

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav aplikované a krajinné ekologie



**Agronomická
fakulta**

**Mendelova
univerzita
v Brně**



Problematika likvidace sinic na vybrané vodní nádrži

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Ing. Petra Oppeltová, Ph.D.

Vypracovala:
Jitka Drápalová

Brno 2017



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Jitka Drápalová**
Studijní program: Zemědělská specializace
Obor: Pozemkové úpravy a ochrana půdy
Název tématu: **Problematika likvidace sinic na vybrané vodní nádrži**
Rozsah práce: 30 stran textu, tabulky, grafy, mapové přílohy, fotodokumentace

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše – problematika jakosti vody, znečišťování vod, eutrofizace a její následky, související vodoprávní legislativa – literární rešerše
2. Přírodní a hospodářské podmínky v zájmovém území
3. Návrh metodiky práce
4. Terénní průzkum, fotodokumentace
5. Zhodnocení účinnosti vybraných postupů při likvidaci sinic
6. Diskuse a závěr

Seznam odborné literatury:

1. SPELLMAN, F R. *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*. 2. vyd. Boca Raton: Taylor & Francis, 2009. 826 s. ISBN 978-1-4200-7530-4.
2. OPPELTOVÁ, P. *Ochrana vodních zdrojů*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. 103 s. ISBN 978-80-7509-218-2.
3. GORDON, N D. a kol. *Stream hydrology : an introduction for ecologists*. 2. vyd. Chichester, West Sussex, England: Wiley, 2004. 429 s. ISBN 0-470-84358-6.
4. HETĚŠA, J. – KOČKOVÁ, E. *Hydrochemie*. 1. vyd. Brno: MZLU, 1998. 95 s. ISBN 80-7157-289-6.
5. PITTEK, P.: *Hydrochemie*. 2.vyd. Praha. VŠCHT, 1999, 568 s.
6. Říha, J. et al.: *Jakost vody v povrchových tocích a její matematické modelování*. 1.vyd.Brno. NOEL 2000 s r.o., 267 s.
7. Zákon č. 274/2001 Sb. v platném znění o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a s tím související prováděcí předpisy
8. Zákon o vodách č. 254/2001 Sb. v platném znění a s tím související prováděcí předpisy

Datum zadání bakalářské práce: říjen 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2017


Jitka Drápalová
Autorka práce




Ing. Petra Opletová, Ph.D.
Vedoucí práce


doc. Ing. Dr. Milada Šťastná
Vedoucí ústavu


doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D.
Děkan AF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci:

Problematika likvidace sinic na vybrané vodní nádrži

vypracovala 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 a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědoma, 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

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé práce Ing. Petře Opeltové, Ph.D. za cenné rady a připomínky při zpracovávání této práce. Další poděkování patří Ing. Romanovi Sládkovi za poskytnutí cenných informací o projektu s názvem Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou eutrofizace, konkrétně likvidací sinic na vybrané vodní nádrži. Práce je rozdělena na několik částí. V první části se práce zabývá znečištěním vod, fosforem, fytoplanktonem, eutrofizací a metodami a technologiemi omezování výskytu vodního květu. V druhé části se nachází charakteristika zájmového území, kterým je Brněnská údolní nádrž, a fotodokumentace. Poslední část práce podrobně popisuje projekt, který byl realizován na Brněnské údolní nádrži k potlačení masového rozvoje sinic. Zde jsou také uvedené hodnoty, které byly naměřeny v roce 2016. Pomocí těchto hodnot je hodnocena účinnost opatření, která jsou využívána na Brněnské údolní nádrži. V diskuzi jsou poté rozebrány další možnosti, které by mohly zabránit masovému rozvoji sinic v nádrži. Dále jsou porovnány jejich výhody a nevýhody.

Klíčová slova: voda, eutrofizace, sinice, fosfor

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the issues of eutrophication, specifically the extermination of cyanobacteria inside of a selected water tank. This work is divided into several parts. The first part engages in water pollution caused by phosphorus, phytoplankton, eutrophication and by methods and technologies restricting the presence of a water plant. The second part of this thesis includes characteristics of the area of our interest, which is the Brno Reservoir, as well as photo documentation. The last part describes in detail the whole project, which was implemented at the Brno Reservoir to suppress the mass reproduction of cyanobacteria. Values that have been measured in 2016 are also present in this chapter. The effectiveness of preventive measures that are currently employed at the Brno Reservoir has been evaluated using these values. Other options that might help to prevent cyanobacteria from mass reproduction in the water tank are further analyzed in the discussion. Advantages and disadvantages of these options are also being discussed there.

Keywords: water, eutrophication, cyanobacteria, phosphorus

Obsah

1	ÚVOD	9
2	CÍL PRÁCE	10
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	10
3.1	Legislativa vodního hospodářství	10
3.2	Znečištění vod	11
3.2.1	Zdroje znečištění vod	12
3.2.2	Vývoj znečištění vod v ČR	13
3.3	Fosfor	15
3.4	Fytoplankton	18
3.4.1	Řasy	19
3.4.2	Sinice (Cyanobakterie)	19
3.5	Eutrofizace	22
3.5.1	Trofie stojatých vod	25
3.6	Metody a technologie omezování výskytu vodního květu	26
3.6.1	Dlouhodobá opatření	27
3.6.2	Krátkodobá opatření a zásahy proti akutnímu stavu	27
3.6.3	Možnosti jednotlivce proti vodnímu květu	30
4	METODIKA	30
5	CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	32
5.1	Hydrologické poměry	33
5.2	Klimatické poměry	34
5.3	Zranitelné oblasti	35
5.4	Geologické poměry	36
5.5	Půdní poměry	37
5.6	Využití krajiny	38
5.7	Chráněná území	38

5.8	Riziko erozního smyvu v současných klimatických podmínkách	40
5.9	Znečištění	41
6	FOTODOKUMENTACE SOUČASNÉHO STAVU	48
7	REALIZACE OPATŘENÍ NA BRNĚNSKÉ ÚDOLNÍ NÁDRŽI	52
7.1	Využívané prostředky	52
7.2	Zhodnocení stavu před zahájením opatření.....	56
7.3	Opatření na nádrži	60
7.4	Zhodnocení opatření.....	64
8	VÝSLEDKY A DISKUZE	69
9	ZÁVĚR	75
10	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	76
11	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	78
12	SEZNAM TABULEK	79
13	SEZNAM GRAFŮ	79
14	SEZNAM ZKRATEK	80

1 ÚVOD

Lidská společnost produkuje velké množství látek, které svými účinky ovlivňují kvalitu životního prostředí. Kromě látek toxických to jsou i látky, které ve své podstatě nejsou jedovaté, svými vlastnostmi však způsobují či podporují jiné negativní jevy. Mezi takové odpadní látky lze řadit živiny neboli nutrienty. Tyto látky svojí narůstající koncentrací v povrchových vodách zvyšují jejich trofii (úživnost), pokud dojde k tzv. „zamoření živinami“, jedná se o eutrofizaci. Tento stav se projevuje řadou symptomatických změn vodního ekosystému, změnami v kvalitě vody nebo ovlivněním ekologické rovnováhy. V dnešní době se jedná o velmi aktuální celosvětový problém. Nadměrná eutrofizace povrchových vod začala zhruba v padesátých letech dvacátého století. V této době se započalo s intenzivním a velkoplošným hnojením zemědělských ploch a množství lidské populace začalo exponenciálně narůstat (Kočí et al. 2000).

Moderní projekty obnovy nádrží realizují taková opatření, která navrátí ekosystém do požadovaného stavu a nastolí rovnováhu vodního ekosystému. Dále také zahájí integrovaný a dlouhodobě udržitelný management nádrží a jejich povodí (Maršálek 2009). Jeden z projektů byl realizován také na Brněnské údolní nádrži, kde byl významný problém s masovým rozvojem sinic. Díky realizovanému projektu se podařilo zlepšit kvalitu vody a zvýšilo se tak rekreační využití tohoto oblíbeného místa. Aby byly projekty úspěšné, je nutná znalost historie nádrže a trendů podstatných parametrů, kterými jsou například znečištění živinami nebo četnost výskytu vodního květu sinic a další.

2 CÍL PRÁCE

Cíl práce lze rozdělit na tři části. Prvním cílem bylo vypracovat literární rešerši o problematice jakosti vody, znečišťování vod, eutrofizaci a o související vodoprávní legislativě. Druhým cílem bylo popsat přírodní podmínky v okolí Brněnské přehrady a vytvořit fotodokumentaci zájmového území. Třetím cílem bylo popsat vybrané postupy, které se využívají při likvidaci sinic a zhodnotit jejich účinnost.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Legislativa vodního hospodářství

Důležité vodoprávní předpisy, které se vztahují k této práci, jsou následující.

- Ústava České republiky
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- Zákon č. 20/2004 Sb., kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- Zákon č. 267/2015 Sb., kterým se mění zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony.
- Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- Nařízení vlády č. 71/2003 Sb., o stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod, ve znění pozdějších předpisů.
- Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, ve znění pozdějších předpisů.

- Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.
- Vyhláška č. 155/2011 Sb., o profilech povrchových vod využívaných ke koupání.
- Vyhláška č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch, ve znění pozdějších předpisů.
- Vyhláška č. 97/2014 Sb., kterou se mění vyhláška č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch.
- Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů.
- Vyhláška č. 48/2014 Sb., kterou se mění vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů.
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/128/ES, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství za účelem dosažení udržitelného používání pesticidů.

3.2 Znečištění vod

Za znečištění vod lze považovat každou změnu biologických, chemických i fyzikálních vlastností vod při srovnání s jejich přírodním stavem. Tyto změny mohou vyvolat organické i anorganické nečistoty, mutagenní a karcinogenní látky, dále mikroorganismy, radionuklidy a látky inertní. Vážné problémy způsobují látky, které mají vysokou schopnost akumulace, dále také silně rezistentní, těžce odbouratelné a neodbouratelné látky. Tyto látky se do vod dostávají především při haváriích a působí problémy všude na světě (Oppeltová 2015).

Příčiny i důsledky znečišťování vod jsou různé. Vysokému antropogennímu působení jsou vystaveny povrchové i podzemní vody, zejména při průsaku půdou, povrchovému odtoku, při styku a následné kontaminaci s cizorodými látkami nebo s nadměrným množstvím přírodních látek. Při znečištění vždy dochází k narušení autoregulační schopnosti vodního systému, zhoršení jakosti vody a její čistoty. Následně dochází také k omezení možností využívání vody (Oppeltová 2015).

3.2.1 Zdroje znečištění vod

Podle povahy znečišťujících látek lze znečištění dělit na fyzikální, chemické a organické. Často se vyskytuje kombinace těchto znečištění, kdy dochází k zesilování škodlivého účinku jednotlivých látek. K fyzikálnímu znečištění lze přiřadit například velké množství plavenin a splavenin, které zanášejí vodní nádrže. Z chemických látek jsou to například chloridy, sírany, volné kyseliny (sírová, uhličitá atd.), dusičnany, těžké kovy a plynné látky (CO₂, H₂S, Cl). Za nejvýznamnější ukazatele biologického znečištění jsou považovány toxické látky, které působí zhoubně na rostlinné i živočišné organismy, dále zplodiny hnilobného rozkladu vody (např. metan), mikroorganismy a bakterie a dále také zárodky různých chorob (např. kulhavky, sněti slezinné a dalších). Do vodního prostředí se dostávají odpadní vody jak komunálního, průmyslového, tak i zemědělského původu.

Zdroje znečištění podle prostorového charakteru lze dělit následovně:

- **Bodové zdroje**, kam patří komunální znečištění (průsaky z ČOV, výpustě kanalizací bez čištění, skládky odpadů), průmyslové (z výroben a provozů) a zemědělské (průsaky ze zemědělských provozů).
- **Liniové zdroje**, například průsaky z kanalizací, produktovodu, znečištěných toků a podél silnic.
- **Plošné zdroje**, představují průsaky ze zemědělsky využívaných pozemků, eroze půdy, atmosférická depozice a další.
- **Difúzní zdroje znečištění**, kterými jsou drobné rozptýlené bodové zdroje, například šíření znečištění ze skládek odpadů, z živočišné výroby.

Mezi hlavní činitele způsobující znečištění vod patří zemědělství, průmysl a odpadní vody.

- **Průmysl** je čistě antropogenní činitel, ve kterém je produkováno velké množství odpadních vod (potravinářský, papírenský, textilní, kožedělný, báňský, chemický, hutní, kovodělný a ropný průmysl). Tyto odpadní vody obsahují velké množství toxických látek, které jsou nešetrné k životnímu prostředí.
- **Zemědělství** a vodní hospodářství má velmi úzký vztah. K nejméně příznivým činnostem patří velkoplošné hospodaření, aplikace chemických prostředků na ochranu rostlin a průmyslových hnojiv, používání těžké mechanizace, dále velkokapacitní chovy s následnou likvidací odpadů, špatné uskladnění siláží, hnojiv a pesticidů. Má také vliv na vznik větrné a vodní eroze, které patří k přírodním příčinám znečištění vod (Oppeltová 2015).
- **Odpadní vody** jsou vody změněné použitím, které jsou pomocí kanalizačního systému odváděny na ČOV, popřípadě do recipientu. Z odpadních vod lze zmínit splaškové odpadní vody, dešťové vody, městské (komunální) vody a vody tepelně znečištěné. **Splašková odpadní voda**, tedy voda z kuchyní, prádelen, hygienických místností a podobně. Tato voda obsahuje rozpuštěné a nerozpuštěné organické i anorganické látky i různé mikroorganismy. **Dešťová voda** nebyla znečištěná použitím. Již před dopadem na povrch obsahuje rozpuštěné plyny a látky zachycené průchodem atmosférou. Po dopadu na povrch přijímá další látky, které unáší nebo rozpouští. Kvalita vody závisí na povrchu, ze kterého voda stéká a dostává se do recipientu. Může stékat ze střech objektů, parkovacích stání, dopravních komunikací, pěších komunikací nebo ze zelených ploch městské zástavby. **Městské vody** jsou směsí splaškových, průmyslových, povrchových a zřídka infiltrovaných podzemních vod. Odpadní vody jsou i vody tepelně znečištěné, například vody používané v chladicích věžích elektráren, které se do recipientů vrací o několik stupňů teplejší. Vyšší teplota poté podporuje růst sinic a řas (Hubačíková 2015; Oppeltová 2015).

3.2.2 Vývoj znečištění vod v ČR

Výraznou a dlouhodobou ekologickou zátěž představuje dřívější dlouholetá plošná aplikace vysokých dávek umělých hnojiv v zemědělství. Dále také široké využívání

herbicidů, fungicidů a insekticidů. Tato situace nastala prudkou intenzifikací zemědělství zejména v 70. a 80. letech minulého století, kdy se spotřeba průmyslových hnojiv v České republice zvýšila asi dvacetkrát v porovnání se 30. léty a spotřeba dusíkatých hnojiv až třicetkrát. Důsledkem této zvýšené spotřeby bylo velké zvýšení koncentrace dusičnanů v povrchových i podzemních vodách, jelikož velké množství aplikovaného dusíku nebylo rostlinami využito a docházelo k vyplavování dusíkatých látek z půdy. Některé řeky, respektive jejich části, byly prohlášeny za tzv. mrtvé toky bez vyšších forem života. Tato situace trvala do roku 1989, od té doby se snížila úroveň znečištění povrchových vod přibližně o 50 %. V dnešní době představují takto vyplavované látky, kterými jsou dusičnany, dusitany a amoniak, několik desítek kilogramů dusíku ročně na 1 ha zemědělské půdy (Spurný et al. 2015).

Vedle nevhodného množství způsobují problémy nežádoucí příměsi v přípravcích. Tyto příměsi mohou být příčinou závažné kontaminace životního prostředí. Za nejnebezpečnější látky jsou považovány polutanty vykazující vysokou chemickou stabilitu. Postupně totiž dochází ke kumulaci těchto látek v potravním řetězci. Dalším zdrojem cizorodých látek v povrchových vodách jsou exhalace. Ty se do vod dostávají přímým spadem, nebo splachy s dešťovými srážkami. (Spurný et al. 2015; Oppeltová 2015).

Situace před rokem 1989 byla způsobena také tím, že chyběly čistírny odpadních vod (ČOV). To znamená, že komunální odpadní vody z většiny velkých měst nebyly čištěny, nebo jen částečně. Nyní probíhá rekonstrukce stávajících a intenzivní výstavba nových čistíren odpadních vod. Podíl čištěných odpadních vod, které jsou odváděny kanalizacemi, dnes přesahuje 90 %. Problémem ovšem je, že řada ČOV nemá zavedený terciární stupeň čištění (odstraňování rozpuštěných látek). Tyto čistírny odpadních vod se tak paradoxně stávají významným zdrojem eutrofizace povrchových vod. Problémem také je, že některé látky procházejí přes komunální ČOV beze změny, nebo mohou také degradovat na ještě toxičtější deriváty. Mezi takové látky patří zbytky používaných léčiv, například antibiotika a hormonální antikoncepce, rezidua drog, a dále přípravky osobní péče (hygienické a kosmetické přípravky) často obsahující antimikrobiální látky (Spurný et al. 2015). Četnost čistíren odpadních vod v letech 2005-2015 v České republice lze vidět v tabulce 1 (Český statistický úřad 2016).

Tab. 1: Čistírny odpadních vod pro veřejnou potřebu v ČR podle Českého statistického úřadu (<https://www.czso.cz/>)

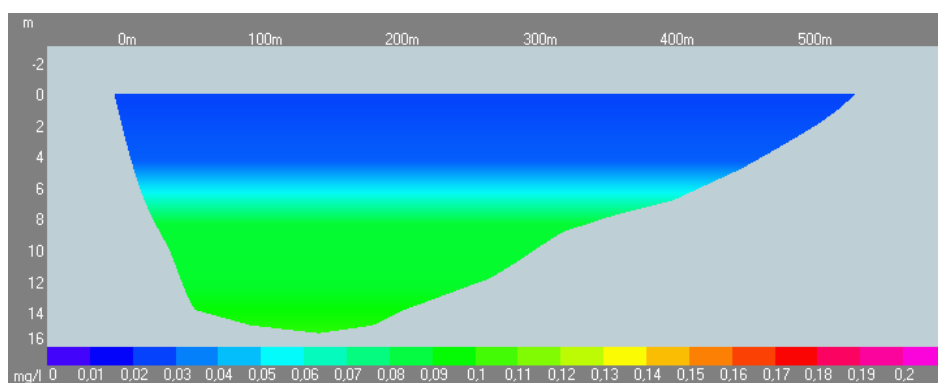
Rok Year	Čistírny odpadních vod celkem WWTPs, total	v tom					Celková kapacita ČOV (m ³ /den) Total capacity of WWTPs (m ³ /day)	
		mechanické With primary (mechanical) treatment	mechanicko-biologické With secondary (mechanical-biological) treatment			celkem Total		Celková kapacita ČOV (m ³ /den) Total capacity of WWTPs (m ³ /day)
			z toho s dalším odstraňováním With additional removal of					
			dusíku Nitrogen	fosforu Phosphorus	dusíku i fosforu Both nitrogen and phosphorus			
2005	1 994	75	1 919	411	42	276	3 735 590	
2006	2 017	64	1 953	427	55	353	3 775 931	
2007	2 065	61	2 004	476	43	373	3 834 083	
2008	2 091	54	2 037	483	41	380	3 876 178	
2009	2 158	50	2 108	496	35	429	3 832 673	
2010	2 188	49	2 139	476	37	458	3 797 673	
2011	2 251	50	2 201	474	39	513	3 799 039	
2012	2 318	50	2 268	500	42	556	3 782 197	
2013	2 382	48	2 334	518	49	606	3 711 710	
2014	2 445	44	2 401	542	56	638	3 800 973	
2015	2 495	39	2 456	573	57	674	3 915 844	

3.3 Fosfor

Fosfor je důležitý biogenní prvek. Pro primární producenty je nepostradatelnou živinou. Je limitujícím faktorem pro rozvoj fytoplanktonu v kontinentálních vodách. Celkový fosfor ve vodách se dělí na rozpuštěný a nerozpuštěný fosfor a tyto dvě skupiny se opět dělí na anorganicky vázaný a organicky vázaný fosfor. Rozpuštěný anorganicky vázaný fosfor se dále dělí na orthofosforečnanový a polyfosforečnanový fosfor. Množství fosforu ve vodě bývá nejvyšší v zimním období. Důvodem je, že v tomto období probíhá mineralizace těl odumřelých organismů v sedimentech dna. Dochází k uvolňování fosforu do vody, kde není spotřebován jinými organismy, jelikož je velmi nízká biomasa hydrobiontů a velmi nízká intenzita jejich metabolismu. Obsah fosforu se začíná snižovat v jarním období, kdy se rozvíjí vodní vegetace, zejména fytoplankton. Poté nastává období deprese fytoplanktonu (fáze clearwater), množství biologicky dostupného fosforu se opět zvýší, vzniká nová biomasa primárních producentů, čímž opět klesá množství fosforu. V letním období je prakticky veškerý fosfor poután v biomase hydrobiontů, což znamená, že jeho koncentrace ve vodě je

minimální. Po skončení vegetačního období se kruh uzavírá, dochází k odumírání organismů a fosfor se opět uvolňuje do vody.

Důležitá je také vertikální stratifikace sloučenin fosforu. Koncentrace těchto sloučenin se obvykle zvyšuje s hloubkou, to znamená, že nejvyšší koncentrace je u dna. Ve vegetačním období dosahuje v epilimniu (horní vrstva vody) koncentrace fosforu minima (v jednotkách mikrogramů na litr), protože je inkorporován do biomasy. Naopak vyšší koncentrace se nachází u dna, kde dochází k rozkladu biomasy a k uvolňování sloučenin fosforu ze sedimentů. Koncentrační rozdíly se vyrovnávají v období podzimní a jarní cirkulace (Pitter 2009). Vertikální stratifikace sloučenin fosforu je zobrazena na grafu číslo 1.



Graf 1: Vertikální stratifikace fosforu na Brněnské přehradě v červenci (<http://www.pmo.cz/>)

Na syntézu 100 mg nové biomasy se spotřebuje přibližně 1 mg fosforu. Většina řas fytoplanktonu hromadí do zásoby mnohem více fosforu, než potřebují ke stavbě svého těla a k energetickým procesům. Takto nahromaděný fosfor poté využívají v období, kdy je ho nedostatek. Heteša a Kočková (1998) uvádějí, že v extrémních případech zvládnou přijmout více než 20-ti násobek původního množství fosforu za 24 hodin. Kopp (2015) udává, že množství fosforu v tělech řas může být i více než tisícinásobné oproti okolnímu prostředí. V povrchových neznečištěných vodách bývá koncentrace fosforu v tisícinách až setinách mg.l^{-1} , ve znečištěných vodách dosahuje hodnot desetín až jednotek mg.l^{-1} . V minerálních vodách se vyskytuje pouze v setinách mg.l^{-1} , v mořské vodě asi jen $0,07 \text{ mg.l}^{-1}$. Pouze malé koncentrace fosforu lze zaznamenat ve vodách podzemních, jelikož se snadno zadržuje v půdě (Spurný et al. 2015; Kopp 2015; Heteša a Kočková 1998; Kočí et al. 2000).

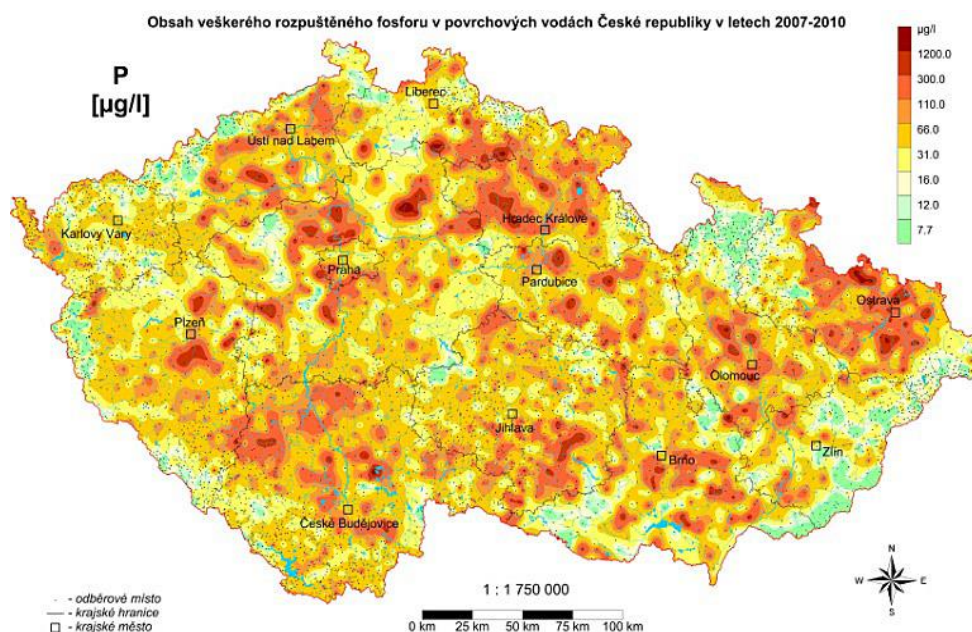
Pokud se zaměřím na celkovou bilanci fosforu v nádržích, převažuje obvykle posun fosforu z vody do sedimentů nad jeho zpětným uvolňováním. Pro trofii je převážně důležitější vnější přísun fosforu než jeho zpětné uvolňování ze sedimentů. Tato bilance je ovlivňována množstvím kyslíku u dna nádrže, hodnotou pH a chemickým složením sedimentů. Pokud je kyslíku dostatek, dochází k poutání fosforu v trojmocných oxidech, jako je například FePO_4 , při nedostatku kyslíku dochází k redukci těchto oxidů a vznikají dvojmocné formy. Dvojmocné formy oxidů jsou rozpustné a fosfor se tak uvolňuje do roztoku. Stejně tak kyselé sedimenty poutají pevně fosfor v trojmocných oxidech, čímž se tvoří například nerozpustné aluminofosfáty. Hodnoty pH nad 7 a zvýšení obsahu vápníku jsou faktory, které usnadňují fosforu přechod ze sedimentů do vody. Ke snižování obsahu fosforu ve vodě dochází při pH nad 9 a při vysokém obsahu vápníku. Důvodem je, že vzniká málo rozpustný fosforečnan vápenatý (Kopp 2015; Spurný et al. 2015).

Zdroje fosforu jsou přírodní nebo umělé. Mezi přírodní zdroje patří některé druhy půd, minerálů a hornin, například apatit, fosforit, kaolinit, dále pak odumřelá fauna a flóra. Umělými zdroji fosforu jsou splaškové vody, živočišný odpad, odpadní vody z pivovarského a textilního průmyslu, prádelny a splachy z obdělávané půdy hnojené fosforečnými hnojivy. Každý člověk vyloučí za den asi 1,5 g fosforu. Pokud se sečte tato hodnota a hodnota z různých prostředků, které člověk využívá, dostane se specifická produkce na 2 až 3 g na jednoho člověka za den (Pitter 2009; Kopp 2015).

Nyní bych se zaměřila na globální koloběh fosforu. Zvětráváním hornin se fosfor uvolňuje a dostává se tak do vod. Poté je v sedimentech splavován do moří, kde dochází k jeho usazování. Jelikož žádná z přirozených forem fosforu nevykazuje tendenci k vypařování, nemůže se zpět na pevninu dostat pomocí atmosféry. Jediným způsobem je návrat přes biosféru, který je ovšem za normálních okolností velmi pomalý. Tento přirozený koloběh narušuje člověk. Ke zrychlení koloběhu přispěl tím, že začal těžit a využívat fosfáty a aplikací fosforečných hnojiv, čímž se zvýšila i eutrofizace vod (Kopp 2015; Spurný et al. 2015).

Podle přílohy 3 nařízení vlády 401/2015 Sb., v platném znění, je přípustná průměrná hodnota NEK (norma environmentální kvality) celkového fosforu v povrchových vodách $0,15 \text{ mg.l}^{-1}$. V povodí nad nádrží, která se využívá ke koupání, jsou požadavky přísnější a povolená hodnota je $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$. Obsah veškerého

rozpuštěného fosforu v povrchových vodách České republiky v letech 2007-2010 zobrazuje obrázek číslo 1. Z obrázku č. 2 je patrné, že vysoké hodnoty fosforu byly zaznamenány v zemědělských oblastech, jako je například jižní Morava a Polabí. Lze také vidět, že na mnoha místech překračuje fosfor povolenou hranici 0,15 mg.l⁻¹.



Obr. 1: Obsah veškerého rozpuštěného fosforu v povrchových vodách ČR v letech 2007-2010 (<http://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/eutrofizace-a-acidifikace-zivotniho-prostredi/>)

3.4 Fytoplankton

Fytoplankton je společenstvo mikroskopických organismů, převážně prokaryotických cyanobakterií (sinic) a eukaryotických řas (zelené řasy, rozsivky, obrněnky). Tyto organismy žijí volně ve vodním sloupci blízko u hladiny a dokážou zachytit sluneční záření. Zachycené záření využívají jako energii v procesu fotosyntézy, a proto se označují jako fotoautotrofní organismy. Při fotosyntéze dochází k přeměně anorganického oxidu uhličitého a vody na organický uhlík, energii a kyslík. Některé druhy mohou získávat energii autotrofně i heterotrofně, například rozkladem jinde získané organické hmoty. Studium sinic i řas se zabývá vědní obor fykologie. Fytoplankton se může vyskytovat ve sladkých i slaných vodách (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005b).

Pokud se na fytoplankton zaměříme z hlediska jeho prospěšnosti, patří k nejdůležitějším činitelům, které ovlivňují klima na Zemi. Jak již bylo řečeno, fytoplankton spotřebovává při fotosyntéze oxid uhličitý, tím ovlivňuje jeho množství

v atmosféře. Navíc produkuje kyslík, který je nezbytný pro další organismy. Fytoplankton vytváří více než 40 % organické hmoty na světě, která vzniká fotosyntézou. Faktory, které ovlivňují růst fytoplanktonu, jsou následující. Dostupnost slunečního záření, oxidu uhličitého a živin, například fosforu, dusíku, síry, křemíku, vápníku, železa atd. Dalšími faktory jsou teplota, slanost vody, vítr a živočichové, kteří se fytoplanktonem živí. Každý druh potřebuje různé množství živin. Při vhodných podmínkách roste populace fytoplanktonu velice rychle a tvoří se tzv. vodní květ. Ten může trvat i několik týdnů, i když jednotlivé fytoplanktonní organismy žijí jen několik dnů (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005b). Pitter (2009) uvádí, že hlavními producenty závadných látek jsou sinice nikoli řasy.

3.4.1 Řasy

Řasy se řadí mezi eukaryotické organismy do říše rostlin a jsou vývojově mladší než sinice. Tvoří velmi rozmanitou skupinu organismů nižších rostlin, vyskytují se řasy jednobuněčné i mnohobuněčné. Součástí fytoplanktonu jsou mikroskopické řasy, jejichž velikost je menší než 1 mm. Naproti tomu některé makroskopické mnohobuněčné druhy mohou dorůst až několika metrů (ruduchy, chaluhy). Většinou jsou fotoautotrofní organismy, jen výjimečně heterotrofní. Řasy existují v podobě jednotlivých buněk i mnohobuněčných kolonií rozmanitých tvarů a mohou se rozmnožovat pohlavně i nepohlavně (dělením). Těla řas se označují jako stélka, protože na rozdíl od vyšších rostlin nemají typické rostlinné orgány (kořeny, listy). Většina druhů je vodních, některé žijí na povrchu půdy, skal nebo stromů a některé mohou žít v symbióze s jinými organismy, například s houbami jako lišejníky.

Řasy se využívají k výrobě agaru, jako médium pro růst bakterií v laboratořích, pro výrobu želatinové hmoty používané v potravinářství, dále ve výrobě biopaliv a hnojiv. Pigmenty se používají jako alternativa k chemickým barvivům. Z chaluhy se extrahují algináty, což jsou textilní materiály, které se využívají například jako obvazový materiál. Některé typy chaluhy slouží jako potrava, k jejich přednostem patří, že jsou bohaté na vitamíny a nenasycené mastné kyseliny (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005a).

3.4.2 Sinice (Cyanobakterie)

Sinice jsou nesmírně staré organismy (3,5-2,5 miliard let), jejichž buňky mají velikost 1-10 mikrometrů. Řadí se mezi bakterie a v současnosti je popsáno několik tisíc

druhů ve zhruba 200 rodech. Jde o velice jednoduché autotrofní prokaryotické organismy, které jsou schopné žít téměř ve všech biotopech na Zemi. Lze je nalézt i v Antarktidě, v horkých vřídlech, v čistém horském prostředí i v radioaktivních vodách. Jednotlivé taxony tvoří buď jednobuněčné, vláknité nebo koloniální uspořádání buněk. U vláknitých sinic se vyskytují heterocyty, které slouží k fixaci molekulárního dusíku, a artrospory sloužící pro překonání nepříznivých podmínek. Sinice žijí fototrofně, jsou však schopné žít i mixotrofně nebo heterotrofně. Jsou přirozenou součástí společenstva fytoplanktonu a ve většině našich jezer, přehrad a rybníků se vyskytují po celý rok. Planktonní druhy vytvářejí při nadbytku živin obrovské množství biomasy tzv. vodní květ a produkují různé biologicky aktivní látky, kterými ovlivňují své okolí. Těmito látkami jsou organické kyseliny, oligosacharidy, hormony, peptidy, polysacharidy, enzymy, antibiotika. Dále také pachy, chutě a toxiny, které se projevují především při využívání vod k rekreaci a k vodárenským účelům. Největší problémy způsobují látky toxické povahy, označované jako cyanotoxiny. Problematika cyanotoxinů je blíže rozvedena v následující podkapitole (Maršálek 2005; Spurný et al. 2015; Kopp 2015; Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005a).

Maršálek (2005) uvádí, že pokud jsou kultivovány v řízených podmínkách, mohou být zdrojem perspektivních biologických pesticidů, velmi účinných selektivních cytostatik, které se využívá v onkologii, virocidních látek (patenty proti viru HIV). Při dobré znalosti sinic, mohou být využívány v biotechnologii, farmakologii a v dalších perspektivních oborech. Dále se sinice využívají při kultivaci neúrodných stepních půd, podílejí se na zrání léčivých bahen či na zúrodnování rýžových polí.

Z hlediska ekologie jsou řasy a sinice podobné druhy. Řasy využívají sluneční záření a živiny mnohem účinněji než sinice, některé druhy i rychleji rostou, přesto ve vodním květu dominují sinice. Je to z toho důvodu, že sinice jsou nenáročné na světlo, rostou i v zastíněných vrstvách vodního sloupce, kde mohou tvořit značnou biomasu. Další důvod je ten, že sinice zůstávají ve vodě mnohem déle a mají speciální struktury. Pomocí aerotopů, jejichž stěna je propustná pro všechny plyny rozpuštěné ve vodě, se mohou pohybovat vodním sloupcem podle potřeby. V případě výskytu vodního květu je jich u hladiny tolik, že vyčerpají všechny dostupné živiny, proto se mohou potopit do hlubších vrstev, kde je živin více. V hlubších vrstvách je ovšem málo světla pro fotosyntézu, proto se pohybují zpět k vodní hladině, kde je dostatek světla. Řasy nemají

tuto možnost měnit hloubky ve vodním sloupci, proto trpí nedostatkem energie nebo živin, a proto se sinicím daří lépe. Dále jsou některé druhy sinic schopny při nedostatku dusíku tvořit tlustostěnné buňky zvané heterocyty. Pomocí heterocytů dokážou fixovat vzdušný dusík. Této schopnosti využívají v období, kdy je ve vodě nedostatek dusičnanových iontů, tedy především v létě. Naopak řasy jsou závislé na koncentraci dusíku ve vodě a jeho nedostatek ovlivňuje jejich růst. Další specifickou strukturou jsou akinety, které slouží k přežití nepříznivých podmínek (Spurný et al. 2015; Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005a).

3.4.2.1 Toxiny sinic (cyanobakterií)

Toxiny sinic neboli cyanotoxiny jsou látky sekundárního metabolismu sinic. Jsou toxičtější než toxiny vyšších rostlin a hub, naopak méně toxické než bakteriální toxiny, například botulotoxiny. Pro člověka kontakt s cyanotoxiny může mít nepříznivé důsledky. Může způsobit alergie, zvracení, záněty spojivek, při dlouhodobém působení až selhání ledvin nebo rakovinu. Úmrtí člověka, které by bylo způsobeno otravou sinicemi, nebylo zaznamenáno. Úhyny zvířat, která pila vodu se sinicemi, ovšem zaznamenány byly. Některé druhy sinic produkují i více cyanotoxinů současně. Někdy se v rámci jednoho druhu vyskytují populace, které vytvářejí cyanotoxiny i populace, které neprodukují cyanotoxiny vůbec. Tyto toxiny jsou velmi stabilní a vydrží bez poškození i 48 hodin varu, to znamená, že převařením vody se těchto toxinů nelze zbavit. Problém mohou způsobovat nestanovitelná stopová množství těchto toxinů. Ty mohou působit dlouhodobě, akumulovat se a později působit jako karcinogeny nebo mutageny. Cyanotoxiny lze podle účinku rozdělit následovně (Kopp et al. 2015; Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005f).

- **Neurotoxiny** ovlivňují činnosti nervové soustavy (anatoxiny, aphanotoxiny).
- **Hepatotoxiny** ovlivňují funkci a strukturu jater.
- **Genotoxiny a mutageny** mají vysoký potenciál stimulovat karcinogenezi.
- **Imunotoxiny a imunomodulanty** snižují imunitu, nebo způsobují alergie, ekzémy, otoky, astmatické záchvaty a podobné akutní reakce.
- **Embryotoxiny** ovlivňují plodnost, životaschopnost zárodků a vývoj plodu.

Jak již bylo zmíněno, může kontakt s cyanotoxiny člověku způsobit zdravotní komplikace, jako jsou vyrážky, rýma, zvracení, zánět spojivek a další. Závisí na tom, jak je člověk citlivý, jak dlouho pobýval ve vodě i na množství sinic. S délkou pobytu ve vodě a při častějším opakování (dny i týdny) se riziko zvyšuje. Při polknutí většího množství vodního květu může dojít k vážnému poškození zdraví, zejména u dětí, které mají menší hmotnost a vody při koupání polknou zpravidla více. Pokud sinice netvoří vodní květ, je nepravděpodobné, že by po jednom vykoupání vzniklo vážné onemocnění. Kvalitu koupacích vod pravidelně kontrolují krajské hygienické stanice. Takto zkontrolovaná voda je poté zařazena do pětistupňové škály, každý stupeň má svůj symbol (Obr. 2). Každý člověk má poté možnost se seznámit s kvalitou vody v zájmové nádrži (Koordinační středisko pro rezortní informační systémy 2016; Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005c).



Obr. 2: Kvalita koupacích vod (<http://www.koupacivody.cz>)

3.5 Eutrofizace

Podle Pittera (2009) se pod pojmem eutrofizace rozumí růst obsahu minerálních živin ve vodách. K těmto nutrientům patří především sloučeniny fosforu a dusíku, dále

také křemík, který je nezbytný pro růst rozsivek. Následkem tohoto růstu je zvýšený rozvoj fotosyntetizujících organismů, především cyanobakterií (sinic), řas a vodních makrofyt. Vysoká biomasa fytoplanktonu významně ovlivňuje kvalitu vody. Dochází tedy ke zhoršení jakosti vody a ovlivňuje možnosti dalšího využití této vody například jako vody pitné, užitkové, nebo k rekreaci. Dále dochází při rozvoji vysoké biomasy k rozkolísání fyzikálně-chemických parametrů během dne a noci a k výrazným vertikálním stratifikacím některých chemických prvků. Vlivem fotosyntetické aktivity způsobuje fytoplankton růst pH vody až nad hodnoty 9,0 a nadměrnou spotřebu kyslíku u dna nádrže. U dna nádrže vznikají redukční podmínky, při kterých se uvolňuje železo, mangan, a fosfáty ze sedimentů do vody. O vegetačním zbarvení se mluví ve chvíli, kdy se masový rozvoj sinic a řas projeví na barvě celého vodního sloupce. Barvu takové vody vystihuje nejlépe zelená nebo zelenomodrá barva. Když se sinice nebo řasy nahromadí u hladiny, označuje se tento stav jako vodní květ.

Pro produkci biomasy je třeba, aby byl splněn stechiometrický poměr celkového uhlíku, dusíku a fosforu. $C:N:P = 106:16:1$. Kterýkoliv z těchto prvků se může stát limitujícím faktorem biologické produkce, a to podle pravidla minima neboli Liebigova zákona minima. To znamená, že limitujícím faktorem je ten prvek, který je v daném případě v nedostatku (v minimu). Za klíčový je považován molární poměr celkového dusíku k celkovému fosforu, přičemž kritickou hodnotou je hodnota 16. Tento poměr bývá označován také jako Redfieldův poměr. Z uvedeného poměru vyplývá, že pokud je ve vodě poměr $N:P$ vyšší než 16, je limitujícím prvkem fosfor, je-li $N:P$ nižší než 16, stává se limitujícím prvkem dusík. Důležité je doplnit, že ve většině nádrží v České republice je poměr $N:P$ podstatně vyšší než 16, což znamená, že fosfor je klíčovým prvkem eutrofizace. Limitace uhlíkem může být v hypertrofních mělkých vodách, při vysoké produkci sinic a řas, zatímco limitace dusíkem není tak častá, vzhledem k možnostem některých druhů sinic využívat molekulární dusík. Obecně lze tedy říci, že limitujícím faktorem pro rozvoj fytoplanktonu v terestrických vodách jsou sloučeniny fosforu, zatímco v mořích jsou to sloučeniny dusíku. Zmínila jsem se také, že růst fytoplanktonu může ovlivnit křemík, ten tvoří křemičité schránky rozsivek. V období, kdy dochází k nadměrnému rozvoji fytoplanktonu s velkým podílem rozsivek neboli rozsivkového vodního květu, klesá koncentrace rozpuštěného křemíku ve vodě i několikanásobně.

Ukazatele, které charakterizují eutrofizaci, jsou celkový a rozpuštěný reaktivní fosfor, dusičnany, chlorofyl-a, rozpuštěný kyslík a průhlednost. Při sledování jakosti vody jsou také významné ukazatele charakterizující stratifikaci, jako je teplota, kyslík, železo, mangan. Obecně dochází k rychlému rozvoji fytoplanktonu na jaře, nejvyšší hodnoty chlorofylu-a jsou naměřeny většinou na konci jara. Při nadměrném rozvoji fytoplanktonu může v důsledku fotosyntetické asimilace dojít ve dne až k přesycení vody kyslíkem. Naproti tomu dochází v noci důsledkem disimilace ke snížení koncentrace kyslíku a ke vzniku kyslíkového dluhu. Rozvoj fytoplanktonu je ovšem závislý na řadě faktorů, jako například na klimatických podmínkách. Koncem srpna a začátkem září dochází k postupnému poklesu biomasy fytoplanktonu a nejnižší hodnoty lze naměřit v období od října do března. Eutrofizace se projevuje především ve stojatých vodách, svůj význam má ale i ve vodách tekoucích. V tocích se projevuje hlavně na dolních úsecích. Při malém průtoku vody se rozvoj fytoplanktonu projevuje na delší části toku, při větším průtoku na kratším úseku toku. S nadměrnou eutrofizací se potýká řada nádrží, a to především v letních měsících. Tento stav narušuje rovnováhu vodních ekosystému, dále ohrožuje zdraví lidí a zvířat, jelikož četné druhy sinic produkují biologicky aktivní látky. Mezi nimi mohou zmínit například látky toxické, karcinogenní, alergenní a další. (Pitter 2009; Opletová 2015; Kopp 2015).

Eutrofizaci lze rozdělit na přirozenou a antropogenní. Které se od sebe liší následovně.

- **Přirozenou eutrofizaci** nelze ovlivnit. Je způsobena uvolňováním biogenů ze sedimentů a rozkladem odumřelých vodních živočichů. Jde o pomalý proces, který vede ke stárnutí jezer (degradaci).
- **Antropogenní eutrofizace** neboli indukovaná je ovlivnitelná. Jedná se o výsledek civilizačního procesu. Za příčiny antropogenní eutrofizace lze považovat především zvýšenou produkci odpadních vod, intenzivní využívání sloučenin fosforu v pracích a čistících prostředcích a zemědělskou výrobu, která je spojená s hnojením. Se zemědělskou výrobou úzce souvisí splachy z půdy a eroze půdy (Pitter 2009; Kopp 2015).

3.5.1 Trofie stojatých vod

Při určování úrovně eutrofizace povrchových vod je určováno množství živin ve vodě. Je proto zapotřebí zjistit údaje o koncentraci celkového fosforu, dusíku a chlorofylu-a ve vodě, dále lze využít průhlednost vody a obsah rozpuštěného kyslíku. Chlorofyl-a udává množství fytoplanktonu v epilimniu, průhlednost vody se porovnává v době před rozvojem fytoplanktonu a ve vegetačním období. Podle zjištěných parametrů lze zařadit vody do kategorií trofie, což znamená úživnost vody. Tyto kategorie ovšem nejsou celosvětově jednotné a je udáván různý počet kategorií a různé rozpětí parametrů (Pitter 2009; Kopp 2015; Heteša a Kočková 1998; Spurný et al. 2015).

Podle obsahu živin a rychlosti primární produkce se vodní ekosystémy dělí do dvou, nebo tří základních skupin, kterými jsou oligotrofní a eutrofní vody, popřípadě mezotrofní vody. V ČR se většina rybníků nachází v určitém stupni eutrofie, mezotrofní a oligotrofní rybníky jsou spíše vzácností.

- **Oligotrofní vody** jsou chudé na živiny, s nízkou primární produkcí, vysokým obsahem rozpuštěného kyslíku v celém sloupci a s vysokou průhledností, která může dosahovat i více než tři metry. Zde je typická nízká četnost organismů, ale společenstva jsou druhově rozmanitá. Tento typ vod lze najít především v horských oblastech.
- **Eutrofní vody** jsou bohaté na živiny, s vysokou primární i sekundární produkcí, s častými kyslíkovými deficity v hypolimniu (spodní vrstva) a nízkou průhledností a špatnou kvalitou. V letním období je u těchto vod typické bujení fytoplanktonu neboli vodní květ, který způsobují především sinice. K poklesu množství kyslíku dochází nejčastěji v letním a v zimním období. Pro tyto vody je typická vysoká četnost organismů, ovšem velmi nízká druhová diverzita.
- **Mezotrofní vody** jsou vody svými vlastnostmi mezi oligotrofními a eutrofními vodami, se středním obsahem živin.

Pro vysokou trofii se ještě klasifikují vody **polytrofní** a **hypertrofní**. Tyto dvě kategorie byly vytvořeny kvůli stále se zvyšující eutrofizaci přírodních vod. Opakem jsou vody **ultraoligotrofní**, které obsahují minimum živin. Pro doplnění bych chtěla

uvést, že pod pojmem primární produkce se rozumí produkce nové biomasy fotosyntetickou činností producentů. Pod pojmem sekundární produkce se rozumí produkce nové biomasy těl konzumentů, které se přímo či nepřímo živí producenty

Přesné koncentrace živin, při kterých by nedocházelo k tvorbě vodního květu nebo vegetačního zbarvení, nelze určit, jelikož záleží na mnoha faktorech. Těmito faktory jsou podmínky v dané nádrži, složení vody, klimatické podmínky, teplota, nadmořská výška a další (Pitter 2009; Kopp 2015; Heteša a Kočková 1998; Spurný et al. 2015; Kočí et al. 2000). Tabulka číslo 2 zobrazuje klasifikaci jednotlivých stupňů trofie podle Koppa (2015).

Tab. 2: Klasifikace vod dle trofie, průměrné hodnoty (Kopp 2015)

úroveň trofie	celkový fosfor (mg.l ⁻¹)	celkový dusík (mg.l ⁻¹)	chlorofyl a (µg.l ⁻¹)	abundance řas (10 ³ buněk.l ⁻¹)	průhlednost (m)
oligotrofie	< 0,01	< 0,2	< 10	< 50	> 6
mezotrofie	0,01–0,04	0,2–1,0	10–50	50–500	6–1,0
eutrofie	0,04–0,20	1,0–2,5	50–100	500–1000	3–0,5
hypertrofie	> 0,20	> 2,5	> 100	> 1000	< 1,0

3.6 Metody a technologie omezování výskytu vodního květu

Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny (2005e) na svých webových stránkách uvádí, že vodní květy sinic jsou celosvětovým problémem, na jehož řešení neexistuje univerzální metoda. Dnes je již však známá celá řada opatření a kombinace vhodných metod, které je možné upravit na míru konkrétní lokalitě. Jako u všeho jsou lepší preventivní opatření, tedy taková opatření, kterými se předchází vzniku vodního květu, již ale existuje i několik metod k přímému boji proti sinicím. Mezi nejdůležitější parametry, které je nutno znát před výběrem vhodných opatření, patří následující. Hloubka, plocha, průtočnost, chemismus vody, složení, množství a rozložení sedimentů, využití nádrže, zdroje a množství živin, druhová skladba ryb a ostatních organismů, druh a množství vodního květu, neopomenutelná je také finanční stránka, tedy množství financí, které je možné do obnovy nádrže investovat.

3.6.1 Dlouhodobá opatření

Mezi dlouhodobá opatření se řadí způsoby, jak snížit množství živin, které vstupují do vodních těles, tzn. jak omezit eutrofizaci. Pokles množství živin se ovšem neprojevuje okamžitě, a to kvůli množství živin uložených v sedimentech dna. Mezi dlouhodobá opatření patří omezení používání hnojiv v blízkém okolí vodních nádrží, modifikace technologií čistíren odpadních vod, použití vhodných opatření pro výpustě zemědělských, průmyslových a komunálních odpadních vod. Dále také revitalizace krajiny včetně vybudování protierozních a protipovodňových opatření u zemědělské půdy a lesů. Možná je například výsadba ochranných lučních pásem a pobřežní vegetace, které mohou splavované živiny zachytit a využít pro svůj růst. Pokud se řeší akutní problém, je nutné k těmto opatřením použít i některé z krátkodobých opatření (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005e).

3.6.2 Krátkodobá opatření a zásahy proti akutnímu stavu

Metody využívané k omezení rozvoje vodních rostlin lze rozdělit na mechanické, chemické a biologické. Mezi mechanické metody patří odtěžování submerzních makrofyt pomocí speciálních harvestorů, odtěžování sedimentů, likvidace sinic a řas pomocí ultrazvuku, vysekávání emerzních porostů. Další metodou je pomocí potravinářských barviv nebo zastínění omezení světelného režimu (Spurný et al. 2015). Mezi chemické metody patří například použití algicidů, mezi biologické pak biomanipulace. Tyto metody jsou podrobněji popsány níže.

3.6.2.1 Použití algicidů

Algicidy jsou látky, které omezují růst sinic. Lze je dělit na cyanocidní a cyanostatické. K přímému ničení buněk řas a sinic se využívá cyanocidních přípravků, pomocí kterých se sníží množství buněk ve vodním sloupci. Při využití těchto přípravků dochází k uvolnění toxinů do vody, což je nežádoucí. Rozdílně fungují cyanostatické přípravky, které omezují množství buněk tím, že jim brání v dalším růstu. Nedochozí tedy k zabíjení buněk. Algicidy je nutné aplikovat již na počátku rozvoje sinic, kdy jsou nejcitlivější. V tomto období přijímají nejvíce látek z okolí a jsou zesláblé po přezimování. Naproti tomu v období, kdy je již rozvinutý vodní květ, se algicidy využít nedají (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005e).

Aplikace algicidů je v mnoha zemích omezováno nebo úplně zakazováno. Představují zátěž pro životní prostředí. Jejich využitím sice dochází k odstranění sinic,

ovšem dochází zároveň k uvolňování toxických látek do vody, čímž může být ohroženo zdraví obyvatel. Z toho plyne, že takto čištěná nádrž nemůže být využita jako zdroj pitné vody ani pro rekreaci (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005e).

Jako příklad chemických algicidů lze uvést například herbicidy, těžké kovy (např. CuSO_4 , Mn, Ag), kvartérní amonné soli, oxidanty (např. ozon, chlor) a antibiotika. Z komerčních přípravků lze zmínit například Roundup biaktiv, Reglon A nebo Algistop. Přírodním algicidem je například ječná sláma (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005e).

3.6.2.2 Srážení fosforu koagulanty a flokulanty

Tato metoda je založena na srážení fosforu z vodního sloupce. Předpokladem pro srážení je odstranění všech významných zdrojů, které přivádí do nádrže fosfor a jeho sloučeniny. Srážení fosforu se využívá pouze u menších hlubších nádrží a je vhodné zmínit, že jde o poměrně nákladné opatření (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005e).

Ke srážení fosforu se využívají například sloučeniny hliníku nebo železa, jako jsou chlorid železitý a síran hlinitý. Principem je, že tyto sloučeniny vážou fosfor, následně vznikají želatinové vločky, které klesnou ke dnu. Nakonec se fosfor společně se sedimentem odstraňuje například vybagrováním dna (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005e).

Jednou z metod je například kombinované ošetření oxidovanými sloučeninami dusíku (např. dusičnan vápenatý). Jde o velmi účinnou, ale také nákladnou metodu. Využití je převážně u nádrží a jezer se silnou vrstvou organické hmoty. Aplikaci musí předcházet laboratorní metody, které pomohou vypočítat potřebné dávkování a koncentraci činidel pro danou nádrž. Principem této metody je oxidace, při které se fosfor váže jako trojmocný iont a odbourávají se organické látky. Tyto procesy jsou v povrchových vrstvách sedimentů přirozené a nedochází tak k případné anaerobióze. Při aplikaci je sediment narušován speciálním zařízením s hroty, do kterých je přiváděn stlačený vzduch a roztok chemikálií (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005e).

Za zmínku stojí také například komerční přípravek PAX-18 (polyaluminium chlorid), který se využívá jako čířící činidlo při úpravě pitných vod, dále také při čištění odpadních a průmyslových vod. Při využití tohoto přípravku dochází k vyvločkování

fosforu, drobných pevných částic i buněk sinic. Velmi často se také využívá aplikace hašeného vápna do vod s masivním rozvojem vodního květu a sinic. Hašené vápno omezí využití fosforu vysrážením fosfátů na nerozpustný hydroxyapatit (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005e).

3.6.2.3 Aerace

Aerace je proces, při kterém dochází k manipulaci s vodním sloupcem. Dochází k provzdušňování a promíchávání vody z různých hloubek, tím se brání vzniku teplotního gradientu a koncentračního gradientu kyslíku. V celém vodním sloupci je tedy teplota a koncentrace kyslíku homogenní. Sinice preferují stojaté vody, tímto zásahem se sníží jejich ekologická výhoda daná aerotopy a minimalizuje se tvorba vodního květu. Principem této metody je, že po promíchání je kyslík přítomen u dna, tím je napomáháno rychlejší dekompozici organické hmoty, srážení fosforečnanů a udržování povrchu sedimentů v oxidované formě. Sinice a řasy hynou, protože se dostávají do hlubších vrstev, kde je nedostatek světla (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005e).

V praxi se aerace provádí následovně. Na břehu je umístěný kompresor, který vhání stlačený vzduch do perforované trubice, která je umístěna na dně nádrže. Nebo je ve vodním sloupci ponořeno zařízení, které čerpá z hladiny vodu do hlubších vrstev, ale pouze takovým způsobem, aby proud nevířil sedimenty. Tím dochází k již zmiňovanému promíchávání a provzdušňování. Opět jde o nákladné opatření (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005e).

3.6.2.4 Biomanipulace

Sinice mají své přirozené nepřátele. Jsou jimi některé kmeny virů a bakterií, dalším hlavním konzumentem sinic je filtrující zooplankton, jako jsou vířníci nebo korýši. Zooplankton odstraňuje účinně sinice v počáteční fázi jejich vývoje. Pokud se sinice přemnoží, ani zooplankton si s nimi neporadí. Navíc často upřednostňuje řasy před sinicemi. Hrozbou pro zooplankton jsou ryby, například kaprovité (zooplanktonofágní), například okouni, plotice, cejni a další. Pokud je těchto ryb v nádrži velké množství, může dojít ke snížení populace zooplanktonu, který poté nedokáže sinice účinně regulovat. Navíc kaprovité ryby přispívají k uvolňování buněk sinic ze sedimentů, protože při hledání potravy sedimenty rozrývají. Z těchto důvodů se kaprovité ryby z nádrží vylovují, případně se vysazují dravé ryby, které mohou počet kaprovitých ryb

omezit. Ve stádiu experimentů je možnost využití specifických cyanofágů, nálevníků či zástupců bezobratlých (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005e; Spurný et al. 2015).

3.6.3 Možnosti jednotlivce proti vodnímu květu

Jak již bylo zmíněno, pro snížení pravděpodobnosti vzniku vodního květu, je třeba omezit množství živin, které vstupují do vod. Odpadní vody z domácností vždy obsahovaly fosfor převážně z mycích a čistících přípravků, prášků na praní a podobně. V České republice je od roku 2006 zakázán prodej fosfátových pracích prostředků, v Evropské unii je zákaz platný od roku 2013. Od 1. ledna 2017 je fosfor zakázán v přípravcích do myček nádobí, a to v celé Evropské unii. A čím by se každý člověk tedy měl řídit, aby se snížila pravděpodobnost výskytu vodního květu?

- Používat bezfosfátové prací a mycí prostředky.
- Při zemědělských operacích aplikovat hnojiva jen v nezbytně nutném množství, včetně hnoje.
- Nepoužívat hnojiva a pesticidy na písčitých půdách a blízko povrchových vod. Živiny, které se vyskytují v hnojivech, jsou deštěm splachovány do vod.
- Používat různé nádrže a kanály pro zachyt dešťové vody. Nenechávat dešťovou vodu ze střech a chodníků stékat přímo do povrchových vod. Tyto splachové vody bývají často smíchány s oleji, mastnotou a prachovými částicemi, které na sebe vážou kyslík, a ten poté není dostupný pro vodní organismy.
- Nepokoušet se likvidovat vodní květ, který již vznikl. Při využití algicidů dochází sice k likvidaci sinice, ale uvolňují se toxiny z jejich buněk do vody. Tímto způsobem vzniká mnoho otrav lidí cyanotoxiny.
- Důležitým upozorněním je, že převaření vody cyanotoxiny nezničí. Naopak při zabití sinic se můžou uvolnit další toxiny (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005d).

4 METODIKA

Pro téma mé bakalářské práce jsem se rozhodla v říjnu roku 2015. Spojila jsem se s Dipl. Ing. Karlem Plotěným z firmy Asio, spol. s r. o., která realizovala projekt na Brněnské údolní nádrži. Dostala jsem podklady o využívaných metodách k potlačení

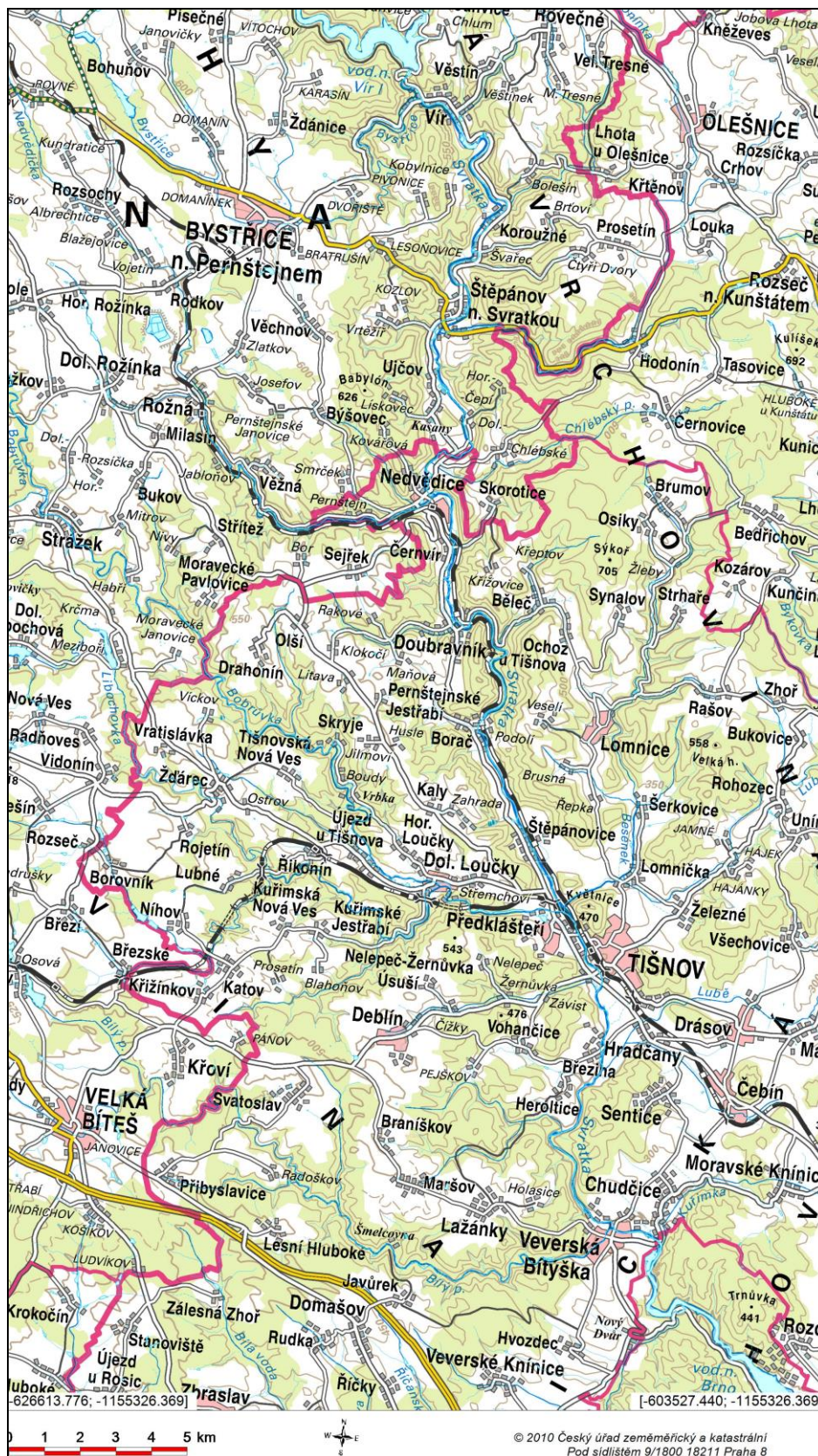
masového rozvoje sinic a kontakt na Ing. Romana Sládka, který má více informací o dané problematice (Palčík 2012). V létě roku 2016 jsem se zúčastnila přednášky vedené Ing. Sládkem, která se týkala problematiky sinic na Brněnské údolní nádrži (Sládek 2016). Po přednášce jsme s Ing. Sládkem projednali, jak by bakalářská práce mohla vypadat, na co bych se měla zaměřit. K dispozici jsem dostala prezentaci, která byla využita při přednášce, s grafy a základními informacemi o projektu. Další konzultace probíhaly pomocí e-mailu, osobní konzultace se uskutečnila v dubnu roku 2017.

Další podklady pro zpracování práce jsem získala především z webových stránek Povodí Moravy, kde lze nalézt mnoho informací, které se týkají Brněnské přehrady (Povodí Moravy 2010; Gardavská et al. 2012; Povodí Moravy, s.p. 2010, 2011, 2013b, 2013a, 2015). Dále na webových stránkách firmy Asio, spol. s r. o (<http://www.asio.cz/>) a Centra pro cyanobakterie a jejich toxiny jsem získala mnoho informací o sinicích a o projektu realizovaném na Brněnské přehradě (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny 2005d, 2005e, 2005c, 2005f, 2005a, 2005b). Další tištěné i webové zdroje využitě pro tvorbu práce jsou uvedené ve zdrojích na konci práce.

Pro vyhodnocení projektu jsem si vybrala srovnání kvality vody pro koupání v nádrži. Srovnávala jsem kvalitu vody v letech 2005 až 2016. V tomto období je zahrnuta doba před zahájením projektu s názvem Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži, a také doba, kdy jsou využívány metody k omezení masového rozvoje sinic. Cílem projektu bylo dosáhnout 0,5 až 1 metr nade dnem koncentrace kyslíku aspoň 2 mg/l. Proto jsem jako druhý ukazatel účinnosti opatření zvolila právě koncentraci kyslíku. Z grafů získaných na webových stránkách Povodí Moravy, jsem zjistila, jaká byla koncentrace kyslíku ve vodním profilu od dubna do října roku 2016. Dále jsem zhodnotila pomocí grafu, který zobrazuje teplotu ve vodním profilu v červenci 2016, zda dochází nadále k destratifikaci vodního profilu, k čemuž mají pomáhat aerační věže.

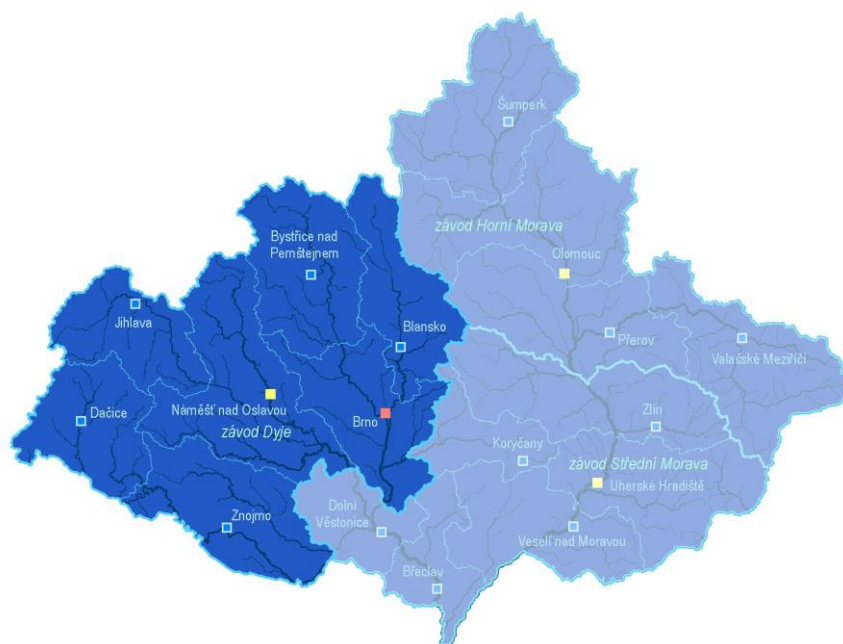
Práci jsem doplnila fotografiemi z vlastního archívu, které dokumentují stav přehradu v roce 2009. Zájmové území jsem navštívila hned několikrát, do práce jsem doplnila fotografie vody ze srpna roku 2016 a fotografie vody a okolí z dubna roku 2017.

5 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ



Obr. 3: Mapa povodí mezi nádržemi Brno a Vír (<http://geoportál.cuzk.cz/geoprohlizec/>)

Územím, kterým se zabývám v této práci, je Brněnská přehrada neboli vodní nádrž Brno. Přehrada se nachází v Jihomoravském kraji, okres Brno-město. Zasahuje na dvě katastrální území, kterými jsou Kníničky a Bystrc. Byla vybudována na řece Svratce (56,19 km) za účelem výroby elektrické energie ve špičkové vodní elektrárně, ke snížení povodňových průtoků, pro rekreaci a vodní sporty, plavbu a rybářství. Do provozu byla uvedena v roce 1940. Zpočátku nesla název Kníničská přehrada, až od roku 1959 nese název Brněnská přehrada. Z obrázku číslo 4 je patrné, že správcem přehrady je Povodí Moravy, závod Dyje (Povodí Moravy 2010).



Obr. 4: Správa Povodí Moravy (<http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/zavod-dyje/>)

5.1 Hydrologické poměry

Číslo hydrologického pořadí je 4-15-01-147. Povodí zaujímá rozlohu 1586,23 km², samotná přehrada má rozlohu 259 ha. Celkový objem nádrže činí 17,702 mil. m³ a průměrný dlouhodobý roční průtok je 7,680 m³.s⁻¹. Maximální hloubka nádrže je 17 m a průměrná hloubka 11 m. Vzduť přehrady začíná pod splavem u Tejkalova mlýna ve Veverské Bítýšce, hráz leží na hranici brněnských městských částí Bystrc a Kníničky. Tato vzdálenost měří přibližně 10 km. Jde o nádrž s krátkou dobou zdržení vody,

přibližně 1 měsíc. To znamená, že kvalitu vody v nádrži řídí kvalita vody v přítoku (Maršálek 2009; Kosour 2016; Sládek 2016).

Kromě Brněnské přehrady, která se nachází na 56, 19 km řeky Svratky, se na Svratce nachází ještě dvě vodní nádrže. Na 114, 9 km se nachází vodní nádrž Vír I a na 111, 6 km vodní nádrž Vír II. Svratka je 173,9 km dlouhá, vlévá se do řeky Dyje a plocha povodí činí 7112,79 km². Svratka pramení ve Žďárských vrších u Žákovy hory. Mezi významné pravostranné přítoky Svratky, které se nachází nad Brněnskou přehradou, patří Fryšávka, Bystřice, Nedvědička, Loučka, a Bílý potok. Významnými levostrannými přítoky jsou Hodonínka, Besének a Lubě. Vodní toky, které se vyskytují mezi vodními nádržemi Vír a Brno lze vidět na obrázku číslo 3.

5.2 Klimatické poměry

Podle Národního geoportálu INSPIRE leží Brněnská přehrada v teplé klimatické oblasti. Tato oblast je charakterizovaná dlouhým létem s 40 až 50 letními dny, kdy průměrná teplota je 15 až 16 °C. Zima je normálně dlouhá s 50 až 60 ledovými dny, mírně chladná s průměrnou teplotou -2 až -3 °C.

Z webových stránek Českého hydrometeorologického ústavu jsem zjistila následující informace, které se vztahují k roku 2016. Jelikož leží Brněnská přehrada v Jihomoravském kraji, jsou to data vztažená právě k tomuto kraji. V tabulce číslo 3 lze vidět, že průměrná teplota v roce 2016 byla 9,8 °C, dlouhodobý normál (hodnoceno v letech 1961-1990) je 8,3 °C, což znamená, že odchylka od normálu činila 1,5 °C. V tabulce jsou znázorněny i údaje za jednotlivé měsíce.

Tab. 3: Územní teploty v roce 2016 (<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>)

Kraj		Měsíc												Rok
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Jihomoravský	T	-1,4	4,3	4,7	9,1	14,7	18,8	20,2	18,4	17,0	8,3	3,5	-0,6	9,8
	N	-2,6	-0,6	3,4	8,6	13,5	16,6	18,1	17,6	13,9	8,8	3,3	-0,7	8,3
	O	1,2	4,9	1,3	0,5	1,2	2,2	2,1	0,8	3,1	-0,5	0,2	0,1	1,5

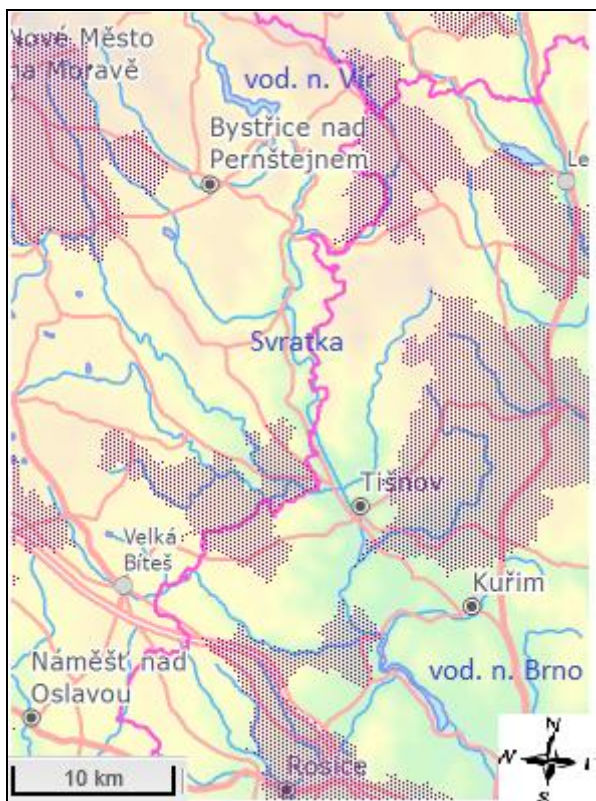
V tabulce 4 jsou znázorněné územní srážky v roce 2016. Průměrná hodnota za celý rok byla 533 mm. Dlouhodobý normál je 543 mm. To znamená, že v roce 2016 spadlo v Jihomoravském kraji 98 % z normálu, který byl hodnocen v letech 1961-1990. Srážkový úhrn v jednotlivých měsících je znázorněn v tabulce 4.

Tab. 4: Územní srážky v roce 2016 (<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>)

Kraj		Měsíc												Rok
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Jihomoravský	S	26	68	26	46	49	52	122	43	13	46	31	12	533
	N	30	30	29	38	65	75	64	61	41	34	42	33	543
	%	87	227	90	121	75	69	191	70	32	135	74	36	98

5.3 Zranitelné oblasti

Podle mapy z Národního geoportálu INSPIRE jsem zjistila, že v bezprostředním okolí nádrže se zranitelná oblast nachází pouze u severní části nádrže. Lze ji lokalizovat přibližně od hradu Veverí, přes Veverskou Bítýšku a dále pokračuje severním směrem kolem řeky Svratky. U jižní části přehrady se žádná zranitelná oblast nevyskytuje. Pokud se podívám na povodí nad nádrží, zjistím, že u řeky Svratky se zranitelné oblasti nenachází. Vyskytují se pouze u jejich přítoků. Lze zmínit například následující zranitelné oblasti. Pod Tišnovem, v okolí vodního toku Lubě, v okolí Nového Města na Moravě, u vodních toků Nedvědička a Bobrůvka, dále u vodního toku Loučka a Hodonínka. Uvedené zranitelné oblasti lze vidět na obrázku 5.

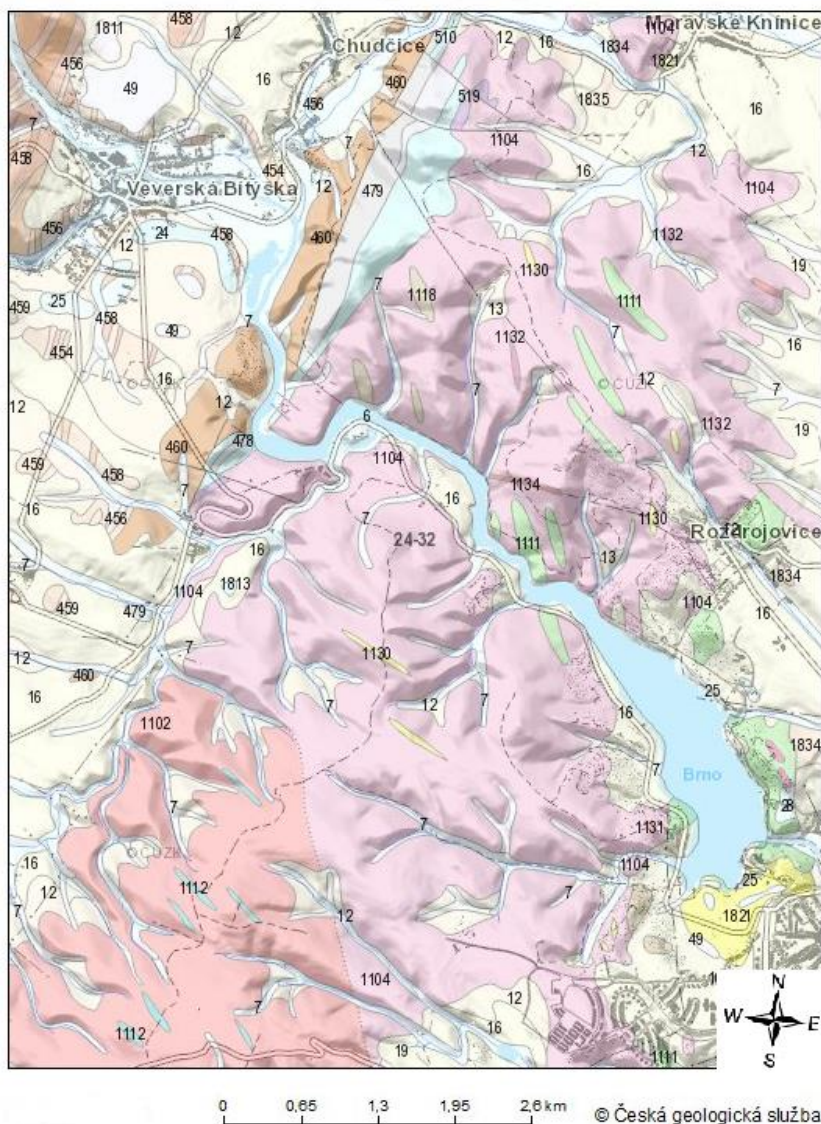


Obr. 5: Zranitelné oblasti (vlastní úprava mapy <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>)

5.4 Geologické poměry

V okolí Brněnské přehrady se nachází významný geologický prvek, kterým je Boskovická brázda. Pomyslná čára Boskovické brázdy prochází obcemi Veverské Knínice, Drásov, Lubě, Skalice a Vranovice. Na jihu má šířku asi 3 km, na severu až 12 km. Charakter Brněnského bioregionu je plochá vrchovina. Nejnižšími body jsou koryta řeky Svratky a Svitavy, která se nachází přibližně ve výšce 200 m n.m. Výšková členitost území je 150 až 200 metrů. Vyskytují se zde zejména fylity, ortoruly, devonské vápence a slepence. Výplň brázdy je tvořena permskými červenými pískovci a jílovci (Culek 1996).

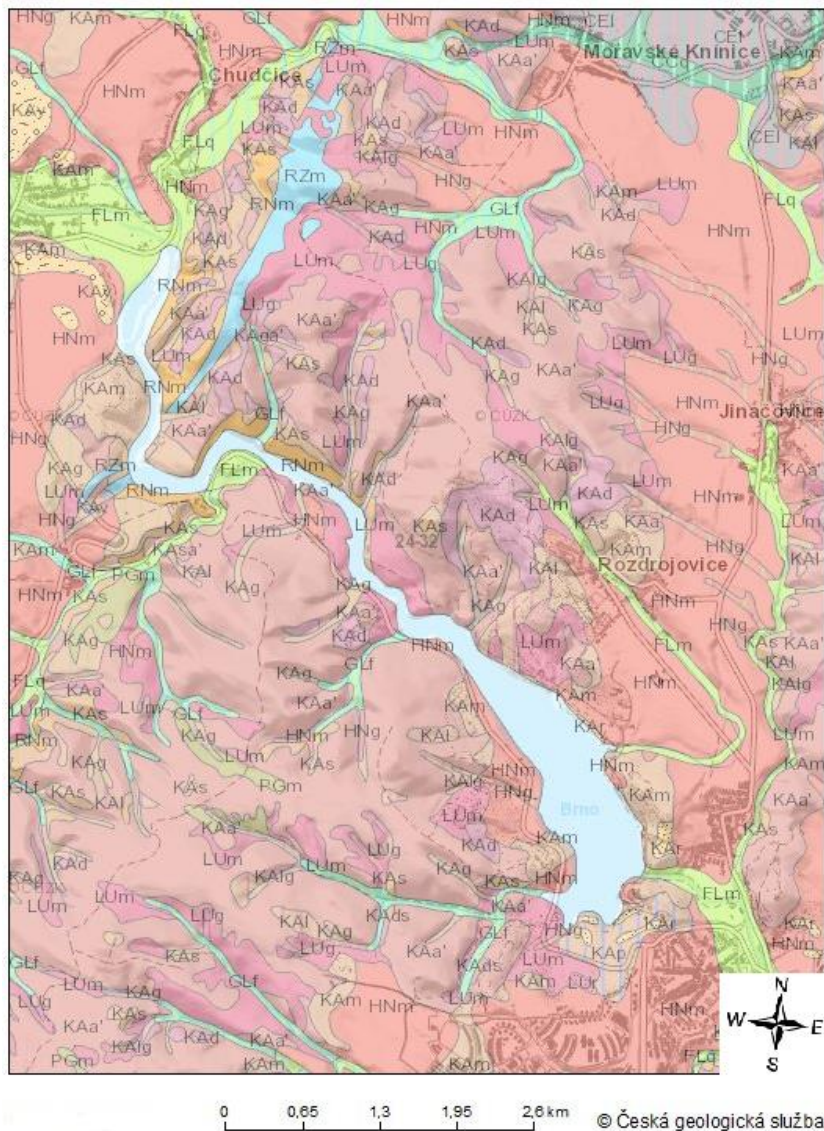
Podle geologické mapy, která je zobrazena na obrázku 6, se poblíž Brněnské přehrady vyskytují následující horniny. Na mapě jsou nejvíce patrné růžové plochy, které značí, že se zde vyskytuje biotitický amfibol až biotitický granodiorit. Bílé plochy značí, že se zde vyskytují spraše a sprašové hlíny. Zelená barva ukazuje na biotit-amfibolický diorit a křemenný diorit. Žlutá barva reprezentuje vápnitý jííl a hnědá slepence až brekcie. Dále se zde vyskytují vápence či smíšené sedimenty.



Obr. 6: Geologická mapa (http://mapy.geology.cz/geocr_50/)

5.5 Půdní poměry

V Brněnském bioregionu se nejčastěji vyskytují hnědozemě až hnědozemní černozemě na spraších ve sníženinách a typické kambizemě s luvizeměmi na svazích hřbetů a jejich úpatích. V okolí Brněnské přehrady jsou využívány půdy pro zemědělské účely a dále se zde vyskytují lesy. Nejčastěji se v této oblasti vyskytují hlinité půdy (Culek 1996). Na obrázku 7 jsou znázorněny typy půd, které se vyskytují v okolí nádrže. Jde například o hnědozem modální, hnědozem oglejenou, kambizem modální, kambizem oglejenou, kambizem luvickou, luvizem modální, ranker modální, fluvizem modální a další.



Obr. 7: Půdní poměry v okolí nádrže (<http://mapy.geology.cz/pudy/>)

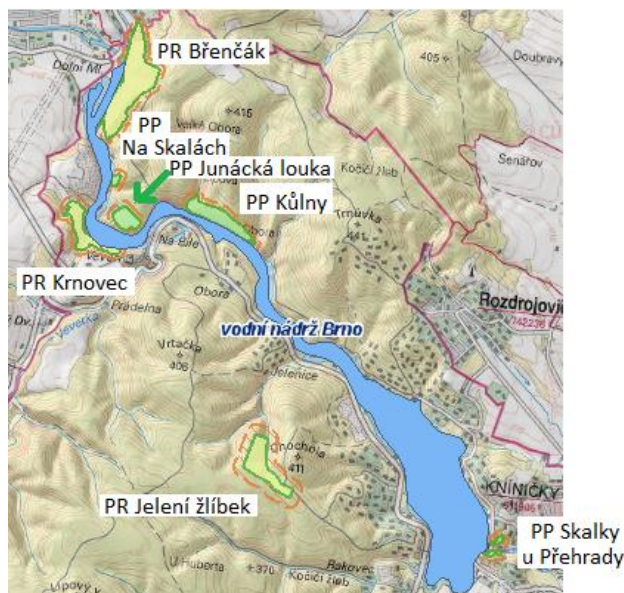
5.6 Využití krajiny

Pomocí Národního geoportálu INSPIRE jsem zjistila následující informace. V okolí Brněnské přehrady se nachází urbanizovaná krajina. V povodí řeky Svratky se poté převážně vyskytují lesozemědělské krajiny, méně krajiny lesní.

5.7 Chráněná území

Pomocí Národního Geoportálu INSPIRE jsem zjistila, že v bezprostřední blízkosti vodní nádrže se nachází několik maloplošných zvláště chráněných území. Chráněná území jsou zobrazena na obrázku číslo 8 zelenou barvou. U přehradní hráze, po obou stranách řeky Svratky, se nachází přírodní památka Skalky u Přehrady. Důvodem

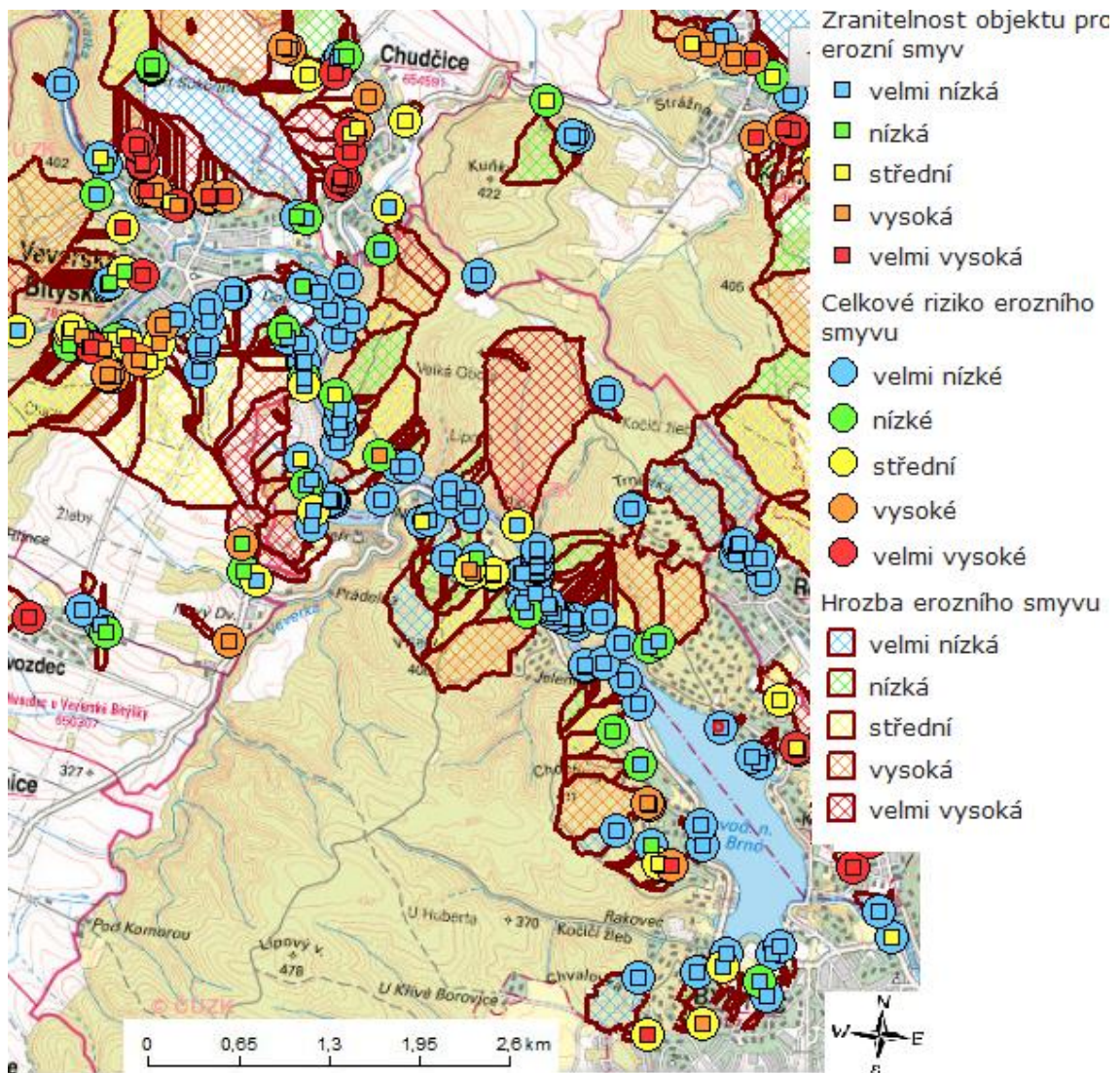
ochrany je teplomilná vegetace, která se spolu s lišejníky nachází na zdejším skalnatém terénu. Severněji se pak nachází další přírodní památka Kůlny. Zde je chráněno lesní společenstvo, bohatá květena a některé druhy plazů. V blízkosti hradu Veverí se vyskytuje přírodní rezervace Krnovec. Důvodem ochrany jsou přírodě blízká až přirozená lesní společenstva dubohabřin a druhově bohatý bylinný podrost. Rezervace je ovšem částečně znehodnocena. Příčinou je ukládání odpadu ze zahrádkářské kolonie. Na protějším břehu přehrady se nachází přírodní památka Junácká louka. Hlavním důvodem ochrany je zde bohatá květena a zejména častý výskyt hořce křížatého, který je v České republice velmi ohroženým druhem. Nedaleko Junácké louky se nachází přírodní památka Na Skalách. Důvodem ochrany jsou lesní společenstva zakrslých doubrav, jejich bylinný podrost a teplomilná travinobylinná společenstva. Nejsevernějším chráněným územím je přírodní rezervace Břenčák. Důvodem, proč je toto území chráněno, je zachování přirozených a přírodě blízkých lesních geobiocenóz s výskytem druhově bohatých a stabilních společenstev a současně esteticky významného segmentu krajiny v intenzivně využívané rekreační oblasti. Přibližně 1 kilometr od nádrže, v lokalitě Chrastava, se nachází přírodní rezervace Jelení žlíbek. Předmětem ochrany v této lokalitě jsou přírodě blízké lesní porosty s mohutnými buky a duby s mnoha charakteristickými druhy rostlin a živočichů.



Obr. 8: Chráněná území (vlastní úprava mapy z <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>)

5.8 Riziko erozního smyvu v současných klimatických podmínkách

Z hydroekologického informačního systému VÚV TGM jsem zjistila, jaké jsou simulační výpočty pro riziko erozního smyvu v okolí Brněnské přehrady. Jak lze vidět na obrázku číslo 9, je celkové riziko erozního smyvu převážně velmi nízké, případně nízké. Stejně tak i zranitelnost objektu pro erozní smyv. Podle tohoto obrázku lze tedy tvrdit, že jakost vody v přehradě není příliš ohrožena znečištěním látkami z přilehlých pozemků. Důležitá není ovšem pouze oblast v bezprostřední blízkosti nádrže, ale celé povodí řeky Svratky nad nádrží. Svratkou se mohou dostat různé látky, které ovlivňují jakost vody, až do vlastní nádrže.



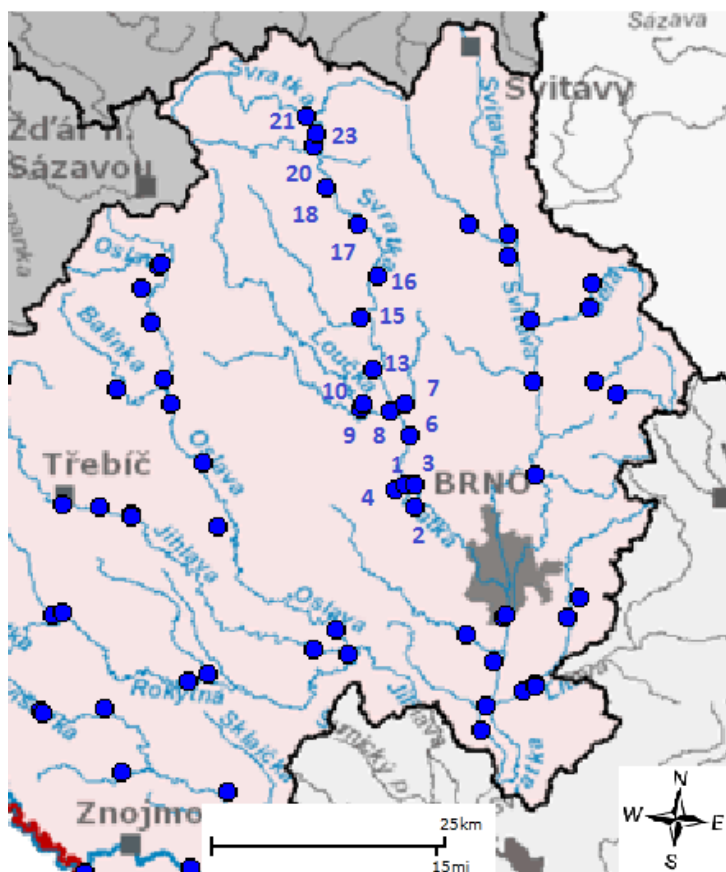
Obr. 9: Riziko erozního smyvu v současných klimatických podmínkách (<http://heis.vuv.cz/>)

5.9 Znečištění

Hodnocení koupacích míst na Brněnské přehradě z roku 2016 vykazuje následující informace. Jak lze vidět na obrázku číslo 11, bylo hodnoceno pět koupacích míst (Rakovec, Rokle, Sokolské koupaliště, Kozí horka a Osada). Všechna dlouhodobě hodnocená místa vykazovala vyhovující stav, na obrázku je znázorněn zeleným kosočtvercem. Pouze místo s názvem Osada bylo nověji zřízené k monitoringu, stav tedy nebyl zatím zjištěn. Před rokem 2010 byl na všech zmíněných místech výskyt masivních sinicových květů, vysoký obsah chlorofylu, nízká průhlednost. Byly vydávány opakované zákazy koupání. V posledních letech je stav vyhovující. Zaznamenat lze pouze občasný slabý výskyt sinic. Nebylo zde pozorováno ani mikrobiální znečištění. Krátkodobé znečištění nebylo taktéž zaznamenáno. Riziko krátkodobého znečištění je pouze při povodňových stavech na přítoku (Kosour 2016).

Pro Brněnskou přehradu je ovšem důležitá jakost vody, která do ní přitéká. V povodí se nachází bodové zdroje znečištění. Přísun fosforu z těchto zdrojů je vysoký až extrémní. Žádný zdroj totiž nečistí odpadní vody dostatečně vzhledem na citlivost povodí nad koupací oblastí. Velikost rizika je podle velikosti zdroje a vzdálenosti od koupaliště. Jde především o menší obce s ČOV nebo evidovanou kanalizační výpustí a několik větších obcí či měst. Zde lze zmínit například Veverskou Bítýšku, Tišnov, Předklášteří, Velkou Bíteš, Nové Město na Moravě, Křižanov, Bystřici n. Perštejnem a další. Proto pokud se zaměřím na další monitorovací body, které se nachází mimo nádrž, zjistím následující informace o jakosti vody (Kosour 2016).

Souhrnně lze uvést, že stav na téměř všech monitorovaných bodech je nepříznivý. Vyhovující stav je pouze na vodním toku Fryšávka a pod Vírskou přehradou díky její retenční schopnosti. Přibližnou polohu některých monitorovacích bodů lze vidět na obrázku 10, v textu jsou popisovány body poblíž řeky Svratky postupně od města Brna na sever.



Obr. 10: Monitorovací body (<http://www.pmo.cz/portal/ISVS/jvp/cz/default.htm>)

1. **Monitorovací bod Veverská Bítýška** se nachází na řece Svatce. Obsah fosforu zde občas překračuje obecné požadavky, dlouhodobě překračuje požadavky pro koupací vody NV. Podle Nařízení vlády (NV) č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, platí pro povodí nad nádrží využívanou ke koupání zpřísněný požadavek. Tím je hodnota 0,05 mg/l, zatímco obecný požadavek je 0,15 mg/l. Hodnoty chlorofylu jsou zde zvýšené, výjimečně dosahují i k 100 µg/l. Při vyšších průtocích je zde zaznamenán vyšší obsah nerozpuštěných a organických látek a živin, erozní částice z povodí, pevné částice z kanalizací a množství termotolerantních koliformních bakterií. Z toho plyne, že vysoký obsah fosforu na přítoku do nádrže umožňuje masivní rozvoj sinic.
2. **Monitorovací bod Prádelna** se nachází na vodním toku Veverka. Jsou zde naměřeny velmi vysoké koncentrace fosforu, velký podíl fosforečnanového fosforu. Obsah fosforu zde nevyhovuje obecným požadavkům ani požadavkům pro koupací

vody NV. Vysoké riziko zde představuje především to, že Veverka je zaústěna přímo do nádrže. Celkově je zde stav nepříznivý.

3. **Monitorovací bod Chudčice nad** se nachází na vodním toku Kuřimka. Obsah fosforu zde také nevyhovuje obecným požadavkům ani požadavkům pro koupací vody NV. Vysoké koncentrace fosforu představují riziko především proto, že Kuřimka ústí přímo do nádrže. Je překračováno i obecného požadavku NV v parametru termotolerantní koliformní bakterie.
4. **Monitorovací bod Veverská Bítýška nad** se nachází na vodním toku Bílý potok. Obsah fosforu nevyhovuje obecným požadavkům ani požadavkům pro koupací vody NV. Obecným požadavkům NV neodpovídají ani nerozpuštěné látky, dusičnany, celkový dusík a termotolerantní koliformní bakterie. Bílý potok ústí do Svatky. Celkově je zde stav nepříznivý.
5. **Monitorovací bod Křoví** se nachází na vodním toku Bílý potok. Obsah fosforu nevyhovuje obecným požadavkům ani požadavkům pro koupací vody NV. Obecným požadavkům NV neodpovídají ani dusičnanový dusík a celkový dusík. Jsou zde přítomny velké koncentrace fosforu, jelikož jsou velké zdroje znečištění (například Velká Bíteš) na drobném toku. Celkově je zde stav nepříznivý.
6. **Monitorovací bod Hradčany** leží na vodním toku Lubě. Obecným požadavkům NV zde nevyhovuje hned několik ukazatelů. Těmito ukazateli jsou Obsah enterokoků, fosforu, amonných iontů, dusičnanů, termotolerantních koliformních bakterií. Nepříznivý stav je zde přisuzován komunálním odpadním vodám. Celkově je zde stav nepříznivý.
7. **Monitorovací bod Lomička** leží na vodním toku Besének. Nevyhovuje obecným požadavkům NV v obsahu fosforu a v množství termotolerantních koliformních bakterií. Celkově je zde stav nepříznivý.
8. **Monitorovací bod Bobrůvka- ústí**, zde obsah fosforu nevyhovuje obecným požadavkům NV. Při vyšších průtocích je zde monitorován vysoký obsah nerozpuštěných látek, erozních částic z povodí a termotolerantních koliformních bakterií. Celkově je zde stav nepříznivý.
9. **Monitorovací bod Dolní Loučky** leží na vodním toku Libochovka. Zde obsah fosforu vyhovuje obecným požadavkům NV, nevyhovuje požadavkům pro koupací vody. Nevyhovující parametry jsou nerozpuštěné látky, celkový dusík, dusičnany

a $CHSK_{Cr}$. Vyšší obsah fosforu a organického znečištění zhoršuje kvalitu hlavního toku. Celkově je zde stav nepříznivý.

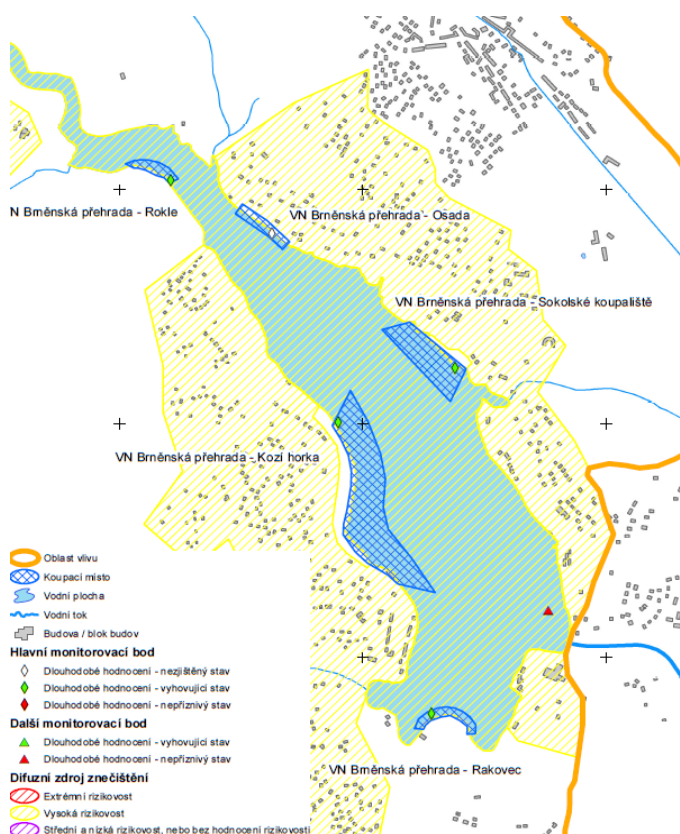
10. **Monitorovací bod Dolní Loučky** leží na vodním toku Bobrůvka (Loučka). Obsah fosforu vyhovuje obecným požadavkům NV, nevyhovuje požadavkům pro koupací vody. Nevyhovuje obecným požadavkům NV pro nerozpuštěné látky, celkový dusík, dusičnany a termotolerantní bakterie. Celkově je zde stav nepříznivý.
11. **Monitorovací bod pod Bobrovou** leží na vodním toku Bobrůvka (Loučka). Obsah fosforu nevyhovuje obecným požadavkům ani požadavkům pro koupací vody NV. Nevyhovuje obecným požadavkům NV pro nerozpuštěné látky, celkový dusík, dusičnany a termotolerantní bakterie. Celkově je zde stav nepříznivý.
12. **Monitorovací bod Nové Město pod** leží na vodním toku Bobrůvka (Loučka). Obsah fosforu nevyhovuje obecným požadavkům ani požadavkům pro koupací vody NV. Nevyhovuje obecným požadavkům NV pro amonné ionty, celkový dusík a termotolerantní bakterie. Velmi vysoké hodnoty těchto parametrů ukazují na silné fekální znečištění. Příčinou je velký komunální zdroj (Nové Město n. M.) na drobném toku. Celkově je zde stav nepříznivý.
13. **Monitorovací bod Borač** leží na řece Svatce. Obsah fosforu zde vyhovuje obecným požadavkům NV, nevyhovuje požadavkům pro koupací vody. Dále nevyhovuje obecným požadavkům NV pro termotolerantní bakterie. V tomto profilu je pouze mírně zvýšený obsah fosforu. To ukazuje, že zásadní zhoršení jakosti řeky Svatky nastává až v dolní části povodí (Tišnovsko a přítoky dolního úseku Svatky). Celkově je zde stav nepříznivý.
14. **Monitorovací bod Olešínky** leží na vodním toku Olešná. Obsah fosforu zde vyhovuje obecným požadavkům NV, nevyhovuje požadavkům pro koupací vody. Dále nevyhovuje obecným požadavkům NV pro amonné a dusičnanové ionty a celkový dusík. Celkově je zde stav nepříznivý.
15. **Monitorovací bod Nedvědice** leží na vodním toku Nedvědička. Obsah fosforu vyhovuje obecným požadavkům ani požadavkům pro koupací vody NV. Dále nevyhovuje obecným požadavkům NV pro nerozpuštěné látky, dusičnanové ionty, celkový dusík a termotolerantní bakterie. Zejména při vyšších průtocích jsou zde zaznamenány velmi vysoké koncentrace nerozpuštěných látek a fosforu. Celkově je zde stav nepříznivý.

- 16. Monitorovací bod Hodonín** leží na vodním toku Hodonínka. Obsah enterokoků nevyhovuje obecným požadavkům ani požadavkům pro koupací vody NV. Obsah fosforu vyhovuje obecným požadavkům NV, nevyhovuje požadavkům pro koupací vody. Dále nevyhovují obecným požadavkům NV dusičnanové ionty a termotolerantní bakterie. Je zde vysoké mikrobiální znečištění a zvýšené hodnoty fekálních bakterií. Celkově je zde stav nepříznivý.
- 17. Monitorovací bod Vír**, který leží na vodním toku Bystřice. Obsah fosforu vyhovuje obecným požadavkům NV, nevyhovuje požadavkům pro koupací vody. Dále také nevyhovuje obecným požadavkům NV pro CHSK_{Cr}, nerozpustné látky, dusičnanové ionty, celkový dusík a termotolerantní bakterie. Vysoký obsah fosforu je zejména z bodových zdrojů komunálního znečištění (Bystřice n. P. a další obce). Celkově je zde stav nepříznivý.
- 18. Monitorovací bod Vír**, který leží na řece Svatce. Základní ukazatelé vyhovují požadavkům NV. Obsah fosforu vyhovuje i požadavkům pro koupací vody NV. Monitorovací bod se nachází pod nádrží Vír. Je zde tedy vyhovující stav díky retenční schopnosti nádrže. Celkově je zde stav vyhovující.
- 19. Monitorovací bod Vír-Dalečín**, který leží na řece Svatce. Obsah fosforu vyhovuje obecným požadavkům NV, nevyhovuje požadavkům pro koupací vody. Nevyhovuje obecným požadavkům NV pro nerozpuštěné látky a termotolerantní bakterie. Ukazuje na zvýšený obsah fosforu nad Vírskou nádrží. Díky velké retenci nádrže se pod nádrže dostane pouze asi polovina tohoto množství fosforu. Celkově je zde stav nepříznivý.
- 20. Monitorovací bod Jimramov** leží na vodním toku Fryšávka. Obsah fosforu vyhovuje obecným požadavkům NV, nevyhovuje požadavkům pro koupací vody. Nevyhovuje obecným požadavkům NV pro nerozpuštěné látky a CHSK_{Cr}. Jde o poměrně čistý přítok Svatky nad Vírskou nádrží, obsah fosforu se pohybuje kolem 0,05 mg/l. Celkově je zde stav vyhovující.
- 21. Monitorovací bod Bílý potok- ústí**, zde obsah fosforu nevyhovuje obecným požadavkům ani požadavkům pro koupací vody NV. Nevyhovuje ani obecným požadavkům NV pro nerozpuštěné látky, CHSK_{Cr} a termotolerantní bakterie. Vyskytuje se zde vysoký obsah fosforu, organických látek a fekálních bakterií. Jde ovšem o částečné zlepšení proti velmi špatnému stavu v horní části toku. Celkově je zde stav nepříznivý.

- 22. Monitorovací bod pod Poličkou**, který leží na vodním toku Bílý potok. Obsah fosforu nevyhovuje obecným požadavkům ani požadavkům pro koupací vody NV. Nevyhovuje ani obecným požadavkům NV pro nerozpuštěné látky, CHSK_{Cr}, BSK₅, amonné ionty, celkový dusík a termotolerantní bakterie. Jde o velmi silně znečištěný úsek toku, zejména díky komunálnímu znečištění v Poličce. Celkově je zde stav nepříznivý.
- 23. Monitorovací bod nad Jimramovem** leží na řece Svatce. Obsah fosforu vyhovuje obecným požadavkům NV, nevyhovuje požadavkům pro koupací vody. Nevyhovuje ani obecným požadavkům NV pro CHSK_{Cr} a termotolerantní bakterie. Celkově je zde stav nepříznivý.
- 24. Monitorovací bod nad Křižánkami** leží na řece Svatce. Obsah fosforu vyhovuje obecným požadavkům NV, nevyhovuje požadavkům pro koupací vody. Nevyhovuje ani obecným požadavkům NV pro CHSK_{Cr} a termotolerantní bakterie. Zde lze konstatovat, že ani v nejvyšší části toku nevyhovuje Svatka obsahem fosforu požadavkům pro povodí koupacích oblastí. Celkově je zde stav nepříznivý.
- 25. Monitorovací bod Brno, hráz** leží na řece Svatce. Obsah fosforu se zde pohybuje kolem 0,05 mg/l. V závislosti na hydroklimatických podmínkách v dané sezóně se občas vyskytuje slabší či silnější sinicový květ. Množství fosforu v produkční vrstvě v hlavním jezeře je i po redukci retenční schopností nádrže dostatečné pro rozvoj sinic. Celkově je zde stav nepříznivý (Kosour 2016).

Na obrázku 11 lze také vidět difúzní zdroje znečištění, které představují vysokou rizikovitost. Tato oblast je znázorněna žlutým šrafováním. Těmito zdroji mohou být neevidované komunální zdroje v povodí, tedy velké množství obcí s nečištěnými odpadními vodami. Přísun fosforu z těchto zdrojů je vysoký až extrémní. Žádný zdroj nečistí odpadní vody dostatečně vzhledem na citlivost povodí nad koupací oblastí. Velikost rizika závisí na velikosti zdroje a vzdálenosti od nádrže. Další zdroj znečištění představují rybníční soustavy v okolí Křižanova. Jedná se většinou o produkční rybníky. Riziko znečištění je zde vysoké, záleží na způsobu hnojení a krmení. Dalším zdrojem znečištění jsou rekreační objekty na obou březích nádrže. Čištění odpadních vod zde není dostačující, je tedy vysoké riziko mikrobiálního znečištění. Stejně tak je vysoké i riziko přísunu fosforu do nádrže. Vnitřní zdroj znečištění představují rekreatanti a rybí obsádka (Kosour 2016).

Souhrnně lze tedy konstatovat, že Brněnská přehrada má velmi krátkou dobu zdržení. Velké povodí je zatíženo znečištěním z velkého množství nedostatečně čištěných i nečištěných bodových zdrojů. V povodí jsou přítomny i produkční rybniční soustavy a část krajiny je zemědělsky využívána. Podle Kosoura (2016) nelze stav vody v nádrži trvale zlepšit, dokud neklesne znečištění přicházející do nádrže z povodí, především koncentrace fosforu. Do té doby nebudou účinná ani stávající opatření. Upozorňuje, že nynější kvalita vody, která je vyhovující, je dána pouze umělým udržováním nádrže pomocí nákladných technických a chemických zásahů. Těmito zásahy byla částečná těžba sedimentů v předchozích letech, instalace aeračních věží a srážení fosforu síranem železitým na přítoku. V případě, že by se provoz těchto opatření ukončil, vrátila by se kvalita vody v nádrži do původního nevyhovujícího stavu.



Obr. 11: Profil vod ke koupání - VN Brněnská přehrada (Kosour 2016)

6 FOTODOKUMENTACE SOUČASNÉHO STAVU

Fotografie nádrže a přilehlého okolí byly pořízeny v srpnu roku 2016 a v dubnu roku 2017. Obrázky 12 a 13 zobrazují vodní hladinu nádrže v srpnu 2016, obrázky 14, 15 a 16 zachycují přehradní hráz v dubnu 2017. Na obrázku 17 je vodní hladina v dubnu 2017, obrázky 18 a 19 zachycují přítok do přehrady. Jelikož je okolí přehrady využíváno pro turistiku i cyklistiku, jsou na obrázku číslo 20 zobrazeny turistické trasy v okolí.



Obr. 12: Pohled na vodní hladinu, srpen 2016 (zdroj vlastní)



Obr. 13: Vodní hladina, srpen 2016 (zdroj vlastní)



Obr. 14: Přehradní hráz, duben 2017 (zdroj vlastní)



Obr. 15: Znečištění u přehradní hráze, duben 2017 (zdroj vlastní)



Obr. 16: Řeka Svratka, odtok, duben 2017 (zdroj vlastní)



Obr. 17: Pohled na vodní hladinu, duben 2017 (zdroj vlastní)



Obr. 18: Přítok do přehrady, duben 2017 (zdroj vlastní)



Obr. 19: Lesní porost a přítok do přehrady, duben 2017 (zdroj vlastní)



Obr. 20: Turistické trasy v okolí přehrady, duben 2017 (zdroj vlastní)

7 REALIZACE OPATŘENÍ NA BRNĚNSKÉ ÚDOLNÍ NÁDRŽI

Pro omezení masového rozvoje sinic na Brněnské nádrži vznikl projekt s názvem Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži. Projekt probíhal ve dvou etapách, které jsou podrobně popsány v textu níže. Problematika omezování výskytu vodního květu je velmi složitá a zabývá se jí mnoho firem a odborníků. V následujícím textu jsem shrnula dostupné materiály a dále také materiály od Ing. Sládka a firmy Asio, spol. s r. o., a z webových stránek Povodí Moravy, kteří se zabývali problematikou sinic na Brněnské údolní nádrži.

7.1 Využívané prostředky

V této kapitole popisují konkrétní prostředky, které využívá firma Asio, spol. s r. o. k likvidaci sinic ve vodních nádržích, a na jakém principu jsou tyto prostředky založeny. Obecně jsou metody likvidace sinic popsány již v kapitole Metody a technologie k omezování výskytu vodního květu. Uvedené metody byly využity i na Brněnské přehradě.

- **Srážení fosforu na přítoku do přehrady** patří mezi preventivní opatření. Základními zdroji fosforu jsou malé čistírny odpadních vod z obcí, které nemají legislativní povinnost srážení fosforu na odtoku z čistírny. Dalším zdrojem je fosfor ze zemědělské půdy. Problém způsobuje aplikace fosfátových hnojiv a dále také pěstování plodin na svažitých pozemcích v povodí řek. Dochází k nadměrné koncentraci fosforu v recipientech i ve vodních nádržích, tím se zvyšuje jejich trofie. Ke srážení je používán například síran železitý, pomocí kterého lze dosáhnout účinnosti odbourání fosforu až 93 %. Tím se do vodní nádrže dostává pouze minimální koncentrace fosforu, která přispívá k potlačení masového rozvoje sinic ve vodní nádrži (Palčík 2012). Z osobního sdělení Ing. Romana Sládka (2017) jsem se dozvěděla, že sražený fosfor se dostává dále do přehrady, ovšem ve formě, která není dostupná sinicím. Navíc je postupně překryt sedimentem, takže je dobře zaizolován na dně. Důležitou informací je, že k masovému rozvoji vodního květu dochází již při koncentraci 10 µg fosforu na litr.
- **Aerační věže** mohou být čerpadlové nebo s aerátorem. Čerpadlové slouží hlavně k promíchávání vodního sloupce v nádrži. Využívá principu dopravy okysličené vody, která je pod hladinou do bezkyslíkatých oblastí, které jsou nade dnem. Věže s aerátorem slouží především k prokysličení vodního sloupce. K aerátoru, který je umístěn nade dnem, je přiveden vzduch. Ten je míchán s vodou a tato směs je tryskami aerátoru rozmetána do okolního bezkyslíkatého prostředí. Vlivem umělého promíchávání vodního sloupce dochází ke zrušení stratifikace nádrže. Aerační věž je zobrazena na obrázku číslo 21 (Palčík 2012). Hlavní důvody, proč se využívá aerace, jsou následující. Dochází k oxidaci svrchní části sedimentů, tím se zhoršují životní podmínky pro sinice, což se projevuje snížením jejich počtu v sedimentech. Dále se vytváří aerobní podmínky na rozhraní sedimentu a vody, tím se snižuje obsah živin (fosforu) ve vodním sloupci (Maršálek 2009).

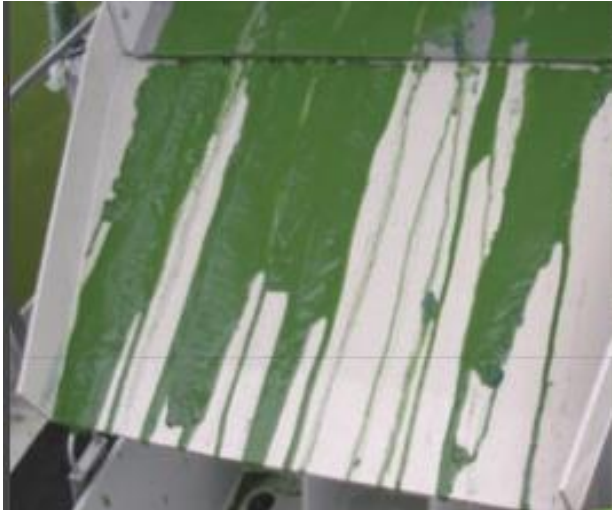


Obr. 21: Aerační věže (<http://www.asio.cz/cz/aeracni-veze>)

- **Plavidlo pro separaci částic biomasy** je určeno k odstraňování biomasy z povrchu vodní hladiny. Toto plavidlo neaplikuje žádné chemikálie, vodní květ sinic je oddělován filtrací, proto je tato metoda nanejvýš ekologická. Separovaná biomasa, kterou zobrazuje obrázek číslo 22, je uskladněna v kontejneru na lodi, po jeho zaplnění je odvezena k ekologické likvidaci. Přefiltrovaná voda je zpět odváděna do jezera, případně může být ještě upravena jinou metodou (fyzikální či biologickou). Odstraněním biomasy z vodních nádrží dochází k redukcí potenciálních živin v sedimentech (Palčík 2012).



Obr. 22: Plavidlo pro separaci částic biomasy (<http://www.asio.cz/cz/plavidlo-pro-separaci-castic-biomasy>)



Obr. 23: Přefiltrované sinice (zdroj firma Asio spol. s r. o.)

Při plánování projektu bylo navrženo i využití aplikačního plavidla. K jeho využití by došlo ve chvíli, kdy by výše popsané metody nebyly dostatečně účinné. Nakonec se celý projekt obešel bez využití tohoto plavidla.

- **Aplikační plavidlo**, které se využívá k řízenému dávkování látek pro srážení sinic, je zobrazeno na obrázku číslo 24. Koagulant (například polyaluminiumchlorid) je aplikován z nádrže v plavidle pomocí aplikačního rámu, který je umístěn 10 až 30 centimetrů pod vodní hladinou. Šířka záběru činí 10 metrů. Plavidlo je vybaveno GPS navigací a sonarem, což umožňuje systematické plavení po vodní hladině. Díky tomu má lodivod okamžitou informaci o poloze lodi v GPS souřadnicích, dále také o rychlosti pohybu lodi a hloubce vodního profilu, nad kterým se právě loď nachází. Tyto informace jsou doplněny o trajektorii již projeté trasy, to zamezuje dávkování koagulantu dvakrát (nebo vícekrát) na jednom místě. Informace jsou potřebné i pro lodního operátora, který stanovuje množství dávkovaného koagulantu, přičemž dávkované množství aplikované látky závisí na koagulační zkoušce, na rychlosti lodi a na hloubce vody v aplikovaném profilu. Koagulant je tak dávkován ekonomicky i ekologicky zároveň. Délka aplikace se podle plochy a objemu vodní nádrže pohybuje řádově ve dnech. Průhlednost vody se může zvětšit až několikrát (například z 0,2 metrů na 3 metry), což se měří Secchiho diskem (Palčík 2012).



Obr. 24: Aplikační plavidlo (<http://www.asio.cz/cz/aplikacni-plavidlo>)

7.2 Zhodnocení stavu před zahájením opatření

Před zahájením projektu byly zjištěny následující informace o znečištění nad nádrží. Do povodí nad nádrží vypouštělo odpadní vody 90 % ze 100 000 občanů. Téměř 52 000 obyvatel žilo v obcích nad 1000 obyvatel, kdy všechny byly připojeny na čistírny odpadních vod, ale technologiemi na odstraňování fosforu byly vybaveny pouze největší z nich. Povodí nad nádrží má rozlohu 839 km² (Moronga 2011). Roční produkce fosforu v celém povodí bylo 45,3 tun (Gardavská et al. 2012). Téměř dvě třetiny lidí zde žilo v obcích s čištěním odpadních vod, ale zhruba 13 000 z nich nebyla na čistírny napojena (Tab. 5). V povodí se nacházelo 29 ČOV, s napojením 38 obcí, ovšem odstraňováním fosforu bylo vybaveno pouze 9 z nich. Bez jakéhokoliv čištění odpadních vod bylo celkem asi 48 000 obyvatel, přičemž tato skupina produkovala 25 tun fosforu za rok. Největší podíl na produkci fosforu měly obce pod 500 obyvatel, jak lze vidět v tabulce číslo 6.

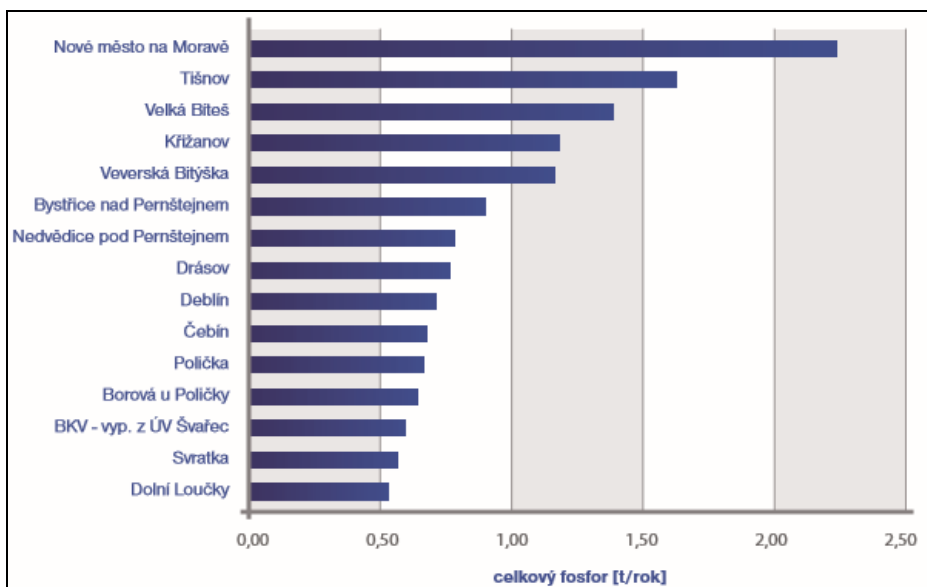
Tab. 5: Produkce fosforu v povodí (Tůma 2011).

Čištěné vody	Produkce P _{celk} [t/rok]	Počet obcí	Počet obyvatel
Obce s napojením na ČOV	17,3	38	65 047
Obyvatelé v těchto obcích připojení na ČOV	10,6	38	51 940
Obyvatelé v těchto obcích nepřipojení na ČOV	6,7	32	13 107
Obyvatelé napojeni na ČOV s odstraňováním P	5,6	15	41 176
Obyvatelé napojeni na ČOV bez odstraňováním P	5,0	23	10 764

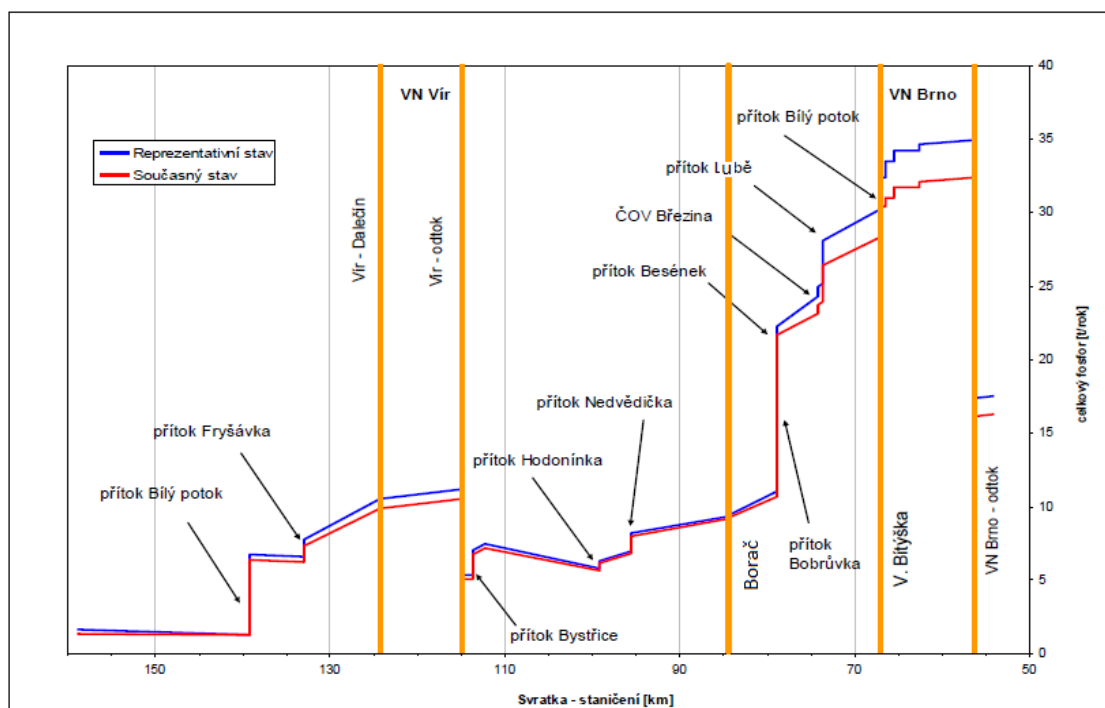
Tab. 6: Produkce fosforu v povodí podle velikosti obce (Tůma 2011)

Obce dle kategorií	Produkce P [t/rok]	Podíl na produkci [%]	Počet obcí	Počet obyvatel	Poznámka	
2000+	6,1	17	6	39271	Všechny napojeny na ČOV	4x odstr. P
1000-2000	6,0	17	9	12622	Všechny napojeny na ČOV	1x odstr. P
500-1000	8,2	23	25	17049	15 napojeno na ČOV	2x odstr. P
250-500	6,0	17	34	11722	5 napojeno na ČOV	1x odstr. P
Do 250	9,6	27	168	19005	3 napojeny na ČOV	1x odstr. P

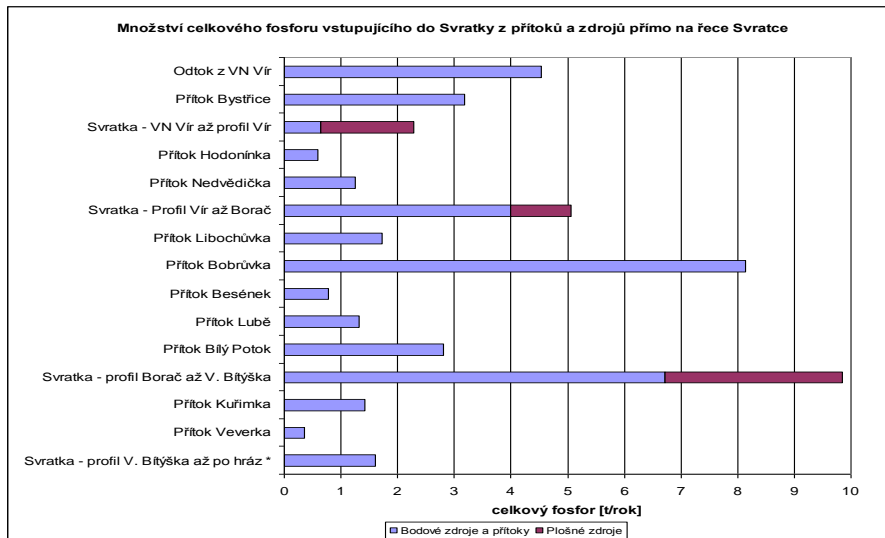
Za hlavní zdroj znečištění byl podle analýz označen úsek mezi nádrží Vír a Brněnskou přehradou a největší množství fosforu přitékalo do nádrže mezi profily Borač a Veverská Bítýška. Do Brněnské přehrady tak ročně přitékalo přibližně 34 tun fosforu. Asi 70 procent z toho měl původ na posledních 13 kilometrech řeky, kde dochází již jen k minimální retenci (Moronga 2011). Největší producenti fosforu jsou znázorněni na grafu číslo 2, patří k nim Nové Město na Moravě, Tišnov, Velká Bíteš a další. Vývoj celkového množství fosforu v toku je znázorněn na grafu číslo 3, kde každé zvýšení obsahu fosforu je vázáno především na přítok některého z vodních toků. Jak již bylo zmíněno, největší nárůst množství fosforu je mezi profily Borač a Veverská Bítýška, a to především v místech, kde se vlévá do Svratky vodní tok Bobrůvka. Graf číslo 4 ukazuje množství celkového fosforu vstupujícího do Svratky z přítoků a zdrojů přímo na řece Svratce. Modře jsou znázorněny bodové zdroje a přítoky, fialově plošné zdroje znečištění. Opět je zde patrné, že velké množství fosforu se do Svratky dostává prostřednictvím Bobrůvky, naopak nejméně z vodního toku Veverka. Zde je také vhodné upozornit na retenční schopnost Vířské nádrže, do které vstupovalo asi 10,5 tun fosforu, vystupovalo o více než 50 % méně, tedy asi 5 tun za rok (Gardavská et al. 2012). Obrázek číslo 25 ukazuje čistírny odpadních vod nad nádrží. Pouze zeleně znázorněné ČOV byly vybaveny technologiemi na odbourávání fosforu.



Graf 2: Největší producenti fosforu nad Brněnskou přehradou (Asio spol. s r.o. 2011)



Graf 3: Vývoj celkového množství fosforu v toku (Gardavská et al. 2012)



Graf 4: Množství celkového fosforu vstupujícího do Svatky z přítoků a zdrojů přímo na řece Svatce (Tůma 2011)



Obr. 25: ČOV v povodí (Tůma 2011)

Pokud se zaměřím na typy znečištění, přináší komunální znečištění nejvíce fosforu do povodí. To platí i pro povodí vodní nádrže Víř. Fosfor z tohoto povodí je částečně zadržován díky retenční schopnosti Vířské přehrady, zhruba polovina se dostává řekou Svratkou do povodí Brněnské přehrady. Další typy znečištění (průmyslové, plošné, difúzní zdroje a rybníky) jsou znázorněny v tabulce 7.

Tab. 7: Celkové vstupy fosforu v řešeném povodí (Gardavská et al. 2012)

typ znečištění	povodí VN Brno		povodí VN Víř	
	roční vstupy P _{celk} t	sezónní vstupy P _{celk} t	roční vstupy P _{celk} t	sezónní vstupy P _{celk} t
komunální znečištění	24,4	12,9	5,2	2,9
průmyslové znečištění	0,7	0,4	0,5	0,2
plošné zdroje	5,8	1,5	4,3	1,2
rybníky	2,3	1,6	0,5	0,4
difúzní zdroje	0,2	0,5	1,4	1,0

7.3 Opatření na nádrži

Cílem projektu bylo pomocí technických a biologických opatření přispět k dlouhodobému snížení eutrofizace vody v nádrži. Hlavními cíli bylo vytvoření předpokladu pro snížení množství sinic v sedimentech o 50 procent a zvýšení koncentrace kyslíku 0,5 – 1,0 metr nade dnem na 2 mg/l. Při zvýšení koncentrace kyslíku nade dnem totiž nejsou sinice schopné přijímat fosfor. Navíc při srážení fosforu na přítoku se snižuje množství fosforu, které je přiváděno do nádrže. To má za následek, že sinice umírají, jelikož nemají dostatek výživy (osobní sdělení Romana Sládka 2017).

Samotnému projektu předcházela přípravná opatření, kdy byla hladina přehrady snížena asi o 10 metrů, to znamená na kótu 219,00 metrů nad mořem. Obnažené dno bylo letecky vápněno vápenným hydrátem s cílem mineralizovat živiny uložené v sedimentech. K vápnění docházelo v listopadu 2007, únoru a listopadu 2008 a dubnu 2009. Od června do září roku 2009 se po snížené hladině pohybovala loď se speciálním provzdušňovacím zařízením a technologií pro sběr biomasy. Na obrázcích 26 až 28 lze vidět fotodokumentaci ze září roku 2009.



Obr. 26: Snížena hladina přehrady s plavidly, rok 2009 (zdroj vlastní)



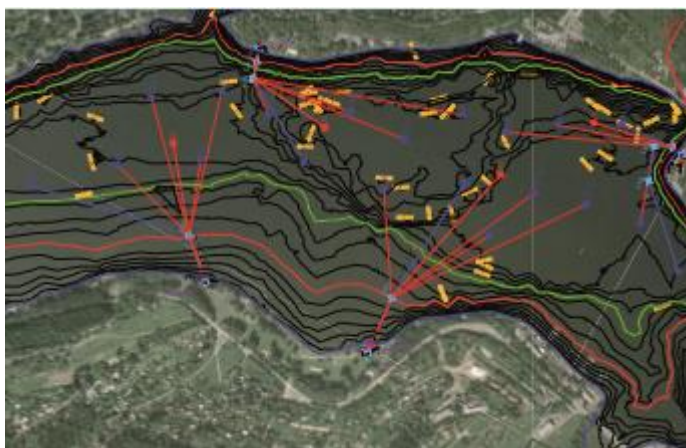
Obr. 27: Snížení hladiny, rok 2009 (zdroj vlastní)



Obr. 28: Obnažené dno, rok 2009 (zdroj vlastní)

V květnu 2010 byly na běžné provozní hladině uvedeny do provozu aerační věže. Jejich rozmístění je znázorněno na obrázku 29. Šlo o patnáct věží čerpadlových a pět věží s aerátorem, které byly zanořeny tři metry pod provozní (letní) hladinu, to znamená cca 228,50 – 229,00 metrů nad mořem. Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, pomocí těchto věží dochází k okysličování spodních vrstev vodního sloupce. Ve vegetační sezóně roku 2010 byl srážen fosfor na přítoku do nádrže pomocí síranu železitého. Zásobníky byly umístěny nad silničním mostem mezi Veverskou Bítýškou a Chudčicemi. Průměrná koncentrace fosforu na přítoku do přehrady byla cca 0,13 mg/l a požadavek byl snížit koncentraci fosforu pod 0,05 mg/l. Ošetření přítoku bylo zahájeno v první polovině července aplikací 20 mg/l síranu železitého. Od 4. 8. 2010 byla aplikační dávka zvýšena na 60 mg/l. Dne 7. 8. 2010 bylo dávkování ukončeno z důvodů vyšších přítoků a dále již dávkování nebylo tento rok obnoveno. Dále ke konci roku začala změna rybí obsádky. Do nádrže byly vysazeny dravé ryby, štika a candát. Dávka ryb byla rozložena do dvou let (2010 a 2011) a celkově obsahovala 1003 kg štiky a 1000 kg candáta. Maximální hmotnost jedné ryby byl jeden kilogram, velikost ryby od patnácti centimetrů. Do nádrže bylo tedy celkově dodáno 4417 kusů štik a 12 500 kusů candáta. Během celé sezóny se prováděl na nádrži i na přítocích monitoring, pomocí kterého byly zjišťovány fyzikální a chemické vlastnosti vody. Monitorovací místa byla navržena v rámci rozšířeného projektu monitoringu tak, aby v jezerní části byly stanoveny 3 příčné profily (Střed, Sokolské koupaliště, Osada) a 4 samostatná místa (Hráz, Přístaviště, Rakovec, Rokle jezero) tak, aby detailně

postihovaly charakteristiku změn složení vody z pohledu prostorového výskytu sledovaných jevů (Asio spol. s r.o. 2011; Povodí Moravy, s.p. 2010).



Obr. 29: Rozmístění aeračních věží (20 a strojoven) na Brněnské přehradě, 2010 (www.asio.cz)

Projekt pokračoval i v roce 2011. Opět bylo využito 20 aeračních věží, pouze s tím rozdílem, že byly umístěny o dva metry blíže ke dnu. V tomto roce byly v provozu 152 dní v období od května do září. Na přítoku byl také aplikován síran železitý, s jeho aplikací se začalo o měsíc dříve než v minulém roce, aplikace tedy probíhala také 152 dní. Pomocí srážení se podařilo snížit obsah fosforečnanového fosforu z původní hodnoty 0,025- 0,085 mg/l na 0,010 mg/l. Na jaře bylo dodáno 700 kusů štik. Nad rámec projektu byl proveden výlov bílých ryb. Šlo především o cejny a cejnký v množství tří tisíc kilogramů. Aerační věže přestaly pracovat v září, stejně tak byla přerušena aplikace síranu železitého. V říjnu byla poté snížena hladina přehrady o čtyři metry, tedy na kótu 225 m n. m (Moronga 2011; Povodí Moravy, s.p. 2011; Tůma 2011).

V roce 2012 byla od 1. května využita stejná opatření jako v předchozích letech. 15. června bylo uvedeno, že obsah sinic v 1 ml vody činí 1000 až 2000 buněk a koncentrace kyslíku jeden metr nade dnem byla 11 mg/l. Na přítoku docházelo ke srážení fosforu síranem železitým, cílem bylo snížit hodnoty pod 0,05 mg/l, kdy téměř všechny hodnoty byly pod danou hranicí. Výjimkou bylo jediné měření, kdy byla naměřena hodnota 0,06 mg/l v místě Zouvalka.

V roce 2013 začala druhá etapa projektu. Od tohoto roku musí správce toku po dobu pěti let zajistit udržitelnost dosažených parametrů kvality vody. Opět se využívala aplikace síranu železitého a aerační věže. V červnu tohoto roku došlo vlivem horkého

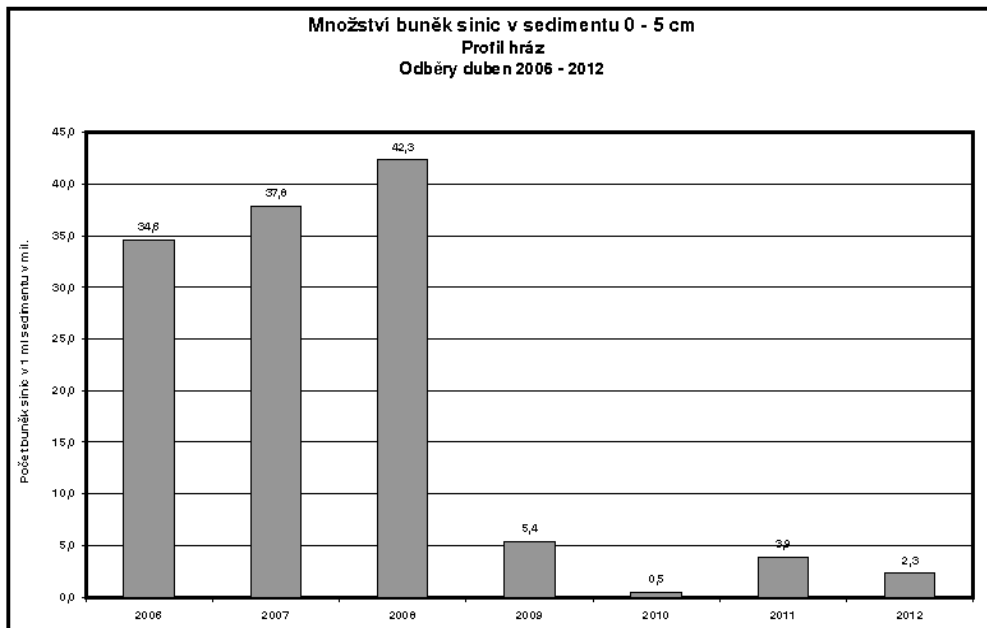
počasí ke zhoršení jakosti vody na stupeň tři. Průhlednost vody byla snížena na jeden metr, což bylo způsobeno zčásti vlivem rozvířeného dna rekreanty, zčásti zvýšeným rozvojem netoxického fytoplanktonu. Toto oživení bylo tvořené převážně skrytčkami, zelenými řasami a drobnou sinicí *Planktothrix aghardii*. Klasické koloniální sinice, které působily problémy před rokem 2009, například rody *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* nebyly v měřitelném množství. Toto zhoršení bylo jen přechodné a při dalších měření byla jakost vody opět na stupni jedna. Na zimu byla poté snížena hladina nádrže o pět metrů (Povodí Moravy, s.p. 2013a, 2013b).

V roce 2014 byly odstraňovány z vodní hladiny chuchvalce vláknitých zelených řas rodu *Cladophora*. Tento rod je netoxický. Počet buněk sinic v 1 ml se pohyboval maximálně kolem 16 000. V tomto roce byl zaznamenán výskyt raků, což vypovídá o přetrvávající dobré kvalitě vody v nádrži.

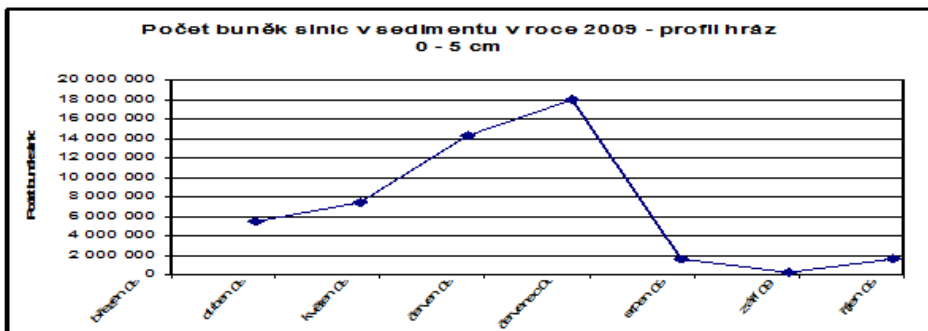
V roce 2015 byla dokončena stavba sedimentační nádrže na vodním toku Kuřimka mezi Veverskou Bítýškou a Chudčicemi. Tato nádrž je určena jako trvalý prostor pro sedimentaci splavenin z povodí Kuřimky a má zabránit vniknutí splavenin do Brněnské přehrady. Tyto sedimenty jsou pravidelně odstraňovány. Její součástí jsou také ostrůvky, které se staly přírodním stanovištěm pro vodní živočichy. Další sedimentační nádrž byla vybudována na potoce Veverka u Veverských Knínic. Na nádrži byly stále využívány aerační věže a sražení fosforu na přítoku (Povodí Moravy, s.p. 2015). I další obce se snaží kultivovat oblasti vodních toků. Například u rybníka Srpek v Kuřimi byl vytvořen malý biotop a několik zatravněných pásů, které brání erozi půdy (Brněnský deník 2015).

7.4 Zhodnocení opatření

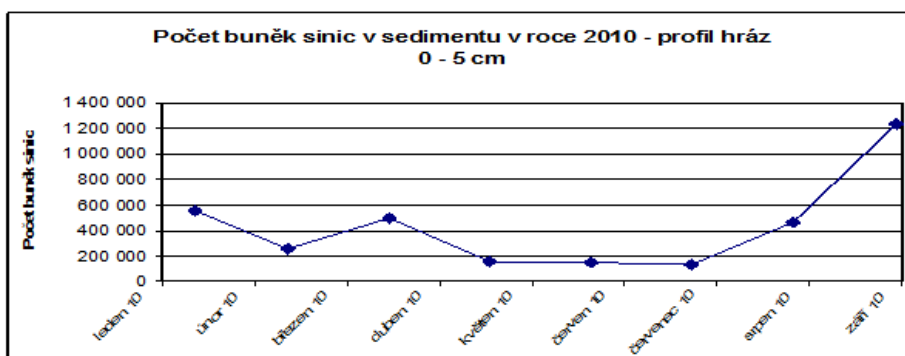
V roce 2011 proběhlo zhodnocení účinků dosavadních opatření. Bylo zjištěno, že v sedimentech se vyskytovalo o 90 procent méně buněk sinic než v roce 2008, tedy před zahájením projektu. V prvním pololetí roku 2011 byly v jednom mililitru sedimentu 4 miliony buněk sinic, zatímco v roce 2008 jich naměřili desetkrát více, tedy přes 40 milionů. Hodnoty naměřené v letech 2006 – 2012 lze vidět v grafu číslo 5. Lze tedy konstatovat, že využívaná opatření byla zatím účinná. Z grafů 6 a 7 je patrné, že v roce 2009 se množství sinic v sedimentech pohybovalo v řádech milionů, v roce 2010 už pouze v řádech statisíců (Moronga 2011; Povodí Moravy, s.p. 2011).



Graf 5: Množství buněk sinic v sedimentu 0-5 cm, profil hráz, odběry duben 2006-2012 (Sládek 2016)



Graf 6: Množství buněk sinic v sedimentu 0-5 cm, Profil hráz, duben- říjen 2009 (Moronga 2011)



Graf 7: Množství buněk sinic v sedimentu 0-5 cm, Profil hráz, odběry leden- září 2010 (Moronga 2011)

Positivní byly i výsledky měření kvality vody, kdy bylo zjišťováno, zda se v nádrži neobjevují toxické sinice. V průměru se v jednom mililitru vody objevovalo do tisíce buněk toxických sinic. Hygienická hranice pro zákaz koupání je přitom sto tisíc buněk v jednom mililitru. Průhlednost Brněnské údolní nádrže se začátkem července snížila na

zhruba 1,5 metru, další naměřené hodnoty z tohoto roku lze vidět v tabulce číslo 8. Důvodem snížené průhlednosti bylo rozmnožení letních společenstev fytoplanktonu, které je normální na většině vodních děl tohoto typu. Jde například o skupiny rozsivek a skrytěnek. Ty nejsou pro koupající se rekreaty toxické a v nádržích se vyskytují zcela běžně. Bylo tedy pozitivní, že tyto skupiny postupně vytlačovaly toxické sinice. Z osmi měření, která v roce 2011 provedla krajská hygienická stanice, bylo čtyřikrát konstatováno, že voda má nejlepší možné vlastnosti pro koupání, to znamená stupeň číslo jedna z pěti možných. Dvakrát voda dostala pomyslnou dvojku. V Rakovecké zátoce hygienici třikrát označili vodu stupněm tři. Jak lze vidět v tabulce číslo 9, byla nejkvalitnější voda v lokalitě Rokle, kde bylo naměřeno 1880 buněk/ml vody. Nízké hodnoty byly naměřeny také u hráze (4800 buněk/ml). Podobné hodnoty zaznamenávali odborníci Povodí Moravy téměř celou letní sezonu (Moronga 2011; Povodí Moravy, s.p. 2011; Tůma 2011)

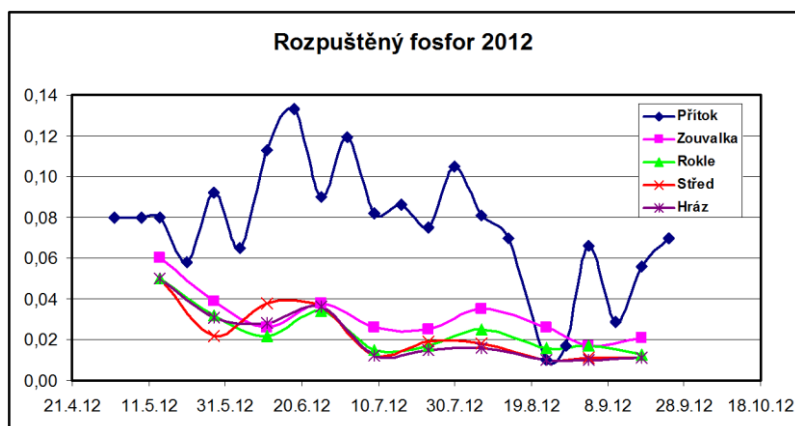
Tab. 8: Měření průhlednosti (Moronga 2011)

Průhlednost [cm]	11.4.11	27.4.11	11.5.11	25.5.11
Hráz	120	120	120	460
Střed	110	110	120	440
Sokolské koupaliště	110	110	110	440
Rokle	90	100	110	120
Zouvalka	120	85	100	70
Mečkov	120	95	85	90

Tab. 9: Množství sinic v 1 ml vody (údaj ze dne 25. 8. 2011) (Povodí Moravy, s.p. 2011)

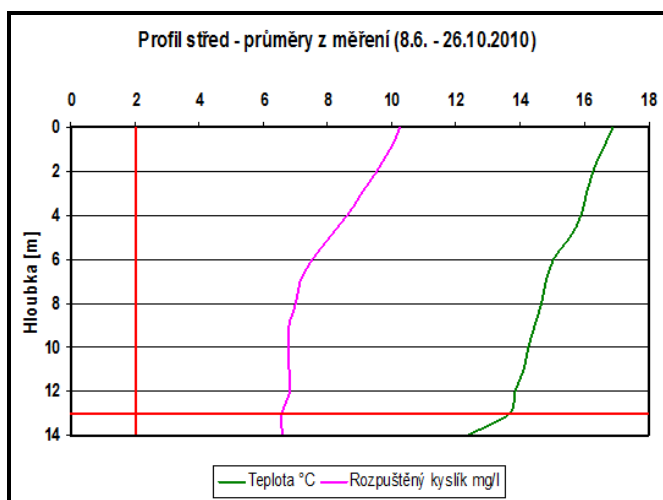
Místo odběru	Počet buněk sinic v jednom mililitru
Hráz	4800
Sokolské koupaliště	14540
Brno Rokle	1880
Rakovec	29020

V roce 2012 obsah sinic v 1 ml vody činil 1000 – 2000 buněk a koncentrace kyslíku jeden metr nade dnem byla 11 mg/l. V grafu 8 jsou znázorněny hodnoty rozpuštěného fosforu v roce 2012, kdy téměř všechny hodnoty byly pod danou hranicí 0,05 mg/l. Výjimkou bylo jediné měření, kdy byla naměřena hodnota 0,06 mg/l v místě Zouvalka. Pozitivních výsledků bylo dosaženo především pomocí srážení fosforu na přítoku. Z těchto údajů je patrné, že i v roce 2012 byly splněny všechny požadavky.

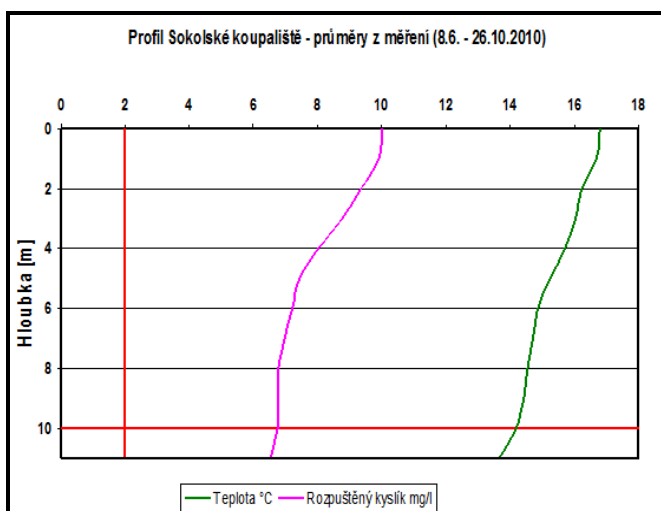


Graf 8: Rozpuštěný fosfor v přehradě v roce 2012 (Sládek 2016)

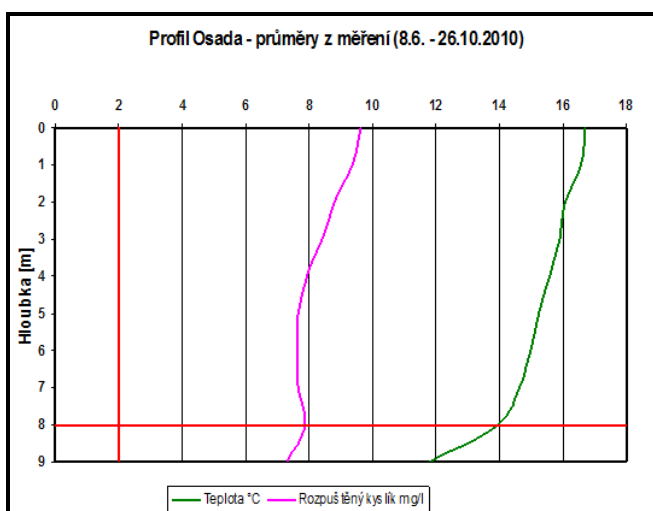
Pomocí aeračních věží byl přiváděn kyslík i do spodních vrstev vodního sloupce. Aeraci dochází k destratifikaci vodního sloupce a k výraznému srovnání teploty v celém profilu, což je patrné na grafech 9 až 11. Cílem bylo dosáhnout hodnot 2 mg/l kyslíku přibližně 1 metr nade dnem. Grafy 9 až 11 zobrazují průměrné hodnoty koncentrace kyslíku u dna v období 8. 6. – 26. 10. 2010. Je zřejmé, že hodnoty byly 6- 8 mg/l, což znamená, že bylo dosaženo cíle 2 mg/l.



Graf 9: Průměrné hodnoty koncentrace kyslíku a teploty v profilu Střed (Moronga 2011)



Graf 10: Průměrné hodnoty koncentrace kyslíku a teploty v profilu Sokolské koupaliště (Moronga 2011)



Graf 11: Průměrné hodnoty koncentrace kyslíku a teploty v profilu Osada (Moronga 2011)

Lze konstatovat, že po tříletém srážení fosforu na přítoku, provozu zařízení na provzdušňování vodního sloupce a postupné úpravě rybí obsádky, se podařilo velmi významně snížit množství sinic v sedimentech a zvýšit koncentraci kyslíku jeden metr nade dnem nejméně na 2 mg/l. Bylo tak dosaženo cíle projektu.

Konečná částka za první etapu projektu se vyšplhala na více než 94 milionů korun bez DPH, z čehož 83,9 milionů Kč tvořila dotace Státního fondu životního prostředí ČR, přes 4,6 milionů korun dotoval Jihomoravský kraj a téměř 1,8 milionů korun město Brno. Druhá etapa byla financována pouze ze zdrojů Povodí Moravy, Jihomoravského kraje a města Brna a činila devět až deset milionů korun ročně (Povodí Moravy, s.p. 2013a).















8 VÝSLEDKY A DISKUZE

Nejdříve je důležité zmínit, že sinice se na Brněnské přehradě vyskytovaly vždy a vždy tam také budou. Problém ovšem nastal ve chvíli, kdy došlo k jejich masovému rozvoji. To zapříčinil fosfor, který se začal do nádrže dostávat ve větším množství. A to prostřednictvím malých ČOV, které nemají povinnost srážet fosfor, dále z pracích a mycích prostředků, ze zemědělství, černých přítoků atd.

Od roku 2013 probíhá druhá etapa projektu Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži. Cílem je udržení dosažených parametrů kvality vody. Při čemž se každý rok využívají aerační věže a srážení fosforu na přítoku. Vyhodnocení projektu má proběhnout v roce 2017. Pro vyhodnocení účinnosti pro potřebu této práce využiji naměřené hodnoty z roku 2016.

Z měření Krajské hygienické stanice Brno jsem zjistila následující informace. Z patnácti měření, která byla uskutečněna od května do srpna, byla na všech místech kvalita vody na stupni 1 nebo 2. Stupnice má celkem 5 stupňů, jejich charakteristiku lze vidět na obrázku číslo 2. Stupeň 1 (modrý symbol) znamená, že je voda vhodná ke koupání. Stupeň 2 (zelený symbol) značí, že voda je vhodná ke koupání, s mírně zhoršenými vlastnostmi. V tabulce 10 je patrná kvalita vody na koupacím místě Rakovec.

Tab. 10: Kvalita vody 2016 – Rakovec (http://www.khsbrno.cz/katalog/koupaliste/brno_rakovec.php)

datum	teplota °C - pláž	hodnocení
16.05.2016	15,1	
30.05.2016	18,6	
06.06.2016	21,1	
13.06.2016	20,7	
20.06.2016	20,6	
27.06.2016	22,5	
04.07.2016	23,3	
11.07.2016	23,1	
18.07.2016	22,2	
25.07.2016	24,2	
01.08.2016	23,3	
08.08.2016	22,7	
15.08.2016	22,5	
22.08.2016	20,7	

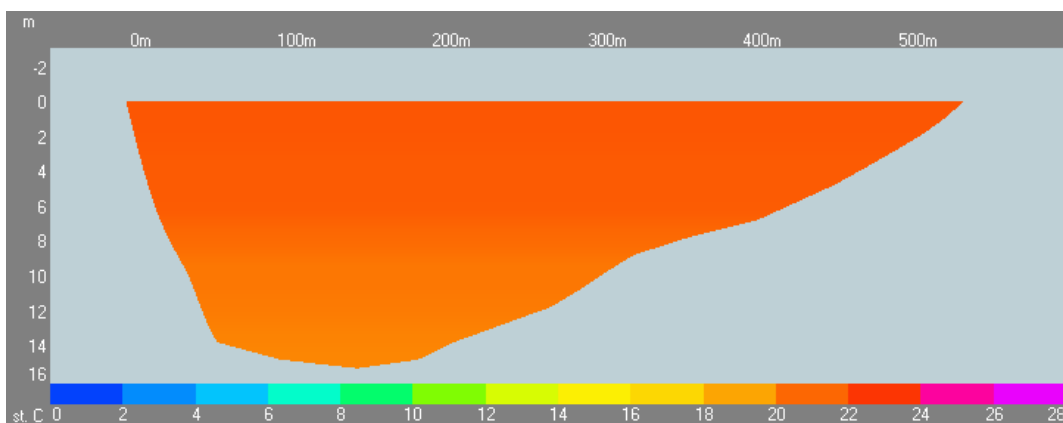
29.08.2016	21,8	😊
------------	------	---

V následující tabulce číslo 11 lze vidět, jaká kvalita vody byla naměřena v letech 2005 až 2015. Monitoring nebyl prováděn každý rok ve stejný termín. Ovšem pro znázornění vývoje kvality vody následující tabulka postačí. Pokud srovnám kvalitu vody od roku 2005 do roku 2015, je patrné, že v prvních čtyřech letech byla voda několikrát klasifikována jako voda nebezpečná ke koupání, což je stupeň 5 (černý symbol). Při této kvalitě vody je zákaz koupání v nádrži. Od roku 2010, kdy začal výše popsaný projekt, je patrné, že kvalita vody byla nejhůře na stupni 3 (oranžový symbol). Nejčastěji je však patrný stupeň 1 nebo 2. Lze tedy konstatovat, že opatření, která byla využita k potlačení masového rozvoje sinic, pomohla také ke zlepšení kvality vody. A lze říci, že voda v nádrži je vhodná ke koupání během celého roku.

Tab. 11: Kvalita vody v letech 2005-2015 (vlastní úprava dat Krajské hygienické stanice Brno)

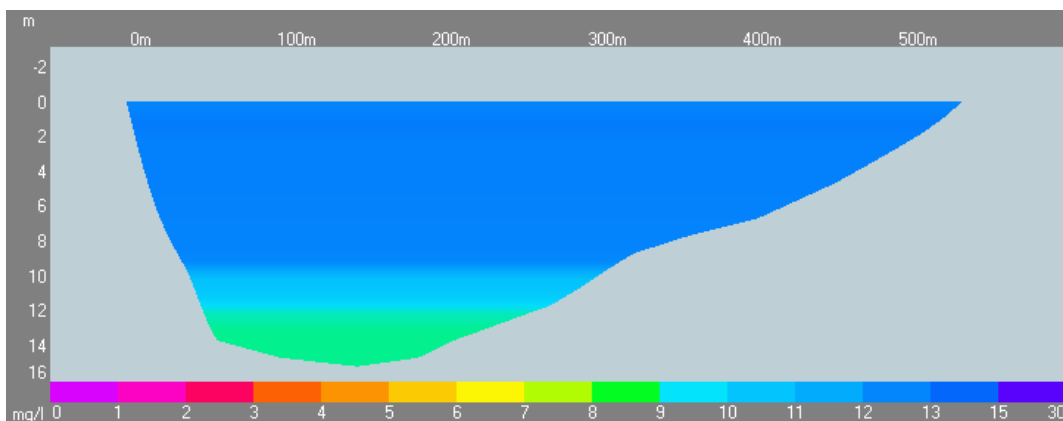


Z grafu 12 je patrné, že díky aeračním věžím, které promíchávají vodní profil, docházelo i v roce 2016 ke značnému srovnání teploty v celém profilu. Graf znázorňuje teplotu ve vodním profilu v červenci 2016, kdy teplota dosahuje hodnot od 20 °C do 24 °C. Je tedy patrné, že došlo k destratifikaci nádrže. To znamená, že kromě teplejší vody byl do spodních vrstev přiváděn i kyslík, jak popisují v dalším textu.

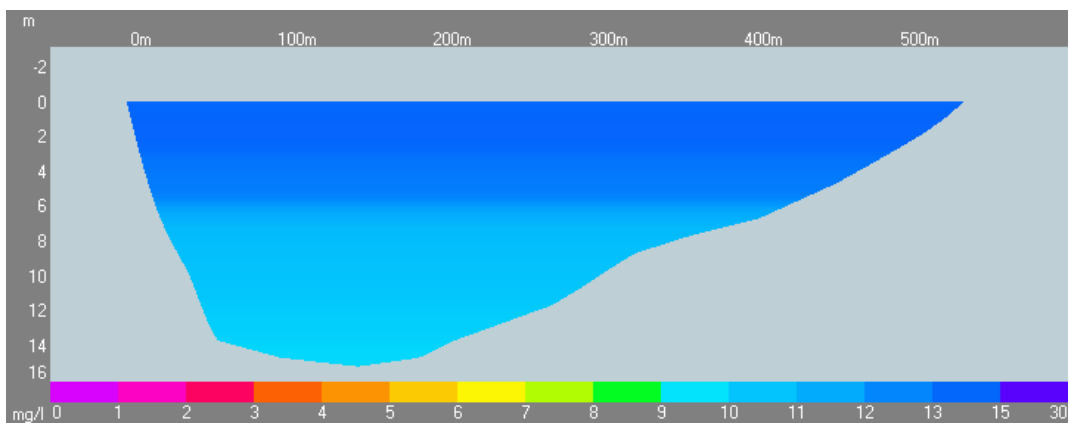


Graf 12: Teplota v přehradě v červenci 2016 (<http://www.pmo.cz/>)

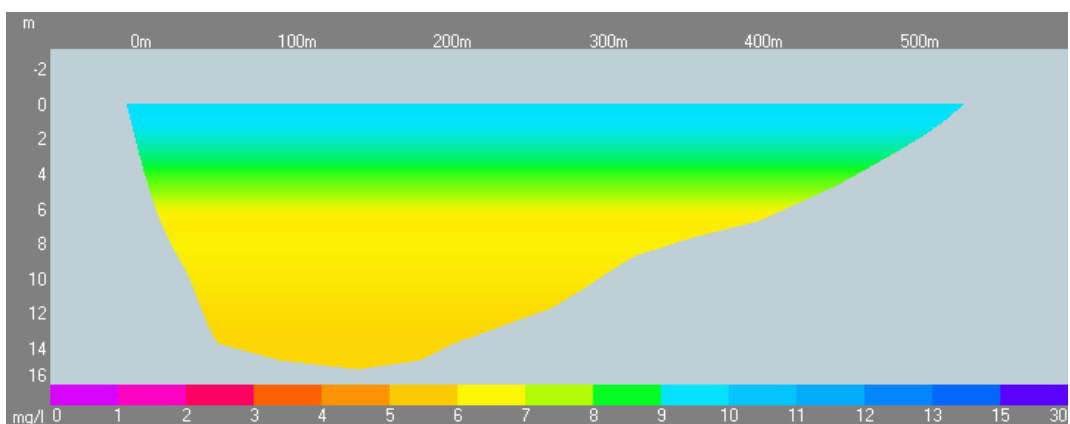
Na Grafech 13 až 19 je znázorněné množství kyslíku ve vodním profilu Střed v období duben až říjen 2016. Cílem bylo, aby 0,5 – 1,0 metr nade dnem byla koncentrace kyslíku aspoň 2 mg/l. Z grafů je patrné, že koncentrace kyslíku v profilu se v průběhu roku mění. Nejvíce kyslíku je ve vodním sloupci (z uvedených měsíců) v dubnu a v květnu, nejméně v červenci. V červenci klesla koncentrace kyslíku u dna na 2-3 mg/l. Ovšem i tato koncentrace splňuje požadovanou hodnotu. Lze tedy konstatovat, že bylo dosaženo požadované koncentrace kyslíku u dna nádrže.



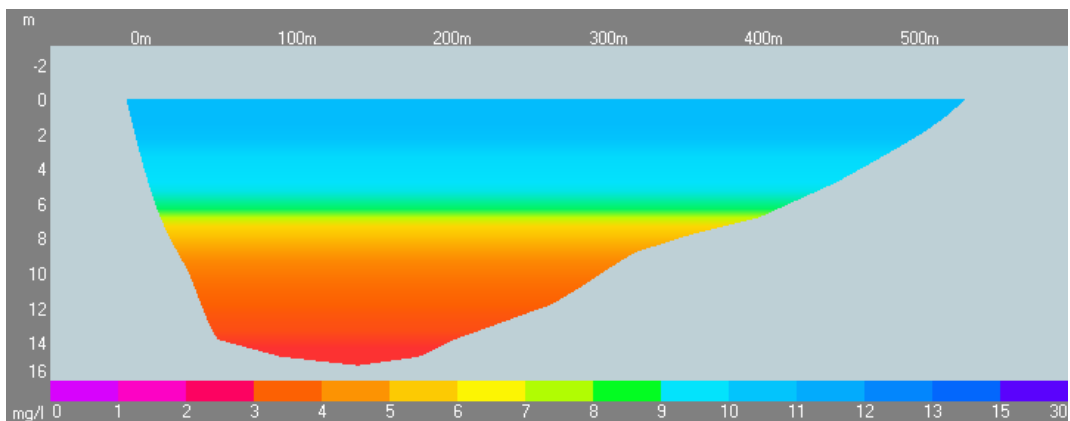
Graf 13: Množství kyslíku v přehradě v dubnu (<http://www.pmo.cz/>)



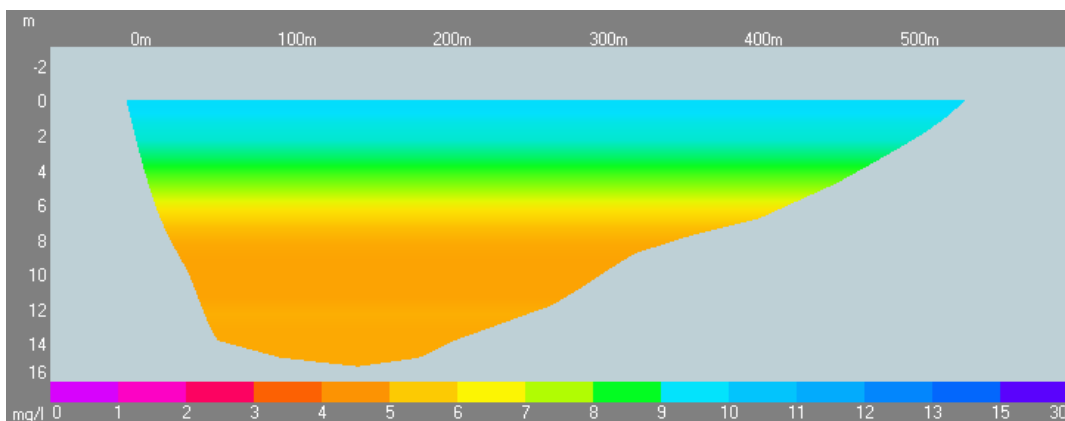
Graf 14: Množství kyslíku v přehradě v květnu (<http://www.pmo.cz/>)



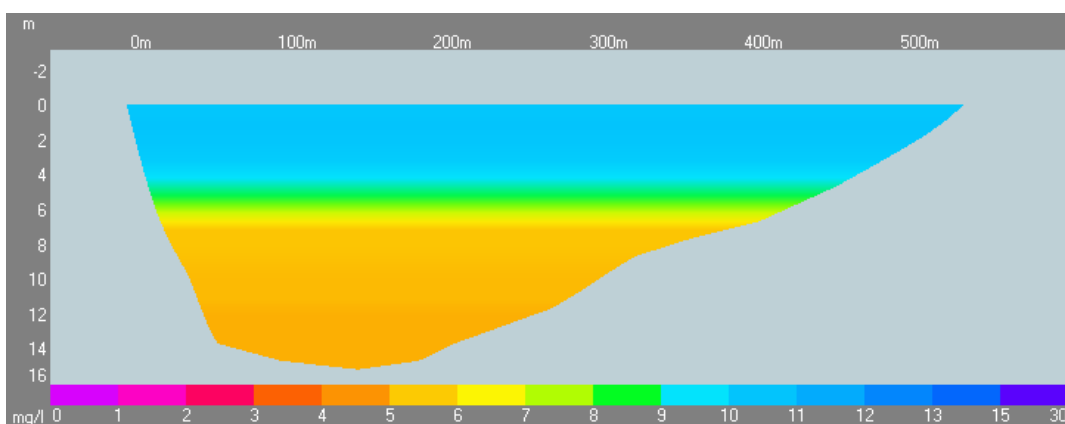
Graf 15: Množství kyslíku v přehradě v červnu (<http://www.pmo.cz/>)



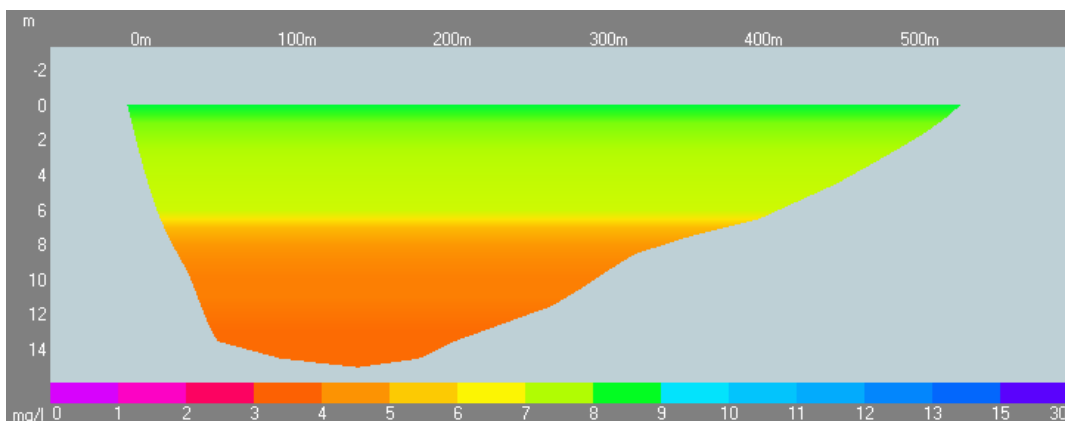
Graf 16: Množství kyslíku v přehradě v červenci (<http://www.pmo.cz/>)



Graf 17: Množství kyslíku v přehradě v srpnu (<http://www.pmo.cz/>)



Graf 18: Množství kyslíku v přehradě v září (<http://www.pmo.cz/>)



Graf 19: Množství kyslíku v přehradě v říjnu (<http://www.pmo.cz/>)

Podle dostupných informací je patrné, že kvalita vody se od roku 2008 zlepšila. Lze také konstatovat, že zlepšená kvalita zůstala i v roce 2016. Voda byla vhodná i pro koupání. Na nádrži se také objevili raci, což je další důkaz, že je dobrá kvalita vody. Kosour (2016) ovšem uvádí, že vyhovujícího stavu vody je dosaženo pomocí technických a chemických metod, a pokud by se přestaly tyto metody využívat, vrátila by se nádrž do původního stavu, který byl nevyhovující. Problém totiž způsobuje

znečištění, které stále přichází do nádrže z povodí, důležité jsou především vysoké koncentrace fosforu. Hlavními zdroji znečištění jsou nedostatečně čištěné i nečištěné bodové zdroje, dále produkční rybniční soustavy a dalším zdrojem je také zemědělství.

Z ústního sdělení Romana Sládka (2017) jsem zjistila, že nyní stojí každoročně provoz opatření na nádrži (aerace, srážení fosforu) asi 8 milionů Kč. Díky tomuto finančnímu vkladu je možné koupání v přehradě. To není výhodné jen pro občany, kteří se jezdí na přehradu koupat, ale i pro hotely, ubytovny, kempy, restaurace atd. v okolí přehrady. Proto lze tvrdit, že se tato investice vyplatí.

Jeden z pohledů na tuto problematiku je, že je výhodnější investovat každoročně 8 milionů Kč, než dělat opatření v povodí. Ke snížení znečištění by mohla pomoci opatření, kterými jsou například odkanalizování, budování čistíren odpadních vod, opatřování ČOV technologiemi na srážení fosforu, budování protierozních projektů či stavby záchytných mokřadů. Tato opatření by byla velmi nákladná. Navíc by se fosfor do vody stejně dostal, například prostřednictvím zemědělství nebo černých přítoků. Na přítoku do přehrady se navíc fosfor sráží jen část roku, zatímco čistírny vybavené technologiemi pro srážení, musí srážet fosfor neustále. Na některých tocích se budují sedimentační nádrže. Aby se nedostaly živiny do nádrže, jsou tyto nádrže bagrovány. Problém je ovšem v tom, že když se živiny zachytí v nádrži a přijde povodeň, živiny se stejně dostanou dál do toku a poté až k nádrži (osobní sdělení Romana Sládka 2017).

Pokud se na danou problematiku podívám z jiného pohledu, je dobré, že díky srážení fosforu je možné využívat přehradu k rekreaci. Pokud se ale zaměřím na vodní toky nad přehradou, je v nich kvalita vody nevyhovující. Proto by opatření v povodí byla vhodnější, protože by se zlepšila kvalita vody i ve vodních tocích nad přehradou. Problém ovšem je, jak jsem již zmínila, že tyto opatření by nejspíše nezamezily vnikání veškerého fosforu do vodních toků. Do přehrady by se mohlo opět dostávat větší množství fosforu a docházelo by opět k většímu rozvoji sinic a voda by mohla být nevhodná ke koupání.

Jako vhodná cesta by mohla tedy být společná opatření v povodí i na nádrži. Zlepšila by se tak kvalita vody ve vodních tocích nad nádrží a v nádrži by zůstala dostatečně kvalitní voda i pro rekreační účely. Ovšem taková varianta by byla ekonomicky mnohem náročnější než výše popsané možnosti.

9 ZÁVĚR

Proti sinicím je důležité bojovat, protože masový rozvoj sinic a produkce jejich toxinů zhoršuje ekologickou stabilitu nádrže, snižuje biodiverzitu vodního ekosystému, mění věkovou a druhovou strukturu fytoplanktonu, zooplanktonu, přirozenou produkci ryb a obojživelníků. Dále může dojít až k tomu, že v nádrži nejsou žádné vodní rostliny. V neposlední řadě také sinice ovlivňují rekreační využití nádrže (Maršálek 2009).

Na Brněnské údolní nádrži se v rámci projektu Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži využívala technická a chemická opatření proti masovému rozvoji sinic. V přípravné fázi to bylo vápnění obnaženého dna, s cílem mineralizovat živiny uložené v sedimentech. Dále lze mezi hlavní opatření uvést využití aeračních věží a srážení fosforu na přítoku. Pomocí aerace dochází k okysličení celého vodního sloupce. Srážením fosforu se částečně zabrání, aby fosfor, který je hlavní živinou pro sinice, vnikal do přehrady. Tato opatření musí být využívána každoročně. V opačném případě by se kvalita vody vrátila do původního nevhodného stavu, protože je stále vysoké množství fosforu, které do nádrže přitéká.

I když podle zjištěných informací byla opatření, která se využívala v boji proti vodnímu květu účinná, je nutno mít na paměti, že každá vodní nádrž je jiná, a proto by nebylo účinné využívat na všech nádržích stejná opatření ve stejném rozsahu a množství. Vždy je nezbytně nutné uskutečnit před aplikací průzkum, podle kterého se určí vhodné metody pro danou nádrž. V neposlední řadě je nutné brát v úvahu, že tyto metody jsou značně finančně nákladné. Jako vhodná alternativa by mohla být opatření v povodí. K realizaci těchto opatření může pomoci seznam prioritních lokalit, které jsou důležitými zdroji fosforu, a na které mohou být směřována další opatření a projekty. Ovšem tato opatření by byla také nákladná a s největší pravděpodobností by se stejně nepodařilo zamezit produkci veškerého fosforu. Mohlo by poté opět docházet k masovému rozvoji sinic. Podle Maršálka (2010) je nezbytně nutné realizovat průzkum zdrojů biomasy sinic v povodí nad nádrží, protože nejen externí zdroje fosforu, ale také externí zdroje sinic z povodí mohou výsledky projektu ničit. Vždy je ale nutné vzít v úvahu, že veškerá opatření jsou účinná jen jako celek, tedy soubor opatření v povodí nad nádrží a v nádrži vlastní, která se navzájem doplňují a podporují.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ASIO SPOL. S R.O., 2011. Čištění Brněnské údolní nádrže [online]. [vid. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/>

BRNĚNSKÝ DENÍK, 2015. Čistější voda v Brněnské přehradě? Pomůže nová sedimentační nádrž na Kuřimce [online] [vid. 2017-02-26]. Dostupné z: http://brnensky.denik.cz/zpravy_region/cistejsi-voda-v-brnenske-prehrade-pomuze-nova-sedimentacni-nadrz-na-kurimce-2015.html

CENTRUM PRO CYANOBAKTERIE A JEJICH TOXINY, 2005a. Co jsou sinice [online] [vid. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.sinice.cz/index.php?pg=o-sinicich>

CENTRUM PRO CYANOBAKTERIE A JEJICH TOXINY, 2005b. Fytoplankton a jeho vlastnosti [online] [vid. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://www.sinice.cz/index.php?pg=o-sinicich--o-rasach-a-sinicich--fytoplankton>

CENTRUM PRO CYANOBAKTERIE A JEJICH TOXINY, 2005c. Je bezpečné koupat se ve vodě se sinicemi? [online] [vid. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.sinice.cz/index.php?pg=o-sinicich--toxiny--nebezpeci-koupani>

CENTRUM PRO CYANOBAKTERIE A JEJICH TOXINY, 2005d. Možnosti jednotlivce proti vodnímu květu. Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny [online] [vid. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://www.sinice.cz/index.php?pg=o-sinicich--vodni-kvet--verejnost-proti-vk>

CENTRUM PRO CYANOBAKTERIE A JEJICH TOXINY, 2005e. Technologie proti vodnímu květu. Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny [online] [vid. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.sinice.cz/index.php?pg=o-sinicich--vodni-kvet--technologie-proti-vk>

CENTRUM PRO CYANOBAKTERIE A JEJICH TOXINY, 2005f. Toxiny sinic. Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny [online] [vid. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.sinice.cz/index.php?pg=o-sinicich--toxiny>

CULEK, Martin, 1996. Biogeografické členění České republiky. Praha: Enigma. ISBN 978-80-85368-80-2.

ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD, 2016. Statistická ročenka České republiky 2016. ISBN 978-80-250-2726-4.

GARDAVSKÁ, Zuzana, Stanislav RYŠAVÝ a Roman HANÁK, 2012. Bilanční model povodí VN Brno. ŘÍHOVÁ-AMBROŽOVÁ, J., VESELÁ J., *Water Supply Biology*. 60–65.

HETEŠA, Jiří a Eva KOČKOVÁ, 1998. *Hydrochemie*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7157-289-3.

HUBAČÍKOVÁ, Věra, 2015. *Vodní hospodářství*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-239-7.

KOČÍ, Vladimír, Jiří BURKHARD a Blahoslav MARŠÁLEK, 2000. Eutrofizace na přelomu tisíciletí. *Eutrofizace 2000*. 3–13.

KOORDINAČNÍ STŘEDISKO PRO REZORTNÍ INFORMAČNÍ SYSTÉMY, 2016. *Koupací vody* [online] [vid. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.koupacivody.cz/>

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

- KOPP, Radovan, Klára HILSCEROVÁ a Eva POŠTULKOVÁ, 2015. *Základy vodní ekotoxikologie*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-334-9.
- KOSOUR, Dušan, 2016. *Brněnská přehrada* [online]. 8. září 2016. [vid. 2017-01-26]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/128541/VN_Brnenska_pehrada.pdf
- MARŠÁLEK, Blahoslav, 2005. Co jsou cyanobakterie / sinice? *Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny* [online] [vid. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.sinice.cz/res/file/popular/cyanobakterie_obecne.pdf
- MARŠÁLEK, Blahoslav, 2009. Obnova ekologické stability na Brněnské přehradě. *Universitas-revue Masarykovy univerzity* [online]. (2) [vid. 2017-03-10]. Dostupné z: <https://journals.muni.cz/universitas/article/view/565>
- MARŠÁLEK, Blahoslav, 2010. *Analýza hodnotící dosavadní realizaci projektu "Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži"* [online] [vid. 2017-03-15]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=anal%C3%BDza+hodnot%C3%ADc%C3%AD+dosavadn%C3%AD+realizaci&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b&gfe_rd=cr&ei=LkXJWOvxD63i8AeBhaTIBg
- MORONGA, Jan, 2011. Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži. In: [online]. B.m. 7. 6. [vid. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/media/tiskove-zpravy/z-brnenske-nadrze-zmizelo-od-roku-2008-devadesat-procent-sinic/>
- OPPELTOVÁ, Petra, 2015. *Ochrana vodních zdrojů*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-218-2.
- PALČÍK, Jiří, 2012. Omezení rozvoje sinic na vodních nádržích. In: . Brno: ASIO, spol. s r.o.
- PITTER, Pavel, 2009. *Hydrochemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha. ISBN 978-80-7080-701-9.
- POVODÍ MORAVY, 2010. *Povodí Moravy* [online] [vid. 2017-01-27]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/>
- POVODÍ MORAVY, S.P., 2010. *INFORMAČNÍ ZPRÁVA PROJEKTU „REALIZACE OPATŘENÍ NA BRNĚNSKÉ ÚDOLNÍ NÁDRŽI“ - Povodí Moravy* [online] [vid. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/projekty/cisteni-brnenske-nadrze/informacni-zprava-projektu-realizace-opatreni-na-brnenske-udolni-nadrzi-x/>
- POVODÍ MORAVY, S.P., 2011. *Sinice se na Brněnské přehradě nepřemnožily ani v horkých dnech* [online] [vid. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/projekty/rekonstrukce-a-cisteni-vodnich-nadrzi/kvalita-vody-na-brnenske-prehrade-je-stale-dobra-sinice-se-nerozmnozily-ani-v-horkych-dnech/>
- POVODÍ MORAVY, S.P., 2013a. *Na Brněnské přehradě se po vedrech snížila průhlednost vody* [online] [vid. 2017-02-26]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/projekty/cisteni-brnenske-nadrze/na-brnenske-prehrade-se-po-vedrech-snizila-pruhlednost-vody/>
- POVODÍ MORAVY, S.P., 2013b. *Projekt čištění Brněnské přehrady má před sebou druhou etapu* [online] [vid. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/media/tiskove-zpravy/projekt-cisteni-brnenske-prehrady-ma-pred-sebou-druhou-etapu/>
- POVODÍ MORAVY, S.P., 2015. *Kvalitu vody v Brněnské přehradě zlepší sedimentační nádrž* [online] [vid. 2017-02-26]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/media/aktuality/kvalitu-vody-v-brnenske-prehrade-zlepsi-sedimentacni-nadrz/>
- SLÁDEK, Roman, 2016. Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži. In: . ústní prezentace. Brno.
- SPURNÝ, Petr, Jan MAREŠ, Radovan KOPP a Pavla ŘEZNÍČKOVÁ, 2015. *Hydrobiologie a rybářství*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-345-5.

TŮMA, Antonín, 2011. Opatření k omezení vnosu živin do VD Brno. In: [online]. Brno. [vid. 2017-02-19]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/projekty/cisteni-brnenske-nadrze/prezentace-ze-seminare-8-cervna-2011-zustane-prygl-cisty/>

Další zdroje a mapové podklady:

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., v platném znění o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

Sládek, Roman. Osobní sdělení, v Brně dne 3. 4. 2017.

Česká geologická služba (<http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>)

Český hydrometeorologický ústav (<http://portal.chmi.cz/>)

Geoportál ČÚZK (<http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>)

Hydroekologický informační systém VÚV TGM (<http://heis.vuv.cz/>)

Krajská hygienická stanice (<http://www.khsbrno.cz/>)

Národní geoportál INSPIRE (<https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>)

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Obsah veškerého rozpuštěného fosforu v povrchových vodách ČR v letech 2007-2010 (<http://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/eutrofizace-a-acidifikace-zivotniho-prostredi/>)

Obr. 2: Kvalita koupacích vod (<http://www.koupacivody.cz>)

Obr. 3: Mapa povodí mezi nádržemi Brno a Vír (<http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>)

Obr. 4: Správa Povodí Moravy (<http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/zavod-dyje/>)

Obr. 5: Zranitelné oblasti (vlastní úprava mapy <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>)

Obr. 6: Geologická mapa (http://mapy.geology.cz/geocr_50/)

Obr. 7: Půdní poměry v okolí nádrže (<http://mapy.geology.cz/pudy/>)

Obr. 8: Chráněná území (vlastní úprava mapy z <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>)

Obr. 9: Riziko erozního smyvu v současných klimatických podmínkách (<http://heis.vuv.cz/>)

Obr. 10: Monitorovací body (<http://www.pmo.cz/portal/ISVS/jvp/cz/default.htm>)

Obr. 11: Profil vod ke koupání - VN Brněnská přehrada (Kosour 2016)

Obr. 12: Pohled na vodní hladinu, srpen 2016 (zdroj vlastní)

Obr. 13: Vodní hladina, srpen 2016 (zdroj vlastní)

Obr. 14: Přehradní hráz, duben 2017 (zdroj vlastní)

Obr. 15: Znečištění u přehradní hráze, duben 2017 (zdroj vlastní)

Obr. 16: Řeka Svratka, odtok, duben 2017 (zdroj vlastní)

Obr. 17: Pohled na vodní hladinu, duben 2017 (zdroj vlastní)

Obr. 18: Přítok do přehrady, duben 2017 (zdroj vlastní)

- Obr. 19: Lesní porost a přítok do přehrady, duben 2017 (zdroj vlastní)
- Obr. 20: Turistické trasy v okolí přehrady, duben 2017 (zdroj vlastní)
- Obr. 21: Aerační věže (<http://www.asio.cz/cz/aeracni-veze>)
- Obr. 22: Plavidlo pro separaci částic biomasy (<http://www.asio.cz/cz/plavidlo-pro-separaci-častic-biomasy>)
- Obr. 23: Přefiltrované sinice (zdroj firma Asio spol. s r. o.)
- Obr. 24: Aplikační plavidlo (<http://www.asio.cz/cz/aplikacni-plavidlo>)
- Obr. 25: ČOV v povodí (Tůma 2011)
- Obr. 26: Snížená hladina přehrady s plavidly, rok 2009 (zdroj vlastní)
- Obr. 27: Snížení hladiny, rok 2009 (zdroj vlastní)
- Obr. 28: Obnažené dno, rok 2009 (zdroj vlastní)
- Obr. 29: Rozmístění aeračních věží (20 a strojoven) na Brněnské přehradě, 2010 (www.asio.cz)

12 SEZNAM TABULEK

- Tab. 1: Čistírny odpadních vod pro veřejnou potřebu v ČR podle Českého statistického úřadu (<https://www.czso.cz/>)
- Tab. 2: Klasifikace vod dle trofie, průměrné hodnoty (Kopp 2015)
- Tab. 3: Územní teploty v roce 2016 (<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>)
- Tab. 4: Územní srážky v roce 2016 (<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>)
- Tab. 5: Produkce fosforu v povodí (Tůma 2011)
- Tab. 6: Produkce fosforu v povodí podle velikosti obce (Tůma 2011)
- Tab. 7: Celkové vstupy fosforu v řešeném povodí (Gardavská et al. 2012)
- Tab. 8: Měření průhlednosti (Moronga 2011)
- Tab. 9: Množství sinic v 1 ml vody (údaj ze dne 25. 8. 2011) (Povodí Moravy, s.p. 2011)
- Tab. 10: Kvalita vody 2016 – Rakovec (http://www.khsbrno.cz/katalog/koupaliste/brno_rakovec.php)
- Tab. 11: Kvalita vody v letech 2005-2015 (vlastní úprava dat Krajské hygienické stanice Brno)

13 SEZNAM GRAFŮ

- Graf 1: Vertikální stratifikace fosforu na Brněnské přehradě v červenci (<http://www.pmo.cz/>)
- Graf 2: Největší producenti fosforu nad Brněnskou přehradou (Asio spol. s r.o. 2011)
- Graf 3: Vývoj celkového množství fosforu v toku (Gardavská et al. 2012)
- Graf 4: Množství celkového fosforu vstupujícího do Svratky z přítoků a zdrojů přímo na řece Svratce (Tůma 2011)
- Graf 5: Množství buněk sinic v sedimentu 0-5 cm, profil hráz, odběry duben 2006-2012 (Sládek 2016)
- Graf 6: Množství buněk sinic v sedimentu 0-5 cm, Profil hráz, duben- říjen 2009 (Moronga 2011)
- Graf 7: Množství buněk sinic v sedimentu 0-5 cm, Profil hráz, odběry leden- září 2010 (Moronga 2011)
- Graf 8: Rozpuštěný fosfor v přehradě v roce 2012 (Sládek 2016)
- Graf 9: Průměrné hodnoty koncentrace kyslíku a teploty v profilu Střed (Moronga 2011)
- Graf 10: Průměrné hodnoty koncentrace kyslíku a teploty v profilu Sokolské koupaliště (Moronga 2011)

Graf 11: Průměrné hodnoty koncentrace kyslíku a teploty v profilu Osada (Moronga 2011)

Graf 12: Teplota v přehradě v červenci 2016 (<http://www.pmo.cz/>)

Graf 13: Množství kyslíku v přehradě v dubnu (<http://www.pmo.cz/>)

Graf 14: Množství kyslíku v přehradě v květnu (<http://www.pmo.cz/>)

Graf 15: Množství kyslíku v přehradě v červnu (<http://www.pmo.cz/>)

Graf 16: Množství kyslíku v přehradě v červenci (<http://www.pmo.cz/>)

Graf 17: Množství kyslíku v přehradě v srpnu (<http://www.pmo.cz/>)

Graf 18: Množství kyslíku v přehradě v září (<http://www.pmo.cz/>)

Graf 19: Množství kyslíku v přehradě v říjnu (<http://www.pmo.cz/>)

14 SEZNAM ZKRATEK

ČOV- čistírna odpadních vod

NEK- norma environmentální kvality

NV- nařízení vlády