



**Obsah biogenů (N, P) ve vodě a sedimentu vybraných
rybníků.**

Diplomová práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Radovan Kopp, Ph.D.

Vypracovala:
Bc. Martina Kyselová

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: „Obsah biogenů (N, P) ve vodě a sedimentu vybraných rybníků“ vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala doc. Ing. Radovanu Koppovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, poskytnuté materiály a připomínky poskytnuté v průběhu řešení diplomové práce. Také bych chtěla poděkovat Ing. Barboře Musilové, která mi v průběhu řešení práce velmi pomáhala.

Výstupy a výsledky diplomové práce byly zpracovány na přístrojovém vybavení financovaném z projektu OP VaVpI CZ.1.05/4.1.00/ 04.0135 Výukové a výzkumné kapacity pro biotechnologické obory a rozšíření infrastruktury.

ABSTRAKT

KYSELOVÁ, Martina. Obsah biogenů (N, P) ve vodě a sedimentu vybraných rybníků. Brno, 2017. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.

Tato práce obsahuje poznatky o rybnících, jejich vodě a sedimentu. Dále poznatky o eutrofizaci rybníků a biogenech N a P, které v ní sehrávají největší roli. Součástí práce je experimentální část, pro kterou byly odebrány v roce 2016 vzorky vody a sedimentu z rybníků Šumický horní, Zámecký, Bohuslavický I a Ráček I. V laboratoři na oddělení rybářství a hydrobiologie pak byly stanoveny základní ukazatele pro hodnocení kvality vody a dané ukazatele v sedimentu. Výsledky rozborů vody byly porovnány s požadavky Nařízení vlády č. 401/2015 sb. na kvalitu vod. Na základě výsledků rozboru sedimentů byla vyhodnocena možnost jejich využití v zemědělství.

Klíčová slova: dusík, fosfor, eutrofizace, rybníční bahno, hydrochemické analýzy.

ABSTRACT

KYSELOVÁ, Martina. The content of biogens (N, P) in water and sediment of selected ponds. Diploma thesis. Mendel University in Brno.

The thesis contains findings about ponds, their water and sediment. Further findings on the eutrophication of ponds and biogens N and P, which play the most important role in it. Part of the thesis is an experimental part for which samples of water and sediment from the Šumický horní, Zámecký, Bohuslavický I and Ráček I were taken in 2016. In the laboratory of the Department of Fisheries and Hydrobiology, the basic indicators for water quality assessment and the given indicator in Sediment were set. The results of the water analyses were compared with the requirements of Government Regulation No. 401/2015 Coll. On water quality. Based on the results of the sediment analysis, the possibility of their use in agriculture was assessed.

Keywords: nitrogen, phosphorus, eutrophication, pond mud, hydro-chemical analysis

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	Cíl práce	8
3	Současný stav řešené problematiky.....	9
3.1	Rybníky.....	9
3.1.1	<i>Funkce rybníků</i>	9
3.2	Rybníční sediment	11
3.3	Eutrofizace	13
3.3.1	Vliv rybích obsádek.....	15
3.3.2	Další faktory ovlivňující úživnost rybníků	16
3.4	Sloučeniny dusíku.....	18
3.4.1	Amoniakální dusík.....	19
3.4.2	Dusitany	20
3.4.3	Dusičnany	22
3.5	Sloučeniny fosforu.....	23
3.5.1	Formy.....	24
3.5.2	Výskyt.....	25
3.5.3	Zdroje.....	26
3.5.4	Význam.....	26
4	Experimentální část	27
4.1	Materiál a metodika	27
4.1.1	Šumický horní.....	27
4.1.2	Bohuslavický I.....	28
4.1.3	Zámecký rybník	29
4.1.4	Rybník Ráček I	30
4.1.5	Odběry vzorků vody a sedimentu	31
4.1.6	Analýzy vody.....	31
4.1.7	Analýzy sedimentu	35
5	VÝSLEDKY	37
6	Diskuse	49
6.1	Fyzikálně-chemické parametry vody.....	49
6.2	Fyzikálně-chemické parametry sedimentů	51
7	ZÁVĚR.....	53
8	Přehled použité literatury	54
8.1	Knižní zdroje.....	54
8.2	Elektronické zdroje	58
9	Seznam obrázků	59
10	Seznam grafů.....	60
11	Seznam tabulek	61
12	Seznam použitých zkratk.....	62

1 ÚVOD

Chov ryb v rybnících má v České republice velmi dlouhou tradici. První písemné záznamy o zakládání a obhospodařování rybníků jsou již z 11. a 12. století. Nejdelší tradici má u nás chov kapra, a to především pro svůj relativně rychlý růst, velmi vysokou odolnost, vysokou kvalitu masa a dobré reprodukční vlastnosti. Rybníky však nemají význam jen v produkci ryb, ale plní i řadu jiných významných funkcí (retence živin, protipovodňová ochrana, atd.).

Díky intenzifikaci produkce ryb a s ní spojenému hnojení a vápnění, společně s nadměrným přísunem živin z jiných zdrojů (např. splachy z povodí), dochází ke zvyšování trofie rybníků. Řada rybníků v ČR se dá označit dokonce jako hypertrofní. V důsledku toho pak dochází k enormnímu rozvoji fytoplanktonu a sinic, a s tím k velkému kolísání hodnot rozpuštěného kyslíku ve vodě a pH.

Živiny, které se do rybníků dostávají z různých zdrojů, jsou většinou vázány v rybničním sedimentu. V důsledku zvyšování objemu sedimentu v rybnících se snižuje akumulační schopnost těchto rybníků a celkově pro ně masa sedimentu představuje velkou zátěž. Odstranění přebytečného sedimentu ze dna rybníků a jiných povrchových vod patří v současnosti k největším problémům vodního hospodářství.

Z živin nejvíce ovlivňují čistotu vod sloučeniny dusíku N a fosforu P, neboť jsou základními stavebními prvky rostlin a živočichů. Biogeny N a P jsou také často limitujícími prvky pro výskyt určitých druhů organismů.

Jakost vody v rybnících, které slouží k různým účelům, je v dnešní době velkým předmětem zájmu. Odpovědět však jednoznačně na otázku týkající se kvality vody našich rybníků není možné. Kvalita vody se liší nejen mezi jednotlivými rybníky, ale i v rámci jednoho rybníka v průběhu roku. Také se kvalita vody může lišit v jednotlivých částech rybníka.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo v literárním přehledu popsat problematiku biogenů N a P ve vodě a jejich vlivu na trofii rybníků. Dalším cílem bylo v praktické části provést monitoring kvality vody vybraných rybníků a stanovení daných ukazatelů v sedimentu. Nakonec pak porovnání získaných dat s legislativními požadavky a jejich vyhodnocení.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

3.1 Rybníky

Zákon o rybníkářství č.99/2004 sb. definuje rybník jako vodní dílo, které je vodní nádrž určenou především k chovu ryb, ve kterém lze regulovat vodní hladinu, včetně možnosti jeho vypouštění a slovení; rybník je tvořen hrází, nádrží a dalšími technickými zařízeními.

Rybníky představují nejčastější typ povrchových stojatých vod v ČR, vyskytuje se jich u nás asi 20 000 o celkové rozloze větší než 52 000 ha. Mají velký význam z hlediska hydrologického i z hlediska jejich role v krajině (Pechar, 2015).

Dříve byly rybníky budovány hlavně pro rybochovné účely, je ale pochopitelné, že plnily i spoustu dalších funkcí, a to jak v hydrografickém systému, tak v systému krajiny. Díky zvyšování intenzity produkce ryb v rybnících (krmení, hnojení, jednohorkové cykly, kaprokachní hospodářství) postupně docházelo k omezování až devastaci ostatních funkcí těchto rybníků.

Na konci minulého století došlo ke společenským změnám, které ovlivnily i přístup a posouzení funkcí rybníků tím, že byly začleněny do kategorie „Významný krajinný prvek“. Během následujících dvaceti let došlo k velkému zvýšení požadavků na rybníční polyfunkčnost včetně rekreace, ovšem s tím, že je kladen důraz na funkce, které mají vazbu na biodiverzitu a krajinný ráz. Díky těmto změnám dochází v některých případech v důsledku prioritizace zájmů z oblasti ochrany přírody u rybníků k omezování primární rybochovné funkce (Pokorný *et al*, 2015).

3.1.1 Funkce rybníků

Vodohospodářská funkce

Rybníky hlavně v pramenitých oblastech souží k vyrovnávání vodní bilance, zásobování pramenů podzemní vody a také k udržování jejich hladiny. Ocenění se jim dostává také díky jejich schopnosti eliminovat lokální povodně.

Retence vody

Je jednou z klíčových funkcí rybníků, která dává vzniku dalším pozitivním vlivům. Retence vody má jednoznačně význam pro chov ryb, případně vodní drůbeže. Dále pro využití energetické a technologické, pro závlahy a také jako zdroj užitkové i pitné vody. V závislosti na vodní ploše má retence vody vliv na lokální teplotu ovzduší a díky výparu také na vlhkost a v menší míře i na srážky (rosa, mlha, aj.).

Krajinný ráz

Rybníky mají význam v utváření krajiny a plní v ní funkci estetickou. Obvykle se jedná o soustavy, které vznikly v časově vzdálených dobách, čímž zanikl jejich „umělý“ punc a dnes jsou považovány za typické dominanty krajiny. Typickým příkladem je Chlumecká rybníční soustava na Třeboňsku.

Rekreační funkce

Nejcennějším aspektem rekreace je sportovní rybolov, který je na některých rybnících prováděn. Dále mohou rybníky tvořit součást rekreačních areálů, jako jsou kempy, pláže, případně slouží ke koupání.

Zdroj biodiverzity

Rybníky vytváří trvalé i dočasné existenční prostředí jednotlivým druhům rostlin a živočichů. V rámci krajiny je tato jejich funkce klíčová a nezastupitelná.

Eliminace znečištění vod

Rybníky se významně podílejí na snížení zátěže znečištěním. Přes 50 % výměry rybníků se přímo zapojuje do čistírenských procesů odpadních vod, protože průběžně zajišťují sekundární a terciální čištění. Dočišťovací funkce rybníků je téměř úplná, neboť jsou eliminována i koncová znečištění, tj. biogenní prvky, odcházející z ČOV a sídelního znečištění.

Produkce

Největší význam má produkce ryb, v některých případech však nelze opomenout význam produkce vodních ptáků, které představují objekt myslivosti. Rybníky mohou sloužit také pro produkci vodních rostlin, které mohou následně posloužit jako potrava ryb, dále rostlin, keřů a stromů v příbřežní a břehové oblasti (Pokorný *et al* 2015, Zákoutská 2012).

Retence živin

Rybníky v naší krajině fungují jako významné regulátory látkových a energetických toků. Protékající voda se v rybnících „zastaví“ a díky tomu procesy sedimentace získají dostatek času. Zde pak dochází k vytváření chemických a fyzikálních rovnováh a realizaci biologických procesů uplatňujících se při výsledné transformaci látek. V rybnících jsou pro tyto procesy ideální podmínky.

Přirozeně rybníky disponují velkým potenciálem v zadržení fosforu a dusíku, které se do nich dostávají z bodových, plošných a difúzních zdrojů, ale i z rybářského

hospodaření. Mezi hlavní faktory ovlivňující retenci těchto biogenů patří hydrologie rybníka (doba zdržení, hloubka, charakter odtoku), kvalita sedimentů, strojení a výlov rybníka, intenzita rybářského hospodaření, atd.

Velké množství živin je vázáno v rybničním sedimentu a je potřeba se zamyslet nad jeho využitím. Využití rybničního sedimentu k zúrodňování našich polí, by mohlo přispět i k celkovému zlepšení kvality povrchových vod (Potužák a Duras, 2015).

3.2 Rybniční sediment

Sedimenty vznikají díky rozrušování starších hornin, transportu horninového materiálu a následně usazování minerálních úlomků a částic, případně díky vylučování látek z roztoků. Některé sedimenty jsou nedřívě sypké a teprve během diagenese dochází k jejich zpevnění (Sajner, 2009).

Základní rozdělení sedimentů:

- klasické, úlomkovité (detritické),
- organogenní,
- chemogenní.

Chemismus a intenzitu znečištění sedimentu značně ovlivňuje jeho zrnitost. Sedimenty rybníků bývají různorodé, nejčastěji to však bývají jíly, slíny a jemné písky. Mnoho rybníků zarůstá vegetací a její zbytky jsou pak ukládány do sedimentů. Mimo přívalových dešťů a jiných klimatických událostí probíhá usazování klidně a díky pravidelnosti tohoto usazování jsou sedimenty jemně horizontálně zvrstvené.

Rybniční sediment bývá někdy označován jako sub-hydrická půda, ve které je uplatňován větší organický podíl (plankton, vyšší rostliny). Redukční podmínky v rybnících podporují vznik sirníků, kdežto při letnění dochází k oxidaci a vzniku síranů a volné kyseliny sírové. Díky tomu dochází k okyselování rybniční půdy.

V sedimentech se znečišťující látky zachytávají hlavně díky vysokému specifickému povrchu minerálních částic, vysokému obsahu organické hmoty a díky specifickým mikrobiálním procesům, probíhajícím v anaerobním prostředí (Sajner 2009, Kubík 2009).

Většina jílových minerálů má na povrchu permanentně negativní náboj, díky čemuž se na něj váží elektricky nabitě polutanty, hlavně toxické kovy, např. Cu, Cd, Pb, Hg, Mn, Zn. Vyšší koncentrace toxických kovů obsahují nejjemnější minerální částice, a to díky svému většímu specifickému povrchu (Sajner, 2009).

V České republice je odhadem 51 tis. ha rybníčních ploch, ve kterých se nachází téměř 200 mil. m³ usazenin. Tyto usazeniny jsou výsledkem působení eroze v povodí, transportu a sedimentace půdních částic (Marek, 2003).

Díky intenzifikaci zemědělské výroby, nevhodnými agrotechnickými postupy, používáním těžké techniky a zanedbáním péče o krajinu ve 20. století, byly přirozené procesy smyvu půd několikanásobně zrychleny. Díky tomu se několikanásobně zvýšil objem sedimentů a s tím i jejich nepříznivý dopad v rybnících (Ansorge, 2003).

Důsledky zanesení rybníků

- V našich rybnících se nachází asi 197 mil. m³ hmoty. O toto číslo je snížena i jejich akumulární schopnost a s ní pak klesá i retenční účinnost v protipovodňové ochraně. Hmoty sedimentů je pro rybníční ekosystém a vodohospodářskou soustavu trvalou zátěží.
- U rybníka dochází k velkému nepoměru mezi katastrální výměrou a skutečnou plochou. Pokud je odhad současné výměry rybníčních ploch v České republice přes 50 tis. ha, je potřeba si uvědomit, že díky zrychlenému zazemňování v rybníčních okrajích bude skutečná výměra snížena cca na 35 tis. ha.
- Biologická hodnota rybníků se snižuje; díky nárůstu organické hmoty dochází k rychlému vymělčování litorálního pásu a nastává prudký rozvoj „tvrdé“ vodní vegetace, pobřežní pás se přeměňuje na unifikovaný biotop s porosty zblochanu, chrastice a skřípiny, s pro řadu živočišných druhů omezenými stanovištními podmínkami (Benešová, 2003).

Nezbytnou součástí zachování funkčnosti a průtočnosti rybníků je odtěžení sedimentů. Z pohledu legislativy je sediment chápán jako odpad, a to až do okamžiku, kdy se prokáže jeho nezávadnost (Ansorge 2003, Marek 2003).

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a změně některých dalších zákonů v § 37 říká, že sedimenty vytěžené z koryt vodních toků a vodních nádrží, pokud jsou odpadem, je možné využívat na zemědělském půdním fondu v souladu s § 14 odst. 2 pouze za splnění požadavků zvláštních právních předpisů, a to:

- Zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů.

- Zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů.

3.3 Eutrofizace

Eutrofizace je proces, kdy dochází ke znečištění povrchových vod živinami. Tento termín souvisí s pojmem „trofie“, což je úživnost vody (Adámek *et al*, 2010).

Štěrbá (2008) definuje trofii jako schopnost daného vodního biotopu v daných podmínkách reprodukovat biomasu. Tato schopnost je podmíněna množstvím látek, které vstupují do trofického cyklu „živiny – organismy – živiny“, přičemž množství těchto látek limitují životní faktory (teplota, světlo, velikost prostoru, proud, obsah O₂ apod.).

Jako kritéria pro určení stupně trofie jezer a nádrží se nejčastěji užívá koncentrace celkového fosforu, případně rozpuštěného reaktivního fosforu, který je pro metabolismus řas dostupný přímo. Dále koncentrace chlorofylu a, průhlednost vody a koncentrace rozpuštěného kyslíku (Pitter, 2009).

Podle obsahu chemických látek a jejich fyzikálně chemických parametrů byla v limnologii přijata typizace vod vzhledem k jejich trofii. Stupně trofie a jejich charakteristiky jsou uvedeny v Tab. 1.

Tabulka 1: Klasifikace stojatých vod dle úživnosti (Adámek *et al*, 2010)

Úživnost	Celkový P (mg.l ⁻¹)	Chlorofyl a (μg.l ⁻¹)		Průhlednost (m)	
	prům.	prům.	max.	prům.	max.
oligotrofie	< 0,010	< 2,5	< 8	> 6	> 3
mezotrofie	0,010-0,035	2,5-8	8-25	3-6	1,5-3
eutrofie	0,035-0,100	8-25	25-75	1,5-3	0,7-1,5
hypertrofie	> 0,100	> 25	> 75	< 1,5	<0,7

Původní kategorie, které jsou uvedeny v Tab. 1, byly rozpracovány mnoha dalšími autory na podrobnější členění, ovšem ukazatele, které charakterizují jednotlivé kategorie včetně intervalů, nejsou celosvětově, ani v rámci EU, jednotné. Obecně jsou kritéria tvrdší v severní Evropě (eutrofie od 35 μg.l⁻¹ celkového P a chlorofylu a), naopak v jižní Evropě jsou většinou mírnější (Itálie – eutrofie od 100 μg.l⁻¹ chlorofylu i P), (Adámek *et al*, 2010).

Rozšířeným typem je dystrofie, při které je voda díky vysokému obsahu huminových kyselin zbarvena žlutě až hnědě. U dystrofie bývá nízký obsah rozpuštěného fosforu,

což omezuje rozvoj fytoplanktonu. Kyselá reakce vody omezuje druhovou rozmanitost zoobentosu a zooplanktonu a také brzdí rozkladné procesy, díky čemuž se organická hmota hromadí na dně (Hartman *et al*, 2005).

Zvýšený obsah živin umožňuje rychlý nárůst hlavně sinic a bakterií, které se živí dusíkem a fosforem, ale také masivních společenstev fytozobentosu nebo makrofyt. Koncentrace živin však sama o sobě pro zrychlení primární produkce nestačí. Realizaci trofického potenciálu ovlivňují další faktory, jako zadržení vody, oteplení vody, změna výšky vodního sloupce, biocetonické vztahy, atd. Musí tedy dojít k nastolení podmínek, za kterých může probíhat nárůst rostlinné biomasy (Adámek *et al* 2010, Kukol 2013)

Možnosti projevu zvýšené nabídky živin v primární produkci:

- Tzv. vegetační zákal: drobné planktonní řasy, které vytvářejí opticky homogenní suspenzi – projeví se výrazným snížením průhlednosti vody. Komplikuje použití vody jako zdroje pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Tento jev je častý u mělkých vodních nádrží rybničního typu a to jen za určitých podmínek. Při pomnožení zooplanktonu dojde k posunu velikostního spektra ve prospěch větších druhů řas a sinic, čímž dojde i ke zvýšení průhlednosti vody. Většinou omezen na jarní období.
- Tzv. vodní květ, který vytvářejí větší koloniální či vláknité sinice, představují druhy, které jsou schopné se shromažďovat u hladiny, čímž vytvoří na první pohled patrné shluky. Je nutné vodní květ odlišit od neustonických povlaků např. krásnooček, které vytváří u hladiny zelené povlaky např. u návesních rybníků s vysokou trofií. Vodní květ je obvykle omezen na letní období. Ve vodních ekosystémech představuje nežádoucí stavy vzhledem k potenciální produkci toxinů a možností vzniku nežádoucích jevů jakosti vody (úhyn ryb, kyslíkový deficit) v době, kdy hromadně odumírá vyprodukovaná biomasa.
- Bentické sinice a rozsivky prodělávající počáteční vývojová stadia na povrchu sedimentů, ale později přecházejí do natantních stádií. Hromadný rozvoj se projevuje utvářením „hladinových koberců“, které omezují výměnu plynů mezi atmosférou a vodou. Bentické sinice se při hladině udržují díky fotosyntetické produkci bublinek kyslíku, které se zachycují mezi jejich vlákny. Indikací zvyšující se trofie čistých jezer jsou tzv. „bentické koláče“, které vznikají díky přemísťování jemných sedimentů větrem a proudy.

- Zelené vláknité řasy oproti předchozím typům vytrvávají delší období. Jejich masivní rozvoj bývá zejména v mělkých stojatých vodách a v tocích s vyšší průhledností a rychlostí proudění vody. Na rozdíl od sinic netvoří toxiny, ale naopak mají pozitivní vliv na kyslíkovou bilanci při svém růstu.
- Vyšší vodní vegetace (litorální, submerzní, atd.), pokud její rozvoj probíhá v únosné míře, je spíše vítána. Její rozvoj omezuje pohyb vodní masy a sedimentu způsobený větrem a proudy, přispívá ke stabilitě vodních ekosystémů a stabilizuje břehy. Může však omezovat prostor pro pohyb ryb a ztěžovat výměnu plynů mezi vodou a atmosférou (Adámek *et al* 2010, Velíšek *et al* 2014).

3.3.1 Vliv rybích obsádek

Rozhodující vliv na intenzitu projevu eutrofizace ve změnách kvality vody má velikost rybí obsádky, a to hustota i věkové složení. Při nižších obsádkách ryb se v dostatečné míře rozmnoží velké perloočky, které omezují rozvoj biomasy fytoplanktonu. Tento efekt se projevoval ještě v 70. letech, a to u rybníků s dvouhorkovým systémem hospodaření, kdy v prvním roce cyklu byla početná obsádka, ale celková biomasa byla nízká a díky tomu byl zooplankton pod minimálním žracím tlakem ryb. Po většinu sezóny pak převládaly velké perloočky rodu *Daphnia*. Množství drobného zooplanktonu (hlavně bičíkovci a rozsivky) narůstalo zpravidla v předjarním období a jeho vývoj byl ukončen na konci dubna až začátkem května, a to díky rostoucímu predačnímu tlaku velkých perlooček. Na velmi nízké hodnoty kleslo množství fytoplanktonu, což se projevilo i velkou průhledností vody (často přes 3 m). Tento stav trvá asi 1–2 měsíce a je označován jako období čisté vody. Biomasa fytoplanktonu v tomto období byla nízká téměř po celou dobu.

Ve druhém roce dvouhorkového cyklu byla nižší rybí obsádka v důsledku přirozených ztrát, ovšem biomasa byla oproti předešlému roku až o řád vyšší. Díky intenzivnímu predačnímu tlaku ryb došlo k eliminaci velkého zooplanktonu a nahradily jej drobné perloočky (*Daphnia galeata*, *Ceriodaphnia*, *Bosmina*), buchanky a vířníci. Období čisté vody bylo velmi krátké, zpravidla v květnu. Zřetelný jarní a letní vegetační zákal poukazoval na větší množství fytoplanktonu (Pechar, 2015).

V rámci biologického procesu rybníční vody se prvky postupně transformují a v konečné fázi potravinového řetězce tvoří produkci živočišné bílkoviny, tzn. rybího masa. Tím, že se ryby následně vyloví z rybníků, dojde k výraznému snížení jejich

znečištění. Tato úloha ryb v rybnících a jiných nádržích však nebyla vždy dostatečně oceněna.

V boji proti nadměrnému rozvoji fytoplanktonu pomáhá také přiměřeně zvýšená obsádka ryb, hlavně kapra v polykultuře s býložravými rybami a línem.

Obsádky tostolobika bílého a pestrého (do 100 ks.ha⁻¹), společně s plůdkem doplňkových druhů ryb, rapidně snižují rozvoj fytoplanktonu. Pro stanovení výše polokulturní obsádky je potřebná dobrá znalost rybníka po stránce hydrologické a hydrobiologické (Pokorný *et al*, 2015).

Vhodně zvolené obsádky amura bílého a kapra obecného mohou plnit i meliorační poslání. Obsádky, ve kterých je zastoupen hlavně amur s přísazením kapra, eliminovaly vodní a další měkké porosty a také omezily začínající tvrdé porosty. Tohoto efektu je však dosaženo pouze za předpokladu, že se v rybníce nepřikrmuje a také záleží na druhové skladbě makrovegetace, protože amur některé druhy opomíjí a jiné preferuje (Pokorný *et al* 2015, Dubský 2015).

3.3.2 Další faktory ovlivňující úživnost rybníků

Klimatické, hydrologické a geologické podmínky

Podle přírodních podmínek, ve kterých se rybníky nacházejí, lze stanovit jejich přirozenou produkci. V ČR se oblasti dělí na:

- teplé (T) – střední a jižní Morava a okolí Prahy,
- mírně teplé (MT) – severní, jižní a západní Čechy,
- chladné (CH) – podhůří a větší část Vysočiny.

Významné rozdíly v úrodnosti rybníků v ČR jsou ovlivněné zejména nadmořskou výškou, kdy při nadmořské výšce do 200 m je přirozená produkce nad 360 kg.ha⁻¹ a při nadmořské výšce nad 500 m se pohybuje v rozmezí 175-210 kg.ha⁻¹. Mimo teplotních poměrů jsou důležité také hydrologické a geologické podmínky povodí rybníků a to především průtočnost a zásobování vodou. Průměrný roční přítok by se měl pohybovat v rozmezí 1-1,5 l.ha⁻¹.s⁻¹, což odpovídá doporučené době zdržení vody v rybníce 75-200 dní v roce (Hartman a Regenda, 2014).

Morfologie rybníků

Přiměřená hloubka – optimálně by se průměrná hloubka měla pohybovat mezi 1-1,5 m s plochým dnem („talířovité dno“), výjimku tvoří hlavně komorové rybníky, manipulační a další účelové rybníky, kde je potřeba větší hloubka.

Přiměřená výměra – méně produktivní jsou velké rybníky (nad 50 ha), naopak malé (nad 5 ha) jsou produktivní více.

Délka břehů vůči rybníční ploše – tzv. břehový koeficient. Rybníky, které mají členité břehy, jsou úrodnější oproti rybníkům s kruhovou břehovou čarou.

Umístění v krajině – příznivá je slunná plocha otevřená větrům (Hartman a Regenda, 2014).

Kulturní stav rybníka a skladba rybí násady

Vedle funkčního technického zařízení k manipulaci s vodou závisí dobrý kulturní stav rybníka také:

Na rovnoměrném a přiměřeném pokryvu rybníční kotliny bahenním sedimentem. Do hloubky 15 cm je bahno nejvíce oživené. Negativně přirozenou produkci ovlivňuje velmi vysoká vrstva bahenního sedimentu, kde probíhají anaerobní procesy a také větší podíl vzplývajících a litorálních porostů.

Na optimálním množství živin, včetně vápníku, resp. na ideálním poměru biogenů a na dostupnosti minerálního uhlíku.

Na přiměřeném rozvoji vodní vegetace, který spočívá v péči o hrázové porosty, litorální vegetaci, v péči o stoky a v použití melioračních metod - zimování, stokování a odbahnění.

Na skladbě rybích obsádek. Rybí obsádka je nejdůležitějším faktorem pro využití přirozené produkce rybníka. Vliv má druh ryb, věková kategorie a početní stav (Hartman a Regenda, 2014).

3.4 Sloučeniny dusíku

Sloučeniny dusíku patří k nejdůležitějším makrobiogenním prvkům ve vodách. Dusík je nezbytný pro rozvoj mikroorganismů a uplatňuje se při všech biologických pochodech, které probíhají v odpadních, podzemních a povrchových vodách a také při procesech, které se uplatňují při čištění a úpravě vody. Sloučeniny dusíku jsou důležitým ukazatelem kvality vod (Ahuja 2013, Pitter 2009).

Dusík je původu buď anorganického, nebo organického. V biosféře, která není ovlivněna antropogenní činností, je dusík hlavně biogenního původu a vzniká zde rozkladem organických látek. Jedním z významných zdrojů dusíku jsou splaškové odpadní vody, v nichž se vyskytují anorganické i organické formy. Dalšími zdroji jsou odpady ze zemědělství a živočišné výroby (amoniakální dusík), splachy ze zemědělsky obdělávaných půd, které jsou hnojené dusíkatými hnojivy a také některé odpadní průmyslové vody (potravinářský průmysl, atd.), (Pitter, 2009). Ve vodách se dusík vyskytuje v různých oxidačních stupních, jak uvádí Žáček (1998).

Formy dusíku:

- -III – amoniakální dusík (NH_4^+ , NH_3), kyanatany (OCN^-), kyanidy (CN^-),
- -I – hydroxylamin (NH_2OH),
- 0 - elementární dusík (N_2),
- +I – oxid dusný (N_2O)
- +III - dusitanový dusík (N-NO_2^-),
- +V - dusičnanový dusík (N-NO_3^-).

Atmosférický dusík – oproti kyslíku je méně rozpustný ve vodě. Jeho plynnou formu dokáže využít jen málo bakterií nebo planktonní sinice (např. rody *Nostoc* a *Dolichospermum*) a to jim umožňuje rozvoj ve vodách chudých na dusíkaté sloučeniny. Z elementárního dusíku se díky výbojům z atmosféry do vod dostane až $80 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}$. Tato forma dusíku se v povrchových vodách běžně nestanovuje (Kopp, 2015).

Organicky vázaný dusík – ve vodách se vyskytuje hlavně ve formě bílkovin a jejich rozkladných produktů, močoviny, aminosacharidů, heterocyklických dusíkatých sloučenin, alifatických a aromatických aminů, atd. Také sem patří dusíkaté látky vznikající ve vodách rozkladem biomasy mikroorganismů. Při hodnocení znečištění vod

v povrchových vodách může mít význam stanovení organického dusíku. Organicky vázaný dusík v povrchových vodách se běžně nestanovuje, a pokud ano, tak nejčastěji jako rozdíl celkového dusíku a anorganického dusíku (Kopp 2015, Pitter 2009).

3.4.1 Amoniakální dusík

Vyskytuje se téměř ve všech typech vod. Amonné soli se v přírodě nevyskytují jako minerály (pouze struvit) a nejsou tedy ve vodách přírodního původu. Amoniak je hlavním produktem rozkladu živočišných i rostlinných organických látek. Jeho antropogenním zdrojem organického původu jsou hlavně splaškové odpadní vody, odpady ze zemědělských výroby a kalová voda z anaerobní stabilizace čistírenských kalů. Antropogenním zdrojem původu anorganického jsou hlavně dusíkatá hnojiva ze zemědělsky obdělávaných půd. K dalším zdrojům patří průmyslové odpadní vody z tepelného zpracování uhlí a galvanického pokovování, průmyslové exhalace a chloraminace vod (Kopp 2015, Pitter 2015).

Plynný amoniak (molekulární, nedisociovaná forma NH_3) se ve vodě ihned rozpouští, a přitom ve vodě vzniká hydrát $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ a ten přímo disociuje na ionty NH_4^+ a OH^- (nedisociovaná molekula NH_4OH neexistuje). Poměr obou forem amoniaku závisí na pH a teplotě. Rostoucí teplota a pH podporuje disociaci NH_4^+ na NH_3 . Pokud se teplota zvýší z 0 °C na 30 °C, změní se hodnota disociace téměř desetinásobně. Heteša a Kočková (1997) uvádějí, že pokud je ve vodě pH vyšší než 8, začíná se z amonných solí uvolňovat plynný amoniak. Amoniakální dusík je v přírodních vodách za oxických podmínek nestálý a snadno podléhá biochemické oxidaci, tzv. nitrifikaci, při které vznikají dusíkaté sloučeniny vyšších oxidačních stupňů. Chemická oxidace amoniaku je velmi obtížná (Vachta *et al* 2015, Kopp 2015).

Obsah amoniakálního dusíku v různých vodách výrazně ovlivňuje stupeň antropogenního znečištění. Významné množství amoniakálního dusíku obsahují atmosférické vody a to obvykle v desetinách mg.l^{-1} , v průmyslových oblastech se znečištěným ovzduším může jeho koncentrace vzrůst až na jednotky. Podzemní vody obsahují většinou amoniakálního dusíku jen velmi malé množství, obvykle do 0,1 mg.l^{-1} N-NH_4^+ , vyšší koncentrace jsou u vod kontaminovaných fekáliemi nebo dusíkatými hnojivy a u podzemních vod ropného původu (i přes 100 mg.l^{-1}). Minerální vody obsahují amoniakální dusík většinou v koncentraci pod 1 mg.l^{-1} (vody ropného původu až 100 mg.l^{-1}). Čisté povrchové vody obsahují obvykle jen stopy, maximálně setiny mg.l^{-1} . Výjimkou jsou znečištěné povrchové vody, které obsahují i desítky mg.l^{-1} . Vyšší

koncentrace amoniaku jsou v rašeliništních vodách. Mořská voda obsahuje ve svrchních vrstvách malé množství amoniaku, obvykle desítky $\mu\text{g.l}^{-1}$, avšak ve větších hloubkách až jednotky mg.l^{-1} N-NH_4^+ . Bohaté na amoniakální dusík jsou splaškové odpadní vody a mimořádně vysoké koncentrace jsou v některých průmyslových odpadních vodách a v odpadech ze zemědělství (Kopp *et al* 2015, Pitter 2015).

Z toxikologického hlediska je podstatné, že pro amonný iont NH_4^+ je stěna buněk poměrně nepropustná, kdežto molekulární amoniak (NH_3) se dostává přes tkáň velmi snadno. Molekulární amoniak je tedy pro ryby jedovatý. Toxicitu amoniaku ovlivňuje kromě teploty a pH také množství rozpuštěného kyslíku, protože se snižující se koncentrací kyslíku roste citlivost ryb vůči amoniaku. Hodnota LC_{50} zjištěná v testu akutní toxicity se pohybuje u kaprovitých ryb v rozmezí 1 až $1,5 \text{ mg.l}^{-1}$, u lososovitých $0,5$ až $0,8 \text{ mg.l}^{-1}$ NH_3 . Nejvyšší přípustná koncentrace nedisociovaného amoniaku pro kaprovité ryby je $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$ a pro lososovité $0,0125 \text{ mg.l}^{-1}$ (Svobodová, 2007).

Raná stádia lososovitých ryb jsou velmi citlivá na amoniak – poškozuje je již koncentrace v řádu tisícín miligramu. Naopak vysoké koncentrace amoniaku dobře snášejí vodní bezobratlí, například dafnie až $0,8 \text{ mg.l}^{-1}$ NH_3 a velmi odolní jsou i raci (Kopp, 2015).

Amoniak je výsledným produktem metabolismu ryb a v důsledku toho se musí zbavovat 90 % jeho vylučováním přes žaberní ústrojí na základě koncentračního spádu. Pokud v okolní vodě stoupá koncentrace amoniaku, může bránit případně zablokovat jeho vylučování z těla ryb. Tím dojde k výraznému zvýšení koncentrace amoniaku v krvi a následně k tzv. autointoxikaci. Ryby onemocní a následně uhynou (Kopp 2015, Svobodová 2007).

3.4.2 Dusitany

Dusitany se přirozeně vyskytují v povrchových vodách. Nevyskytují se ve formě minerálů. Ve vodách vznikají biochemickou oxidací amoniakálního dusíku (nitrifikací), případně biochemickou redukcí dusičnanů. Anorganického původu jsou dusitany v atmosférických vodách. Mohou vznikat redukcí dusičnanů při dezinfekci vody UV-zářením (Pitter 2009, Mareš *et al* 2015).

Na dusitany jsou bohaté některé odpadní vody, např. odpadní vody z výroby barviv a ze strojírenských závodů, kde jsou používány při obrábění kovů chladicí kapaliny, které obsahují dusitany. Jsou součástí některých nemrznoucích kapalin a inhibitorů koroze.

Dusitany jsou odvozeny od kyseliny dusité HNO_2 (středně silná kyselina), která disociuje podle rovnice:



Z toho vyplývá, že ve vodách, kde jsou hodnoty pH nad 5, převažují dusitanové ionty oproti nedisociované kyselině. Pokud je hodnota pH 3,35, jsou obě formy zastoupeny v molárním poměru 1:1. Dusitany jsou většinou ve vodě dobře rozpustné, výjimku představuje dusitan stříbrný (AgNO_2), (Pitter, 2009).

Dusitany se ve vodách vyskytují zpravidla v nízkých koncentracích, a to díky své chemické a biochemické labilitě. V oxických podmínkách je totiž dusík nitrataci rychle transformován na dusičnany a v anoxických podmínkách je denitrifikován na elementární dusík. Vyšší koncentrace dusitanů se vyskytují v odpadních a splaškových vodách.

Zvýšené množství dusitanů se vyskytuje v železnatých a rašeliništních vodách, v hypolimniu nádrží a ve vodách s nízkou koncentrací kyslíku (Kopp, 2015). Větší množství se vyskytuje také ve vodách s intenzivním chovem hospodářsky významných druhů ryb. Často se vyskytují v recirkulačních systémech, a to hlavně bezprostředně po zahájení provozu, případně v důsledku nerovnováh v procesu nitrifikace (Lang *et al*, 2015).

Koncentrace dusičnanů vyskytující se v podzemních vodách jsou hygienicky nevýznamné. V pitné vodě však ve vyšších koncentracích způsobují methemoglobinaemii. Náhlý vzrůst koncentrace dusitanů v podzemních vodách může být indikátorem fekálního znečištění, protože by pak vznikaly nitrifikací amoniakálního dusíku.

Kyselina dusičná může v silně kyselém prostředí reagovat se sekundárními aminy za vzniku N-nitrosaminů, z nichž jsou některé považovány za potenciální karcinogeny. Mohou vznikat rozkladem organických dusíkatých látek v žaludku, protože jsou zde splněny podmínky kyselého prostředí (pH 1,5). Bakteriální činností může dojít k nitrosaci sekundárních aminů i v neutrálním prostředí. Prekurzorem mohou být i peptidy, aminokyseliny, amidy, aj. (Pitter, 2009).

Dusitany se dostávají do organismu ryb hlavně přes tzv. chloridové buňky na žaberním epitelu. V krvi jsou potom vázány na hemoglobin, tím vzniká methemoglobin, díky čemuž se sníží transportní kapacita krve pro kyslík. Toxicita dusitanů se dá ovlivnit zvýšením koncentrace chloridů ve vodě, protože mezi dusitany a chloridy existuje kompetice na chloridových buňkách (Svobodová, 2007).

3.4.3 Dusičnany

Jen velmi zřídka najdeme dusičnany v minerálech, výjimkou je dusičnan sodný (tzv. chilský lelek), který se vyskytuje v některých mimoevropských lokalitách (Pitter, 2009). Dusičnany vznikají zejména při procesu nitrifikace, kdy je amoniak nejprve oxidován na dusitany a ty pak na dusičnany (Ma *et al*, 2016). Oxidací elementárního dusíku vznikají dusičnany také při elektrických výbojích v atmosféře. Dalšími zdroji jsou odtoky z čistíren odpadních vod a hnojení zemědělsky obdělávaných půd (Kopp, 2015). Dusičnany jsou odvozeny od kyseliny dusičné a ta disociuje podle rovnice:



Ve vodách se dusičnany vyskytují pouze ve formě jednoduchého anionu NO_3^- , protože vykazují malé komplexační vlastnosti.

Dusičnany patří ke čtyřem hlavním aniontům a vyskytují se téměř ve všech typech vod. Jejich koncentrace, v důsledku rostoucího počtu obyvatel a zemědělské činnosti, v přírodních vodách vzrůstají. V podzemních vodách koncentrace dusičnanů mohou kolísat v širokém rozmezí, a to v závislosti na jejich genezi. Mimořádně vysoká koncentrace dusičnanů v podzemních vodách se nachází např. v oblasti kolem Znojma, kde je průměrná koncentrace kolem 15 mg.l^{-1} , ale lze naměřit hodnoty i přes 100 mg.l^{-1} . Velké množství dusitanů a dusičnanů v podzemních vodách je typické pro oblasti s borovými lesy, kde se v písčité půdě ve svrchních vrstvách vyskytují bakterie, které jsou schopné fixovat elementární dusík i nitrifikační bakterie. V okolí akátových porostů také bývá jejich větší množství, a to díky bakteriím rodu *Rhizobium*, které vytváří hlízy na kořenovém systému a asimilují elementární dusík, který pak ukládají ve formě dusíkatých sloučenin v orgánech akátu. Pod akáty se tím vytváří zvláštní humus bohatý na dusíkaté látky, které jsou následně vymývány do podzemních vod (obsah N-NO_3^- až 20 mg.l^{-1}).

Koncentraci dusičnanů v přírodních vodách ovlivňuje také vegetační období. V zimním (mimovegetačním) období se dusičnany nacházejí v podzemních vodách v maximální koncentraci, protože jsou jen slabě zadržovány v sorpčním půdním komplexu. V létě jsou dusičnany odčerpávány z vody vegetací. Velký vliv má také způsob obdělávání půdy (Pitter, 2009).

V minerálních vodách jsou převážně velmi nízké koncentrace (maximálně jednotky mg.l^{-1}) dusičnanů a často se ani nestanovují. Pitné vody podzemního původu a pitné vody povrchového původu obsahují průměrně asi $4,34 \text{ mg.l}^{-1}$ (Pitter 2009, Grünwald 1993).

Dusičnany vznikají jako konečný produkt mineralizace organicky vázaného dusíku. Za aerobních podmínek jsou stabilní, ovšem za podmínek anaerobních podléhají biologické denitrifikaci, kdy je konečným produktem elementární dusík, resp. oxid dusný. Za určitých podmínek je možná i chemická redukce kovy (např. Cd, Zn, Fe, Al), amoniakálním dusíkem, hydrazinem, hydroxylaminem a některými organickými látkami.

Dusičnany jako takové nejsou škodlivé, ale mohou škodit nepřímo tím, že se bakteriální činností v gastrointestinálním traktu mohou redukovat na dusitany. Pokud nejsou redukovány, vylučují se močí. Dusitany v krvi reagují s hemoglobinem a způsobují methemoglobinemii, případně mohou reagovat s aminy za vzniku N-nitrosoaminů (Pitter, 2009).

V pitné vodě jsou stanoveny maximální koncentrace dusičnanů pro kojence $3,4 \text{ mg.l}^{-1}$ a pro dospělé $11,3 \text{ mg.l}^{-1}$ (Kopp, 2015).

Pro kaprovité ryby je nevyšší přípustná koncentrace dusičnanů ve vodě 80 mg.l^{-1} , pro lososovité 20 mg.l^{-1} , přičemž akutní letální koncentrace pro ryby se pohybují nad $1\,000 \text{ mg.l}^{-1}$ (Svobodová, 2007).

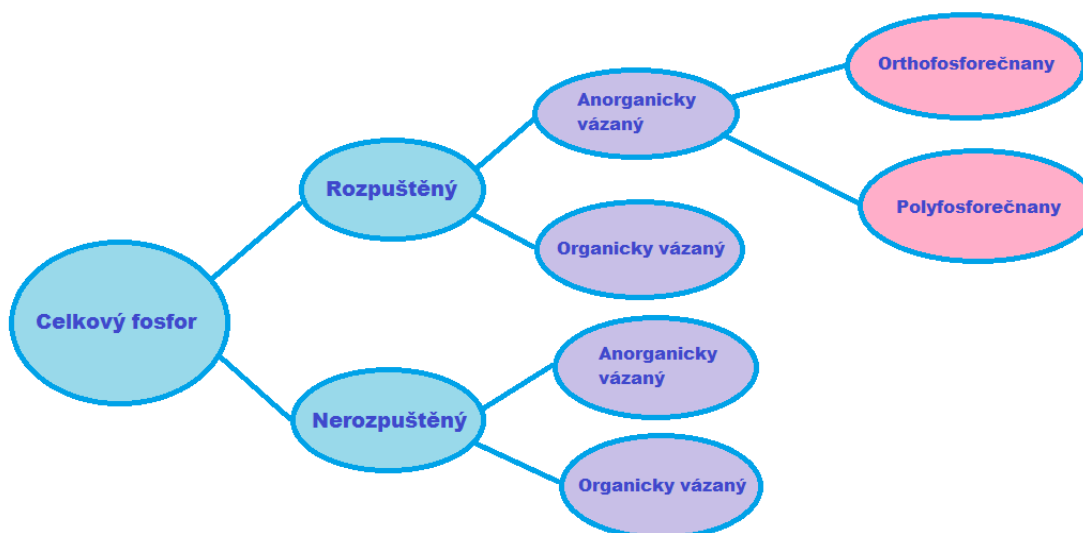
Obsah dusičnanů v povrchových vodách souvisí se stupněm eutrofizace a patří mezi ukazatele, které se používají ke klasifikaci vod z hlediska čistoty. Mezi závazné ukazatele patří dusičnany při vypouštění odpadních vod.

Ve snaze snížit znečištění vod dusičnany ze zemědělských zdrojů, zavedla EU v roce 1991 tzv. nitrátovou směrnici – Směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů. Plnění této směrnice je povinné ve zranitelných oblastech vymezených v hranicích katastrálních území. Jedná se o oblasti, kde je výskyt vod znečištěných dusičnany ze zemědělských zdrojů (Kopp, 2015).

3.5 Sloučeniny fosforu

Fosfor je biogenní prvek, který je vedle celkového dusíku důležitým ukazatelem sloužícím pro hodnocení kvality povrchových a podpovrchových vod.

Ve vodách se vyskytuje jako rozpuštěný a nerozpuštěný (suspendovaný). Ten se může vyskytovat v organických nebo anorganických sloučeninách. Anorganický fosfor se dělí na orthofosforečnanový a polyfosforečnanový, nejčastěji se vyskytuje ve formě orthofosforečnanů (Tölgyessy, 1993).



Obrázek 1: Rozdělení forem výskytu fosforu ve vodním prostředí, vytvořeno podle Pittera (2009)

Při stanovení orthofosforečnanového fosforu molybdenanovou metodou je někdy do výsledku zahrnuta kromě jednoduchých a komplexních orthofosforečnanů i část fosforu, který je vázaný labilními vazbami v některých organických a anorganických sloučeninách. Díky tomu dochází ke zdánlivému zvětšení obsahu fosforu, který je vázán v orthofosforečnanech, proto se tímto způsobem stanovený fosfor označuje jako rozpuštěný reaktivní fosfor (Pitter, 2009).

Ukázalo se, že primární producenti vod (řasy a sinice) jsou schopni využívat nejen orthofosforečnany rozpuštěné ve vodě, ale také orthofosforečnany absorbované na povrchu nerozpuštěných látek. Souhrn obou forem fosforečnanů se pak označuje jako biologicky dostupný (využitelný) fosfor (Kopp, 2015). Vzhledem k tomu, že tento fosfor využívá fytoplankton, má velký význam pro vznik eutrofizace. U nerozpuštěných látek bývá stanovení biologicky dostupného fosforu velmi obtížné, z toho důvodu se určuje tzv. eutrofizační potenciál, který představuje schopnost částice zadržovat či uvolňovat fosfor (Schrimpelová, 2013).

Rozpuštěný nereaktivní fosfor tvoří hlavně organicky vázaný fosfor a polyfosforečnany. Tyto sloučeniny se musí nejdříve převést na orthofosforečnany kyselou hydrolyzou nebo oxidačním rozkladem (Pitter, 2009).

3.5.1 Formy

Organicky vázaný rozpuštěný fosfor se vyskytuje v různých formách, např. koenzymy ADP a ATP, fosfolipidy, fosfáty hexos, organofosfátové pesticidy, fosfoproteiny. Organický fosfor nerozpuštěný se nachází v organismech a ve zbytcích organismů ve vodě a sedimentu (Schrimpelová, 2013).

Anorganicky vázaný nerozpuštěný fosfor se vyskytuje ve formě různých fosforečnanů Mg, Al, Ca, Fe, aj. Tyto fosforečnany jsou buď volně dispergované, nebo sorpčně či chemicky vázané na jiné nerozpuštěné látky.

Anorganicky vázaný rozpuštěný fosfor se ve vodě vyskytuje ve formě jednoduchých či komplexních orthofosforečnnů a polyfosforečnanů. Orthofosforečnany se vyskytují ve formách např. PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4 . Pokud je ve vodě pH okolo neutrálního bodu, převládají ionty H_2PO_4 a pokud je pH vyšší než 12, začínají se více uplatňovat ionty PO_4^{3-} . Polyfosforečnany se ve vodách vyskytují hlavně ve formě difosforečnanů a trifosforečnanů v jednoduchých či komplexních formách. Patří sem např: $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$, $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$, aj. Mohou mít strukturu řetězovou, což jsou katena-polyfosforečnany, nebo cyklickou, tzv. cyklo-polyfosforečnany (Pitter, 2009).

3.5.2 Výskyt

Fosforečnany se vzhledem k tomu, že tvoří málo rozpustné sloučeniny s Ca, Mg, Fe, Al, aj. a vzhledem k jejich chemisorpci na tuhých fázích (např. hlinitosířičitanech, sedimentech), vyskytují ve vodách ve velmi nízkých koncentracích (Pitter, 2009).

Obsah fosforu v podzemních vodách je v malých koncentracích, a to kvůli snadnému zadržení v půdě. V povrchových vodách, které nejsou znečištěné, se koncentrace fosforu pohybují v tisícinách až setinách mg.l^{-1} . Ve znečištěných povrchových vodách se pohybují v desetinách mg.l^{-1} . Minerální vody obsahují fosfor jen v setinách mg.l^{-1} a mořská voda obsahuje fosforu průměrně asi $0,07 \text{ mg.l}^{-1}$ (Kopp, 2015).

Ve vodě jezer a nádrží se obsah fosforu mění během roku v souvislosti se střídáním ročních období a se změnami vegetace fytoplanktonu či makrofyt, které s ním souvisí. Jakmile nádrž (jezero) rozmrzne, ihned dojde k nástupu vegetace, která odčerpává velké množství biogenů (fosforu a dusíku) z vody. V oligotrofní nádrži pak může dojít v letním období k velkému poklesu biogenů až na stopová množství. Ke stejnému jevu může dojít v eutrofní nádrži díky velké biomase organismů, které konzumují biogeny a hromadí je ve svých tkáních. V letním období u hlubokých jezer zůstávají biogeny zablokovány v hlubších vodách (hypolimniu), protože vrstva metalimnia (skočná vrstva) jim brání v prostupu do vyšších vrstev (epilimnion). Na jaře a na podzim se celý objem nádrže promíchá. Jakmile zamrzne, hromadí se biogeny na dně z odumřelých organismů, z toho vyplývá, že největší koncentrace biogenů bude ve vodě jezer a nádrží před nástupem vegetace (Heteša a Kočková, 1997).

3.5.3 Zdroje

Podle Adámka (2013) jsou hlavním zdrojem fosforu odpadní vody, které obsahují zbytky čistících a pracích prostředků.

Dalšími antropogenními zdroji jsou odmašťovací, protikorozní a protiinkrustační přípravky a také fosfátová hnojiva. Živočišné odpady jsou zdrojem organického i anorganického původu a významným zdrojem mohou být i velkochovy hospodářských zvířat. Organickým zdrojem fosforu je také biomasa planktonu, která se rozkládá a usazuje na dně nádrží (Pitter, 2009).

Nejdůležitějšími zdroji přírodního původu jsou fosfátové horniny uvolňující fosfor v závislosti na počasí, a to erozí nebo výluhy. Významnými zdroji vyvolanými lidskou činností jsou splachy z oblastí těžby fosfátové rudy, urbanizovaných a zemědělských oblastí (Holba, 2010).

3.5.4 Význam

Významnou úlohu má fosfor v přírodním koloběhu látek. Je nezbytný pro vyšší i nižší organismy, kteří jej využívají a přeměňují na organicky vázaný. Jakmile organismy uhynou a jejich těla se rozloží, fosfor se zase uvolní do prostředí.

Z hygienického hlediska význam fosforečnanů ve vodě není velký. Nejsou zdravotně závadné, a tak nejsou uvedeny v požadavcích na jakost balených vod, pitné a užitkové vody. Někdy se fosforečnany a polyfosforečnany používají pro úpravu pitné vody, která je dopravována ocelovým nebo litinovým potrubím, z protikorozních důvodů. Z hlediska toxikologického nemá přidávání fosforečnanů do pitné vody význam, ale přesto je nežádoucí, protože je nutričním zdrojem pro některé bakterie ve vodě, a to může v potrubí vést k tvorbě biofilmů.

Fosforečnany v podzemních vodách mají význam jako indikátory fekálního znečištění (po vyloučení znečištění fosforečnými hnojivy).

Klíčový význam má fosfor pro eutrofizaci povrchových vod. (Pitter, 2015).

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Materiál a metodika

Pro účely závěrečné práce byly použity vzorky vody a sedimentu z rybníků:

- Šumický horní,
- Bohuslavický I,
- Ráček I,
- Zámecký.

4.1.1 Šumický horní

Rybník Šumický horní se nachází v rovinatém terénu v nadmořské výšce 175 m n.m. 1,5 km od obce Šumice na Šumickém potoce. Na rybníce se nachází malý ostrůvek a v litorálu bohaté členité porosty rákosu obecného a orobince. K rybníku přiléhají louky, které jsou dnes částečně zarostlé a také menší plochy orných půd. V roce 1995 byla na Šumickém horním rybníce vyhlášena přírodní rezervace a také EVL (Evropsky významná lokalita) ze soustavy Natura 2000 a to kvůli velké druhové diverzitě živočišných druhů, které jsou vázány na ekosystém stojatých vod (Bínová, 2009).



Obrázek 2: Šumický horní s vyznačenými místy odběru (červeně sediment, žlutě voda).

Šumice se nachází v tzv. Olbramovické pahorkatině, která je součástí Dyjskosvrateckého úvalu. Plochý reliéf této pahorkatiny je vytvořen na neogenních sedimentech – píscích a jílech. Tyto sedimenty jsou zčásti vápnité. Území je pokryté černozemí ležící na spraši, kterou silně ohrožuje větrná eroze. V nivě Šumického potoka se nachází glejová fluvizem na bezkarbonátových usazeninách (Bínová, 2009).

Klima je na tomto území celkově teplé a suché. V posledním desetiletí je zde značný srážkový deficit a průměrná roční teplota se zvyšuje (Bínová, 2009).

Šumický potok protéká také Kubšicemi, které mají vlastní čističku odpadních vod. Po vyčištění pak odpadní vody odtékají do řeky Jihlavy a do Šumického potoka.

Rybník Šumický horní má rozlohu kolem 19 ha a je Rybníkářstvem Pohořelice a.s. využíván k intenzivnímu chovu ryb. Slouží hlavně k odchovu násady kapra a k němu se nasazují další kaprovité ryby, dále býložravé a dravé druhy ryb. U rybníka je používán tzv. dvouhorkový systém chovu, což znamená, že se loví jednou za dva roky. Ve sledovaném období nebyl hnojen a ryby nebyly přikrmovány. V roce 2017 bude rybník na druhém horku a výlov se předpokládá na jaře 2018.

Tabulka 2: Obsádka rybníka Šumický horní.

Nasazení	11.5.2016	2.6.2016	30.6.2016	30.6.2016	27.7.2016	10.11.2016	10.11.2016
Ryba	K_0	Ab_0	Tp_0	Su_k	Su_r	\check{S}_1	Ca_2
Kusy	3 mil	0,5 mil	0,2 mil	10 000	4000	2 (2 kg)	23 (15 kg)

4.1.2 Bohuslavický I

Rybník Bohuslavický I patří do soustavy tří rybníků, které se nacházejí v obci Bohuslavice. Rybníky jsou vystavěny na nivách u potoka zvaného Šumice a kolem nich jsou vysázené topoly. Jsou ve vlastnictví Rybářství Přerov a. s.



Obrázek 3: Bohuslavický I s vyznačenými místy odběru.

Bohuslavice se nachází v okrese Prostějov, v Olomouckém kraji. Prostějovsko je teplá oblast s mírnými zimami. Nadmořská výška Bohuslavic je 409 m.

Bohuslavický I je velký 1,12 ha. Společně s rybníky Bohuslavický II a Bohuslavický III se loví naráz přepuštěním všech ryb do jednoho rybníka. Ve sledovaném roce nebyly rybníky hnojeny a ryby nebyly přikrmovány.

Tabulka 3: Obsádka Bohuslavických rybníků.

Ryba	Násada (kusy)			Výlovek (kusy)		
	K ₁	L ₁	Ab ₁	K ₂	L ₂	Ab ₂
Bohuslavický 1	5000	300	500	12 500	500	400
Bohuslavický 2	6000	500	300			
Bohuslavický 3	5000	400	200			

4.1.3 Zámecký rybník

Rybník Zámecký se nachází v zámeckém parku v Lednici. Spolu s dalšími rybníky (Nesyt, Hlohovecký, Prostřední, Mlýnský) je součástí Národní přírodní rezervace Lednické rybníky. Rozloha rezervace je 552,5 ha a nadmořská výška 160–175 m. Na území byla rezervace vytvořena z toho důvodu, že patří mezi nejvýznamnější ornitologické lokality v ČR.



Obrázek 4: Rybník Zámecký s vyznačenými místy odběru.

Rybník leží na hlinitých kvartérních sedimentech. Pobřežní pokryv tvoří černice typické glejové. Na březích se vyskytují stromovité nebo keřovité vrby a topoly sestupující i do přítokových mělkých částí.

Rybník leží na území Lednicko-valtického areálu, který je také označován jako *zahrada Evropy*. Zdejší podnebí je teplé a suché.

Rybník je vytvořen v místech meandrů Dyje, kterou je i napájen. Rozloha rybníka činí 30,1 ha a je velmi mělký. Vyskytuje se na něm patnáct ostrůvků, které byly uměle vytvořeny pro hnízdění ptactva. Ostrůvky jsou porostlé duby a dalšími dřevinami. Od roku 2004 je rybník bez řízené obsádky a nedělají se na něm žádné meliorační zásahy, díky tomu došlo k výraznému rozvoji vodní a mokřadní vegetace a zvýšil se počet zde hnízdících ptáků (Heralt a Kmet, 2006).

4.1.4 Rybník Ráček I

Rybník Ráček I leží blízko obce Jedlová, která se nachází v Pardubickém kraji v okrese Svitavy, asi 6 – 8 km jihovýchodně od Poličky. Obec se nachází v nadmořské výšce 590 m.n.m.

Klimatické poměry se v jednotlivých částech okresu Svitavy liší. Nejprůzračnější klima je na severozápadě a jihovýchodě, kde je průměrná teplota nad 7 °C a srážkový úhrn do 600 mm. V centrální části okresu je klima vlhčí a chladnější, s průměrnou roční teplotou 6 °C a průměrnými srážkami 700 mm. Jihozápadní část okresu, kde se nachází obec Jedlová, je ještě chladnější a vlhčí.



Obrázek 5: Rybník Ráček I s vyznačenými místy odběru.

Ráček I je extenzivně obhospodařovaný rybník o velikosti 0,27 ha, který je ve vlastnictví Rybářství Litomyšl s.r.o. Spolu s rybníky Ráček II, Kamenáč a Březový, byl vytvořen v rámci záchranného programu odchovu raka říčního. Úspěšně se zde uskutečňuje reprodukce a odchov raka říčního, který je následně vysazován do volných vod. Mimo raka je v těchto rybnících prováděn odchov chráněných druhů ryb, jako mník, lipan, jelec jesen, ostroretka, bolen, či jelec tloušť, atd.

Tabulka 4: Obsádka rybníka Ráček I.

	Nasazení	Výlov
Datum	22.3.2016	27.9.2016
Druh	Mn ₀	Mn ₂
Kusy	50 000	340

4.1.5 Odběry vzorků vody a sedimentu

Vzorky vody i sedimentu byly odebírány v období od ledna do listopadu r. 2016. Voda byla odebírána zhruba v měsíčních intervalech, a to vždy jeden vzorek do plastové vzorkovnice u přítoku. Na místě byla změřena konduktivita, teplota vody, pH, obsah rozpuštěného kyslíku a průhlednost.

Sediment byl odebírán na jaře, v létě a na podzim, přičemž počet vzorků odpovídal velikosti rybníka. Při plné vodě byl odebírán pomocí drapáku a následně vložen do plastové vzorkovnice. V případě, že byl rybník vypuštěný, sediment byl odebírán do plastových vzorkovnic přímo.

4.1.6 Analýzy vody

Stanovení teploty vody, obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě a pH

Parametry teplota vody, pH a obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě byly stanoveny na místě pomocí přenosného dvoukanálového multimetru HQ40D od firmy HACH.

Stanovení konduktivity

Konduktivita (vodivost) vody byla měřena přímo na místě, a to pomocí přístroje Conductivity meter Conmet 1 od americké firmy Hanna instruments.

Stanovení průhlednosti vody

Průhlednost vody byla zjišťována pomocí Seccioho desky měřením hloubky vody, ve které již není viditelná bílá deska. Seccioho deska byla ponořena do vody tak hluboko,

kdy byla při pohledu shora ještě postřehnutelná a následně byla zaznamenána délka ponořeného závěsu v cm (Valentová *et al.*, 2013).



Obrázek 6: Stanovení průhlednosti vody Secciho deskou.

V laboratoři na oddělení Rybářství a hydrobiologie byly stanoveny tyto parametry vody:

Dusičnany ($N-NO_3^-$)

Dusičnanový dusík byl stanoven spektrofotometrickou metodou, kdy dusičnany reagují s 2,6-dimethylfenolem v prostředí směsi koncentrovaných kyselin (fosforečná, sírová, amidosírová) za vzniku cihlově červeného 4-nitro-2,6-dimethylfenolu. Koncentrace dusičnanů je úměrná intenzitě vzniklého zbarvení.

Do fotometrické zkumavky bylo odpipetováno 3,5 ml směsi kyselin, ke kterým se přidalo 500 μ l vzorku. Po promíchání se přidalo 0,5 ml 2,6-dimethylfenolu a opět se promíchalo. Po 15 až 60 minutách byla změřena absorbance při vlnové délce 330 nm.

Dusitany ($N-NO_2^-$)

Dusitany byly stanoveny spektrofotometrickou metodou, jejímž principem je diazotace kyseliny sulfanilové přítomnými dusitany a kopulace diazonové soli s N-(1-naftyl) ethylendiamindihydrochloridem, přičemž vzniká červené azobarvivo. Koncentraci dusitanů je přímo úměrná intenzita zbarvení.

Ve varných zkumavkách bylo k 10 ml vzorku přidáno 0,5 ml kyseliny sulfanilové a 0,5 ml kopulačního roztoku a následně bylo vše promícháno. Po 20 minutách byla změřena absorbance při 540 nm.

Amonné ionty ($N-NH_4$)

Amonné ionty v prostředí nitroprussidu sodného reagují se salycilanem sodným a chlornanovými ionty za vzniku modrého zbarvení.

Do zkumavky bylo odpipetováno 10 ml vzorku, 0,5 ml vybarvovacího činidla a 0,5 ml dichlorisokyanuratanu sodného. Po promíchání a 30 minutách stání se na spektrofotometru změnilo vzniklé modré zbarvení při vlnové délce 655 nm.

Celkový dusík

Stanovení celkového dusíku spočívalo v převedení všech jeho forem na dusičnany metodou dle Koroleffa s následným spektrofotometrickým stanovením.

10 ml vzorku vody se odpipetovalo do zkumavky a přidal se hydroxid sodný a peroxodisíran. Zkumavka se uzavřela a promíchala a následně byla vložena do mineralizačního boxu a jednu hodinu zahřívala při teplotě 120 °C. Po mineralizaci se zkumavka nechala vychladnout. Po vychladnutí bylo odebráno 0,5 ml mineralizovaného vzorku a v něm bylo stanoveno množství dusičnanů výše popsanou metodou.

Celkový fosfor

Celkový fosfor byl stanoven komerční semimikrometodou, jejímž principem je reakce fosfátů s molybdenanem v prostředí kyseliny sírové s následnou redukcí kyselinou askorbovou na fosfátmolybdenanovou modř. Intenzita vzniklého modrého zbarvení pak byla změřena spektrofotometricky.

Do zkumavky bylo odpipetováno 5 ml vzorku, ke kterému byla přidána 1 dávka reagentu P-1K, zkumavka byla pevně uzavřena, důkladně promíchána a po rozpuštění reagentu vložena do mineralizačního boxu, kde byla zahřívána 30 min při 120 °C. Po vychladnutí a promíchání bylo do zkumavky přidáno 5 kapek reagentu P-2K. Po dalším promíchání byla přidána 1 dávka reagentu P-3K. Po promíchání a rozpuštění reagentu byla zkumavka ponechána 10 minut stát a následně byla změřena absorbance.

Fosforečnany ($P-PO_4^{3-}$)

Principem stanovení fosforečnanů je reakce kyseliny sírové za katalytického účinku antimonitých iontů s molybdenanem amonným. Díky redukcí kyselinou askorbovou vznikne modrý roztok, který je vhodný je spektrofotometrickému stanovení.

10 ml vzorku vody bylo přefiltrováno přes membránový filtr 0,45 μm a následně přidáno 0,5 ml kyseliny askorbové a 1 ml roztoku molybdenanu. Po promíchání a následném odstátí 15 min bylo vzniklé modré zbarvení změřeno spektrofotometricky.

Chlorofyl a

Chlorofyl a byl stanoven extrakcí chlorofylu horkým ethanolem se spektrofotometrickou koncovkou. Voda byla zfiltrována pomocí zařízení na vakuovou filtraci přes filtr ze skleněného vlákna. Následně byl filtr na filtračním papíru vysušen a přelit horkým ethanolem. Takto se nechal extrahovat 3 minuty a následně byl filtr pomocí skleněné tyčinky homogenizován a nechán extrahovat v lednici několik hodin. Po extrakci byla směs opět zfiltrována a filtrát doplněn ethanolem na 100 ml. Filtrát byl pak poměřen na spektrofotometru, po změření okyselen HCl a po pěti minutách opět změřen na spektrofotometru při vlnových délkách 665 a 750 nm.

CHSK_{Cr} (Chemická spotřeba kyslíku)

CHSK bylo stanoveno metodou, jejímž principem je oxidace organických látek varem vzorku s přebytkem roztoku manganistanu draselného v silně kyselém prostředí (kyselina sírová). Přidáním známého množství standardního roztoku kyseliny šťavelové byl odstraněn nadbytek manganistanu. Kyselina šťavelová pak byla manganistanem zpětně titrována.

BSK₅ (Biochemická spotřeba kyslíku)

Láhve pro stanovení BSK byly naplněny vzorkem vody při teplotě 20 °C a následně v něm byl stanoven obsah kyslíku pomocí sondy. Láhve byly uzavřeny a vloženy do termostatu při teplotě 20 °C, kde byly ponechány 5 dnů. Pátý den byl ve vzorku změřen obsah kyslíku stejným způsobem (přičemž první den se bere jako nultý).

KNK (kyselinová neutralizační kapacita)

Alkalita vzorků byla stanovena titračně, a to kyselinou chlorovodíkovou do pH 4,5 na methyloranž, kdy se jedná o alkalitu celkovou, a následně k pH 8,3 na fenolftalein, což je alkalita zjevná.

Chloridy (Cl⁻)

Chloridy byly stanoveny spektrofotometrickou metodou. Do fotometrické zkumavky byl odpipetován 1 ml vzorku, následně byly přidány 3 ml směsného činidla (thiokyanatan rtuťnatý, síran diamono-železnatý, destilovaná voda) a tato směs byla

promíchána. Chloridy reagují s thyokyanatanem za vzniku chloridu rtuťnatého a uvolněné thiokyanatanové ionty reagují s Fe^{3+} ionty za vzniku červeného komplexu, jehož intenzita byla změřena ve spektrofotometru při vlnové délce 445 nm.

Vápník (Ca^{2+})

Vápník byl ve vzorcích stanoven titračně s chelatonem 3, který reaguje se solemi vápníku. Ke 100 ml vzorku bylo přidáno 5 ml NaOH a na špičku nože indikátorové směsi. Po promíchání byl titrován chelatonem 3 do purpurového zbarvení.

4.1.7 Analýzy sedimentu

Vzorky sedimentu byly před analýzami zbaveny hrubých nečistot (dřevo, kameny, rostliny) a přesety přes síto (průměr oka 2 mm). Následně byly v laboratoři stanoveny níže popsané parametry.

Sušina

Sušina sedimentů byla stanovena gravimetrickou metodou. Vzorek sedimentu byl navážen do nádoby (která byla zvážena i samostatně) a vysušen v sušárně při 105 °C. Vzorek byl vysušen do konstantní hmotnosti a po vychladnutí opět zvážen.

Organické látky

Organické látky v sedimentu byly stanoveny spálením naváženého vysušeného vzorku v muflové peci při teplotě 550 °C po dobu min. 6 hodin. Rozdíl hmotnosti před a po spálení přibližně udává podíl organických látek.

Celkový fosfor

Pro stanovení celkového vyluhovatelného fosforu v sedimentu byl nejdříve získán výluh ze sedimentu, a to roztokem Mehlich III. Do plastové vzorkovnice bylo naváženo 10 g usušeného sedimentu a k němu bylo přidáno 100 ml roztoku dle Mehlicha III. Následně se vzorek nechal 10 minut třepat na třepačce. Po vylouhování byl vzorek přefiltrován a filtrát byl použit pro stanovení celkového fosforu spektrofotometrickou metodou, stejně jako u vzorků vody.

Vápník (Ca^{2+})

Pro stanovení vápníku byl získán výluh ze sedimentu Mehlichem III stejně jako u fosforu. Pro vlastní stanovení bylo do erlenmeyerovy baňky odpipetováno 5 ml filtrátu a

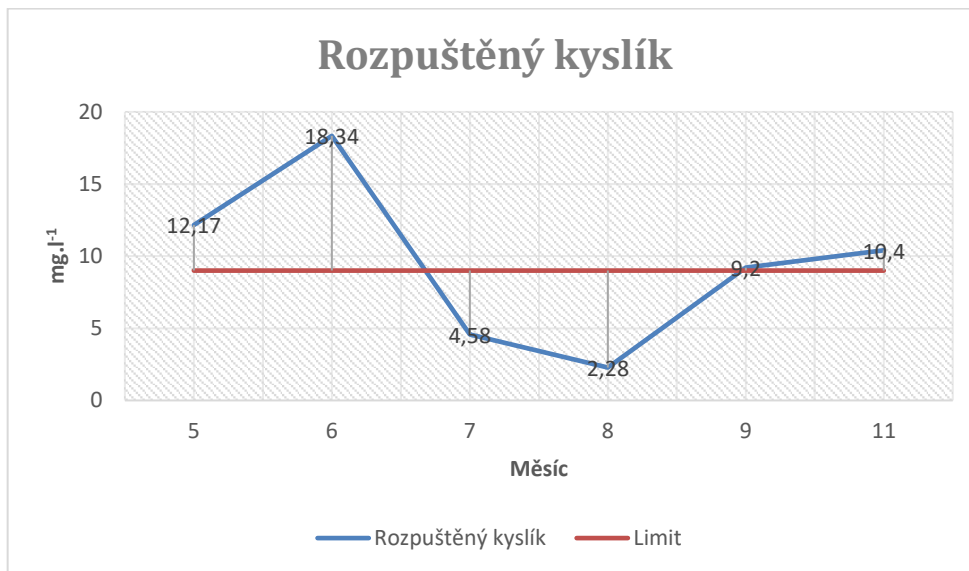
doplněno destilovanou vodou do 100 ml. Další postup stanovení byl stejný jako u vzorků vody.

Dále byl připraven vodný výluh z čerstvého sedimentu dle normy ČSN EN 12457-4. Poměr fází voda (destilovaná): pevná fáze 10 : 1 (navážka pevné fáze přepočtena na sušinu při 105 °C). Vyluhování pak bylo provedeno plynulým otáčením lahvi rychlostí 10 otáček za minutu při teplotě 23 °C po dobu 24 hodin. Poté se směs bahna a vody přefiltrovala přes membránové filtry a u filtrátu bylo stanoveno pH, vodivost, amoniak, dusitany, dusičnany, fosforečnany, celkový dusík a fosfor, CHSK_{Cr} a vápník.

5 VÝSLEDKY

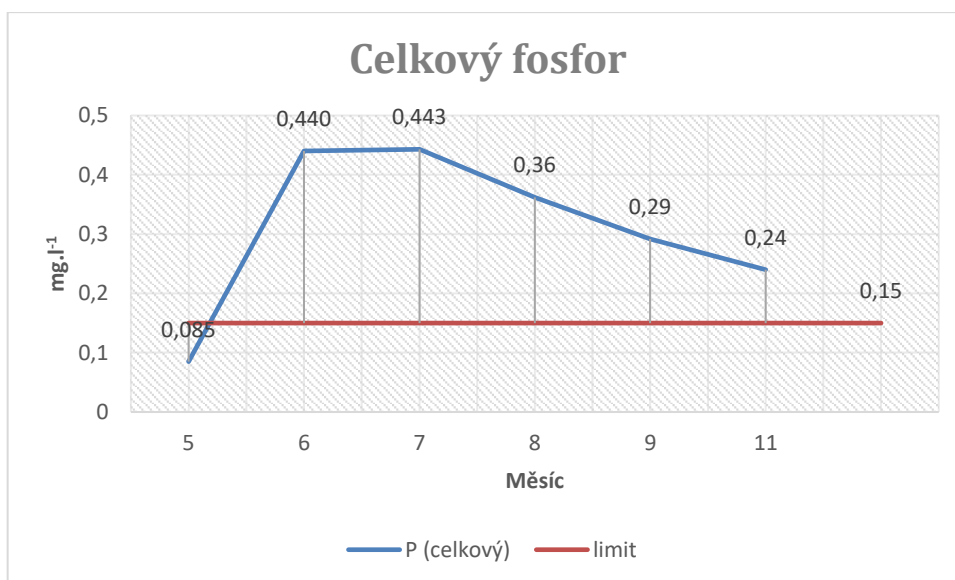
Rybník Šumický horní

Z parametrů vody sledovaných u rybníka Šumický horní neodpovídal požadavkům Nařízení vlády č. 401/2015 sb. obsah rozpuštěného kyslíku, celkový fosfor, CHSK_{Cr} , BSK_5 a pH.



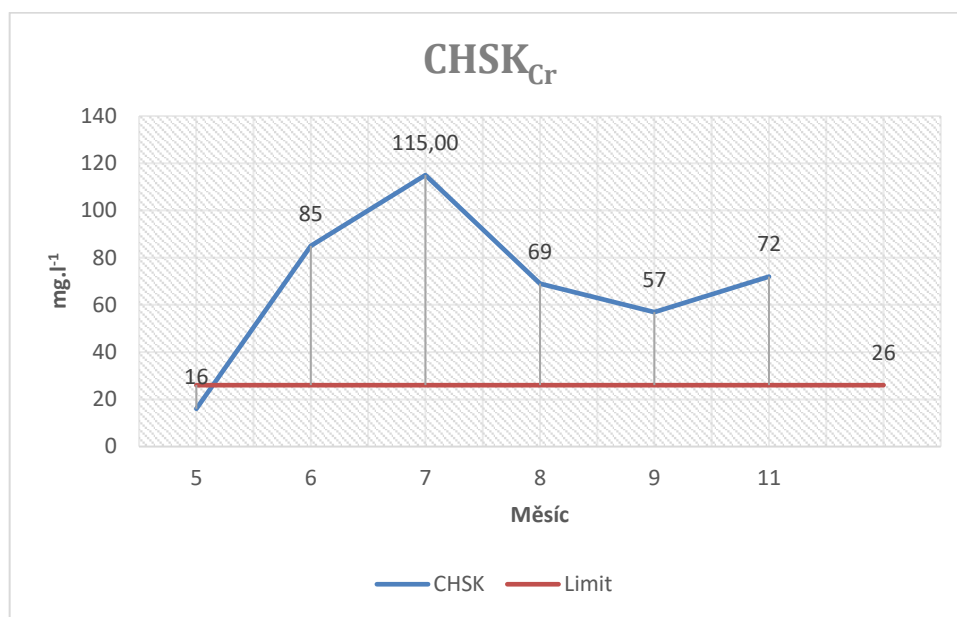
Graf 1: Kolísání obsahu kyslíku v průběhu sledování.

U Šumického horního v průběhu sledování značně kolísal obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě. V červnu dosahoval hodnot přes 18 mg.l^{-1} , naproti tomu v srpnu bylo naměřeno jen něco málo přes 2 mg.l^{-1} . Legislativním požadavkům neodpovídal v červenci a srpnu.



Graf 2: Obsah celkového fosforu v průběhu sledování.

Obsah celkového fosforu v rybníce požadavkům normy odpovídal pouze v květnu, kdy dosahoval hodnoty 0,085 mg.l⁻¹. V ostatních měsících byl jeho obsah velmi vysoký, v červenci a červnu převyšoval požadavky normy téměř čtyřnásobně.



Graf 3: CHSK v průběhu sledování.

O velkém znečištění rybníka vypovídá obsah organických látek vyjádřený CHSK_{Cr}, který odpovídal požadavkům normy pouze v květnu. V červenci převýšil požadavky normy téměř pětinašobně. BSK₅ byla oproti požadavkům normy také velmi vysoká a pohybovala v rozmezí 8,73 – 16,57 mg.l⁻¹ s maximem v listopadu.

V kaprových vodách by pH mělo být 6–9. U Šumického horního se pH v průběhu sledování pohybovalo v rozmezí 7,21 – 9,93.

Zajímavý byl obsah chlorofylu a, který byl v průběhu sledování v rybníce velmi vysoký. V červnu a listopadu jeho hodnoty přesahovaly 300 µg.l⁻¹.

Obsah celkového dusíku v rybníce byl průměrně 2,9 mg.l⁻¹, přičemž nejvíce jej bylo ve vodě v září, kdy byl jeho obsah 4,8 mg.l⁻¹.

Z hlediska úživnosti se jedná o hypertrofní rybník (vyhodnoceno podle Tabulky 1).

Tabulka 5: Obsah P, Ca (Mehlich III) a organických látek v rybníce Šumický horní.

Rybník	Šumický horní			
	Datum	20.4.2016	7.7.2016	1.11.2016
Organické l. (% sušiny)		11,8	8,7	7,1
P (mg.kg ⁻¹)		54,9	9,4	10,4
Ca (mg.kg ⁻¹)		32665,5	5611,2	6145,6
Sušina (%)		25,6	33,5	42

U rybníka Šumický horní byl obsah organických látek v sedimentu průměrně 9,2 %, přičemž nejvíce jich bylo zjištěno v dubnu.

Nejvíce fosforu v sedimentu rybníka bylo také v dubnu a nejméně v červenci. V dubnu by byl jeho obsah vyhovující pro ornou půdu a dobrý pro trvalé travní porosty. Nízký pro sady a vinice a chmelnice. V červenci a listopadu byl jeho obsah nízký pro všechny typy půd (Škarpa, 2010).

Obsah vápníku v sedimentu rybníka byl v dubnu velmi vysoký oproti červenci a listopadu. V dubnu byl jeho obsah pro velmi vysoký pro všechny typy půd. V červenci a listopadu vysoký pro všechny půdy (Škarpa, 2010).

Tabulka 6: Parametry sedimentu z vodního výluhu, Šumický horní.

Datum	pH	Vodivost	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄ ³⁻	CHSK	Nc	Pc	Ca ²⁺
Jednotky		μS.cm ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
20.4.2016	7,81	568	32	0,1	2,3	30,8	500	61,6	43,8	579,5
7.7.2016	7,93	480	94	0,2	0	10,7	520	116,8	31,3	475,9
3.11.2016	7,63	347	75	0,2	0	14,8	340	92	21,8	342,4

pH výluhu ze sedimentu rybníka Šumický horní se pohybovalo v neutrální oblasti.

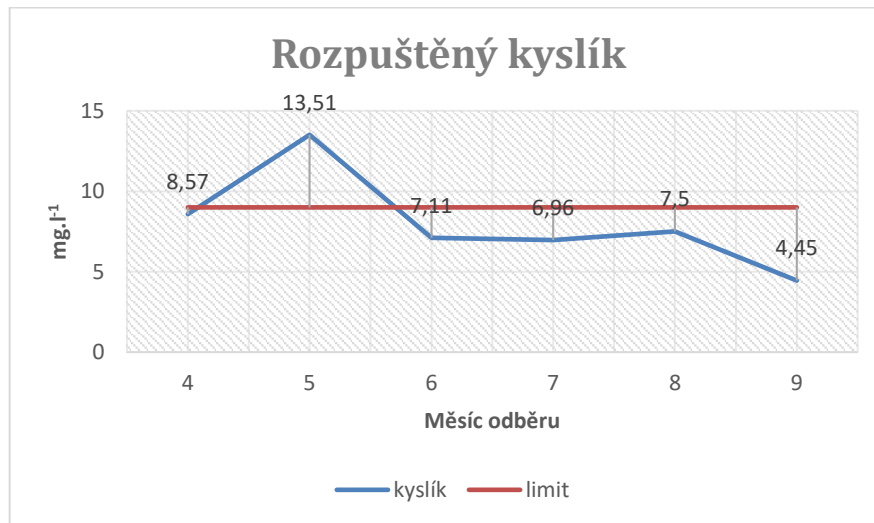
Ve výluhu ze sedimentu rybníka Šumický horní bylo velmi velké množství amoniaku oproti ostatním rybníkům, a to zejména v červenci, kdy dosáhl hodnoty 94 mg.kg⁻¹.

Velmi vysoký oproti ostatním rybníkům byl také obsah orthofosforečnanů, které v dubnu dosáhly hodnoty 30,8 mg.kg⁻¹. Podobné to bylo s celkovým fosforem, jehož množství několikanásobně převýšilo hodnoty v ostatních sledovaných rybnících. V dubnu dosáhl hodnoty 43,8 mg.kg⁻¹.

V porovnání s ostatními sledovanými rybníky byl velmi vysoký také obsah celkového dusíku, který dosáhl maximální hodnoty v červenci (116,8 mg.kg⁻¹).

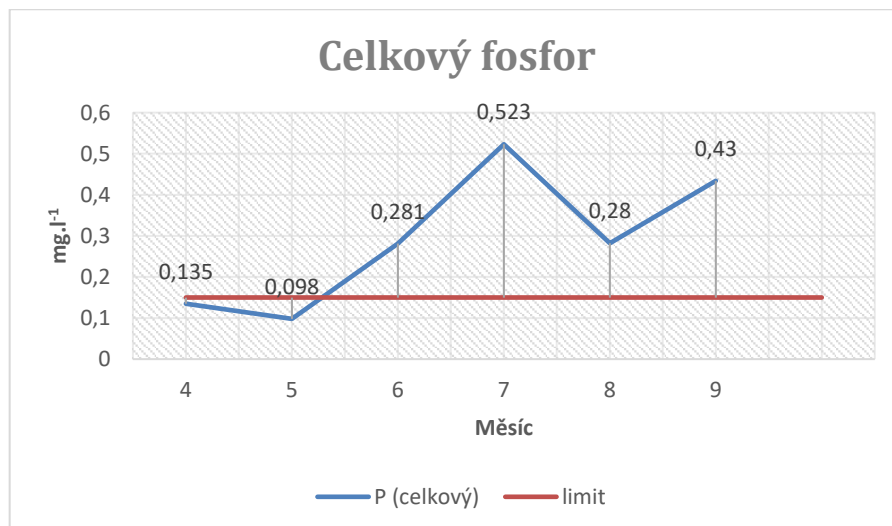
Rybník Zámecký

U rybníka Zámecký ze sledovaných parametrů vody neodpovídal legislativním požadavkům obsah rozpuštěného kyslíku, pH, obsah celkového fosforu, CHSK_{Cr} a BSK_5 .



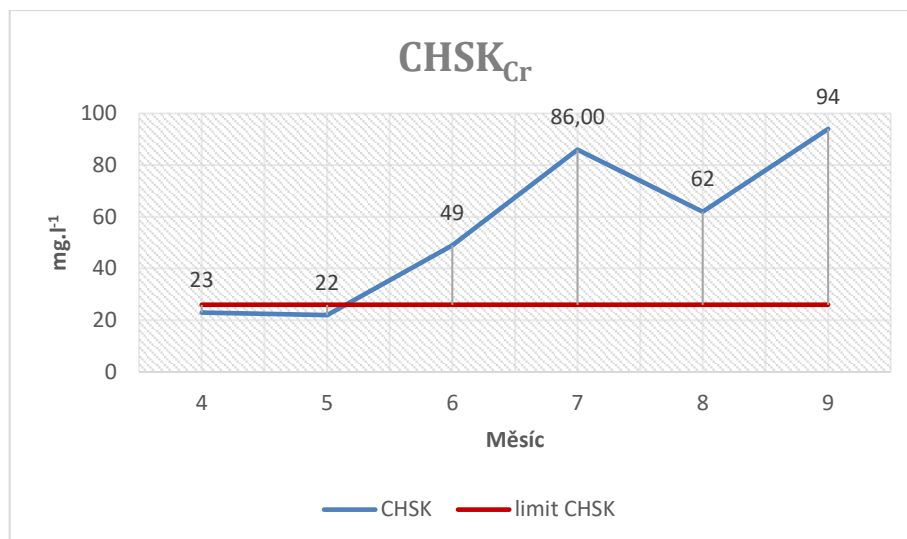
Graf 4: Kolísání obsahu kyslíku u rybníka Zámecký.

Obsah rozpuštěného kyslíku byl v rybníce většinou méně než 9 mg.l^{-1} , jak požaduje norma. Jejím požadavku odpovídal pouze v květnu, kdy bylo naměřeno $13,51 \text{ mg.l}^{-1}$.



Graf 5: Obsah fosforu v rybníce Zámecký.

Obsah celkového fosforu převyšoval požadavky normy od června do září se špičkou v červenci, kdy dosahoval hodnoty přes $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$.



Graf 6: CHSK v rybníce Zámecký.

Obsah organických látek vyjádřený jako $CHSK_{Cr}$ odpovídal požadavkům normy pouze v dubnu a květnu, kdy dosahoval hodnot jen něco málo přes 20 mg.l^{-1} . Od června do září byl jeho obsah oproti požadavkům několikanásobně vyšší. Nejvyšších hodnot dosahoval v červenci a září. Organické látky vyjádřené jako BSK_5 neodpovídaly požadavku po celou dobu sledování a stejně jako u $CHSK_{Cr}$ dosahovaly nejvyšších hodnot v červenci a září. Jejich obsah se pohyboval v rozmezí $5,08\text{--}28,35 \text{ mg.l}^{-1}$.

U rybníka Zámecký v průběhu sledování velmi kolísal obsah chlorofylu a. V dubnu byl jeho obsah pouhých $26,6 \text{ }\mu\text{g.l}^{-1}$ a v červenci dosáhl hodnoty $717,8 \text{ }\mu\text{g.l}^{-1}$. Průměrný obsah chlorofylu a byl $265,7 \text{ }\mu\text{g.l}^{-1}$.

pH vody se pohybovalo v rozmezí $7,8\text{--}9,4$. Požadavku normy neodpovídalo od června do srpna.

Obsah celkového dusíku požadavek normy nepřekročil. Jeho obsah se pohyboval v rozmezí $0,04\text{--}5,31 \text{ mg.l}^{-1}$, přičemž nejvíce jej ve vodě bylo v září. Průměrně byl jeho obsah $2,2 \text{ mg.l}^{-1}$.

Z hlediska úživnosti rybník odpovídá hypertrofní nádrži (Vyhodnoceno podle Tabulky 1).

Tabulka 7: Obsah P, Ca (Mehlich III) a organických látek v Zámeckém rybníce.

Rybník	Zámecký		
Datum	7.7.2016	18.11.2016	7.4.2016
Organické l. (% sušiny)	13,8	17,4	13,3
P (mg.kg^{-1})	45,8	31,9	34,9
Ca (mg.kg^{-1})	9619,2	14428,8	11235,8
Sušina (%)	27,8	20,5	21,7

Obsah organických látek v sedimentu rybníka Zámecký se v průběhu sledování pohyboval v rozmezí 13,3-17,4 %, přičemž největší množství se vždy vyskytovalo u vzorků odebraných na lokalitě u minaretu.

Nejvyšší obsah fosforu v sedimentu rybníka byl v červenci s tím, že jeho největší množství se vyskytovalo u vzorků odebraných na lokalitě u minaretu a nejméně na lokalitě u loviště.

Podle kritérií pro hodnocení obsahu přístupného fosforu v půdě (Škarpa, 2010), je jeho obsah v sedimentu nízký pro ornou půdu, sady a vinice a chmelnice. Vyhovující je pak pro trvalé travní porosty.

Nejvyšší obsah vápníku v sedimentu byl v listopadu, a to opět u vzorků odebraných u minaretu. Obsah vápníku byl podle kritérií pro hodnocení přístupného vápníku v půdě velmi vysoký pro ornou půdu, vinice a sady, chmelnice i trvalé travní porosty.

Tabulka 8: Parametry sedimentu z vodního výluhu, Zámecký.

Datum	pH	Vodivost	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄ ³⁻	CHSK	Nc	Pc	Ca ²⁺
Jednotky		μS.cm ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
7.4.2016	7,8	781,3	17,3	1,6	3,7	1	300	27,3	01,2	1109
7.7.2016	7,9	372,3	27	0,24	0	11,9	370	34,9	17,7	372

pH ve výluhu ze sedimentu rybníka Zámecký se pohybovalo v neutrální oblasti. Oproti pH vody bylo mírně kyselější.

Obsah amoniaku ve výluhu byl poměrně vysoký, srovnatelný s obsahem amoniaku v rybníce Bohuslavický I.

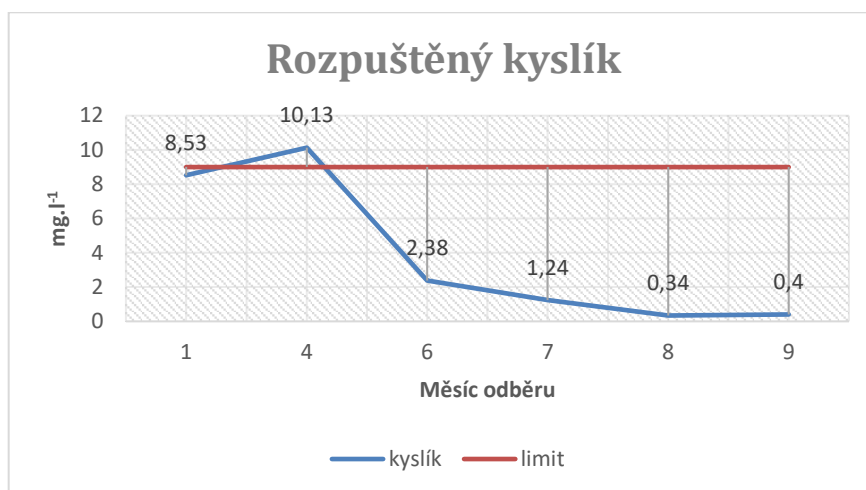
Vysokých hodnot dosáhl v červenci obsah orthofosforečnanů a také celkového fosforu.

Obsah celkového dusíku ve výluhu ze sedimentu byl průměrně 31,1 mg.kg-1. Nejvíce jej v sedimentu bylo v červenci.

Velmi vysoký byl ve výluhu ze sedimentu obsah vápníku, který byl v dubnu 1109 mg.kg-1.

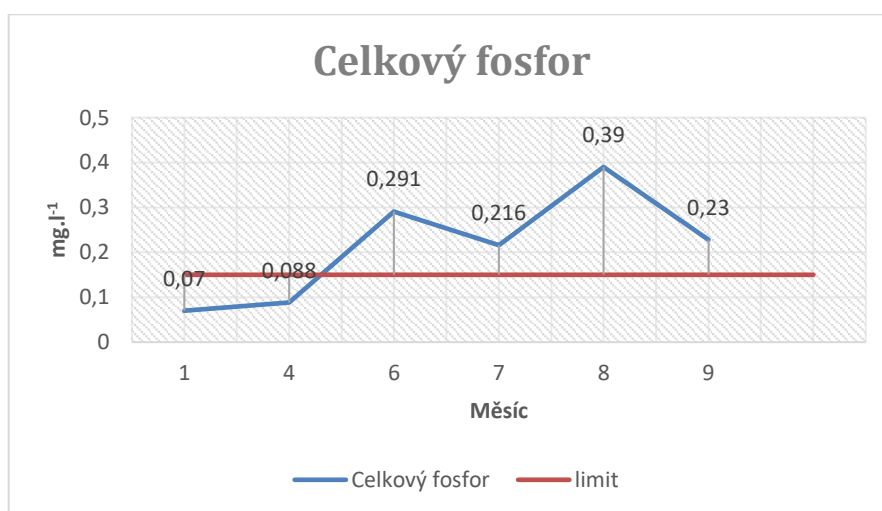
Rybník Bohuslavický I

U rybníka Bohuslavický I požadavkům nařízení neodpovídal obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě, celkový fosfor, CHSK_{Cr} , BSK_5 a amoniakální dusík.



Graf 7: Kolísání kyslíku ve vodě rybníka Bohuslavický I.

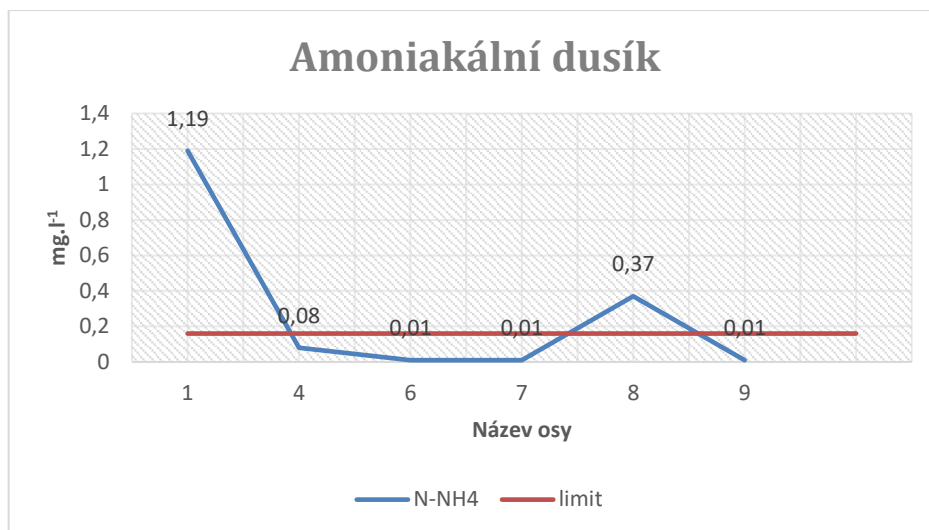
U Bohuslavického I obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě téměř po celou dobu neodpovídal požadavkům normy, naopak od června do září jej bylo ve vodě velmi malé množství. V srpnu a září se jeho obsah blížil k nulovým hodnotám.



Graf 8: Obsah fosforu v rybníce Bohuslavický I.

Obsah celkového fosforu byl nadlimitní od června do září s maximem v srpnu, kdy dosáhl hodnoty $0,39 \text{ mg.l}^{-1}$.

Obsah organických látek vyjádřený CHSK_{Cr} se pohyboval v rozmezí $11\text{--}81 \text{ mg.l}^{-1}$ se špičkou v srpnu. Průměrně bylo CHSK_{Cr} 39 mg.l^{-1} . BSK_5 se pohybovalo v rozmezí $3,75\text{--}16,9 \text{ mg.l}^{-1}$, opět s maximem v srpnu. CHSK i BSK bylo nadlimitní od června do září.



Graf 9: Amoniak v rybníce Bohuslavický I.

V lednu a červnu byl v rybníce nadlimitní obsah amoniakálního dusíku. V lednu bylo jeho množství nejvyšší a dosahovalo hodnot 1,19 mg.l⁻¹. Průměrně byl jeho obsah v rybníce 0,28 mg.l⁻¹.

pH se v rybníce pohybovalo v rozmezí 7,12–8,28, takže požadavkům normy odpovídalo.

Obsah celkového dusíku ve vodě byl průměrně 1,9 mg.l⁻¹ s maximem v lednu, kdy dosahoval hodnoty 3,8 mg.l⁻¹.

Podle úrovně trofie jsem rybník Bohuslavický I zařadila do hypertrofie (Vyhodnoceno podle Tabulky 1).

Tabulka 9: Obsah P, Ca (Mehlich III) a organických látek v Bohuslavickém I.

Rybník	Bohuslavický I			
Datum	13.7.2016	27.10.2016	20.1.2016	28.4.2016
Organické l. (% sušiny)	7,9	14,7	16,2	10,1
P (mg.kg ⁻¹)	19,9	31,2	21,4	22,6
Ca (mg.kg ⁻¹)	2805,6	5210,3	3206,4	3607,2
Sušina (%)	30,7	19,2	48,7	29,7

Nejvíce organických látek v sedimentu rybníka Bohuslavický I bylo v lednu a nejméně v červenci. Průměrně byl jejich obsah v rybníce 12,23 %.

Obsah celkového fosforu byl v sedimentu průměrně 23,8 mg.kg⁻¹. Nejvíce jej bylo zjištěno v říjnu a nejméně v červenci. Podle kritérií obsahu P v půdě (Škarpa, 2010) je jeho obsah nízký pro všechny typy půd. Pouze v říjnu byl jeho obsah vyhovující pro trvalé travní porosty.

Průměrný obsah vápníku v sedimentu rybníka byl 3707,4 mg.kg⁻¹. Nejvíce jej bylo v říjnu. Podle kritérií obsahu Ca v půdě (Škarpa, 2010) je jeho obsah v sedimentu vysoký pro všechny typy půd. V červenci byl obsah vápníku v sedimentu dobrý pro všechny typy půd.

Tabulka 10: Parametry sedimentu z vodního výluhu, Bohuslavický I.

Datum	pH	Vodivost	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄ ³⁻	CHSK	Nc	Pc	Ca ²⁺
Jednotky		μS.cm ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
21.1.2016	7,3	270	10	0,2	0	0,6	280	26	11,5	240,5
28.4.2016	7,3	333,5	17,4	0,1	0	1,8	295	49,6	2,6	405,1
13.7.2016	7,49	243	34	0,2	0	2,9	320	39,7	4	348

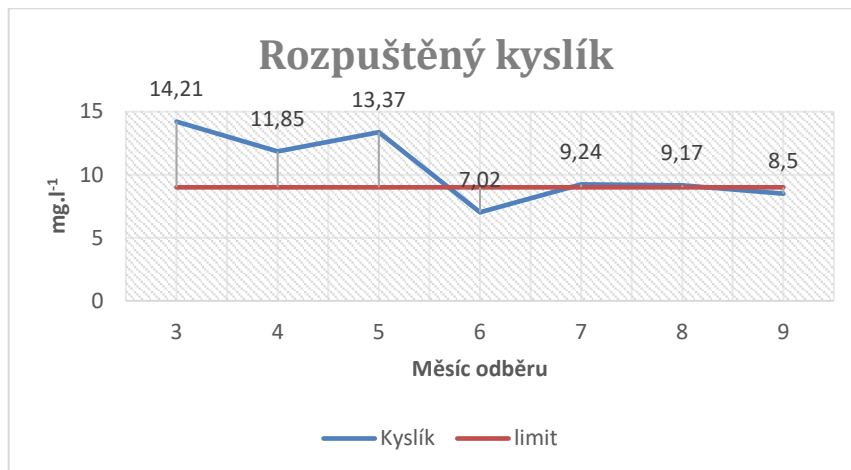
pH výluhu ze sedimentu u rybníka Bohuslavický I se pohybovalo v neutrální oblasti. Oproti pH vody bylo mírně kyselější.

Vysoký byl ve výluhu obsah amoniaku, který v červenci dosáhl hodnoty 34 mg.kg⁻¹. Nejméně jej ve výluhu bylo v lednu (10 mg.kg⁻¹), což negativně koreluje s obsahem amoniaku ve vodě.

Obsah celkového dusíku byl ve výluhu 38,4 mg.kg⁻¹ s maximem v dubnu. Obsah celkového fosforu byl průměrně 6 mg.kg⁻¹. V lednu bylo celkového fosforu v sedimentu nejvíc – dosáhl hodnoty 11,5 mg.kg⁻¹.

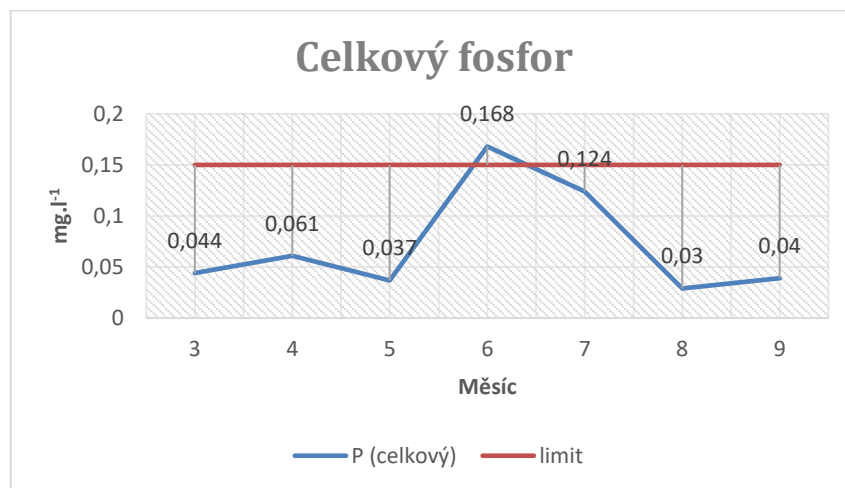
Rybník Ráček I

U rybníka Ráček I legislativním požadavkům neodpovídal obsah rozpuštěného kyslíku, celkový fosfor, CHSK_{Cr} a BSK_5 .



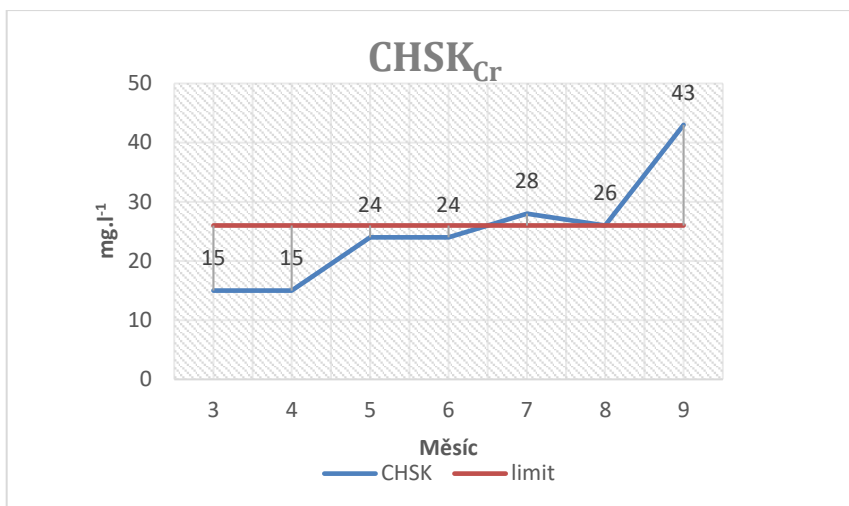
Graf 10: Kolísání obsahu kyslíku v rybníce Ráček I.

U Ráčku I obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě většinou odpovídal požadavkům nařízení. Pod 9 mg.l^{-1} byl jeho obsah pouze v červnu a září.



Graf 11: Obsah celkového fosforu v rybníce Ráček I.

Obsah celkového fosforu v rybníce byl průměrně $0,07 \text{ mg.l}^{-1}$. Požadavek nařízení překročil pouze v červnu, a to jen o $0,018 \text{ mg.l}^{-1}$.



Graf 12: CHSK vody rybníka Ráček I.

Obsah organických látek vyjádřený $CHSK_{Cr}$ požadavek nařízení překročil v červenci a září, přičemž nejvyšší hodnoty dosáhl v září. V srpnu byl jejich obsah shodný s požadavkem normy. BSK_5 neodpovídala normě pouze v červnu, kdy dosáhla hodnoty $5,57 \text{ mg.l}^{-1}$. BSK_5 se pohybovala v rozmezí $1,78 - 5,57 \text{ mg.l}^{-1}$.

O malém znečištění rybníka Ráček I vypovídá i velká průhlednost vody, která se pohybovala po celou dobu kolem 3 m.

Obsah dusíku v rybníce byl průměrně $1,046 \text{ mg.l}^{-1}$, přičemž nejvíce jej bylo v březnu, kdy dosáhl hodnoty $2,703 \text{ mg.l}^{-1}$.

Z hlediska úrovně trofie rybník odpovídá mezotrofní nádrži (Vyhodnoceno podle Tabulky 1).

Tabulka 11: Obsah P, Ca (Mehlich III) a organických látek u Ráčku I.

Rybník	Ráček I		
Datum	13.7.2016	27.9.2016	12.4.2016
Organické l. (% sušiny)	6,9	14,2	10,01
P (mg.kg^{-1})	20,7	65,9	64,5
Ca (mg.kg^{-1})	2404,8	3874,4	2805,6
Sušina (%)	50,3	28	39,4

Obsah organických látek v sedimentu rybníka Ráček I byl průměrně 10,4 % sušiny. Nejvíce jich bylo zjištěno v září a nejméně v červenci.

Obsah fosforu v sedimentu byl průměrně $50,4 \text{ mg.kg}^{-1}$. V září a dubnu je jeho obsah podle kritérií obsahu P v půdě (Škarpa, 2010) vyhovující pro orné půdy a dobrý pro trvalé travní porosty. V červenci byl jeho obsah nízký.

Obsah vápníku byl průměrně 3028,3 mg.kg⁻¹. Podle kritérií obsahu Ca v půdě (Škarpa, 2010) je jeho obsah vysoký pro všechny půdy v září a dobrý v dubnu a červenci.

Tabulka 12: Parametry sedimentu z vodního výluhu, Ráček I.

Datum	pH	Vodivost	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄ ³⁻	CHSK	Nc	Pc	Ca ²⁺
Jednotky		μS.cm ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
12.4.2016	8,41	239	6,3	0,1	0	2,4	170	13	3,5	220
13.7.2016	6,91	166	4,7	0,7	4,3	1,6	120	10	2,6	275

PH výluhu ze sedimentu rybníka Ráček I se pohybovalo v neutrální až mírně zásadité oblasti.

Všechny sledované parametry u výluhu ze sedimentu rybníka Ráček I byly oproti ostatním sledovaným rybníkům nižší.

Vyšší byl oproti ostatním rybníkům obsah dusitanů a dusičnanů v červenci. Obsah celkového dusíku byl průměrně 11,5 mg.kg⁻¹. Obsah celkového fosforu 3,1 mg.kg⁻¹.

6 DISKUSE

6.1 Fyzikálně-chemické parametry vody

Analýza vody rybníka Šumický horní ukazuje na jeho velké znečištění, a to zejména v letních měsících. Hypertrofii dokládá velké kolísání obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě a vysoký obsah chlorofylu a. K podobným výsledkům ve své práci dospěl i Horák (2016).

Hypertrofni stav rybníka je pravděpodobně důsledkem intenzivního hospodaření. Když je na druhém horku, bývá hnojen a ryby jsou přikrmovány obilninami. Dalším zdrojem znečištění mohly být také v okolí se vyskytující orné půdy a čistička vod nacházející se v obci Kubšice.

Velké množství celkového fosforu v letních měsících je důsledkem sezónních změn, které v rybníce probíhají. Velké množství letního fytoplanktonu a vysoký obsah nerozpuštěných látek způsobí snížení průhlednosti vody. V porovnání s průměrnými ročními hodnotami celkového fosforu hypertrofniho rybníka Dehtář $0,112 \text{ mg.l}^{-1}$, jsou zjištěné hodnoty u Šumického horního vyšší. Naopak vyšší hodnoty celkového fosforu byly zjištěny u rybníka Záblatský $0,410 \text{ mg.l}^{-1}$ (Duras *et al*, 2015).

Průměrný obsah celkového dusíku v Šumickém horním byl $2,9 \text{ mg.l}^{-1}$. Velmi podobný obsah ($2,95 \text{ mg.l}^{-1}$) uvádí Duras *et al* (2015) u rybníka Dvořiště v roce 2013.

U rybníka Zámecký obsah rozpuštěného kyslíku kolísal méně než u Šumického horního. V porovnání s hodnotami, které ve své práci uvádí Smíšková (2007) u rybníka Zámecký ($2,00\text{--}11,53 \text{ mg.l}^{-1}$), jsou naše naměřené hodnoty rozpuštěného kyslíku ve vodě vyšší.

Od roku 2004 je rybník Zámecký bez řízené obsádky. Smíšková (2007) jej sledovala 3 roky poté, takže v tu dobu v něm byla ještě nízká obsádka ryb, které se do něj dostávají s přítokem. Díky tomu bylo ve vodě rybníka více zooplanktonu, který částečně redukoval fytoplankton a tím pádem bylo ve vodě i méně rozpuštěného kyslíku.

U Zámeckého bylo naměřeno velké množství chlorofylu a, což vypovídá o velkém množství fytoplanktonu. Smíšková (2007) u Zámeckého zjistila hodnoty chlorofylu a průměrně nižší ($66,51 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$). Kopp (2006) zjistil v roce 2003 v Zámeckém průměrný obsah chlorofylu a $240,05 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$, což je srovnatelné s našimi výsledky.

Lukavský *et al* (2004) v rybníce Svět sledoval obsah chlorofylu a od února do listopadu 2004, který se pohyboval v rozmezí $6,14\text{--}688,3 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$. Vyšší hodnoty byly naměřeny v letních měsících, tak jako u námi sledovaných rybníků.

Obsah celkového dusíku v rybníce Zámecký uvádí ve své práci Smíšková (2007) průměrně 3,11 mg.l⁻¹, což je oproti našim výsledkům vyšší.

Obsah celkového fosforu v Zámeckém rybníce, který ve své práci uvádí Smíšková (2007) byl 0,239 mg.l⁻¹, což je velmi podobné našim výsledkům. Podobně to bylo u pH – 7,36-9,02.

V Zámeckém rybníce se nachází velká vrstva rybničního bahna, díky které je rybník velmi mělký. Díky malé hloubce rybníka pak mohou výrazněji kolísat některé ukazatele kvality vody.

Nedostatek obsahu rozpuštěného kyslíku v rybníce Bohuslavický I je pravděpodobně způsoben pokrytím vodní hladiny vodními rostlinami (okřehek), které zamezují výměně plynů mezi vodní hladinou a atmosférou. Velký spad listů z okolních stromů se ve vodě rybníka rozkládá a rovněž se tak podílí na snížení obsahu kyslíku ve vodě.

Smíšková (2007) ve své práci uvádí u rybníka Růžový obsah rozpuštěného kyslíku v rozmezí 2,7–14,61 mg.l⁻¹. To je oproti našim výsledkům u rybníka Bohuslavický I lehce vyšší.

Plišťáková (2015) u přítoku Pístovického rybníka uvádí hodnoty CHSK_{Cr} 38,3 mg.l⁻¹, což je srovnatelné s námi zjištěnou průměrnou hodnotou CHSK_{Cr} u rybníka Bohuslavický I.

Obsah fosforu v Bohuslavickém I je srovnatelný s obsahem fosforu ve vodě rybníka Dvořiště – 0,195 mg.l⁻¹ (2013), 0,188 mg.l⁻¹ (2014), který uvedl Duras *et al* (2015).

Rozmezí hodnot amoniaku na rybníce Pístovický je 0,01-0,21 mg.l⁻¹ (Plišťáková, 2015), což je oproti našim výsledkům méně. Smíšková (2007) ve své práci uvádí průměrný obsah amoniakálního dusíku u rybníka Růžový 0,75 mg.l⁻¹ a u rybníka Zámecký 0,70 mg.l⁻¹, což je naopak oproti našim výsledkům několikanásobně větší množství.

Altman (2016) uvádí měsíční průměr celkového fosforu v rybníce Svět 0,15 mg.l⁻¹, což je oproti námi zjištěným hodnotám u rybníka Bohuslavický I méně. Podobné našim byly hodnoty, které uvedl Duras *et al* (2015) u rybníka Kaňov v roce 2014 – 0,24 mg.l⁻¹. Rybník Ráček I je ze všech čtyř rybníků nejméně znečištěný, což může být způsobené vyšší nadmořskou výškou oproti ostatním rybníkům, ale především extenzivním obhospodařováním.

Duras *et al* (2015) uvádí u rybníka Staňkovský průhlednost vody 1,58 m – námi naměřené hodnoty u rybníka Ráček I byly po celou dobu cca o 1 m větší.

Průměrný obsah celkového fosforu ve vodě Ráčku I odpovídá hodnotě, zjištěné v rybníce Olšina v roce 2013, 0,074 mg.l⁻¹ (Duras *et al*, 2015).

Obsah celkového dusíku u rybníka Ráček I odpovídá hodnotě, které byla zjištěna u rybníka Rožmberk v roce 2014 - 0,98 mg.l⁻¹. Smíšková (2007) zjistila u rybníka Růžový obsah celkového dusíku v rozmezí 0,60 – 12,20 mg/l, to je oproti našim hodnotám u Ráčku I velmi vysoké.

6.2 Fyzikálně-chemické parametry sedimentů

U rybníka Šumický horní byl obsah P (Mehlich III) a obsah organických látek v červenci a listopadu srovnatelný s hodnotami, které uvádí Kubík (2009) u lesních rybníků – obsah fosforu 14,7 mg.kg⁻¹ a organických látek 7,4 %.

V dubnu byl obsah fosforu v sedimentu o něco málo vyšší, než u Šumického horního uvádí Horák (2016) – 40,3 mg.kg⁻¹.

Obsah vápníku v sedimentu rybníka Šumický horní v červenci a listopadu je srovnatelný s obsahem 5281,1 mg.kg⁻¹, který Kubík (2009) uvedl u návesního rybníka. Kubík (2009) uvádí maximální zjištěnou hodnotu vápníku v sedimentu 28500 mg.kg⁻¹. Námi zjištěná dubnová hodnota u Šumického horního byla vyšší dokonce o cca 4000 mg.kg⁻¹.

Velký rozdíl u dubnových vzorků oproti ostatním u rybníka Šumický horní byl pravděpodobně zapříčiněn tím, že rybník byl v dubnu vypouštěný. Při vypouštění s vodou klesly na dno živiny, které následně ovlivnily složení sedimentu.

Obsah fosforu v sedimentu rybníka Zámecký byl srovnatelný s obsahem 39,52 mg.kg⁻¹, který uvádí Kubík (2009) u polního rybníka. V porovnání s průměrnými hodnotami uváděnými Kubíkem (2009), jsou naše hodnoty o něco nižší, pouze v červenci vyšší.

Obsah vápníku v sedimentu byl velmi vysoký. V porovnání s průměrnou hodnotou obsahu vápníku v sedimentu uváděnou Kubíkem (2009), jsou naše hodnoty až čtyřnásobně vyšší. Vysoký obsah vápníku je zapříčiněn vápencovým podložím, na kterém Zámecký rybník leží.

Obsah organických látek v sedimentu Zámeckého rybníka byl v porovnání s průměrnou hodnotou uváděnou Kubíkem (2009) až o 9 % vyšší.

Obsah organických látek v sedimentu rybníka Bohuslavický I byl vyšší v porovnání s průměrnou hodnotou 8,82 %, kterou uvádí Kubík (2009).

Obsah vápníku v sedimentu rybníka byl srovnatelný s hodnotou 3728,7 mg.kg⁻¹, uváděnou Kubíkem (2009).

Překvapivě vysoký obsah fosforu v sedimentu rybníka Ráček I v dubnu a září by mohl být zapříčiněn velkým výskytem submerzních rostlin, případně jeho obsah může ovlivnit i geologické podloží.

Reálnější obraz o živinách, které se ze sedimentu mohou uvolnit do rybníční vody, nám poskytují ukazatele, které byly stanoveny z vodného výluhu sedimentu.

Výskyt dusičnanů ve vodném výluhu ze sedimentu rybníka Šumický horní v dubnu byl způsoben oksyliččením rybníčního dna po vypuštění rybníka. Tento fakt potvrzuje i negativní korelace amoniaku s dusičnany. V červenci a listopadu byly zjištěny nulové hodnoty dusičnanů a velmi vysoké hodnoty amoniaku, což svědčí o kyslíkovém deficitu u dna rybníka.

Horák (2016) uvádí hodnotu 21,2 mg. kg⁻¹ celkového fosforu ve vodném výluhu ze sedimentu rybníka Šumický horní – to je zhruba poloviční množství, oproti námi zjištěné dubnové hodnotě a srovnatelné s listopadovou hodnotou.

Podobné hodnoty (100 mg.kg⁻¹) uvádí Horák (2016) u obsahu celkového dusíku ve vodném výluhu rybníka Šumický horní.

7 ZÁVĚR

Většina našich rybníků je velmi zatížená živinami, a tak je potřeba počítat s výrazným kolísáním obsahu řady fyzikálně-chemických parametrů nejen v průběhu vegetačního období, ale i během dne a noci. Po porovnání výsledků s požadavky legislativy můžeme říct, že u většiny rybníků nebyl problém dodržet limity na obsahy sloučenin dusíku, naopak splnit dané limity u obsahu organických látek se jeví jako nereálné. Za nejdůležitější živinu v procesu obohacování vod živinami je považován fosfor, jehož množství se požaduje ve vodách co nejnižší, ovšem u všech rybníků je nadlimitní.

Rybniční sedimenty mají velké množství organických látek, což je pro zemědělské půdy velmi významné. Vysoký je také obsah vápníku. Nízké je naopak množství dostupného fosforu, oproti požadavku na zemědělské půdy. Pro vyhodnocení, zda mohou být sedimenty využity na zemědělských půdách, je potřeba vyhodnotit řadu dalších kritérií, která jsou stanovena legislativou.

8 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

8.1 Knižní zdroje

ADÁMEK, Zdeněk, Jan HELEŠIC, Blahoslav MARŠÁLEK a Martin RULÍK. *Aplikovaná hydrobiologie*. 2., rozš. upr. vyd. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2010. ISBN 9788087437094.

ADÁMEK, Zdeněk. *Příručka pro rybářské hospodáře*. Praha: Český rybářský svaz, 2013. ISBN 978-80-905280-2-4.

AHUJA, Satinder. *Monitoring water quality: pollution assessment, analysis, and remediation*. Waltham: Elsevier, c2013. ISBN 978-0-444-59395-5.

ALTMAN, Martin. *Dlouhodobý vývoj kvality vody rybníka Svět ve vztahu k rybářskému hospodaření*. Praha, 2016. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze.

ANSORGE, Libor. Využití sedimentů z rybníků a vodních nádrží v zemědělství. *Odpadové fórum: Odborný měsíčník o všem, co souvisí s odpady*. 2003, (9), 12. ISSN 1212-7779.

BENEŠOVÁ, Jana. Okolnosti a souvislosti zemědělského využití rybníčních sedimentů. *Odpadové fórum: Odborný měsíčník o všem, co souvisí s odpady*. 2003, (9), 14 - 16. ISSN 1212-7779.

DUBSKÝ, Karel. *Chov ryb v rybnících: pro stavební zaměření*. Vydání 2. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, 2015. ISBN 978-80-87096-20-8.

DURAS, Jindřich, Jan POTUŽÁK, Michal MARCEL a Libor PECHAR. Rybníky a jakost vody. *Vodní hospodářství*. 2015, (7), 16-21.

GRÜNWARD, Alexander. *Hydrochemie*. Praha: Čes. vys. učení techn, 1993. ISBN 80-010-0952-1.

HARTMAN, Pavel, Ivo PŘIKRYL a Eduard ŠTĚDRONSKÝ. *Hydrobiologie*. 3., přeprac. vyd. Praha: Informatorium, 2005. ISBN 80-733-3046-6.

HARTMAN, Pavel a Ján REGENDA. *Praktika v rybníkářství*. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2014. ISBN 978-80-7514-009-8.

HERALT, Přemysl a Jiří KMET. *Plán péče o národní přírodní rezervaci Lednické rybníky na období 2007-2011*, AOPK ČR, Správa CHKO Pálava, 2006.

HETEŠA, Jiří a Eva KOČKOVÁ. *HYDROCHEMIE*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 1997. ISBN 80-7157-289-6.

HORÁK, Filip. *Obsah biogenů (N, P) ve vodě a sedimentu vybraných rybníků*. Brno, 2016. Diplomová práce.

KOPP, Radovan. *HYDROCHEMIE - nejen pro rybáře*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015, 120 s. ISBN 978-80-7509-352-3.

KOPP, Radovan. Phytoplankton of the Zámecký Pond. *Czech Phycology*. 2006, 6, s. 111-125.

KOPP, Radovan, Klára HILSCEROVÁ a Eva POŠTULKOVÁ. *ZÁKLADY VODNÍ EKOTOXIKOLOGIE*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015, 152 s. ISBN 978-80-7509-334-9.

KUBÍK, Ladislav. *MONITORING RYBNÍČNÍCH A ŘÍČNÍCH SEDIMENTŮ: PRŮBĚŽNÁ ZPRÁVA 1995–2008*. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, Odbor bezpečnosti krmiv a půdy, 2009.

KUKOL, Jan. *Eutrofizace vodních nádrží*. Brno, 2013. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.

LANG, Štěpán, Radovan KOPP a Jan MAREŠ. *Metodika záběhu biologického filtru v intenzivním recirkulačním zařízení dánského typu pro chov ryb: certifikovaná metodika*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-375-2.

LUKAVSKÝ, Jaromír, et al. *Rybník Svět: dílčí zpráva za r. 2000*. Třeboň: Komise pro životní prostředí a ekologii Rady města Třeboně, 2000. 5 s.

MA, Lin, Feng HE, Tao HUANG, Qiaohong ZHOU, Yi ZHANG a Zhenbin WU. Nitrogen and phosphorus transformations and balance in a pond-ditch circulation system for rural polluted water treatment. *Ecological Engineering*. 2016, **2016**(94), 10. ISSN 0925-8574.

MAREK, Václav. Právní stav využití sedimentů v zemědělství. *Odpadové fórum: Odborný měsíčník o všem, co souvisí s odpady*. 2003, (9), 13 - 14. ISSN 1212-7779.

MAREŠ, Jan, Radovan KOPP a Štěpán LANG. *Ověřená technologie ovlivnění záběhu biologického filtru v intenzivním recirkulačním zařízení dánského typu pro chov ryb: ověřená technologie*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-380-6.

PECHAR, Libor. Století eutrofizace rybníků – synergický efekt zvyšování zátěže živinami (fosforem a dusíkem) a nárůstu rybích obsádek. *Vodní hospodářství*. 2015, **65**(7), 1-6.

PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.

PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.

PLIŠŤÁKOVÁ, Lucie. *Složení planktonních společenstev a kvality vody Pístovického rybníka*. Brno, 2015. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.

POKORNÝ, Josef, Antonín ZYKMUND, Jan MAREŠ, et al., URBÁNEK, Martin, ed. *České rybníky a rybářství ve 20. století*. České Budějovice: Rybářské sdružení České republiky, 2015. ISBN 978-80-87699-06-5.

POTUŽÁK, Jan a Jindřich DURAS. Retence živin v rybnících – význam, hodnocení a možnosti jejího využití. *Vodní hospodářství*. 2015, **65**(7), 8 - 15.

SAJNER, Pavel. *HYDRODYNAMICKÁ SEPARACE SEDIMENTU VODNÍHO TOKU*. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

SCHRIMPELOVÁ, Kateřina. *FORMY FOSFORU V ŘÍČNÍCH SEDIMENTECH*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

SMÍŠKOVÁ, Miroslava. *Fyzikálně chemické parametry Zámeckého a Podzámeckého rybníka*. Brno, 2007. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.

SVOBODOVÁ, Zdeňka. *Nemoci sladkovodních a akvarijních ryb*. 4., přeprac. vyd. Praha: Informatorium, 2007. ISBN 9788073330514.

ŠTĚRBA, Otakar. *Říční krajina a její ekosystémy*. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2008. ISBN 9788024422039.

TÖLGYESSY, Juraj. *Chemistry and biology of water, air, and soil environmental aspects*. 1. Amsterdam: Elsevier, 1993. ISBN 978-008-0875-125.

VACHTA, Richard, Pavel NUSL, Drahošlav SMÉKAL, Pavel LEPIČ a Miloš BUŘIČ. *Recirkulační systémy*. Druhé. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie Vodňany, 2015. ISBN 978-80-87096-19-2.

VALENTOVÁ, Olga, Jana MÁCHOVÁ a Hana KOCOUR KROUPOVÁ. *Základy hydrochemie – návody pro laboratorní cvičení*. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2013. ISBN 978-80-87437-46-9.

VELÍŠEK, Josef, Zdeňka SVOBODOVÁ, Jana BLÁHOVÁ, et al. *Vodní toxikologie pro rybáře*. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2014. ISBN 978-80-87437-89-6.

Zákon o rybníkářství, výkonu rybářského práva, rybářské strážní, ochraně mořských rybolovných zdrojů a o změně některých zákonů (zákon o rybářství). In: Česká republika, 2004, ročník 2004, číslo 99.

Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: Česká republika, 2001, číslo 185.

ZÁKOUTSKÁ, Kateřina. *Hodnocení jakosti vody – Jinolické rybníky*. Brno, 2012. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.

ŽÁČEK, Ladislav. *Hydrochemie*. Brno: VUTIUM, 1998. ISBN 80-214-1167-8.

8.2 Elektronické zdroje

BÍNOVÁ, Ludmila. *AKTUALIZACE PLÁNU ÚZEMNÍHO SYSTÉMU EKOLOGICKÉ STABILITY k.ú. ŠUMICE* [online]. In: Brno: SPOLEČNOST PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ, SPOL. S R.O., 2009, 3–4 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: http://www.pohorelice.cz/Data/files/stavebni/1UP_%C5%A0umice/N%C3%A1vrh/%C4%8Cistopis/SUMICE%202009_uses.pdf

HOLBA, Marek. *Vhodné technologie recyklace fosforu z povrchových a odpadních vod*. ASIONEWS [online]. 2010(51), 12–16 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/7128-vhodne-technologie-recyklace-fosforu-z-povrchovych-a-odpadnich-vod>

ŠKARPA, Petr. *Laboratorní výuka z výživy rostlin* [online]. In: Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/laborator/index.php?N=1&I=3&J=9&K=1

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Rozdělení forem výskytu fosforu ve vodním prostředí, vytvořeno podle Pittera (2009)	24
Obrázek 2: Šumický horní s vyznačenými místy odběru (červeně sediment, žlutě voda).	27
Obrázek 3: Bohuslavický I s vyznačenými místy odběru.....	28
Obrázek 4: Rybník Zámecký s vyznačenými místy odběru.	29
Obrázek 5: Rybník Ráček I s vyznačenými místy odběru.....	30
Obrázek 6: Stanovení průhlednosti vody Secciho deskou.....	32

10 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Kolísání obsahu kyslíku v průběhu sledování.	37
Graf 2: Obsah celkového fosforu v průběhu sledování.	37
Graf 3: CHSK v průběhu sledování.	38
Graf 4: Kolísání obsahu kyslíku u rybníka Zámecký.	40
Graf 5: Obsah fosforu v rybníce Zámecký.	40
Graf 6: CHSK v rybníce Zámecký.	41
Graf 7: Kolísání kyslíku ve vodě rybníka Bohuslavický I.	43
Graf 8: Obsah fosforu v rybníce Bohuslavický I.	43
Graf 9: Amoniak v rybníce Bohuslavický I.	44
Graf 10: Kolísání obsahu kyslíku v rybníce Ráček I.	46
Graf 11: Obsah celkového fosforu v rybníce Ráček I.	46
Graf 12: CHSK vody rybníka Ráček I.	47

11 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Klasifikace stojatých vod dle úživnosti (Adámek et al, 2010).....	13
Tabulka 2: Obsádka rybníka Šumický horní.	28
Tabulka 3: Obsádka Bohuslavických rybníků.	29
Tabulka 4: Obsádka rybníka Ráček I.	31
Tabulka 5: Obsah P, Ca (Mehlich III) a organických látek v rybníce Šumický horní. ..	38
Tabulka 6: Parametry sedimentu z vodního výluhu, Šumický horní.	39
Tabulka 7: Obsah P, Ca (Mehlich III) a organických látek v Zámeckém rybníce.	41
Tabulka 8: Parametry sedimentu z vodního výluhu, Zámecký.	42
Tabulka 9: Obsah P, Ca (Mehlich III) a organických látek v Bohuslavickém I.	44
Tabulka 10: Parametry sedimentu z vodního výluhu, Bohuslavický I.	45
Tabulka 11: Obsah P, Ca (Mehlich III) a organických látek u Ráčku I.	47
Tabulka 12: Parametry sedimentu z vodního výluhu, Ráček I.	48

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

K₀ – váčkový plůdek kapra

K₁ – plůdek kapra (má za sebou jedno vegetační období)

K₂ – násada kapra (má za sebou dvě vegetační období)

Ab₀ – váčkový plůdek amura bílého

Ab₁ – plůdek amura bílého

Ab₂ – násada amura bílého

Tp₀ – váčkový plůdek tolstolobika pestrého

Su_k – odkrmený plůdek sumce velkého (po přechodu na vnější výživu krmený krmivou nebo přirozenou potravou)

Su_r – rychlený plůdek sumce velkého (plůdek ve stáří několika týdnů, obvykle 4-6 týdnů, lovený do poloviny července)

Š₁ – plůdek štiky obecné

Ca₂ – násada candáta obecného

L₁ – plůdek lína obecného

L₂ – násada lína obecného

Mn₀ – váčkový plůdek mníka jednovousého

Mn₂ – násada mníka jednovousého