóny se přidalo ještě třetí odběrné místo v koupacím jezeře, označované jako molo (3). Zároveň byly několikrát odebrány vzorky vody ze studny na jejím přítoku do čistícího jezera. Jednou byl odebrán vzorek z nedaleké řeky Berounky pro porovnání vody z vrtu.



Obr. 68: Místa pravidelných odběrů (mapa ČÚZK, upravil autor).
1=ZAČÁTEK, 2=KONEC, 3=MOLO

První odběr se uskutečnil 14.3. 2018, a to pouze z místa označovaného jako konec. Při prvních odběrech nebyla totiž ještě jezera (koupací a čistící) propojena cirkulačním systémem. Daly se tak předpokládat stejné hodnoty po celém čistícím jezeře. Odběrné místo konec se nachází u přepadu do koupacího jezera. Voda zde opouští čistící jezero a dá se předpokládat, že jezero využilo všechnen svůj čistící potenciál. Hloubka zde dosahuje cca 120 cm a je zde také umístěna výpusť jezera. Vzorky zde byly odebírány z hloubky cca 70 cm.

Po spuštění cirkulačního systému a propojení obou jezer se přidalo druhé odběrné místo označované jako začátek. První odběr z toho místa se uskutečnil 26.4. 2018. Toto místo reprezentuje hodnoty vstupní vody do čistícího jezera, která pochází z koupacího jezera a zároveň reprezentuje hodnoty vody před počátkem čištění. Dá se zde předpokládat začátek čistících procesů. V tomto místě se však prolínají dva druhy vody. První je voda přečerpávaná z koupacího jezera a druhá je voda čerpaná ze studny pro účely dopouštění. Voda ze studny není navíc čerpána stále nebo pravidelně. Záleží na ztrátě vody z biotopového koupaliště a podle toho se řídí dopouštění. Tyto dvě vody mají zcela odlišné složení. Bylo tedy nutné zvolit místo odběru o něco dále, kde se dá předpokládat smísení obou vod. Konkrétním místem odběrů začátek se rozumí místo naproti druhé hrázce (počítáno od konce). Hloubka zde dosahuje cca 70 cm. Vzorky zde byly odebírány

v hloubce cca 40 cm. Rozdíl vzorků začátek a konec vyjadřuje čistící schopnost a účinnost regeneračního jezera.

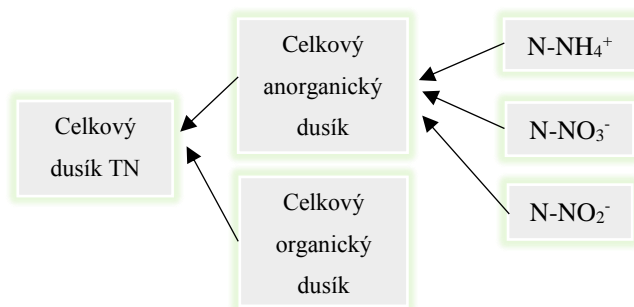
25.6. 2018 se jako třetím odběrným místem stalo molo v koupacím jezeře. Hloubka je zde cca 3 metry. Vzorky byly odebrány ze střední hloubky, cca 1,5 metru pod hladinou. Při porovnání vzorků molo a začátek se dá vyvodit, k jakým změnám ve vodě dochází během cesty z koupacího do čistícího jezera. Také se dá posoudit rozdíl mezi vyčištěnou vodou, která opouští čistící jezero a vodou v koupacím jezeře.

12.2 Zjišťované parametry vody

Prioritně jsem se zaměřil na nejdůležitější biogenní faktory, které podmiňují vývoj mikrofyt a makrofyt, stejně jako jiných organismů a mikroorganismů. Jsou to formy dusíku (TN), uhlíku (TC) a fosforu (TP) (TN/TC vzorky zmrazeny). Jelikož technické vybavení laboratoře umožňovalo zjištění i dalších ukazatelů během vyhodnocování, zaměřil jsem se doplňkově i na sírany, bromidy a chloridy.

12.2.1 Formy dusíku

Byly zjišťovány hodnoty celkového dusíku (TN) (obr. 69) a amoniakálního dusíku (N-NH_4^+), dále pak dusičnany (NO_3^-) a dusitany (NO_2^-). Přepočtem se odvodily další parametry, jako amonné ionty (NH_4^+), dusičnanový dusík (N-NO_3^-), dusitanový dusík (N-NO_2^-), celkový anorganický dusík (TIN) a celkový organický dusík (TON).



Obr. 69: Rozdělení dusíkatých látek

Celkový dusík (TN) je ukazatel pro sledování kvality podpovrchových a povrchových vod. Je to součet všech forem organicky (TON) a anorganicky (TIN) vázaného dusíku. Mezi všemi formami dusíku se udržuje rovnováha, ve které působí bakterie, příjem a uvolňování z organismů a výměna mezi sedimenty a vodním sloupcem. Dusík není limitující, ale jeho snížená koncentrace souvisí s vyšším výskytem fytoplanktonu.

Celkový dusík společně s celkovým fosforem způsobují eutrofizaci vod, kdy dochází k přemnožení řas a sinic a následné snížené koncentraci rozpuštěného kyslíku ve vodním prostředí (Ambrožová 2003). Celkový dusík byl měřen spalovací metodou s detekcí v ND (chemiluminiscenčním) detektoru na přístroji firmy Skalar TC/TN Formacs^{HT}.

Amonné ionty (NH_4^+), jinak také amoniak, jsou produktem rozkladu organických dusíkatých látek. Tyto látky mohou mít živočišný i rostlinný původ. Nadbytek amoniaku může značit sníženou aktivitu destruentů (nitrifikačních a nitratačních bakterií), nebo také nadměrné odumírání producentů. Amoniak vznikne přepočtem z amoniakálního dusíku (N-NH_4^+).

Dusitany (NO_2^-) vznikají z amoniaku aktivitou nitrifikačních bakterií v aerobním prostředí. Při nitrifikaci dusitanů vznikají dusičnany. Zvýšené množství dusitanů může značit zvýšenou aktivitu nitrifikačních bakterií, nebo naopak sníženou aktivitu denitrifikačních bakterií. Z dusitanů (NO_2^-) vznikne přepočtem dusitanový dusík (N-NO_2^-), který je součástí pro výpočet celkového anorganického dusíku.

Dusičnany (NO_3^-) jsou konečným produktem rozkladu dusíkatých organických látek. Dusičnany vznikají z dusitanů aktivitou denitrifikačních bakterií v anaerobním prostředí. Při denitrifikaci dusičnanů vzniká plynný dusík (N_2). Zvýšené množství dusičnanů může značit značnou aktivitu denitrifikačních bakterií, nebo sníženou aktivitu producentů. Z dusičnanu (NO_3^-) vznikne přepočtem dusičnanový dusík (N-NO_3^-) který je součástí pro výpočet anorganického dusíku.

Anorganický dusík (TIN) se skládá z amoniakálního (N-NH_4^+), dusičnanového (N-NO_3^-) a dusitanového (N-NO_2^-) dusíku (obr. 69). Jedná se o dusík, který je připraven k asimilaci producentů. Jeho zvýšené množství značí sníženou aktivitu producentů.

Organický dusík (TON) je dusík vázaný v organismech živočichů a rostlin.

12.2.2 Formy uhlíku

Byly zjišťovány hodnoty celkového uhlíku (TC) a organického uhlíku (TOC) pomocí spalovací metody s detekcí IČ spektra na přístroji firmy Skalar TC/TN Formacs^{HT} (obr. 70). Odečtem organického uhlíku od celkového uhlíku vznikly hodnoty anorganického uhlíku (TIC).



Obr. 70.: Skalar TC/TN Formacs^{HT}, foto získáno od Ing. Vladimíry Belušové

Anorganickou formu uhlíku využívají producenti (řasy, rostliny) při tvorbě své biomasy. Tito producenti přeměňují za pomoci fotosyntézy anorganický uhlík na organický, vedlejším produktem je kyslík. Organickou formu uhlíku využívají heterotrofní organismy (konzumenti), neboli organismy živící se producenty. Při asimilaci organického uhlíku a kyslíku vzniká oxid uhličitý (Ambrožová 2003).

Nadbytek anorganického uhlíku lze vyhodnotit jako nízkou aktivitu producentů (řas a rostlin). Naopak nízké hodnoty jako jejich vysokou aktivitu.

12.2.3 Formy fosforu

Byly zjišťovány hodnoty celkového fosforu (TP) a hodnoty ortofosforečnanů. Vzorky pro analýzu TP byly zafixovány kyselinou sírovou H₂SO₄ (1:4) a následně podrobeny spektrometrické metodě.

Celkový fosfor TP se skládá z anorganického a organického fosforu. Anorganický fosfor se ve vodách vyskytuje převážně ve formě fosforečnanu železitého (FePO₄), který vzniká po odumření producentů. Organický fosfor je fosfor vázaný v organismech rostlin a živočichů. Vysoké hodnoty celkového fosforu mohou značit značné zatížení vody, nebo špatnou funkci producentů. Při vysokých hodnotách celkového fosforu lze očekávat intenzivní rozvoj řas. Jeho nízké hodnoty naopak malý znečištění, nebo vysokou aktivitu producentů.

Ortofosforečnany (o-PO₄³⁻) jsou anorganickou formou fosforu, která je vázána v organismech rostlin a živočichů. Vzorky pro analýzu ortofosforečnanů byly uchovávány zamražené a při jejich vyhodnocování v rozmraženém stavu byly podrobeny metodě iontové chromatografie.

12.2.4 Ostatní hodnoty

Při vyhodnocování hlavních biogenních činitelů jsme se zaměřili také na chloridy (Cl^-), bromidy (Br^-) a sírany (SO_4^{2-}). Zvýšený výskyt síranů značí antropogenní znečištění, nebo dřívější ekologické zátěže. V každém ze vzorků bylo zároveň měřeno pH.

12.3 Způsob vyhodnocování

K vyhodnocení byla využita spektrofotometrická metoda a metoda iontové chromatografie. Vzorky pro spektrofotometrickou metodu byly zafixovány kyselinou sírovou (H_2SO_4 , koncentrace 1:4). Jedná se například o zjišťování hodnot celkového fosforu.

K zjištění celkového fosforu byla třeba časově náročná metoda. Nejprve bylo nutné připravit roztok skládající se z přesného poměru vzorku, činidla a destilované vody. Tento roztok se posléze přivedl k varu a nechal se vařit 30 minut za stálého dolévání destilované vody pro udržení požadovaného objemu (Obr. 71). Po vychladnutí se do vzorků přidala dvě činidla, která způsobila vybarvení do 15 minut. Takto vybarvený roztok se posléze vkládal do spektrometru. Došlo pouze k minimálnímu vybarvení vzhledem k minimálním koncentracím fosforu pod měřitelnou hodnotou.

Metoda pro zjišťování hodnot amoniakálního dusíku byla oproti celkovému fosforu jednodušší. Vzorky byly skladovány zmrazené a při vyhodnocování se jednalo pouze o přidání činidla, kdy následně došlo po 1 hodině k vybarvení (Obr. 72). Vybarvené vzorky byly měřeny ve spektrometru (obr.73).



Obr. 71: Vaření roztoku pro zjištění celkového fosforu, foto autor



Obr. 72: Vybarvování vzorků pro analýzu amoniakálního dusíku, foto autor



Obr. 73: spektrometr v laboratoři FŽP ČZU, foto autor

Iontovou chromatografií (obr. 74) byly analyzovány dusičnany, dusitany, chloridy, fluoridy, bromidy a sírany. Celkový dusík, celkový uhlík a celkový organický uhlík byl měřen spalovací metodou na přístroji TC/TN Formacs^{HT} firmy Skalar.



Obr. 74: Přístroj pro iontová chromatografii, foto autor

12.4 Terénní měření

Pomocí oxymetru byly měřeny koncentrace rozpuštěného kyslíku na mnoha místech v čistícím, ale také koupacím jezeře. Tyto hodnoty nebyly použity v práci. Bylo také zjišťováno pH.

12.5 Poskytnutá data

Bylo také pracováno s hydrometeorologickými daty, která jsou volně dostupná na portálu Českého hydrometeorologického úřadu, dále jen ČHMÚ (příloha 11). Použitá data jsou z nejbližší stanice Libuš, která kromě jiných hodnot měří také dobu slunečního svitu. Od provozovatele koupaliště byly také získány výsledky z hygienických kontrol (příloha 12). Data o návštěvnosti se kvůli technickým problémům nepodařilo od provozovatele koupaliště získat. Tržby získané na koupališti však částečně nahrazují průběh návštěvnosti (příloha 13, graf tržby biotopu Radotín pro odhad návštěvnosti). Od Ing. Pavla Rady byla získána data o množství odebraného kalu z čistícího jezera (příloha 13, graf odhad množství odebraného kalu). Toto množství je však pouze odhad založený na počtu naplněných kádí. Jedna kád' obsahuje cca 90 kg (ústní sdělení Ing. Pavla Rady). K přesnému určení hmotnosti kalu v kádí je nutné určit hmotnost vysušeného kalu bez příměsi vody, či vlhkosti. Atelier Schlitz s.r.o. poskytl hydrogeologický průzkum, který se uskutečnil v roce 2011 (příloha č. 4).

13 Výsledky a vyhodnocení

13.1 Metodika zpracování výsledků

K sestavení vyhodnocení bylo použito výsledků laboratorních analýz, které jsou označovány čísly přiřazených v laboratoři (kap. 18., příloha č. 6, 7, 8, 9 a 10) a terénního měření v kombinaci s poskytnutými daty od ČHMÚ (přílohy č. 11 a 12), hygienické stanice (příloha č. 13), podkladů od Atelier Schlitz (příloha 4 a 5) a důkladné fotodokumentace (kap. 19, obr. 75-149).

Pro prezentaci výsledků z jednotlivých odběrů je sestavena jednotná osnova.

- Vizualní vjem posouzený pomocí pořízených fotografií a poznámek. Tato pozorování jsou porovnána s pozorováním předchozím. Tím se dají zjistit změny, které v čistícím jezeře nastaly. Vzhledem k malé hloubce čistícího jezera postrádalo smysl měření průhlednosti. Je proto důležité definovat vlastní stupnici zakalení vody (1 - voda bez zakalení, voda je průzračná, 2 – voda je mírně zakalená, 3 – voda je zakalená.)
- Porovnání průměrných meteorologických podmínek týden před odběrem (průměrný denní sluneční svit, průměrné teploty vzduchu, maximální teploty vzduchu). Následuje souhrn změn v počasí, které se udály od posledního pozorování. Bylo tepleji, chladněji apod.

Při zpracování meteorologických dat bylo nutné zapojit do vyhodnocení dlouhodobé počasí před odběrem. Pokud by se pracovalo pouze s počasím v den odběru, vedlo by to k matení výsledků. Meteorologická data (doba denního svitu, maximální a průměrné denní teploty) tedy byly do výsledků zapojeny pomocí zprůměrování sedmi dní před odběrem.

- Výsledky laboratorně zjištěných parametrů vody s odkazem na přílohu č. 6, popřípadě grafy. Hodnoty se porovnávají s odběrem minulým a také s ostatními parametry z téhož dne, akorát jiného místa (např. začátek vs. konec). První se porovnávají hodnoty vstupní vody do čistícího jezera z aktuálního a předcházejícího odběru. Jako druhé se porovnají rozdíly mezi vzorky ze začátku a z konce čistícího jezera. Tím se zjistí účinnost čištění, a tím i jaká voda odtéká do koupacího jezera. Následuje porovnání s předchozím odběrem, aby se dalo určit, jestli čistící jezero odbourává

živiny efektivněji při předchozím pozorování apod. Jako poslední bod můžou být zmíněny vzorky, které se nesbíraly pravidelně. Nebo zde mohou být uvedena jiná, doplňková data jako třeba množství odebraného kalu, výsledky z hygienické zkoušky apod. Pro označování forem dusíku, uhlíku a fosforu jsou zde využívány zkratky (viz. kapitola 12.2). Jednotlivé vzorky jsou označovány dle čísel přidělených v laboratoři. Je tedy možné je zpětně dohledat.

Množství odstraněného kalu z čistícího jezera bylo do výsledků zapojeno součtem odstraněného kalu mezi jednotlivými odběry.

13.2 Výsledky

Odběr vzorků a pozorování 14.3. 2018

Po zimě se na dně čistícího jezera nachází značné množství sedimentů. Intenzivně se odkaluje. Na začátku čistícího jezera je mírné zakalení, pravděpodobně způsobené zviřením sedimentů při odkalování. Konec jezera bez zakalení (obr. 76).

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 2,9 hod., průměrná denní teplota 7 °C, maximální denní teplota v průměru 11,5 °C.

Byl uskutečněn jediný odběr, a to na konci čistícího jezera (vzorek č. 351). Zvláštností je hodnota celkového fosforu 0,32 mg/l, což je nejvyšší naměřená hodnota za celé období. Zvláštní je také abnormálně zvýšený obsah síranů ve vzorku, který činí 233 mg/l, což je v povrchových vodách neobvyklé.

Odběr vzorků 27.3. 2018

Fotografie ze dne 27.3. 2018 nevznikly.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 3,6 hod., průměrná denní teplota vzduchu 1,8 °C, maximální denní teplota v průměru 5,7 °C. Sluneční svit se tedy zvýšil v průměru o jednu hodinu, ale razantně se ochladilo.

Po zimě se začalo s doplňováním vody ze studny do koupacího jezera. Voda ze studny však musí protéct přes čistící jezero. Proto byly uskutečněny dva odběry, ze studny

(č. 352) a konce čistícího jezera (č. 352). Vzorek z konce jezera vykazuje zlepšení od posledního odběru v celkovém fosforu (který je o 100 % nižší, tedy 0,03 mg/l) a v organickém uhlíku, který klesl zhruba o třetinu. Organický dusík zůstal na stejné hodnotě. Ostatní hodnoty vykazují mírné zvýšení, zejména u dusitanů, celkového uhlíku a anorganického uhlíku. Vzorek ze studny obsahuje zhruba dvojnásobné koncentrace všech anorganických složek dusíku, uhlíku a celkového fosforu než v samotném čistícím jezeře. Výjimkou je amoniak, který je stejný v obou vzorcích. Po odběru ze studny je již zcela zřejmý původ abnormálně vysoké hodnoty síranů ve vodě biotopu ($\text{SO}_4^{2-} = 244 \text{ mg/l}$).

Odběr vzorků a pozorování 14.4. 2018

Voda stále průzračná. Zpozorovány první řasy. Tvoří se bílá pěna na hladině u vtoku do regeneračního jezera. Rostliny vykazují přírůstek biomasy (obr.77).

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 7,5 hod., průměrná denní teplota 13,7 °C, maximální denní teplota v průměru 20,3 °C. Slunečního svitu je oproti minulému pozorování dvakrát více, navíc se zřetelně oteplilo.

Po dopuštění koupacího jezera se spustil cirkulační systém. Od tohoto odběru se dá sledovat účinnost čištění v čistícím jezeře. Byly uskutečněny dva odběry. Vzorek konec (č. 278) vykazuje oproti poslednímu odběru pětinasobně menší koncentrace TIN (zejména u dusitanů), ale naopak sedminásobné zvýšení TON. Z uhlíků se zvýšil pouze TOC. TIC a TOC jsou zhruba na stejné koncentraci. Vzorek začátek (č. 277) vykazuje oproti vzorku ze studny z minulého odběru pětinasobné množství TON, naopak ale pětinasobně menší koncentrace TIN. TC je o polovinu menší. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 283 a č. 284) změnilo tyto parametry vody: Mírné zvýšení TN, TON a TOC. Naopak snížení TIN (zejména amoniaku a dusičnanů), TC a TIC. Od tohoto dne začínají data o odkalování. V dnech před odběrem bylo odkaleno cca 900 kg kalu.

Odběr vzorků a pozorování 26.4. 2018

Voda bez známek zakalení, průzračná. Lze již pozorovat start růstu rostlin (obr. 78). Na odkaleném dně se začíná objevovat řasa. Oproti minulému pozorování je zřetelný přírůstek biomasy rostlin.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 9,2 hod., průměrná denní teplota vzduchu 16,8 °C, maximální denní teplota v průměru 23,6 °C. Oproti předchozímu pozorování se tedy sluneční svit zvýšil o jednu hodinu a mírně se také oteplilo v obou aspektech teplot. Vzorek začátek (č. 279) vykazuje oproti minulému odběru nepatrné zvýšení TIN (amoniak a dusičnany) a zvýšení všech forem uhlíku (TC, TIC, TOC). Vzorek konec (č. 280) vykazuje oproti minulému odběru z tohoto místa zvýšení TIN a snížení TON. Formy uhlíků zůstávají zhruba beze změny. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 279 a č. 280) změnilo tyto parametry vody: Mírné zvýšení TN, TIN a TON. Naopak mírné snížení všech forem uhlíku (TC, TIC, TOC).

Odběr vzorků a pozorování 2.5. 2018

Voda v čistícím jezeře stále bez zakalení s vynikající průzračností (obr.79). Na hladině se začínají objevovat řasy (obr. 80) a pod hladinou začíná bujít parožnatka (*Chara sp.*). Filtrační substrát mezi čistícím a koupacím jezerem je značně pokryt řasou. Rostliny vykazují oproti minulému pozorování mírné zvýšení biomasy.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 8,8 hod., průměrná denní teplota vzduchu 15,5 °C, maximální denní teplota v průměru 22,2 °C. Oproti předchozímu pozorování se tedy průměrné hodnoty mírně snížily ve všech aspektech.

Vzorek začátek (č. 354) vykazuje oproti poslednímu odběru snížení všech forem dusíku. Vzrostl amoniak. Klesly také koncentrace TC, TIC, ale TOC mírně vzrostl. TP je zde 0,07 mg/l. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 354 a č. 355) změnilo tyto parametry vody: TN stejné, snížení TIN a TON. Koncentrace amoniaku klesla zhruba na polovinu. Snížily se také všechny koncentrace uhlíku. TP se snížil na 0,05 mg/l. V dnech před odběrem bylo vytěženo cca 3140 kg kalu.

Odběr vzorků 4.5. 2018

Fotografie z odběru z 4.5. 2018 nevznikly

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 8,8 hod., průměrná denní teplota vzduchu

16,1 °C, maximální denní teplota v průměru 22,5 °C. Oproti předchozímu pozorování je sluneční svit stejný, ale mírně se oteplilo.

Vzorek začátek (č. 281) vykazuje oproti poslednímu odběru vzrůst TON zhruba o třetinu. Amoniak klesl na polovinu. Všechny formy uhlíku vykazují také snížení kromě TOC. Na začátku byla zjištěna koncentrace TP 5,12 mg/l. To bylo nejspíše zapříčiněno zvířením sedimentů při odkalování v tomto místě. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 281 a č. 282) změnilo tyto parametry vody: Snížení amoniaku, všech forem uhlíku (TC, TIC, TOC) a TP na 0,05 mg/l. Naopak se mírně zvýšily dusičnany. Zajímavostí je znatelné zvýšení síranů. V dnech před odběrem bylo odkaleno cca 500 kg kalu.

Odběr vzorků a pozorování 11.5. 2018

Průhlednost vody se oproti předminulému pozorování (2.5. 2018) znatelně zhoršila, voda je zakalená (Obr. 81, 82). Parožnatka se společně s řasami intenzivně rozrůstá. V místě vstupu vody do čistícího jezera se tvoří bílá pěna ve větším množství než u předchozího pozorování. Filtrační substrát mezi čistícím a koupacím jezerem stále pokrývá řasa.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 10,3 hod., průměrná denní teplota vzduchu 17,11 °C, maximální denní teplota v průměru 23,1 °C. Oproti předchozímu pozorování se zvýšila průměrná doba slunečního svitu o dvě hodiny. Průměrné a maximální teploty vzrostly cca o 1 °C.

Vzorek začátek (č. 356) vykazuje oproti poslednímu odběru trojnásobné zvýšení amoniaku a patnáctinásobné zvýšení dusitanů. Naopak dusičnany klesly 10x. Formy uhlíku zůstávají bez znatelné změny. TP je zde 0,12 mg/l. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 356 a č. 357) změnilo tyto parametry vody: Snížení amoniaku o dvě třetiny a zvýšení dusičnanů. Jiné formy dusíku a uhlíku zůstávají bez znatelné změny. Klesl také TP na koncentraci 0,05 mg/l. V dnech před odběrem bylo vytěženo cca 900 kg kalu.

Odběr vzorků a pozorování 14.5. 2018

Zakalení vody oproti minulému mírně zlepšené. Vyskytuje se vyšší množství řas a přistupuje se k jejich mechanické odstraňování (obr. č. 84, 85, 86 a 87). Filtrační substrát mezi čistícím a koupacím jezerem stále pokrývá řasa.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 9,9 hod., průměrná denní teplota vzduchu 18,4 °C, maximální denní teplota v průměru 24,5 °C. Oproti předchozímu pozorování se průměrný denní svit zvýšil o jednu hodinu, stejně tak jako průměrná i maximální denní teplota o cca 2 °C.

Vzorek začátek (č. 283) vykazuje oproti poslednímu odběru čtyřnásobné zvýšení TIN. Vzrostly především dusičnany. TP klesl na 0,03 mg/l. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 283 a č. 284) změnilo tyto parametry vody: Snížení amoniaku o dvě třetiny a zvýšení dusičnanů. Jiné formy dusíku a uhlíku zůstávají bez znatelné změny. Zvýšil se TP na 0,04 mg/l.

Odběr vzorků 25.5. 2018

Fotografie nebyly pořízeny.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 10,2 hod., průměrná denní teplota vzduchu 17,6 °C, maximální denní teplota v průměru 23,5 °C. Oproti předchozímu pozorování se průměrný denní svit nepatrně zvýšil, naopak se téměř neznatelně snížily průměrné denní i maximální teploty.

Vzorek začátek (č. 359) vykazuje oproti poslednímu odběru snížení všech forem dusíku (TN, TIN, TON) a uhlíků (TC, TIC, TOC). Klesl také TP. Mnohonásobně však vzrostla koncentrace dusitanů. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 359 a č. 360) změnilo tyto parametry vody: Malý pokles všech dusíků a také uhlíků. TP vzrostl na 0,1 mg/l. V dnech před odběrem bylo odkaleno cca 200 kg kalu.

Odběr vzorků a pozorování 1.6. 2018

Oproti předminulému pozorování (14.5.) znatelné zlepšení průhlednosti vody. Řas je však větší množství (obr. č. 88,89, 90). Filtrační substrát je již bez řas.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 8,9 hod., průměrná denní teplota vzduchu 22,0 °C, maximální denní teplota v průměru 28,4 °C. Oproti předchozímu pozorování se průměrný denní svit snížil o jednu hodinu. Na druhou stranu se ale oteplilo o cca 4 °C v průměrných i maximálních denních teplotách vzduchu.

Vzorek začátek (č. 361) vykazuje oproti poslednímu odběru zvýšení vše forem dusíku. Zvýšily se dusičnany, dusitany naopak poklesly. TP minimálně vzrostl. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 361 a č. 362) změnilo tyto parametry vody: Nepatrné snížení TN a TON. Zvýšení TIN. Vzrůst dusičnanů, pokles dusitanů až na hodnotu 0 mg/l. Došlo k nepatrnému vzrůstu vše forem uhlíku a navýšení TP z 0,01 na 0,05 mg/l. V dnech před odběrem bylo vytěženo cca 700 kg kalu.

Odběr vzorků a pozorování 4.6. 2018

Řasy pod hladinou ztratily zelenou barvu, nyní jsou hnědé (obr. 91). Na hladině plavou kusy odumřelých rozkládajících se řas (obr. 92). Značné zakalení vody po celém čistícím jezeře, včetně jeho konce (obr. 93).

Meteorologická data nejsou pro toto pozorování zpracována. V tomto dni nebyly vzorky odebrány. Bylo provedeno pouze pozorování.

Dle dat z hygienického měření (příloha č. 12) byla průhlednost vody nejmenší za celou sezónu 2018, a to 1,35 m. Průhlednost jinak průměrně dosahovala 1,75 m.

Odběr vzorků a pozorování 14.6. 2018

Zakalení se snížilo. Je však značně pozorovatelné na začátku čistícího jezera (obr. 94). Postupem ke konci jezera se však voda vyjasňuje (obr. 95 a 96). Na dně jasné stopy po intenzivním odkalování. Parožnatka vykazuje intenzivní růst. Stejně tak rostliny vytvořily neuvěřitelné množství biomasy.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 5,5 hod., průměrná denní teplota vzduchu 19,9 °C, maximální denní teplota v průměru 26,0 °C. Oproti předchozímu pozorování (1.6. 2018) se průměrný denní svit snížil zhruba o polovinu. Nastalo také mírné ochlazení o cca 2 °C v průměrných i maximálních denních teplotách vzduchu.

Vzorek začátek (č. 371) vykazuje oproti poslednímu odběru zvýšení všech forem dusíku, především amoniaku a dusičnanů. Dusitany mírně poklesly. Vyrůst všech forem uhlíku. Nejvíce TOC, a to o dvojnásobek. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 371 a č. 372) změnilo tyto parametry vody: Pokles TN a TON. TIN nepatrně vzrostl. Přibýly zejména dusitany. Všechny formy uhlíku velký pokles. V dnech před odběrem bylo odkaleno cca 2000 kg kalu.

Odběr vzorků a pozorování 19.6. 2018

Mírné zakalení na začátku čistícího jezera stále přetrvává (obr. 97). Voda je po zbytek jezera zcela průzračná a bez větší koncentrace řas (obr. 98). Biomasa rostlin má velmi intenzivní růst (obr. 99).

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 6,6 hod., průměrná denní teplota vzduchu 18,5 °C, maximální denní teplota v průměru 23,6 °C. Oproti předchozímu pozorování se průměrný denní svit zvýšil o jednu hodinu. Na druhou stranu se ale znovu ochladilo v průměrných i maximálních denních teplotách vzduchu.

Vzorek začátek (č. 363) vykazuje oproti poslednímu odběru snížení všech forem dusíku, krom dusitanů, které vzrostly šestinásobně. Pokles je také u všech forem uhlíku. TP mírně vzrostl. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 363 a č. 364) změnilo tyto parametry vody: Pokles TN, TON. Zvýšení TIN, především dusičnanů. Pak mírné zvýšení TIC a velké snížení TOC. TC nepatrně poklesl. TP je na stejné koncentraci. V dnech před odběrem bylo odkaleno cca 1300 kg kalu.

Odběr vzorků a pozorování 25.6. 2018

Voda průzračná po celém čistícím jezeře bez menších známek zakalení (obr. 100 a 101). Řasy se již vyskytují zcela minimálně. Od posledního pozorování je také znatelný velký přírůstek vegetační hmoty rostlin (obr. 102).

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 5,5 hod., průměrná denní teplota vzduchu 17,3 °C, maximální denní teplota v průměru 22,5 °C. Oproti předchozímu pozorování

se průměrný denní svit snížil o jednu hodinu. Ochladilo se také v průměrných i maximálních denních teplotách vzduchu o 1 °C.

Vzorek začátek (č. 285) vykazuje oproti poslednímu odběru vzrůst TOC i TIN (především dusičnany, pokles v dusitanech je velký). Zvýšil se také TIC zhruba o dvojnásobek a mírně poklesl TOC. TP se zvýšil na 0,07 mg/l. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 285 a č. 286) změnilo tyto parametry vody: Snížení TN, TIN i TON. Vzrostl však amoniak. Dále pak mírný pokles všech forem uhlíku i TP. Prvně byl odebrán vzorek z koupacího jezera v místě označovaném jako molo (vzorek č. 287). Ten oproti vodě na začátku čistícího jezera má všechny koncentrace nepatrně nižší. Krom amoniaku, ten je zde dvojnásobný.

Dle dat z hygienického měření (příloha č. 12) dosáhly k tomuto dni mikrobiální ukazatelé znečištění nejvyšší hodnoty za celou sezónu 2018.

Odběr vzorků 2.7. 2018

Fotografie z tohoto pozorování nevznikly.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 8,7 hod., průměrná denní teplota vzduchu 17,6 °C, maximální denní teplota v průměru 22,6 °C. Oproti předchozímu pozorování se průměrný denní svit zvýšil o dvě hodiny. Průměrné, ani maximální denní teploty vzduchu se nezměnily.

Vzorek začátek (č. 603) vykazuje oproti poslednímu odběru dvojnásobně více amoniaku a pokles dusičnanů. Významně se snížily všechny formy uhlíku. Vzrostla ale koncentrace fosforu na 0,09 mg/l. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 603 a č. 604) změnilo tyto parametry vody: Snížení amoniaku, zvýšení dusičnanů. Všechny formy uhlíku mírně vzrostly. TP klesl na 0,04 mg/l. Vzorek molo (vzorek č. 605) vykazuje oproti vodě na začátku čistícího jezera zejména zvýšenou koncentraci amoniaku. U tohoto vzorku mola oproti tomu minulému se zde nachází znatelně vyšší koncentrace TON. Všechny formy uhlíku mírně poklesly. V dnech před odběrem bylo odkaleno cca 1400 kg kalu.

Odběr vzorků 9.7. 2018

Fotografie z tohoto pozorování nevznikly.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 10,8 hod., průměrná denní teplota vzduchu 20,6 °C, maximální denní teplota v průměru 27,2 °C. Oproti předchozímu pozorování se průměrný denní svit opět zvýšil o dvě hodiny. Nastalo také značné oteplení vzduchu. V průměrných denních teplotách o 3 °C a také v maximálních denních teplotách o necelých 5 °C.

Vzorek začátek (č. 606) z tohoto odběrného dne chybí. Vzorek konec (č. 606) se liší od předchozího odběru v tomto místě v následujících koncentracích. Zvýšení amoniaku, snížení dusičnanů. Všechny ostatní koncentrace jsou zhruba stejné. Vzorek molo (vzorek č. 607) vykazuje oproti předchozímu odběru z tohoto místa následující změny. Pokles všech forem dusíku (zejména TON), všech forem uhlíku i TP. V dnech před odběrem bylo odkaleno cca 300 kg kalu.

Odběr vzorků a pozorování 20.7. 2018

Značné zhoršení průzračnosti vody. Na začátku jezera velký výskyt vláknitých řas (obr. 103). Největší zakalení je viditelné na začátku (obr. 103 a 104) a konci čistícího jezera (obr. 106). Ve střední části je zakalení minimální (obr. 105). Menší shluky řas plavou po celém čistícím jezeře.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 9,9 hod., průměrná denní teplota vzduchu 22,2 °C, maximální denní teplota v průměru 28,2 °C. Oproti předchozímu pozorování se průměrný denní svit snížil o necelou hodinu. Zvýšily se však průměrné denní teploty vzduchu o necelé 2 °C a maximální denní teploty o 1 °C.

Vzorek začátek (č. 365) vykazuje oproti předposlednímu odběru zhruba stejné hodnoty krom vzrůstu dusitanů. Mírně vzrostl také TOC.TP vzrostl na 0,11 mg/l. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 365 a č. 366) změnilo tyto parametry vody: Mírné zvýšení TIN a snížení TON. Mírně poklesl amoniak, ale mírně vzrostly dusičnany a velmi potom dusitany. Všechny formy uhlíku se nepatrně snížily a TP zhruba

o polovinu. Vzorek molo (vzorek č. 367) vykazuje oproti tomu minulému velké snížení amoniaku, mírný vzrůst dusičnanů a velké dusitanů. Vzrostl také TIC a TP. V dnech před odběrem bylo odkaleno cca 1700 kg kalu.

Odběr vzorků a pozorování 4.8. 2018

Voda je v celém čistícím jezeře mírně zakalená, zejména na jeho začátku (obr. 107). Plovoucí zelené shluky řas pozorované pouze ve střední části jezera (obr. 108). S postupem ke konci jezera se však zakalení mírně snižuje (obr. 109).

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 9,5 hod., průměrná denní teplota vzduchu 27,2 °C, maximální denní teplota v průměru 34,3 °C. Oproti předchozímu pozorování se průměrný denní svit nepoznatelně snížil, ale razantně se oteplilo. Zvýšily se jak průměrné denní teploty vzduchu o 5 °C, tak i maximální denní teploty o více jak 6 °C.

Vzorek začátek (č. 368) vykazuje oproti poslednímu odběru ohromné zvýšení všech forem dusíku i uhlíku. Jediné, co je menší je TP. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 368 a č. 369) změnilo tyto parametry vody: Snížení pouze TIN (hlavně u amoniaku). Snížení všech forem uhlíku a také TP. Vzorek molo (vzorek č. 370) vykazuje oproti tomu minulému velké zvýšení všech forem dusíku, uhlíku a mírný vzrůst fosforu. V dnech před odběrem bylo odkaleno cca 3900 kg kalu. Od tohoto dne data o odkaleném množství nepokračují.

Odběr vzorků a pozorování 14.8. 2018

Zakalení čistícího jezera je minimální. Zakalen je pouze začátek, kde se také nachází značné množství vláknitých řas ne příliš svěží zelené barvy (obr. 110). Zvláštností je zpozorování bílého zákalu v jedné v sedimentačních nádrží (obr. 111). Místo odběru (začátek) naproti druhé hrázce mírně zakaleno (obr. 112). Postupem ke konci jezera se voda zbavuje zakalení (obr. 113). Biomasa rostlin se stále intenzivně rozrůstá (obr. 114), stejně tak jako ponořená parožnatka, kterou doplňuje řasa (nevláknitá) (obr. 115). Ve střední části jezera se vyskytují plovoucí shluky řas (obr. 116). U konce jezera je voda zcela průzračná (obr. 117).

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 8,2 hod., průměrná denní teplota vzduchu

23,1 °C, maximální denní teplota v průměru 31,5 °C. Oproti předchozímu pozorování se průměrná doba denního svitu snížila o necelou hodinu. Klesly také průměrné denní teploty o 4 °C, ale maximální denní teploty se drží stále vysoko. Klesly jen o necelé 3 °C.

Vzorek studna (č. 608) vykazuje oproti poslednímu odběru ze studny z 27.3. 2018 zvýšení TIN i TON. Vzrostl amoniak a dusičnany, dusitany mírně poklesly. Je zde také pokles TIC a mírný vzestup TOC. TP se drží zhruba na stejné úrovni. Vzorek začátek (č. 609) vykazuje oproti předposlednímu odběru velké snížení všech forem dusíku, kromě mírného zvýšení dusičnanů. Poklesly také všechny formy uhlíku, ale TP vzrostl 13x na 0,13 mg/l. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 609 a č. 610) změnilo tyto parametry vody: Snížení všech forem TIN, mírný vzrůst TON. Pokles všech forem uhlíku a TP dokonce na polovinu. Vzorek molo (vzorek č. 611) vykazuje oproti tomu minulému snížení všech koncentrací.

Odběr vzorků 26.8. 2019

Fotografie z tohoto pozorování nevznikly.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 7,7 hod., průměrná denní teplota vzduchu 21,9 °C, maximální denní teplota v průměru 28,3 °C. Oproti předchozímu pozorování se snížila průměrná doba denního svitu o půl hodiny. Mírně klesly také průměrné denní teploty vzduchu (o 1 °C) a také maximální denní teploty vzduchu (o 3 °C).

Vzorek začátek (č. 612) vykazuje oproti poslednímu odběru snížení TIN a zvýšení TON, Poklesly zejména dusitany. Hodně klesl TC a TIC, TOC naopak mírně vzrostl. TP značně poklesl. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 612 a č. 613) změnilo tyto parametry vody: Snížení amoniaku a dusitanů, dusičnany mají mírný vzrůst. Poklesl TON. Formy uhlíku zhruba na stejné koncentraci. Snížení TP. Vzorek molo (vzorek č. 614) vykazuje oproti tomu minulému mírný vzrůst amoniaku, ale naopak pokles dusičnanů a dusitanů.

Odběr vzorků 2.9. 2018

Fotografie z tohoto pozorování nevznikly.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 5,2 hod., průměrná denní teplota vzduchu 17,5 °C, maximální denní teplota v průměru 22,6 °C. Oproti předchozímu pozorování se snížila průměrná doba denního svitu dvě a půl hodiny. Znatelně se také ochladilo v průměrných denní teplotách vzduchu o více jak 4 °C a také maximálních denních teplotách vzduchu o necelých 6 °C.

Vzorek začátek (č. 615) vykazuje oproti poslednímu odběru snížení všech forem dusíku. Hlavně u dusičnanů. Velký vzrůst TIC a malý pokles TOC. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 615 a č. 616) změnilo tyto parametry vody: Zvýšení všech forem dusíku, především amoniaku. Zvýšil se také TOC a TP. Vzorek molo (vzorek č. 617) vykazuje oproti tomu minulému pokles především u dusičnanů.

Odběr vzorků a pozorování 5.9. 2018

Znatelný útlum tvorby biomasy rostlin. Na začátku čistícího jezera velké zakalení (obr. 118 a 119). Zakalení může být místy způsobeno zvržením sedimentů při odkalování. V místech s velkým výskytem řas je průzračnost vody o poznání lepší (obr. 120). U jezera je také pozorován velký výskyt vodních ptáků (obr. 121). Ve střední části jezera se na hladině vyskytuje souvislý pokryv plovoucích řas (obr. 122). Ke konci jezera je shluků o poznání méně. Je zde ale větší míra zakalení (obr. 123). Nejvíce je zakalená voda na konci jezera (obr. 124).

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 4,1 hod., průměrná denní teplota vzduchu 18,3 °C, maximální denní teplota v průměru 23,1 °C. Oproti předchozímu pozorování se snížila průměrná doba denního svitu o více jak jednu hodinu. Mírně se však oteplilo v průměrných i maximálních teplotách vzduchu o 1 °C.

Vzorek začátek (č. 618) vykazuje oproti poslednímu odběru zvýšení všech forem dusíku, zejména amoniaku. Vzrostly také všechny formy uhlíků a velmi také TP. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 618 a č. 619) změnilo tyto parametry

vody: Zvýšení TIN (amoniak vzrostl 4x), snížení TON. Snížení TIC, zvýšení TOC a pokles TP zhruba na polovinu. Vzorek molo (vzorek č. 611) vykazuje oproti tomu minulému zvýšení všech forem dusíku. Hlavně u TIN je zvýšení pětinasobné (amoniak). Došlo zde také ke vzrůstu všech forem uhlíku. TP poklesl.

Odběr vzorků a pozorování 11.9. 2018

Průhlednost vody se razantně vylepšila. Nikde není patrné ani mírné zakalení (obr. 125, 127 a 128). Řasy vykazují intenzivní růst. Probíhá jejich podzimní maximum (obr. 126).

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 7,3 hod., průměrná denní teplota vzduchu 12,9 °C, maximální denní teplota v průměru 25,9 °C. Oproti předchozímu pozorování se zvýšila průměrná doba denního svitu o více jak 3 hodiny. Naopak klesly průměrné denní teploty vzduchu o více jak 5 °C, ale průměrné maximální denní teploty vzduchu vzrostly o necelé 3 °C.

Vzorek začátek (č. 621) vykazuje oproti poslednímu odběru zvýšení všech forem dusíku, zejména u amoniaku při poklesu dusičnanů. Znatelně se snížil TIC a malé zvýšení bylo zaznamenáno u TOC. TP poklesl na polovinu. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 621 a č. 622) změnilo tyto parametry vody: Velký pokles amoniaku, menší vzrůst TON. Velký vzrůst TIC a malé snížení TOC. Vzorek molo (vzorek č. 623) vykazuje oproti tomu minulému snížení TIN, ale naopak zvýšení TON. Došlo také k poklesu TIC a mírnému zvýšení TOC. Vzrostl také TP.

Odběr vzorků a pozorování 20.9. 2018

Sezóna 2018 skončila a odstraňuje se vegetační hmota rostlin (obr. 129). Doznívá také intenzivní růst řas, kterých je ale v jezeře ještě stále velké množství (obr. 130, 131 a 132). Průhlednost vody je v celém jezeře vynikající, zejména na jeho konci (obr. 133). Na dně jezera je však mnoho sedimentů a další sedimenty přibývají. Je nutné intenzivní odkalování.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 7,3 hod., průměrná denní teplota vzduchu 17,9 °C, maximální denní teplota v průměru 24,9 °C. Oproti předchozímu pozorování

zůstala průměrná doba denního svitu nezměněna. Průměrné denní teploty vzduchu vzrostly o 5 °C a průměrné maximální denní teploty vzduchu klesly o 1 °C.

Vzorek začátek (č. 624) vykazuje oproti poslednímu odběru mírné zvýšení TIN a naopak snížení TON. Abnormálně nízké hodnoty všech forem uhlíků přetrvávají. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 624 a č. 625) změnilo tyto parametry vody: Snížení TIN (zejména amoniak), zvýšení TON. Několikanásobný vzrůst koncentrace TIC. TOC je zhruba na stejné úrovni. Vzorek molo (vzorek č. 626) vykazuje oproti tomu minulému snížení všech forem dusíku, nejzřetelněji u amoniaku. Také je zde pokles uhlíků TIC a TOC.

Odběr vzorků a pozorování 27.9. 2018

Odklizení vegetační hmoty stále pokračuje. Stejně tak jako odsávání sedimentů ze dna jezera (obr. 134, 135 a 136). Voda je však zcela průzračná (obr. 137). Dno v některých místech stále pokrývají řasy (obr. 138). Je upuštěno koupací jezero, jako příprava na přicházející zimu (obr. 139). Úroveň hladiny čistícího jezera zůstane nezměněna.

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 6,8 hod., průměrná denní teplota vzduchu 13,8 °C, maximální denní teplota v průměru 20,9 °C. Oproti předchozímu pozorování se mírně snížila průměrná doba denního svitu, a to o půl hodiny. Průměrné denní teploty vzduchu a průměrné maximální denní teploty vzduchu klesly o 4 °C.

Vzorek začátek (č. 627) vykazuje oproti poslednímu odběru značné snížení TIN (hlavně amoniak). Naopak značné zvýšení TIC. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 627 a č. 628) změnilo tyto parametry vody: Vzrůst TIN (amoniak několikanásobně) a TON. Naopak pokles všech uhlíků. Vzorek molo (vzorek č. 629) vykazuje oproti tomu minulému mírné zvýšení dusíků. TIC vzrostl dvojnásobně a TOC mírně poklesl.

Odběr vzorků a pozorování 11.10. 2018

Vegetační hmota je zcela odstraněna. Nadále se ale v čistícím jezeře vyskytují v hojném počtu řasy, které ztěžují odkalování (obr. 140, 142 a 143). Je tedy nutné její

definitivní mechanické odstranění (obr. 141). Místy je ale čistící jezero zcela odkaleno a vyčištěno (obr. 144).

Průměrné meteorologické hodnoty za týden před odběrem jsou následující: průměrná doba denního slunečního svitu 7,5 hod., průměrná denní teplota vzduchu 12,9 °C, maximální denní teplota v průměru 20,1 °C. Oproti předchozímu pozorování se mírně zvýšila průměrná doba denního svitu o více než půl hodiny. Průměrné denní teploty vzduchu klesly o 1 °C a průměrné maximální denní teploty o necelý 1 °C.

Vzorek studna (č. 630) oproti minulému odběru ze studny (14.8. 2018) vykazuje změny v poklesu všech forem dusíku. Naopak dvojnásobně vzrostl TC a TIC. TOC jen mírně. Vzorek začátek (č. 631) vykazuje oproti poslednímu odběru mírné snížení všech forem dusíku (hlavně u amoniaku). Dusičnany zaznamenaly zhruba dvojnásobný vzrůst. Došlo také k velkému zvýšení TIC. Čistící jezero na základě rozdílů vzorků začátek a konec (č. 631 a č. 632) změnilo tyto parametry vody: Pokles všech forem dusíku, uhlíku i TP. Vzorek molo (vzorek č. 633) vykazuje oproti tomu minulému snížení TIN, zvýšení TON. Formy uhlíku jsou na stejné úrovni. TP se snížil o polovinu.

Pozorování 14.3 2019

Probíhá intenzivní příprava na následující sezónu. Ze dna jsou odsávány sedimenty utvořené během zimy (obr. 146). Novinkou pro rok 2019 je jímka na odsátý kal, která bude umístěna pod zem v zadní části areálu na začátku čistícího jezera. Jímka bude mít objem 12 m³ (obr. 147). Začíná se také napouštět koupací jezero.

Pozorování 5.4. 2019

Stále se odkaluje a odkalovat se bude. Pozorovatelný je již přírůstek vegetace rostlin (obr. 148). Jímka je již umístěna pod zem a zahrnuta zeminou (obr. 149).

13.3 Vyhodnocení

K sestavení vyhodnocení bylo užito výše zmíněných výsledků, které se zakládají na laboratorně analyzovaných hodnotách (TN, TIN, TON, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , TC, TIC, TOC, TP), na meteorologických datech o slunečním svitu, na průměrné a maximální denní teplotě a na množství odkaleného sedimentu ze dna čistícího jezera.

Účinnost odkalování neboli mechanického dočištění lze jasně vysledovat po dnech, kdy bylo odkaleno velké množství sedimentů. Po nich došlo vždy k velkému poklesu TC, TN a TP. Např. v dnech před odběrem, který se uskuteční 26.4. 2018 bylo odkaleno 3140 kg kalu. Z následného odběru 2.5. 2018 je znatelný značný pokles těchto hodnot. To samé 11.5. 2018, kdy bylo odkaleno 900 kg kalu. Pokles se projevil ve vzorcích z 25.5. 2018. Mechanické dočištění má velmi kladný vliv na kvalitu vody.

Na jednotlivé formy dusíků (TIN, TON) a uhlíků (TIC, TOC) má vliv spíše doba slunečního svitu a průměrných teplot. Vždy když došlo k poklesu sluneční aktivity, došlo také k poklesu TIC, TIN a naopak ke zvýšení TOC, TON. Z toho se dá usoudit, že producenti při snížení průměrného slunečního svitu váží více anorganických látek do své biomasy. Nižší sluneční svit značí menší ohřev vodního sloupce a tím mohly být podmínky, především pro mikroorganismy v obzvláště teplém létě 2018, přijatelnější. Pokles teplot jde ale ruku v ruce s návštěvností. Čím krásnější je počasí, tím je návštěvnost vyšší. Proto je škoda, že se nepodařilo získat tato data a přesně tak určit, co má největší vliv na množství koncentrací zjišťovaných hodnot.

Z výše zmíněného vyplývá, že pro udržení kvality koupací vody v biotopu jsou podstatné tři faktory: návštěvnost, dlouhodobé počasí a mechanické dočištění.

Výbornou kvalitu vody dokazují rozborů zaměřené na mikrobiální znečištění. Maximální zjištěná hodnota byla za rok 2018 u *Escherichia coli* 25 KTJ/100 ml, přičemž limitní hodnota stanovená legislativou ČR je 100 KTJ/100 ml. Intestriální enterokoky dosáhly maximálně 15 KTJ/100 ml (limit 50 KTJ/100 ml). Koupací jezero si drželo také vynikající průhlednost, která se pohybovala průměrně kolem 1,70 m, přičemž limit minimální průhlednosti je dle legislativy ČR určen na 1 m.

14 Diskuse

Na téma biotopových koupališť není mnoho publikací. Chybí zde různá rozdělení a mezinárodně užívaný slovník pro správné pojmenování problematiky biotopových koupališť. V některých publikacích se o nich autoři zmiňují pouze v souvislosti se zahradními jezírky a bazény s přírodním systémem čištění vody. Je zde také pět kategorií, na které se odkazují především bakalářské a diplomové práce. Tato kategorizace není dle mého názoru správná, jelikož je vztažena spíše na menší zahradní koupací jezírka a biobazény, a to pouze z hlediska míry použité technologie. Co se týká kategorizace přímo pro biotopová koupaliště, je zde rozdělení na jedno, dvou a vícekomorové systémy. Biotopová koupaliště by si jistě zasloužila jinou kategorizaci než tu, která je využívána u čističek odpadních vod. V přírodních čističkách se komorou rozumí daleko menší prostor, který je vyplněn určitým materiálem a dochází zde k vázání a odbourávání živin pomocí organismů. Je nepřesné takto pojmenovat koupaliště sloužící k rekreačním účelům.

Dalším záležitostí jsou získané poznatky o efektivním čištění vody, které spočívají v co největším průtoku čistící oblastí. V biotopovém koupališti Radotín je to průtok čistícím jezerem. Samozřejmě by se dalo využít také různých filtrů, jak zmiňuje např. Karczmarczyk a kol. (2019), nebo Valentovič (2010), který udává několik druhů (např. tlakové filtry, gravitační filtry, pískové filtry, štěrkové filtry, nebo zeolitové filtry). Tyto filtry jsou vyplněné porézním materiálem, který nabízí velkou plochu pro osídlení užitečných bakterií. Tyto filtry najdou spíše využití v menších koupacích jezírkách a biobazénech, kde je třeba šetřit místem a není zde také tak velké zatížení vody živinami. Při takovém zatížení, jaké je ve veřejném biotopovém koupališti, by došlo k rychlému zanesení, snížení průtoku a tím ztrátě čistící schopnosti. Právě proto je nejefektivnějším způsobem čištění čistící jezero o velké ploše, které umožňuje sedimentaci a následné odtěžování kalu. Čím větší je pak průtok znečištěné vody čistícím jezerem, tím více sedimentu se může vytvořit. V čistícím jezeře je sedimentace daleko intenzivnější, jelikož zde dochází díky menší hloubce (než v koupacím jezeře) k rychlejší výměně vody. Na to reagují svou intenzivnější činností planktonní organismy, jejichž přítomnost zde na rozdíl od koupacího jezera nevádí. Tyto organismy jsou v biotopu Radotín podporovány v činnosti okysličováním vodního prostředí kompresory a čerpadly.

Toto jsou opatření vytvořená Ing. Pavlem Radou. S těmito opatřeními jsem se setkal v roce 2016 pouze v biotopovém koupališti v Sezimově Ústí a v Jincích. V Sezimově Ústí prokysličovaly vodu v čistícím jezeře kompresory, ale ne v takové intenzivně jako v Radotíně. V Jincích pak využívaly k okysličení vody čerpadla umístěná v koupacím jezeře. Jak je tomu dnes a jak se provozovatelé posunuli, nevím. Tyto zlepšené podmínky pro planktonní organismy zapříčiňují jejich větší populace, aktivitu a tím vzniká a více sedimentů na dně z jejich odumřelé biomasy. Tento sediment lze snadno odstranit odkalováním. V mnoha biotopových koupalištích se přistupuje k odkalení čistícího jezera až po ukončení sezóny. Biotopové koupaliště Radotín a Lhotka jsou jediná koupaliště, u kterých se odkaluje čistící jezero pravidelně během sezóny, a to i několikrát do týdne, díky vytrvalé práci Ing. Pavla Rady. Toto se podepisuje na výborných výsledcích vody i přes extrémní návštěvnost (za rok 2018 je to cca 65000 návštěvníků, zdroj: pouze odhad provozovatele, přesná data nejsou provozovatelem známá) a velmi teplé počasí, které panovalo v roce 2018. V biotopovém koupališti Radotín je využívána k odkalování buď poloautomatická hlavice (obr. 39), nebo zcela manuální speciální hlavicí sestavená Ing. Pavlem Radou vybavená košem. Hlavice s ochranným košem však vyžaduje manuální zacházení přímo v čistícím jezeře. Voda je společně se sedimenty čerpána do důmyslného systému sedimentačních nádrží, které sestavil v Radotíně Ing. Pavel Rada. Zde se dokáže voda zbavit většiny sedimentů a jako taková se vrací zpět do čistícího jezera k dočištění. Systém sedimentačních nádrží se skládá z několika 100 litrových nádrží, kde každá z nich dokáže pojmout až 90 kg kalu. Za jeden den byl Ing. Pavel Rada schopen odstranit ze dna čistícího jezera cca 100-800 kg kalu. Jedná se však pouze o odhady, jelikož v kalu je obsažena také voda a později vlhkost. K přesnému zjištění hmotnosti kalu by bylo nutné zjistit hmotnost sušiny, což může být předmětem dalšího výzkumu. Systém sedimentačních nádrží má tedy kromě úspory vody výhodu v kontrole nad množstvím odtěženého kalu. V jiných koupalištích přistupují pouze k odkalování koupacího jezera, a to dokonce i robotickými vysavači (Sezimovo Ústí). Dle mého názoru by tomu mělo být spíše naopak. Prioritně a pravidelně odkalovat čistící jezero a občasné pak koupací jezero. Pravidelným odkalováním koupacího jezera se biotopovému koupališti spíše uškodí několika způsoby. Dochází k nadměrnému zviření sedimentů a odstraňování prospěšného bentosu. Biotopové

koupaliště totiž není chemicky upravovaný bazén, a tak si zaslouží i citlivější zacházení s ohledy na přírodní procesy. Jen díky jejich pochopení a dodržení určitých zásad lze udržet kvalitu vody i při velkém zatížení na vynikající až přijatelné úrovni. Jak se ukázalo během mých návštěv biotopových koupališť, je nejideálnějším řešením skladba dvou jezer. Koupacího pro veřejnost a čistícího bez přístupu veřejnosti. Právě jedno velké čistící jezero umožňuje nejsnazší a nejefektivnější údržbu. Někdy ale musí návrh budoucího koupaliště podléhat místu budoucího vzniku, a proto je třeba volit více čistících jezer, za to o menších rozměrech (např. biotopové koupaliště v Blovicích a Borovanech). Při budoucích návrzích koupališť by bylo také dobré pamatovat na personální vstupy do čistících jezer (např. schody) a na správné technické provedení hrázek. Již by se mělo upustit od hrázek sestavených z minerální vaty a místo nich používat pouze hrázky sestávající se z drátěných profilů a kačírku. Dle ústního sdělení Ing. Pavla Rady by bylo vhodné použít v hrázkách hned několik frakcí. Vespuďu hrázky by se měla nacházet větší frakce oblázků, která by umožňovala výplach kalu a na vrchu hrázky použít menší frakci kvůli rostlinám.

Během zpracovávání diplomové práce jsem v projektové dokumentaci biotopového koupaliště Radotín objevil filtrační zónu, která se nachází po celém obvodu koupacího jezera a je umístěna pod dlažbou (viz. příloha 1). Tato filtrační zóna je tvořena minerálním substrátem s cirkulačním potrubím, které má vlastní okruh s čerpadlem. Bohužel jsem tuto skutečnost zjistil příliš pozdě na to, abych se jí mohl více zabývat. Jistě by si zasloužila pozornost v podobě zjištění její funkčnosti a záměr jejího použití (zóna pod dlažbou). Domnívám se totiž, že v této filtrační zóně měly být umístěny vodní rostliny, ale nakonec se od tohoto záměru upustilo. Pokud je tam filtrační zóna umístěna úmyslně, nejedná se však o příliš dobré řešení, jelikož umístění pod dlažbou neumožňuje pravidelnou údržbu. Od doby otevření (2014) nebyl tento substrát čištěn, ani obnoven. Dá se zde očekávat velké množství sedimentů, které především po zimě při opětovném dopuštění koupacího jezera zatěžují vodu biotopového koupaliště živinami.

Dalším zjištěním v biotopu Radotín byl objev velké koncentrace síranů ve vodě (cca 250 mg/l), které značí antropogenní zatížení. Původ tohoto množství byl zjištěn po odebrání vzorků ze studny, které dosahovaly stejných koncentrací síranů, jako u vody v koupališti. Koupaliště totiž využívá vlastní vrty umístěné v areálu jako zdroj vody.

Je tedy zřejmé, že tato koncentrace pochází z podzemní vody. Na kvalitu podzemní vody a její režim má vliv nedaleká řeka Berounka. Proto byl odebrán vzorek z řeky, který dosahoval koncentrace síranů pouze 64 mg/l. Je tedy zřejmé, že sírany pochází z podloží koupaliště. Tomu napovídala vskutku černá minulost tohoto místa. Dříve zde byla čistička odpadních vod a po ní skládka technických služeb. Ke stejnému zjištění došel Jan Schlitz (Atelier Schlitz s.r.o.) v roce 2011, který zde nechal provést hydrogeologický průzkum pro účely studie budoucího biotopového koupaliště. V protokolu o hydrogeologickém průzkumu (příloha 4.) je zmínka o nadměrné koncentraci síranů (370 mg/l). Průzkum se také zabíral geologickými poměry v tomto místě. Nejsvrchnější vrstvu po celém území areálu tvoří navážky o mocnosti 2-3 m. Terén byl zvyšován již před stavbou ČOV za účelem protipovodňové ochrany. K tomuto zvyšování byl dle výsledků průzkumu použit především zemní materiál z okolí (hlína, břidličná suť, písek, šterk), ale také materiály odpadního charakteru (škvára, stavební suť a lokálně také komunální odpad). Průzkum došel k závěru, že chemismus podzemní vody může být ovlivňován skladbou navážek, kterými srážková voda infiltruje do podzemní vody. Tato voda zde není ovlivňována jen podložím, nebo blízkou řekou Berounkou, ale také přítoky z přilehlých svahů, které proudí údolím ve směru toku. Vzhledem k těmto skutečnostem doporučil Jan Schlitz jako zdroj vody pro biotop veřejnou vodovodní síť. Na doporučení se však nebral zřetel, jelikož s ním Radotín i přes finančně nákladné i pracovní náročné studie z nezjištěných důvodů přestal spolupracovat. Proč, to je otázkou. Radotín si pak nechal zpracovat projekt od externí firmy, který byl schválen a zrealizován.

Na další negativní vliv upozorňuje Ing. Pavel Rada. Jedná se o zatím nelokalizovanou netěsnost (nebo netěsnosti) v izolaci koupacího jezera od okolního prostředí. Dochází totiž k velkým ztrátám vody, které nemohou být zapříčiněny pouze výparem. Je proto nutná větší míra dopouštění vody z vrtů, která je díky bohaté antropogenní minulosti plná živin. Tyto živiny zatěžují zcela zbytečně, už tak vytížené čisticí procesy.

I přes výše zmíněné nezdary se však díky usilovné a inovativní práci Ing. Pavla Rady a skvělého přístupu vedení koupaliště (ředitele Jana Baráka a vedoucích Tomáše Jirouta a Tomáše Procházky) společně s brigádníky, daří držet vodu ve skvělé kvalitě vhodné ke koupání a odpočinku.

15 Závěr a přínos práce

Rešeršní část obsahuje všechny zjištěné poznatky z domácích i zahraničních zdrojů, které se týkají biotopových koupališť, hydrobiologických a hydrochemických procesů, hygienických požadavků kladených legislativou ČR, významu vodních a mokřadních rostlin užívaných v biotopových koupalištích, řas a vodních organismů podílejících se na biologickém čištění, účinnosti biologického čištění a mechanického dočišťování. Bylo také navštíveno několik biotopových koupališť a definovány některé chyby, kterých se dopustilo buď při samotném zpracování projektu, nebo nesprávné údržbě.

Stěžejním cílem diplomové práce však bylo vyhodnocení vlivu čištění na kvalitu vody v biotopu Radotín. K tomuto účelu posloužily vzorky vody odebírané v pravidelných odstupech po celý rok 2018. Tyto vzorky jsem poté analyzoval v laboratoři FŽP ČZU, díky kterým jsem následně získal přes 900 hodnot vypovídajících o přírodních procesech uvnitř biotopu. Zjištěné hodnoty byly následně porovnány s meteorologickými daty, daty získanými z hygienických rozborů a daty odkaleného sedimentu. Dle všech výše zmíněných dat, hodnot a pravidelného pozorování jsem došel k potvrzení účinnosti čistícího jezera. Čistící jezero vždy opouštěla voda obsahující nižší koncentrace živin než voda, která do něj vtékala. Čistící jezero je tedy schopné efektivně čistit vodu koupaliště.

Práce také prokázala, jak je důležité pravidelné mechanické dočišťování v podobě odkalování sedimentů. Tento poznatek lze využít i u ostatních biotopových koupališť. Důležité jsou také zjištěné poznatky týkající se dodržení zásad už při samotných návrzích budoucích koupališť a pravidelné údržbě koupališť stávajících, s ohledem na jistou volnost danou přírodním procesům.

Tato práce je první, která se zabývá podrobným výzkumem účinnosti mechanického dočišťování a biologického čištění v koupališti s přírodním systémem čištění vody. Zatím neexistují jak tyto práce, tak také normy na jednotlivé ukazatele, které vypovídají o čistících procesech v biotopových koupalištích. Norma by také mohla obsahovat požadavky na pravidelné mechanické čištění a určovat opatření, která by vedla ke zlepšení kvality koupací vody.

16 Přehled literárních a použitých zdrojů

ATELIER SCHLITZ S.R.O.: Informace a dokumentace týkající se místa koupaliště a samotného biotopu Radotín před jeho výstavbou. Poskytnuto Atelier Schlitz s.r.o..

BAUMHAUER, J., SCHMIDT, C., 2008: Schwimmtechbau: Handbuch für Planung, Technik und Betrieb. Berlin. ISBN 978-3-87-617-113-5

BLANCH, R. A, CASANOVAS-MESSANA, A., 2013: Characterization of microbial populations associated with natural swimming pools. Department de Microbiologia, Universitat de Barcelona, Spain. Svazek 126, část 2, s. 132-137.

BOTANY.CZ, [online]: Herbář rostlin. Dostupné na: <https://botany.cz>

CARTER, R.A.A. a JOLL, C. A., 2017: Occurrence and formation of disinfection by-product in the swimming pool environment: A critical review. Department of Chemistry, Curtin University, Perth, Australia. Svazek 58, s.19-50.

ČÍŽKOVÁ, H. a kol., 2003: Úloha rostlin ve vegetačních čistírnách. V: Přírodní způsoby čištění odpadních vod. FAST VUT, Brno, 2003, s. 41-44.

DOBRANY.CZ, [online], [cit. 20019-04-13]: Webové stránky provozovatele biotopu Kotynka. Dostupné na: <https://www.dobransy.cz/kultura-vzdelani-sport/prirodni-koupaci-biotop-kotynka/>

DOLEŽAL, V., 2006: Malá vodní díla ve vaší zahradě. 2. vyd. Brno: ERA. Dům a zahrada (ERA). ISBN 80-7366-059-8.

DRAGOUN, J., 2016: Vliv návštěvnosti na kvalitu vod ve veřejném koupališti biotopového typu. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Katedra aplikované ekologie, Praha. 45 s. (bakalářská práce).

DYKYJOVÁ, D., 1992: Odběr minerálních živin v pobřežních rákosinách. V: Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin. Třeboň, BÚ AV ČR, s. 58-66.

FRANCIS, A., 2001: Vaše vodní zahrada. Praha: Grada. Překrásná zahrada. ISBN 80-7169-194-1.

GARDORA.AT, [online], [cit. 2009-01-15]: Informace o Richardu Weixlerovi. Dostupné na: http://gardora.at/wiki/Wassergärten_Weixler

- HELBERG, T., 1999: Voda v zahradě. Praha: Svojtka & Co. ISBN 80-7237-097-9.
- HIMMELHUBER, P., 2014: Zahradní rybníčky, potůčky a koupací jezírka. Stavba krok za krokem. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3327-2.
- HŘÍBAL, V., 1985: Voda v zahradě a vodní rostliny. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
- HŘÍBAL, V., 2003: Zahradní jezírka a vodní rostliny. Praha: Grada. Česká zahrada. ISBN 80-247-0590-7.
- HYGIENICKÁ DATA: Výsledky rozborů vody provedené dle vyhlášky č. 238/2011 Sb. v biotopu Radotín v roce 2018 pro hygienickou stanici hl. města Prahy provedené a vyhodnocené Zdravotním ústavem se sídlem v Ústí nad Labem. Poskytnuto provozovatel biotopu Radotín.
- IOB-EV.COM, [online]: Webové stránky Mezinárodní organizace pro přírodní koupací vody. Dostupné na: <https://iob-ev.com/>
- JAKSCH, H., 2006: Schwimmteich? Kein problém! Österreichischer Agrarbuchverlag, Wien. ISBN 9783704021243.
- JEZIRKA-BIOBAZENY.CZ, [online]: Webové stránky Asociace biobazenů a jezírek ABAJ. Asociace IOB v ČR. Informace dostupné na: <http://www.jezirka-biobazeny.cz/cs/>
- KARCZMARCZYK, A., a kol., 2019: Influence of operation time, hydraulic load and drying on phosphate retention capacity od mineral filters treating natural swimming pool water. Warsaw University of Life Sciences, Poland. Svazek 130, s. 176-183.
- KOUPALISTEPOHODA.CZ, [online]: Webové stránky provozovatele biotopu v Sezimově Ústí. Dostupné na: <http://koupalstepohoda.cz/pohoda/>
- KOVALOVICE.CZ, [online]: Webové stránky provozovatele biotopu Kovalovice. Dostupné na: <https://www.kovalovice.cz/prirodni-koupaci-biotop>
- Kumpfmüller, M. et al., 2013: Wege zur Natur im Garten – Handbuch, Hrsg. ÖÖ Akademie für Umwelt und Natur.
- KUMPFMÜLLER, M., a kol., 2013: Wege zur Natur im Garten – Handbuch, Hrsg. ÖÖ Akademie für Umwelt und Natur. Linz, 200 s.

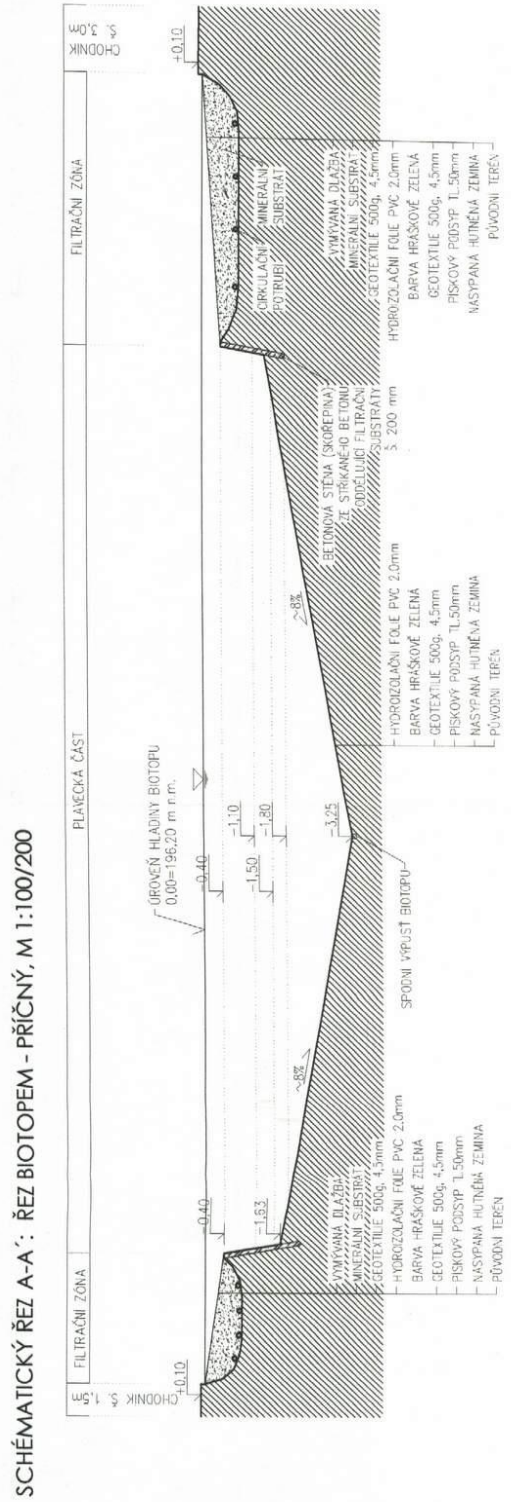
- METEOROLOGICKÁ DATA, [online]: Meteorologická data roku 2018 byla získána ze stanice Praha Libuš dostupné na: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data>
- PITTER, P., 2015: Hydrochemie. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 9788070809280.
- PLÁN PLUS S.R.O., 2011: Revitalizace území po bývalé čističce odpadních vod v k. ú. Radotín. Poskytnuto provozovatelem biotopu Radotín.
- SEDLÁK, J., 2008: Koupací jezírka. Praha: Grada. ISBN 9788024725543.
- SOMMER, U., 1996: Algen, Quallen, Wasserfloh – die Welt des Plankton. Springer Verlag, 978-3-540-60307-8
- SUZ.CZ, [online]: Webové stránky Svazu zakládání a údržby zeleně. Dostupné na: <http://www.szuz.cz/cs/>
- ŠIMEČKOVÁ, J., 2005: Ekologická koupací jezírka. Brno: Svaz zakládání a údržby zeleně.
- ŠIMEČKOVÁ, J., 2008: Stavba přírodních koupališť-šance pro budoucnost. Brno: Svaz zakládání a údržby zeleně. ISBN 978-80-254-4251-7.
- VALENTOVIČ, P., 2010: Malá vodná nádrž pre rekreačné účely. Slovenská poľnohospodarska univerzita, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Nitra. 77 s., (diplomová práce).
- VANĚK, V., STODOLA, J., 1997: Vodní a vlhkomilné rostliny. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
- VYHLÁŠKA č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch.
- WEIXLER, R., HAUERD, W., 2000: Garten und Schwimmteiche. Graz: Stockler.
- WEIXLER, R., SCHMIDT, C., 2007: Die Freude am eigenen Schwimmteich, ISBN: 978-3-86263-039-4
- WEIXLER, Richard. Garden und Schwimmteiche. Graz: Stockler, 2008.

YANG, L., a kol., 2018: Regulation, formation, exposure and treatment of disinfection by-product (DBPs) in swimming pool waters: A critical review. School of Resources and Environmental Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai, China. Svazek 121, část 2, s. 1039-1057.

ŽÁČKOVÁ, M., 2012: Zhodnocení vytrvalých rostlin vhodných pro koupací jezírka a biotopy v ČR. Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra zahradnictví, Praha. 120 s. (bakalářská práce).

17 Přílohy

Příloha č. 1: Příčný řez biotopovým koupalištěm Radotín (zdroj: projektová dokumentace, PLÁN PLUS s.r.o.)



Příloha 1: Podélný a příčný řez koupacím jezerem v dokumentaci pro stavební povolení, říjen 2011, vyhotovila PLÁN PLUS s.r.o.

Příloha č. 2: Fotografická část studie revitalizace areálu (zdroj: Atelier Schlitz s.r.o.)

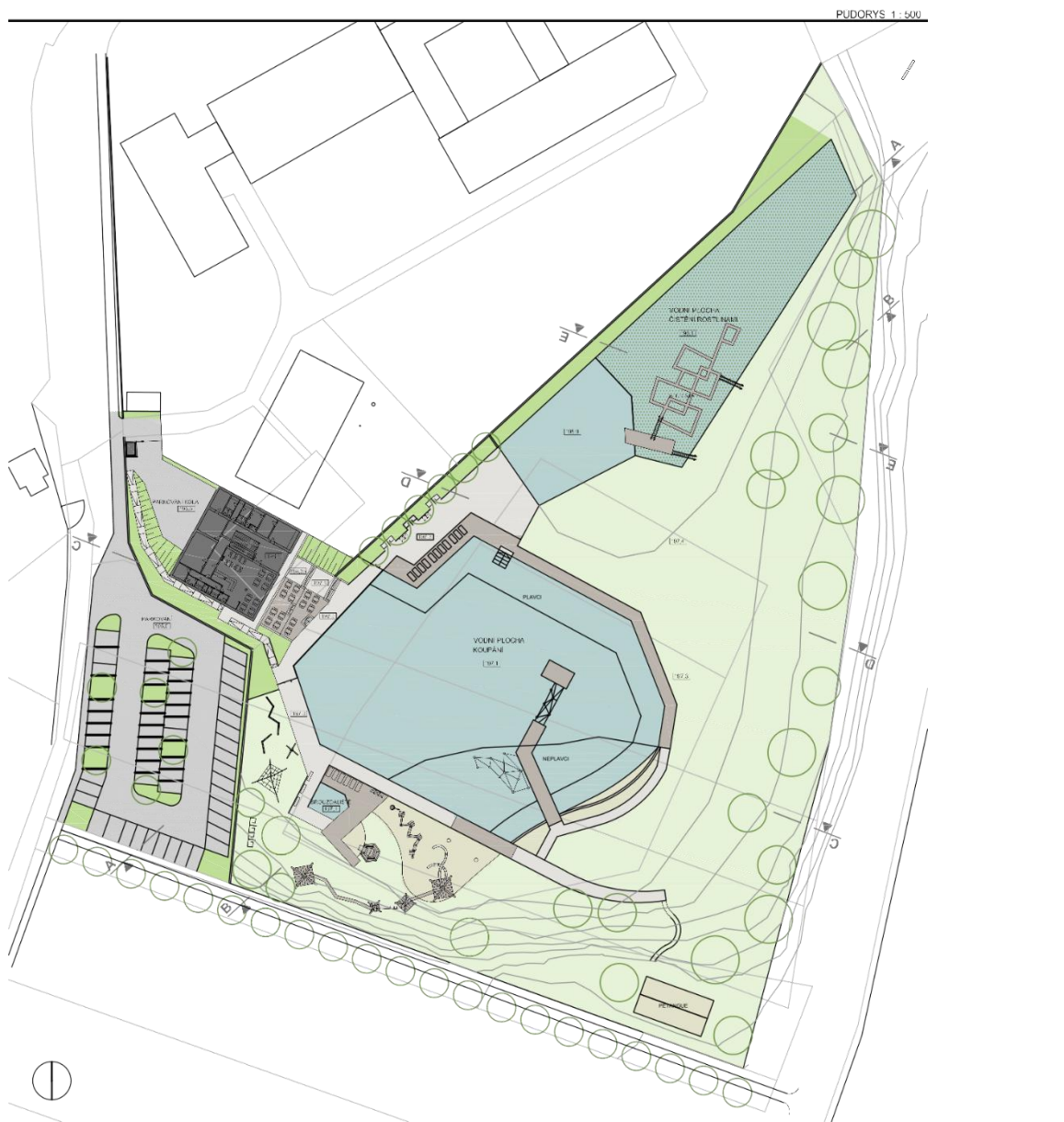


STÁVAJÍCÍ STAV 1 : 2000



STUDIE REVITALIZACE PLOCHY PO BÝVALÉ ČIŠTÍRNĚ ODPADNÍCH VOD
ZADAVATEL: MAGISTRÁT HL.M.P. ZHOTOVITEL: ATELIER SCHLITZ DATUM: ČERVENEC 2009

Příloha č. 3: Prvotní návrh biotopového koupaliště Radotín vytvořený Janem Schlitzem
(zdroj: Atelier Schlitz s.r.o.)



LEGENDA

 TRAVNATÉ PLOCHY	 ZPEVNĚNÉ PLOCHY - BETONOVÁ DLAŽBA	 BUDOVA	 NOVÝ STROM
 KEROVÉ A TRVALKOVÉ POROSTY	 ZPEVNĚNÉ PLOCHY - ŽULOVÉ KOSTKY	 VENKOVNÍ PŘEVLEKACÍ KABINKY	 HERNÍ PRVEK
 PLOCHY S VODNÍMA ROSTLINAMA	 ZPEVNĚNÉ PLOCHY - DŘEVO	 VENKOVNÍ SPRCHY	
 VODNÍ PLOCHY	 ŠTĚRKOVÉ A PÍSKOVÉ PLOCHY		

STUDIE REVITALIZACE PLOCHY PO BÝVALÉ ČIŠTÍRNĚ ODPADNÍCH VOD
ZADAVATEL: MAGISTRÁT HL.M.P. ZHOTOVITEL: ATELIER SCHLITZ DATUM: ČERVENEC 2009

atelier
Schlitz

Příloha č.4: Protokol o hydrochemickém rozboru podzemní vody v areálu koupaliště Radotín (zdroj: Atelier Schlitz s.r.o.)



L 1553

Ekologická laboratoř PEAL s.r.o.

U Vodojemu 15, 142 00 Praha 4
Tel/Fax: 241 728 264, 261 711 461
Laboratoř akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. pod č. 1553.

Adresa: Geokonsult
Pirinská 3243
14000 Praha 4

Místo odběru: Česká republika, koupaliště Radotín
Odběr provedl: zákazník
Přijem provedl: Doležalová Jana ing.
Klasifikace vzorku: podzemní voda, 01. neuvedeno

Datum odběru: 15.01.2010
Datum příjmu: 15.01.2010 12:00
Datum zahájení rozborů: 15.01.2010 12:00
Datum ukončení rozborů: 22.01.2010



Protokol o zkoušce č. 2010/00468

Název ukazatele	Jednotka	Výsledek	Výpis a označení limitní hodnoty	Nejistota	Zpracováno dle SOP
chemie					
BSK-5	mg/l	5,1		+ 17,1 %	BSK5-01
CHSK-Cr	mg/l	16		+ 11,0 %	CHSKCr-01
CO2 agresivní (Heyer)	mg/l	58		+ 21,0 %	CO2-01
CO2 hydrogenuhličitanový	mg/l	290		+ 3,9 %	KNK-01
dusičnany (UV)	mg/l	4		+ 6,2 %	NO3UV-01
dusitany	mg/l	0,016		+ 19,0 %	NO2-01
fosfor veškerý (Pc)	mg/l	0,27		+ 12,0 %	PO4-01
hořčík (titračně)	mg/l	33,3		+ 13,0 %	CaMg-01
index nasycení Is		-0,33		+ 0,3 %	KNK-01
kyselinová neutr. kapacita KNK 4,5	mmol/l	6,5		+ 3,9 %	KNK-01
pHs		7,48		+0,30,-0,30	KNK-01
rozpuštěné látky sušené (RLS)	mg/l	1000		+ 7,3 %	RL-01
sírany	mg/l	370		+ 14,0 %	SO4-01
tvrdost (Ca+Mg) titračně	mmol/l	6,2		+ 4,4 %	TVRDOST-01
vápník (titračně)	mg/l	192		+ 3,9 %	CaMg-01
zásad. neutral. kapacita ZNK 8,3	mmol/l	1,5		+ 5,4 %	ZNK-01
ostatní analýzy					
CO2 volný	mg/l	67		+ 5,4 %	ZNK-01
konduktivita (25 °C)	mS/m	160		+ 9,3 %	EK-01
reakce vody (pH)		7,15		+0,09,-0,09	pH-01

- > Zkoušky označené (+) nejsou akreditované.
- > Tento protokol nesmí být bez písemného souhlasu laboratoře reprodukován jinak než celý a výsledky se vztahují pouze ke zkoušeným položkám.
- > Hodnocení výsledků (pokud je uvedeno - viz níže) je mimo rozsah akreditace.
- > Výsledky označené hvězdičkou (*) nedosahují nebo přesahují uvedené limitní hodnoty.

> Uvedená nejistota je rozšířená nejistota metody stanovení (nezahrnuje nejistotu vzorkování), která byla vypočtena za použití koeficientu rozšíření k=2, což odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95%.

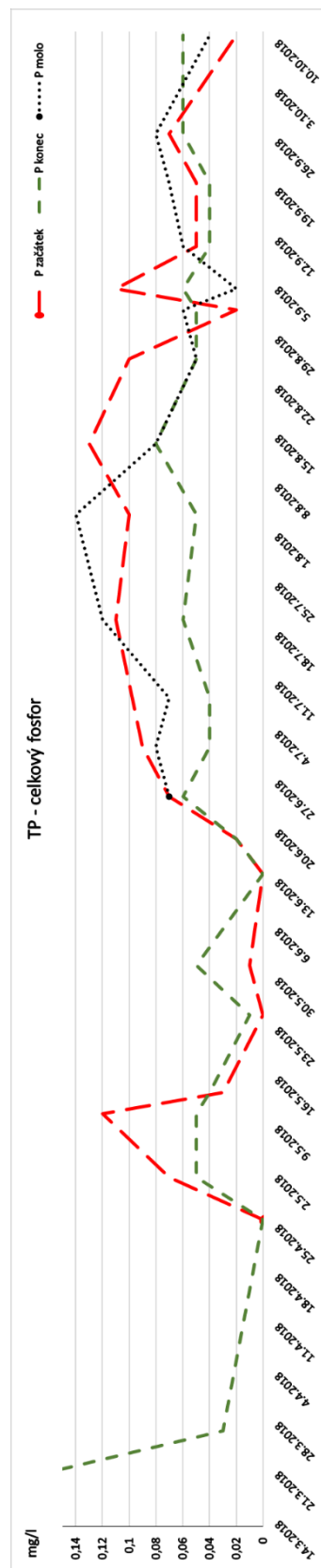
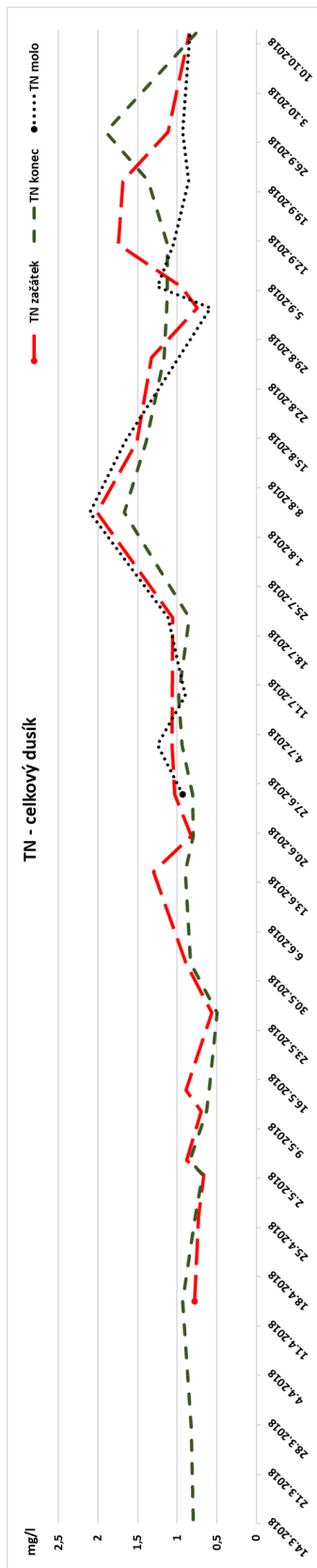
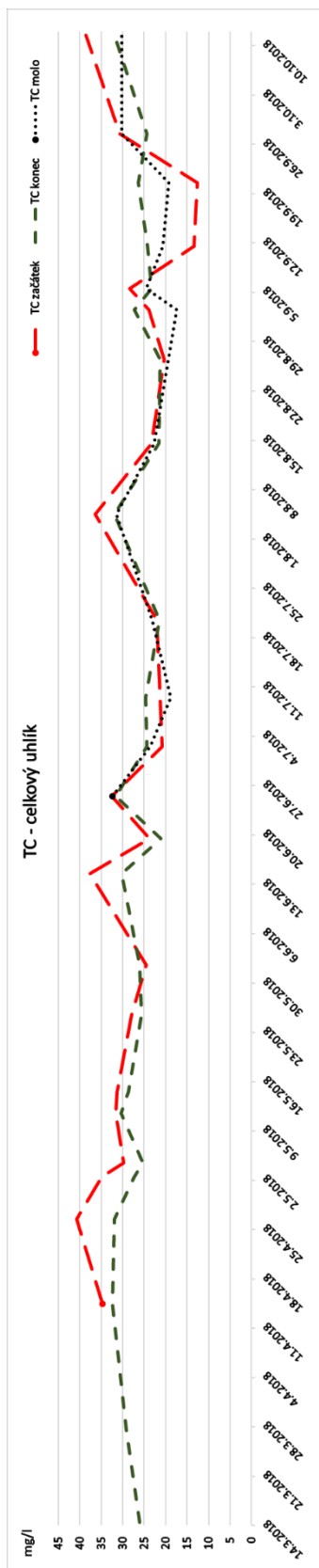
V Praze, 22.01.2010



 Ing. Ivan Černý
 vedoucí laboratoře

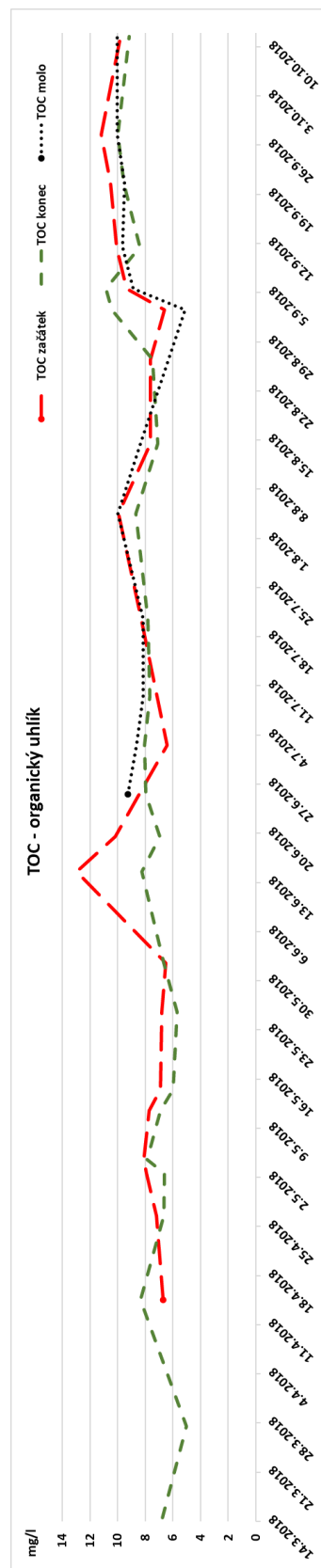
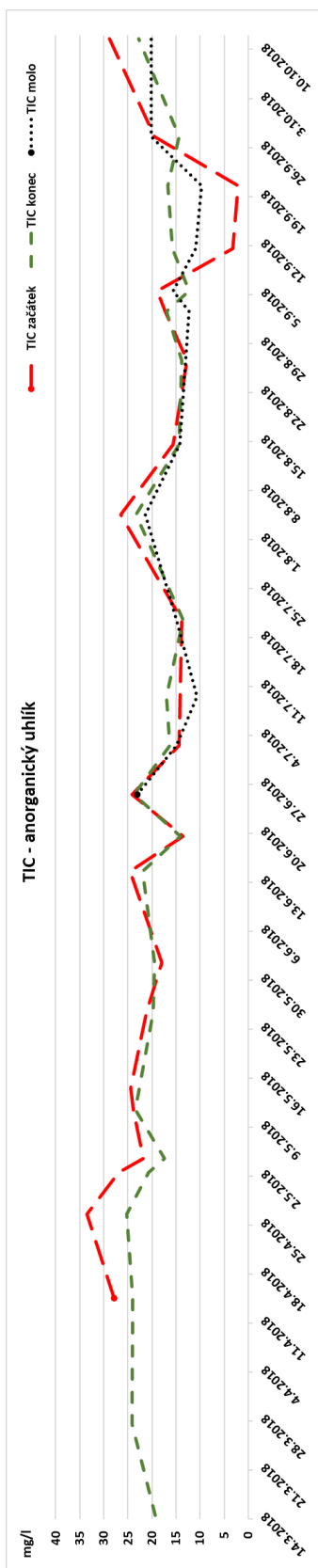
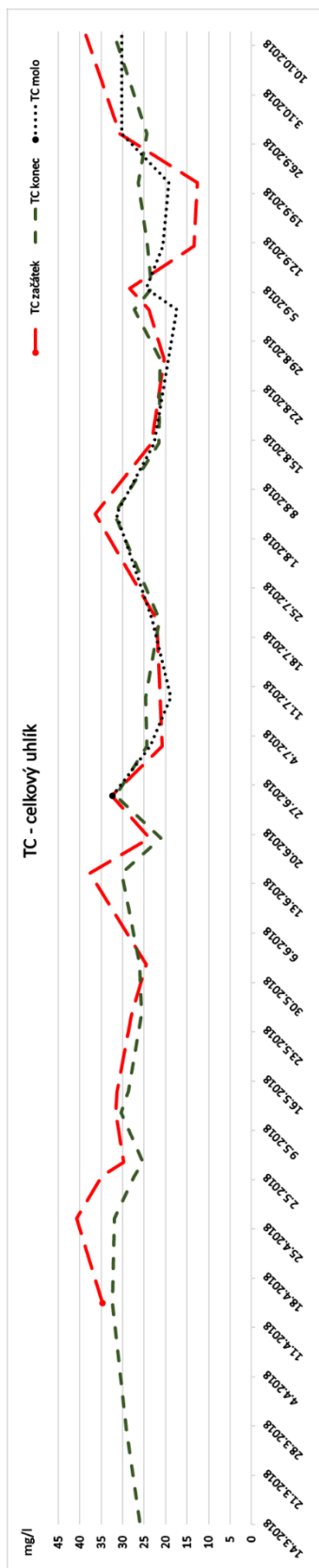
Príloha č. 5: Celková tabuľka analyzovaných hodnot

Číslo vzorku	Datum odběru	Označení	CELKOVÝ DUSÍK	ANORGANICKÝ DUSÍK	ORGANICKÝ DUSÍK	Amoniakální dusík	Dusičnanový dusík	Dusičnanový dusík	Amoniak	Dusičnan	Dusičnan	CELKOVÝ UHLÍK	ANORGANICKÝ UHLÍK	ORGANICKÝ UHLÍK	Pcelk.	Ortosořečnany	Sřrany	Chloridy	Bromidy	pH
			TN	TIN	TON	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃	N-NO ₂	NH ₄ ⁺	NO ₃	NO ₂	TC	TIC	TOC	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
351	14.3.2018	konec	0,80	0,498	0,302	0,083	0,388	0,028	0,107	1,72	0,09	26,07	19,33	6,74	0,32		233	66,48		8,09
352	27.3.2018	studna	1,14	1,035	0,105	0,081	0,890	0,064	0,104	3,94	0,21	52,80	48,72	4,08	0,06		244	65,45		7,86
353	27.3.2018	konec	0,82	0,520	0,300	0,083	0,402	0,035	0,107	1,78	0,12	29,18	24,14	5,04	0,03		237	63,83		8,18
277	14.4.2018	začátek	0,78	0,255	0,525	0,040	0,212	0,003	0,051	0,94	0,01	34,65	27,93	6,72		0,01	236	62,95	0,065	
278	14.4.2018	konec	0,93	0,185	0,745	0,028	0,154	0,003	0,036	0,68	0,01	32,37	24,01	8,36		0,01	236	62,73	0,107	
279	26.4.2018	začátek	0,73	0,294	0,436	0,049	0,242	0,003	0,063	1,07	0,01	40,79	33,58	7,21	0	0,01	237	63,16	0,070	
280	26.4.2018	konec	0,77	0,310	0,460	0,054	0,253	0,003	0,069	1,12	0,01	31,91	25,24	6,67	0	0,01	237	63,08	0,062	
354	2.5.2018	začátek	0,66	0,271	0,389	0,079	0,189	0,003	0,102	0,84	0,01	34,80	26,90	7,90	0,07		241	65,36		8,05
355	2.5.2018	konec	0,68	0,217	0,463	0,050	0,164	0,003	0,064	0,73	0,01	27,28	20,66	6,62	0,05		241	65,13		8,19
281	4.5.2018	začátek	0,88	0,220	0,660	0,038	0,178	0,003	0,049	0,79	0,01	29,85	21,76	8,09	5,12	0,01	249	70,99	0,082	
282	4.5.2018	konec	0,84	0,236	0,604	0,021	0,212	0,003	0,027	0,94	0,01	25,24	17,36	7,88	0,05	0,01	288	67,54	0,082	
356	11.5.2018	začátek	0,70	0,197	0,501	0,140	0,012	0,044	0,180	0,06	0,15	31,66	23,92	7,74	0,12		242	65,32		8,04
357	11.5.2018	konec	0,63	0,203	0,427	0,053	0,109	0,04	0,068	0,48	0,13	30,45	23,52	6,93	0,05		244	66,24		8,10
283	14.5.2018	začátek	0,89	0,401	0,489	0,046	0,346	0,009	0,059	1,53	0,03	31,34	24,44	6,90	0,03	0,01	244	66,87	0,085	
284	14.5.2018	konec	0,60	0,160	0,440	0,028	0,129	0,003	0,036	0,57	0,01	28,64	22,67	5,97	0,04	0,01	237	62,67	0,062	
359	25.5.2018	začátek	0,56	0,166	0,394	0,033	0,087	0,046	0,042	0,38	0,15	27,88	21,09	6,79	0		253	67,88		7,94
360	25.5.2018	konec	0,50	0,155	0,345	0,021	0,093	0,041	0,027	0,41	0,14	25,53	19,81	5,72	0,01		248	67,86	0,318	7,99
361	1.6.2018	začátek	0,89	0,265	0,625	0,061	0,192	0,012	0,078	0,85	0,04	24,54	18,00	6,54	0,01		255	70,95		8,16
362	1.6.2018	konec	0,83	0,345	0,485	0,054	0,291	0	0,069	1,29	0,00	26,08	19,43	6,65	0,05		243	66,11		8,13
371	14.6.2018	začátek	1,30	0,339	0,961	0,079	0,254	0,005	0,102	1,13	0,02	37,61	24,64	12,97	0		246	68,02		6,96
372	14.6.2018	konec	0,90	0,375	0,525	0,074	0,279	0,023	0,095	1,23	0,08	30,19	21,95	8,24	0		242	66,67		6,99
363	19.6.2018	začátek	0,82	0,306	0,514	0,049	0,220	0,037	0,063	0,97	0,12	23,74	13,55	10,19	0,02		227	59,36		7,96
364	19.6.2018	konec	0,80	0,378	0,417	0,057	0,281	0,04	0,073	1,25	0,13	21,06	14,11	6,95	0,02		246	68,78		8,14
285	25.6.2018	začátek	1,03	0,396	0,634	0,034	0,359	0,003	0,044	1,59	0,01	32,59	24,16	8,43	0,07	0,01	252	71,12	0,083	
286	25.6.2018	konec	0,81	0,366	0,444	0,056	0,307	0,003	0,072	1,36	0,01	31,70	23,73	7,97	0,06	0,01	252	70,86	0,087	
287	25.6.2018	molo	0,93	0,361	0,569	0,062	0,296	0,003	0,080	1,31	0,01	32,34	23,07	9,27	0,07	0,01	253	71,53	0,087	
603	2.7.2018	začátek	1,06	0,298	0,763	0,079	0,216	0,003	0,102	0,96	0,01	20,81	14,39	6,41	0,09	0,01	251	69,10	0,119	8,30
604	2.7.2018	Konec	0,94	0,334	0,610	0,051	0,280	0,003	0,066	1,24	0,01	24,30	16,24	8,05	0,04	0,01	258	73,10	0,122	8,49
605	2.7.2018	Molo	1,25	0,308	0,946	0,124	0,180	0,003	0,159	0,80	0,01	23,59	14,93	8,66	0,08	0,01	259	73,60	0,135	8,49
606	9.7.2018	Konec	0,98	0,273	0,707	0,068	0,202	0,003	0,087	0,89	0,01	24,72	17,02	7,70	0,04	0,01	258	78,90	0,145	8,15
607	9.7.2018	Molo	0,90	0,229	0,668	0,101	0,125	0,003	0,130	0,55	0,01	18,81	10,63	8,17	0,07	0,01	234	53,50	0,090	7,50
365	20.7.2018	začátek	1,06	0,254	0,806	0,051	0,186	0,016	0,066	0,83	0,05	22,08	13,80	8,28	0,11		257	73,70	0,112	8,25
366	20.7.2018	konec	0,85	0,323	0,527	0,042	0,236	0,045	0,054	1,05	0,15	21,39	13,59	7,80	0,06		258	73,71		8,20
367	20.7.2018	molo	1,12	0,238	0,882	0,026	0,171	0,041	0,033	0,76	0,13	23,17	15,00	8,17	0,12		254	76,20	0,110	8,19
368	4.8.2018	začátek	2,01	0,914	1,096	0,243	0,628	0,043	0,312	2,78	0,14	36,48	26,55	9,93	0,1		272	78,03		7,93
369	4.8.2018	konec	1,67	1,085	0,585	0,157	0,882	0,046	0,202	3,90	0,15	31,96	23,28	8,68	0,05		267	78,72		7,90
370	4.8.2018	molo	2,10	0,861	1,239	0,076	0,750	0,036	0,098	3,32	0,12	31,48	21,47	10,01	0,14		269	80,17		8,21
608	14.8.2018	Studna	1,06	0,674	0,388	0,142	0,511	0,022	0,183	2,26	0,07	41,92	35,36	6,56	0,05	0,01	260	75,40	0,148	7,58
609	14.8.2018	začátek	1,51	0,870	0,638	0,124	0,725	0,021	0,159	3,21	0,07	23,31	15,69	7,63	0,13	0,01	269	80,40	0,130	8,30
610	14.8.2018	Konec	1,39	0,740	0,649	0,063	0,662	0,015	0,081	2,93	0,05	21,52	14,43	7,09	0,08	0,01	269	80,10	0,125	8,35
611	14.8.2018	Molo	1,66	0,802	0,858	0,088	0,700	0,013	0,113	3,10	0,04	22,64	14,29	8,35	0,08	0,01	271	80,40	0,081	8,43
612	26.8.2018	začátek	1,33	0,581	0,744	0,106	0,468	0,008	0,136	2,07	0,03	20,35	12,72	7,64	0,1	0,01	273	82,60	0,127	8,37
613	26.8.2018	Konec	1,17	0,607	0,560	0,089	0,515	0,003	0,114	2,28	0,01	21,30	13,82	7,48	0,05	0,01	272	81,90	0,126	8,30
614	26.8.2018	Molo		0,581		0,109	0,465	0,006	0,140	2,06	0,02				0,05	0,01	263	78,30	0,091	8,16
615	2.9.2018	začátek	0,75	0,208	0,539	0,072	0,133	0,003	0,093	0,59	0,01	23,86	17,26	6,59	0,02	0,01	256	71,70	0,123	8,11
616	2.9.2018	Konec	1,14	0,285	0,852	0,127	0,155	0,003	0,163	0,69	0,01	27,37	16,97	10,40	0,05	0,01	254	70,70	0,121	7,98
617	2.9.2018	Molo	0,58	0,121	0,459	0,050	0,068	0,003	0,064	0,30	0,01	17,43	12,29	5,14	0,06	0,01	189	38,80	0,062	8,01
618	5.9.2018	začátek	0,95	0,331	0,616	0,125	0,203	0,003	0,161	0,90	0,01	28,32	18,95	9,37	0,11	0,01	279	84,20	0,100	7,59
619	5.9.2018	Konec	1,13	0,539	0,589	0,355	0,181	0,003	0,456	0,80	0,01	23,22	12,36	10,86	0,06	0,01	283	82,40	0,077	7,72
620	5.9.2018	Molo	1,25	0,598	0,650	0,372	0,223	0,003	0,478	0,99	0,01	24,56	15,66	8,90	0,02	0,01	284	82,00	0,122	8,05
621	11.9.2018	začátek	1,74	0,875	0,868	0,796	0,076	0,003	1,023	0,34	0,01	13,35	3,28	10,07	0,05	0,01	310	82,20	0,083	6,74
622	11.9.2018	Konec	1,13	0,251	0,875	0,173	0,075	0,003	0,222	0,33	0,01	24,18	15,76	8,42	0,04	0,01	289	82,60	0,126	7,96
623	11.9.2018	Molo	1,05	0,288	0,759	0,207	0,078	0,003	0,266	0,35	0,01	20,64	10,99	9,65	0,06	0,01	292	82,50	0,072	7,60
624	20.9.2018	začátek	1,69	0,984	0,702	0,930	0,051	0,003	1,196	0,23	0,01	12,68	2,19	10,50	0,05	0,01	329	82,50	0,086	
625	20.9.2018	Konec	1,37	0,546	0,822	0,491	0,052	0,003	0,631	0,23	0,01	26,31	16,76	9,55	0,04	0,01	283	82,50	0,120	7,37
626	20.9.2018	Molo	0,85	0,238	0,615	0,160	0,075	0,003	0,206	0,33	0,01	19,23	9,71	9,52	0,07	0,01	298	82,60	0,079	6,88
627	27.9.2018	začátek	1,12	0,388	0,729	0,307	0,077	0,003	0,395	0,34	0,01	30,69	19,52	11,17	0,07	0,01	279	82,60	0,086	7,51
628	27.9.2018	Konec	1,90	0,864	1,040	0,816	0,045	0,003	1,049	0,20	0,01	24,31	14,32	9,99	0,06	0,01	285	82,90	0,070	7,36
629	27.9.2018	Molo	0,93	0,268	0,666	0,214	0,051	0,003	0,275	0,22	0,01	30,19	20,16	10,03	0,08	0,01	278	80,80	0,075	7,63
630	11.10.2018	Studna	0,83	0,587																

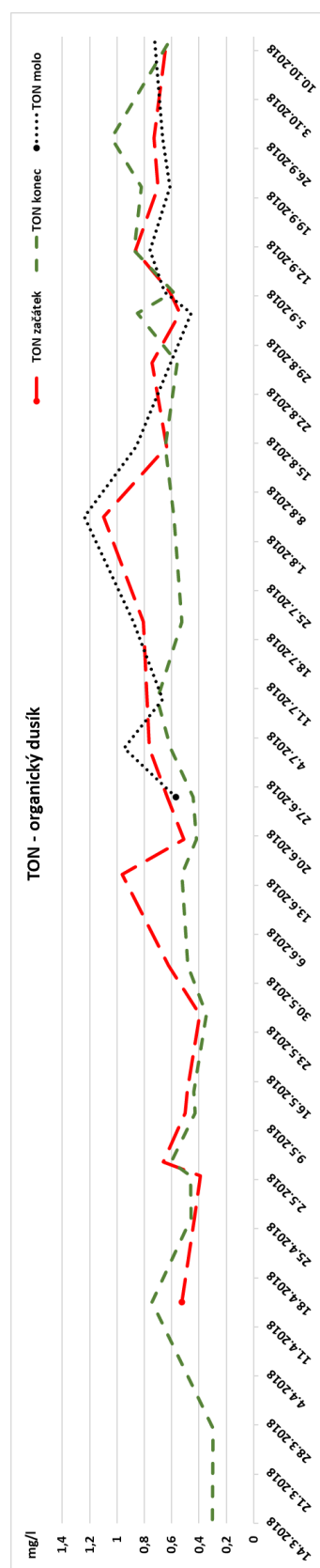
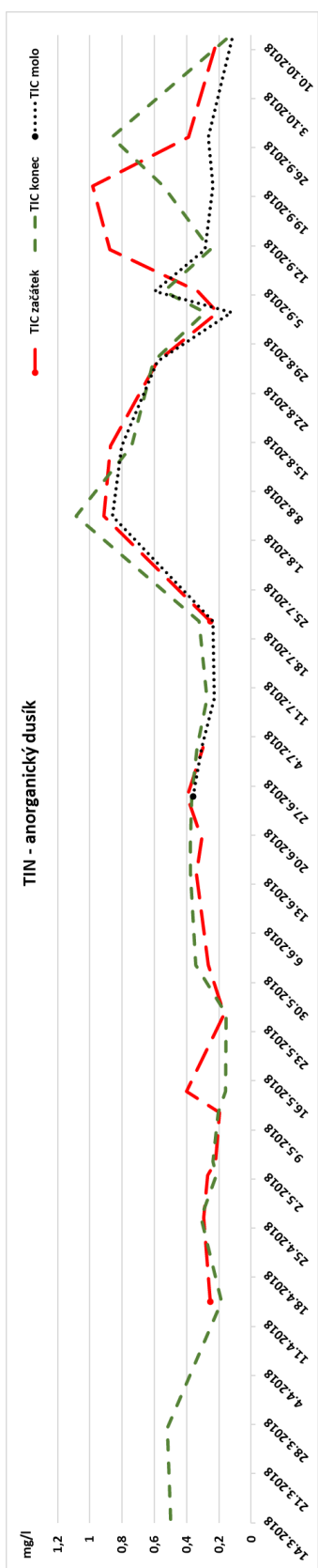
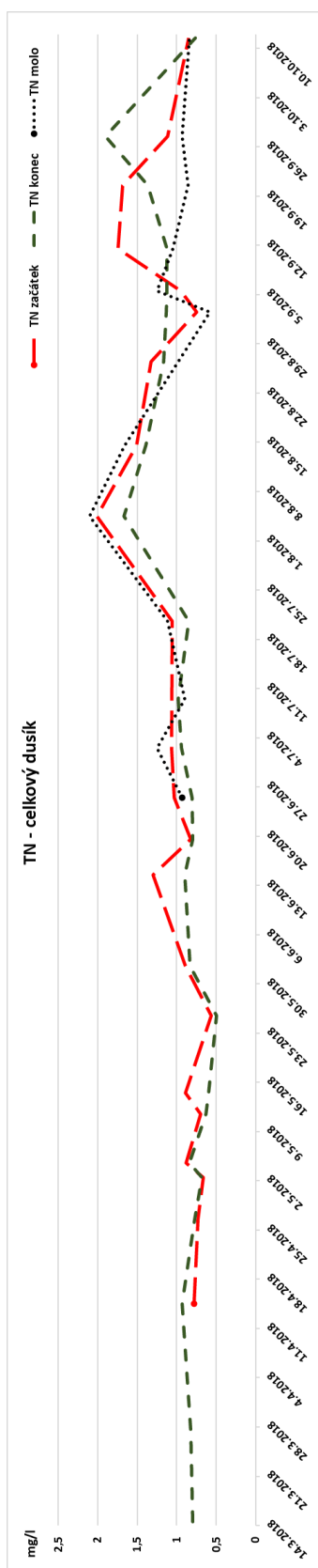
Príloha č. 6: Nejdůležitější biogenní prvky (TN, TC a TP)



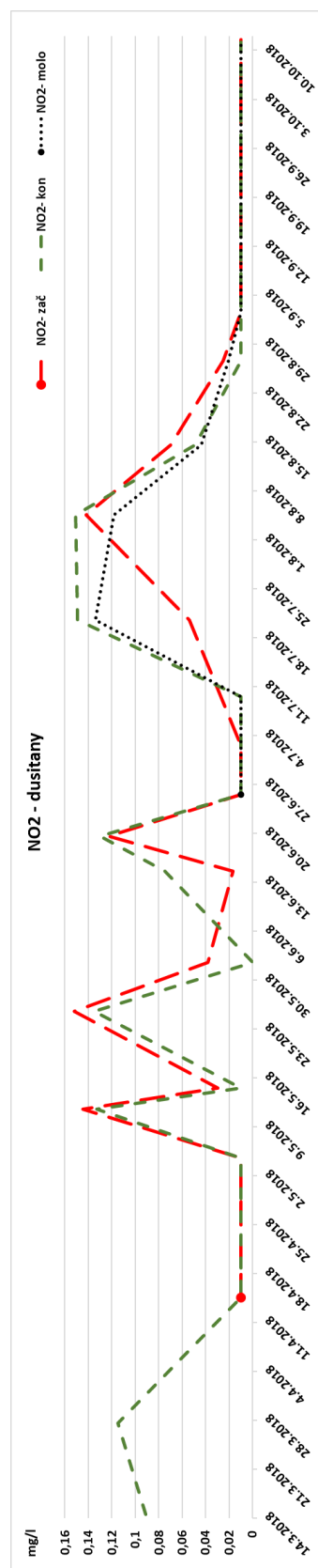
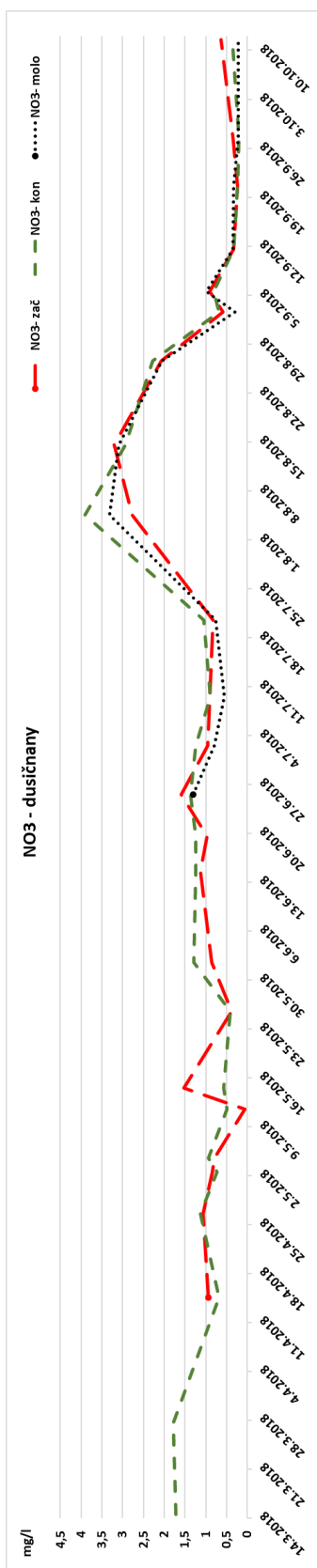
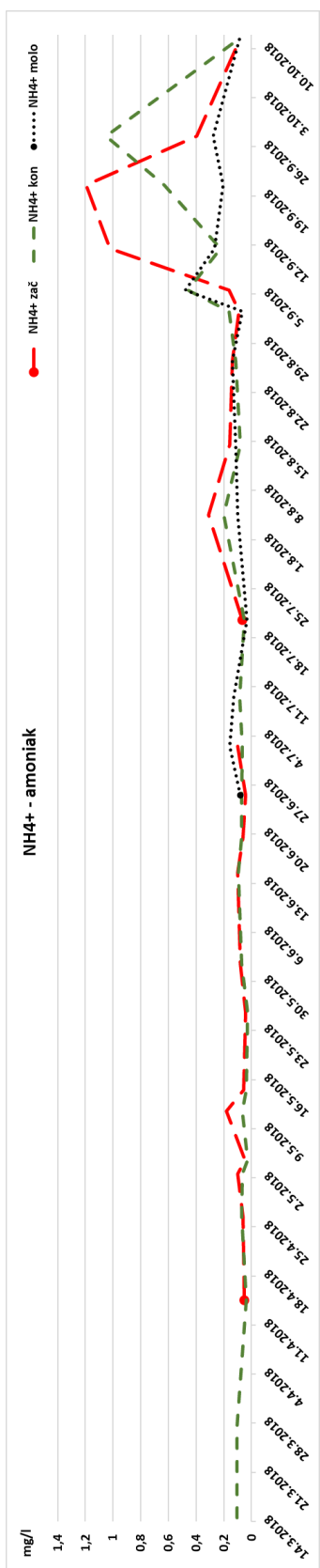
Príloha č. 7: Průběh všech forem uhlíku



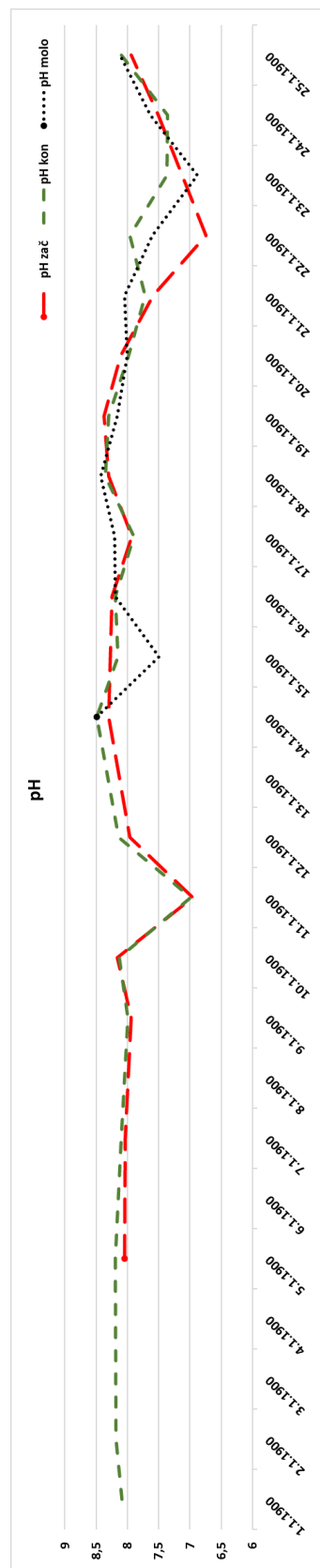
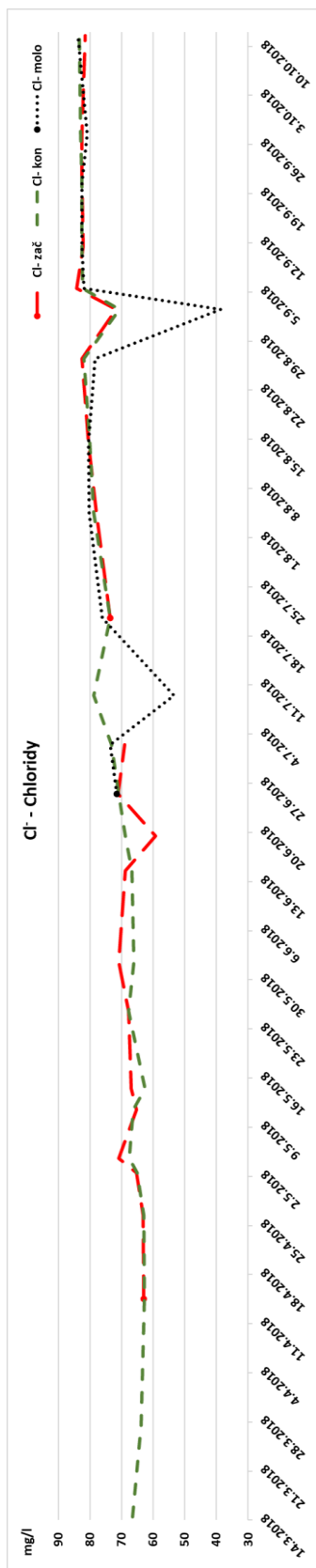
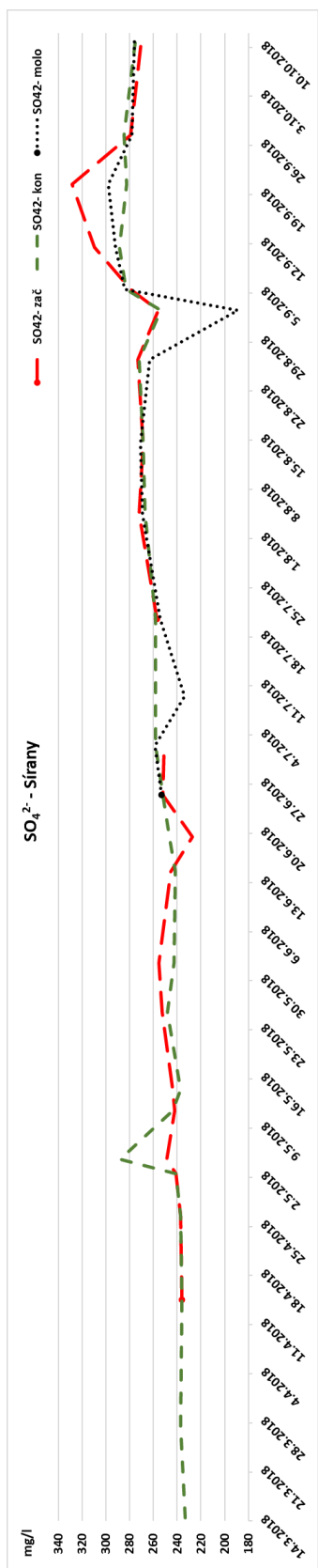
Příloha č. 8: Průběh všech forem dusíku



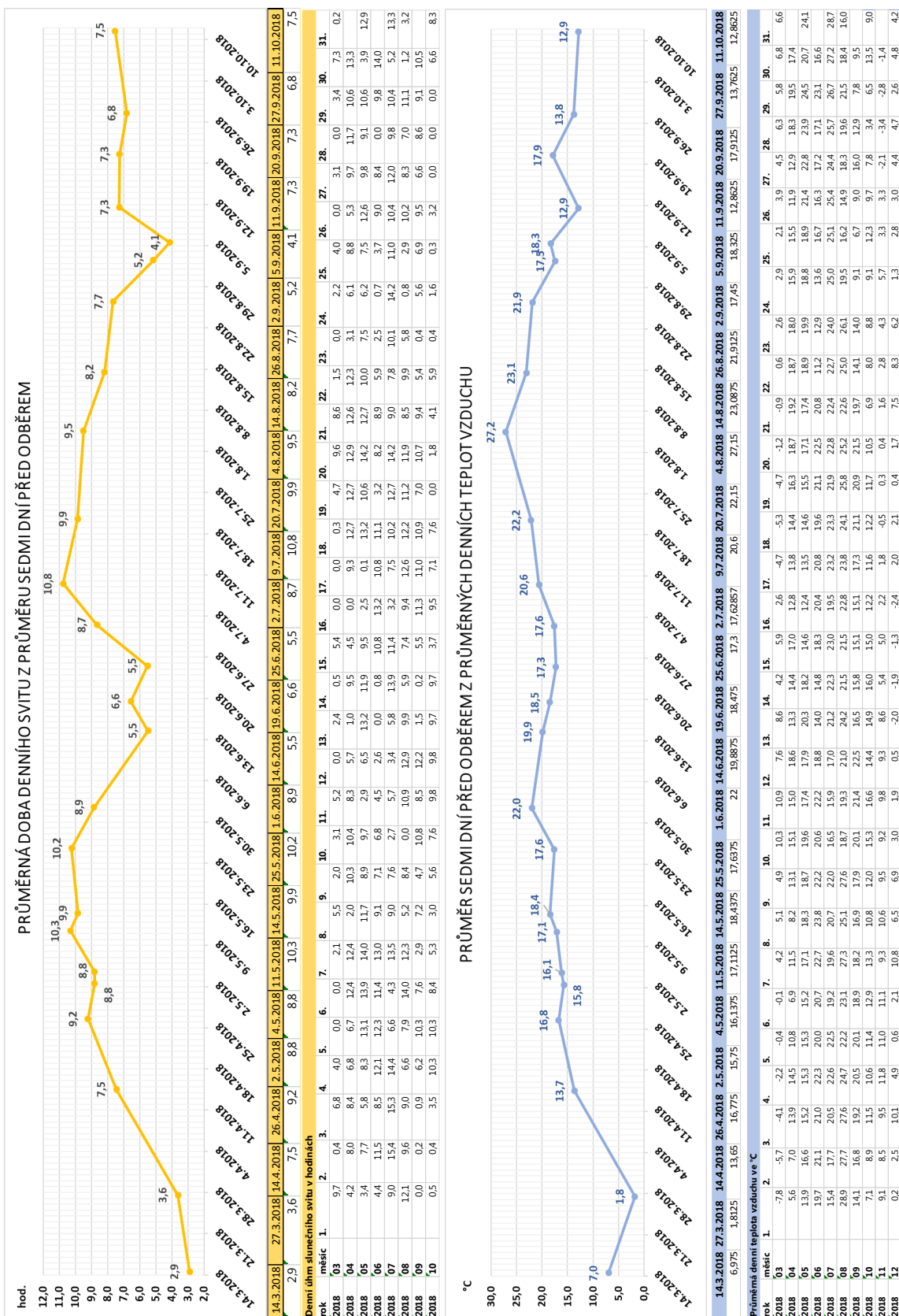
Příloha č. 9: Průběh koncentrací amoniaku, dusičnanů a dusitanů



Príloha č. 10: Průběh koncentrace síranů, chloridů a hodnot pH



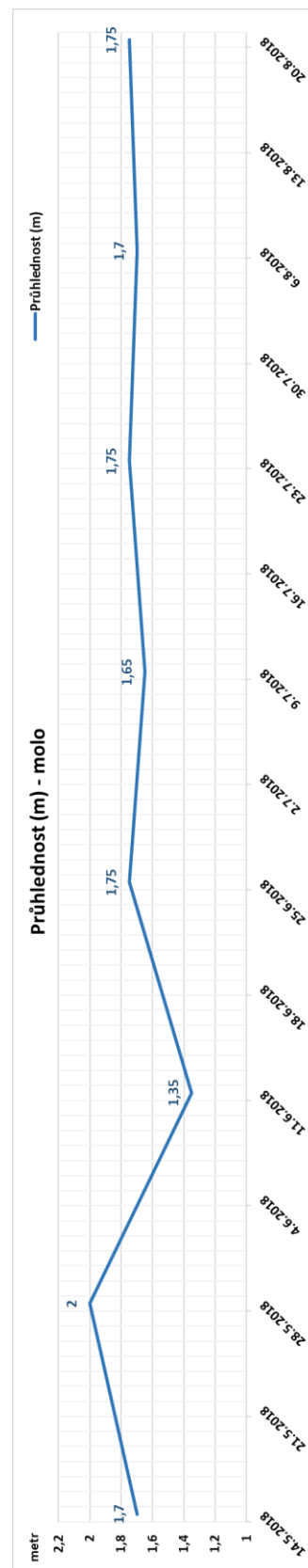
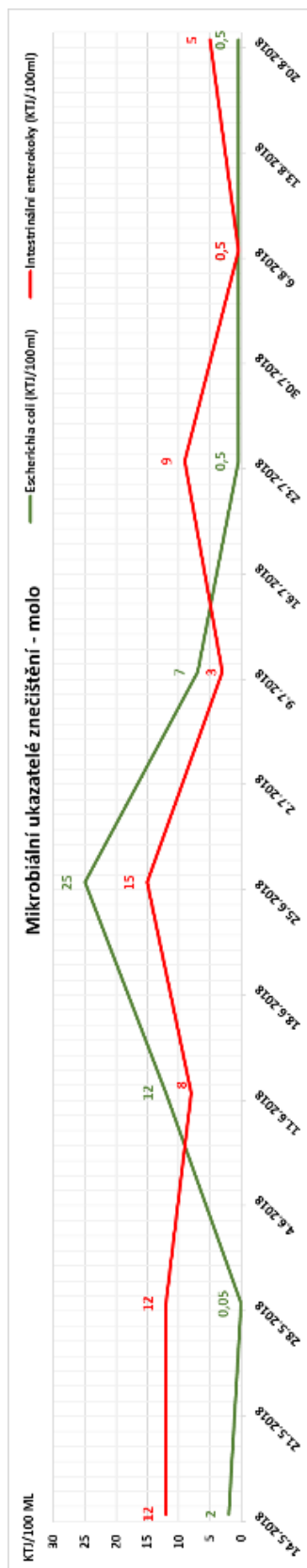
Príloha č 11: Hydrometeorologická data, Praha Libuň



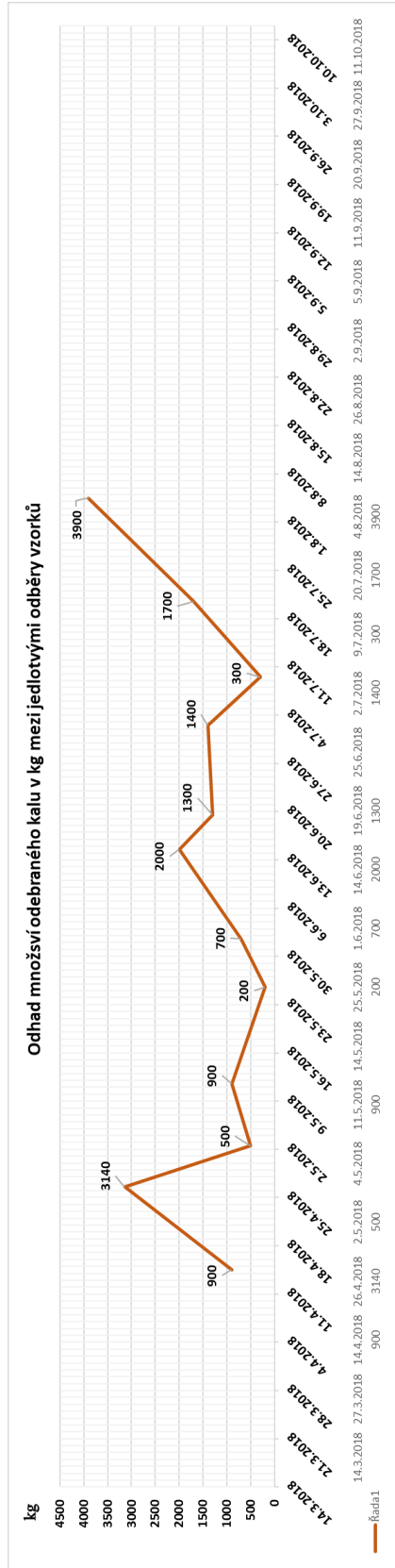
Příloha č. 12: Hygienická data. Mikrobiální znečištění a průhlednost.

Molo	14.5.2018	28.5.2018	11.6.2018	25.6.2018	9.7.2018	23.7.2018	6.8.2018	20.8.2018
Escherichia coli (KTI/100ml)	2	0,05	12	25	7	0,5	0,5	0,5
Intestrinální enterokoky (KTI/100ml)	12	12	8	15	3	9	0,5	5
Průhlednost (m)	1,7	2	1,35	1,75	1,65	1,75	1,7	1,75
Fosfor celkový (mg/l)	1,7	2	1,35	1,75	1,65	1,75	1,7	1,75
Fosfor celkový (mg/l)	0,05							

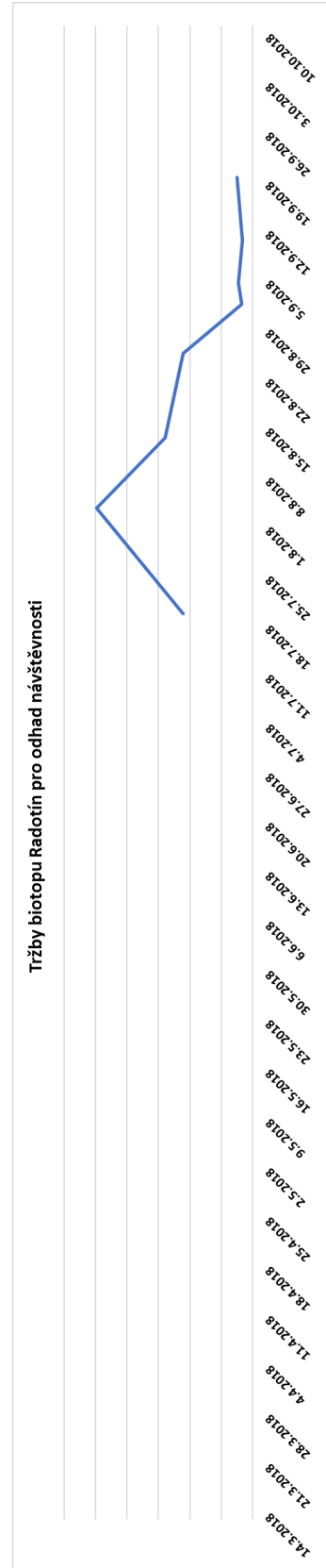
Studna	14.5.2018	11.6.2018	9.7.2018	6.8.2018
Escherichia coli (KTI/100ml)	0,05	3	0,5	0,5
Intestrinální enterokoky (KTI/100ml)	0,05	2	0,5	0,5
Fosfor celkový (mg/l)	0,5			



Príloha č. 13: Odhad množství odebraného kalu a odhad průběhu návštěvnosti



		Odhad množství odebraného kalu z čistícího jezera																														
Duben	4.4.2018	6.4.2018	7.4.2018	9.4.2018	12.4.2018	15.4.2018	17.4.2018	19.4.2018	21.4.2018	22.4.2018	23.4.2018	24.4.2018																				
kg	100	100	100	300	300	500	500	740	200	200	200	800																				
Květen	2.5.2018	5.5.2018	9.5.2018	19.5.2018	26.5.2018	27.5.2018	28.5.2018	31.5.2018																								
kg	500	300	600	200	200	200	100	200																								
Červen	6.6.2018	7.6.2018	9.6.2018	14.6.2018	15.6.2018	16.6.2018	17.6.2018	19.6.2018	27.6.2018																							
kg	600	400	500	500	200	500	400	200	600																							
Červenec	2.7.2018	7.7.2018	14.7.2018	15.7.2018	16.7.2018	17.7.2018	23.7.2018	26.7.2018	27.7.2018	29.7.2018	30.7.2018	31.7.2018																				
kg	800	300	500	300	500	500	500	300	500	400	400	800																				
Srpen	4.8.2018																															
kg	1000																															



18 Fotografie

Fotografie biotopu Radotín vznikly mezi lety 2017 a 2019. Fotografie jsou autorské.



Obr. 75: Pohled na čistící jezero od jeho začátku, 8.9. 2017



Obr. 76: Pohled na čistící jezero od jeho začátku, 14.3. 2018



Obr. 77: Pohled na čistící jezero od jeho začátku, 14.4. 2018



Obr. 78: Pohled na čistící jezero od jeho začátku, 26.4. 2018



Obr. 79: Pohled na čistící jezero od jeho začátku, 2.5. 2018



Obr. 80: U konce čistícího jezera, 2.5. 2018



Obr. 81: Pohled od konce čistícího jezera směrem k jeho začátku, 11.5. 2018



Obr. 82: Pohled od konce čistícího jezera, 11.5. 2018



Obr. 84: Cca prostředek čistícího jezera, 14.5. 2018



Obr. 85: Místo odběru začátek, 14.5. 2018



Obr. 86: Mechanicky odstraněná řasa, 14.5. 2018



Obr. 87: Nevítaní obyvatelé biotopu, 14.5. 2018



Obr. 88: Pohled na čistící jezero od jeho konce, 1.6. 2018



Obr. 89: Přibližně prostředek čistícího jezera, 1.6. 2018



Obr. 90: Nevitání obyvatelé rostou jako z vody, 1.6. 2018



Obr. 91: Zakalený začátek čistícího jezera, 4.6. 2018



Obr. 92: Místo odběru začátek, 4.6. 2018



Obr. 93: Zakalení vody i na konci čistícího jezera, 4.6. 2018



Obr. 94: Místo odběru začátek, 14.6. 2018



Obr. 95: Přibližně prostředek jezera, 14.6. 2018



Obr. 96: Přibližně prostředek jezera, 14.6. 2018



Obr. 97: Místo odběru začátek, 19.6. 2018



Obr. 98: Přibližně prostředek čistícího jezera, 19.6. 2018



Obr. 99: Pohled na jezero od začátku směrem ke konci, 19.6. 2018



Obr. 100: Začátek čistícího jezera, 25.6. 2018



Obr. 101: Kousek od začátku čistícího jezera, 25.6. 2018



Obr. 102: Zhruba prostředek čistícího jezera, 25.6. 2018



Obr. 103: Začátek čistícího jezera, 20.7. 2018



Obr. 104: Místo odběru začátek, 20.7. 2018



Obr. 105: Přibližně prostředek jezera, 20.7. 2018



Obr. 106: Konec čistícího jezera, 20.7. 2018



Obr. 107: Začátek čistícího jezera, 4.8. 2018



Obr. 108: Zhruba prostředek čistícího jezera, 4.8. 2018



Obr. 109: Kousek před koncem čistícího jezera, 4.8. 2018



Obr. 110: Začátek čistícího jezera, 14.8. 2018



Obr. 111: Sedimentační nádrž s mléčně zbarvenou vodou, 14.8. 2018



Obr.112: Místo odběru začátek, 14.8. 2018



Obr.113: Pohled na druhou a třetí hrázku, počítáno od začátku čistícího jezera, 14.8. 2018



Obr.114: Biomasa rostlin v čistícím jezeře, 14.8. 2018



Obr.115: Parožnatka v prostředí čistícího jezera, 14.8. 2018



Obr.116: Kousek před koncem čistícího jezera, průzračná voda, kusy řas, 14.8. 2018



Obr.117: Přibližně prostředek čistícího jezera, 14.8. 2018



Obr.118: Zakalené místo odběru začátek, 5.9. 2018



Obr.119: Zakalení na začátku jezera u druhé hrázky, 5.9. 2018



Obr.120: Parožnatka s řasami, 5.9. 2018



Obr.121: Vodní ptáci u čistícího jezera, 5.9. 2018



Obr.122: Souvislé plovoucí řasy, voda je zde průzračnější, přibližně střední část jezera, 5.9. 2018



Obr.123: Přibližně prostředek jezera, plovoucí kusy řas, mírné zakalení, 5.9. 2018



Obr.124: Zakalený konec čistícího jezera, 5.9. 2018



Obr.125: Odběrné místo začátek, 11.9. 2018



Obr.126: Přibližně prostředek jezera, voda bez zakalení, ale s velkým množstvím řas, 11.9. 2018



Obr.127: Postupem ke konci jezera se voda zprůzračnila, 11.9. 2018



Obr.128: Konec čistícího jezera průzračný bez zakalení, 11.9. 2018



Obr.129: Pohled od začátku jezera, biomasa rostlin je již z jezera odstraněna, řasy jsou na svém podzimním maximu, 20.9. 2018



Obr.130: Pohled na prostředek čistícího jezera, 20.9. 2018



Obr.131: Pohled na prostředek čistícího jezera, 20.9. 2018



Obr.132: Kousek od konce čistícího jezera, 20.9. 2018



Obr.133: Konec čistícího jezera, 20.9. 2018



Obr.134: Vegetační hmota rostlin odstraněna, řasy dozrívají, 27.9. 2018



Obr.135: Mechanické dočišťování čistícího jezera sleduje prof. Jan Vymazal společně se studenty z Číny, 27.9. 2018



Obr.136: Odstraněná vegetační hmota rostlin, 27.9. 2018



Obr.137: Již zbavená část čistícího jezera vegetace a sedimentů, 27.9. 2018



Obr.138: Zde je ještě třeba odstranění řas a sedimentů, 27.9. 2018



Obr.139: Koupací jezero je po ukončení sezóny upuštěno, 27.9. 2018



Obr.140: Začátek čistícího jezera, 11.10. 2018



Obr.141: Zhruba prostředek čistícího jezera, 11.10. 2018



Obr.142: Značné množství plovoucích řas v prostředku jezera, 11.10. 2018



Obr.143: Cca prostředek čistícího jezera, 11.10. 2018



Obr.144: Pohled na cca prostředek čistícího jezera, 11.10. 2018



Obr.145: Pohled k začátku čistícího jezera, 14.3. 2019



Obr.146: Přípravné výkopové práce na zapuštění nové kalové jámky, 14.3. 2019



Obr.147: Pohled na čistící jezero od jeho začátku, 14.3. 2019



Obr.148: Nové sedimentační nádrže, 5.4. 2018



Obr.149: Nová jámka na kal je již zasypana zeminou, 5.4. 2018