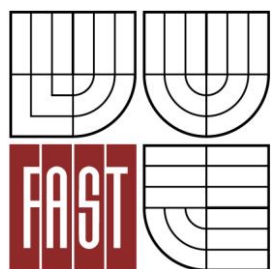




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

EUTROFIZACE VODNÍCH NÁDRŽÍ

EUTROPHICATION OF WATER RESERVOIRS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN KUKOL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RENATA BIELA, Ph.D.

BRNO 2013




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jan Kukol
Název	Eutrofizace vodních nádrží
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Renata Biela, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012


.....
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] ABID A. ANSARI; SARVAJEET SINGH GILL; GUY R. LANZA; WALTER RAST. Eutrophication: causes, consequences and control. 1st edition. Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2010. 394 p. ISBN 978-90-481-9624-1.
- [2] HLAVÍNEK, P.; ŘÍHA, J. Jakost vody v povodí. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 209 s. ISBN 80-214-2815-5.
- [3] LELLÁK, J.; KUBÍČEK, F. Hydrobiologie. 1. vydání. Praha: Vydavatelství Karolinum, 1992. 257 s. ISBN 80-7066-530-0.
- [4] Odborné články ze sborníků konferencí „Pitná voda z údolních nádrží“ a „Aktuální otázky vodárenské biologie“
- [5] Odborné časopisy (Slovak, Vodní hospodářství)
- [6] Využití internetu k získání odborných informací k tématu

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Bakalářská práce bude v první části popisovat problematiku eutrofizace na vodních nádržích v České republice, v druhé části bude zaměřena na konkrétní vodní nádrž – popis problému eutrofizace nádrže, nápravná opatření, předpokládaný vývoj.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Renata Biela, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt:

Práce se v první části zaměřuje na obecné vysvětlení eutrofizace, její příčiny a následky. Stručně se zmiňuje o možných řešeních eutrofizace a přidává několik příkladů eutrofních nádrží v ČR. V druhé části se podrobně zabývá probíhajícími úpravami na VN Brno a v závěru porovnává účinnost provedených opatření.

Klíčová slova:

eutrofizace, trofie, fosfor, dusík, vodní nádrž Brno, aerace, sinice

Abstract:

The first part of this thesis is focused on general explanation of eutrophication, its causes and consequences. The possible solutions of eutrophication are discussed briefly and a few examples of eutrophic reservoirs in the Czech Republic are added. The second part of this thesis is focused on ongoing modifications of water reservoir Brno and finally the effectiveness of measures are being compared.

Keywords:

eutrophication, trophic conditions, phosphorus, nitrogen, water reservoir Brno, aeration, cyanobacteria

Bibliografická citace VŠKP

KUKOL, Jan. *Eutrofizace vodních nádrží*. Brno, 2013. 50 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22.5. 2013

.....
Jan Kukol

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucí práce Ing. Renatě Biele, Ph.D. za její ochotu a čas, který mi věnovala při řešení dané problematiky. A dále chci poděkovat Ing. Janu Morongovi a panu Petru Hirschovi za poskytnutí údajů o měření na VN Brno.

Obsah

1	ÚVOD	3
2	SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ	4
2.1	Eutrofizace v legislativě	5
2.2	Příčiny eutrofizace.....	6
2.2.1	Dusík	7
2.2.2	Fosfor	8
2.3	Následky eutrofizace ve vodě.....	9
2.4	Možná řešení eutrofizace	10
2.4.1	Provzdušňování (aerace)	11
2.4.2	Srážení fosforu	11
2.4.3	Ošetření sedimentu.....	12
2.4.4	Odstraňování bahna vybagrováním	13
3	EUTROFIZACE NA VODNÍCH NÁDRŽÍCH V ČR	15
3.1	Vodní dílo Orlík.....	15
3.2	Vodní dílo Lipno	17
3.3	Vodní dílo Plumlov	18
4	EUTROFIZACE VE SVĚTĚ	20
5	EUTROFIZACE VODNÍ NÁDRŽE BRNO	23
5.1	Základní charakteristika vodního díla	23
5.2	Popis eutrofizace.....	24
5.3	Opatření pro potlačení eutrofizace	25
5.3.1	Popis jednotlivých opatření na Brněnské přehradě	26
5.3.2	Průběh opatření	32
5.4	Vynaložené náklady	36
5.5	Zhodnocení opatření aplikovaných proti eutrofizaci VD Brno	36
6	ZÁVĚR	43

POUŽITÁ LITERATURA.....	44
SEZNAM TABULEK	46
SEZNAM OBRÁZKŮ	47
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	48
SUMMARY	50

1 ÚVOD

Eutrofizace je definována jako proces zvyšování produkce organické hmoty ve vodě, ke které dochází především na základě zvýšeného přísunu živin. S postupným nárůstem frekvence lokalit se zjevnou nadprodukcí živin přechází definice v devadesátých letech do podoby eutrofizace, narušení ekologických procesů následkem přebytku živin v prostředí.

Eutrofizace je obecně vnímána jako nežádoucí degradace životního prostředí s následkem zhoršení kvality vody, čímž dochází k nemožnosti prospěšného využití vod nejen k rekreaci. Dochází také v mnoha případech k významným ekonomickým ztrátám. Tento problém se zdaleka netýká pouze České republiky nebo Evropy. Jedná se o celosvětový problém, který ohrožuje nejen vodní nádrže či rybníky, ale také některé moře i světové oceány.

Pravděpodobně nejcitlivějším dopadem eutrofizace pro veřejnost je její vliv na rekreaci. V důsledku výrazného zhoršení kvality vody dochází k opouštění dříve atraktivních rekreačních míst. Mnohem závažnějším problémem je ovšem nemožnost využití eutrofizované vody pro zásobu obyvatelstva pitnou vodou. Respektive se stává úprava takové vody velice složitá a neudržitelně ekonomicky náročná. A v neposlední řadě způsobuje eutrofizace závažné ekologické problémy. Dochází k vymírání některých druhů a obecně ke snížení druhové rozmanitosti v daném biotopu, což může mít za následek zhroucení celého místního ekosystému. [6]

2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Trofie neboli úživnost je vlastnost vody. Označuje obsah živin (chemických látek) v ní. Vody se rozlišují podle obsahu živných látek na základní tři druhy:

- Oligotrofní vody obsahují málo živin, a proto jsou velmi chudé na množství organismů, přestože druhová rozmanitost bývá veliká. Tyto vody jsou průzračné s viditelností i více než 3m.
- Mezotrofní vody obsahují střední obsah živin.
- Eutrofní vody obsahují velké množství živin. Voda je méně průhledná.

Podrobné rozdělení stupňů trofie je uvedeno v tabulce 1

Tab. 2.1 Stupně trofie

	stupeň trofie	trofický potenciál Mp [mgI-1]
1	ultraoligotrofní (velmi slabě úživné až neúživné vody)	<5
2	oligotrofní (slabě úživné)	5-50
3	mesotrofní (středně úživné)	50-200
4	eutrofní (silně úživné)	200-500
5	polytrofní (velmi silně úživné)	500-1000
6	hypertrofní (vysoce úživné)	> 1000

Pozn.: Trofický potenciál = ukazatel obsahu využitelných živin ve vodě.



Obr. 2.1 Eutrofní voda v Brněnské přehradě [5]

Slovo eutrofizace pochází z řečtiny, vzniklo složením slova eu (hojný) a slova trophi (potrava nebo živná látka). Jedná se tedy o proces, při němž dochází k přesycování půdy a povrchových vod minerálními živinami, především dusíkem a fosforem. Jedná se o přirozený jev, který v důsledku lidské činnosti překročil v některých ekosystémech únosnou mez. Při přirozené eutrofizaci dochází k vyluhování dusíku a fosforu z půdy a rozkladu odumřelých živočichů. V důsledku lidské činnosti dochází k obohacování povrchových vod živinami zejména splachem z polí a dále vypouštěním splaškových vod do toků. Zvýšeným obsahem těchto živin byl umožněn rychlý nárůst zejména sinic a bakterií žijících se dusíkem a fosforem. Přemnožením těchto organismů dochází nejdříve k úbytku kyslíku ve vodách, tyto organismy po spotřebování kyslíku umírají a posmrtně jejich těla uvolňují další toxiny jedovaté pro ostatní živočichy. V důsledku těchto změn dochází k úhynu vyšších forem živočichů a následnému zhroucení celého místního ekosystému. Celý vodní ekosystém se stává téměř mrtvým a nevhodným pro život vyšší formy života. Voda se stává nevyužitelná i pro člověka, jelikož čištění takto znečištěné vody se stává zejména finančně neuskutečnitelné. Jedná se tedy o komplexní problém, do kterého jsou zataženy různé druhy lidské činnosti, zdánlivě spolu nesouvisející. Je potřeba důsledněji dbát na kvalitu odpadních vod vypouštěných do řek například výstavbou nových, modernějších, čistíren odpadních vod. Podporovat vývoj pracích prostředků s minimálním obsahem fosforu (bezfosfátové) a zavést mnohem šetrnější způsoby zemědělského hnojení polí. Pokud se nepodaří zavést tyto opatření, není možné účinně bojovat s eutrofizací. Veškeré snahy o vyčištění ekosystému budou mít v nejlepším případě krátkodobou účinnost a budou se muset pravidelně opakovat, což není dlouhodobě udržitelný stav.

2.1 EUTROFIZACE V LEGISLATIVĚ

Problematiku snižování znečištění vod dusičnany ze zemědělských zdrojů upravuje nařízení vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech. Uvedené nařízení naplňuje nitrátovou směrnicí Rady 676/1991/EHS. Směrnice zahrnuje následující požadavky: vymezit zranitelné oblasti, přijmout zásady správné zemědělské praxe a sestavit akční programy pro vymezené zranitelné oblasti.

Snižováním a sledováním znečištění se dále zabývá zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů.

Problematiku splašků řeší směrnice Rady 91/271/EHS, o čištění městských odpadních vod. Celá ČR byla vymezena jako citlivá oblast a požadavky jsou kladeny hlavně na rekonstrukci a budování kanalizací a čistíren odpadních vod. Další právní předpis EU

směrnice vodní politiky 60/2000/EU je do české legislativy implementován v zákoně č. 254/2001 Sb., o vodách. Zákon definuje např. ochranná pásma vodních zdrojů, citlivé a zranitelné oblasti atd.

2.2 PŘÍČINY EUTROFIZACE

Na celkové eutrofizaci prostředí se podílí přirozená a kulturní eutrofizace. Přirozená eutrofizace znamená obohacování živinami prostřednictvím přírodních procesů, např. hromadění živin v dolních pásmech vodních toků. S rozvojem průmyslu a nástupem jeho produktů začala nabývat na významu kulturní eutrofizace, která dnes zcela převažuje. Kulturní eutrofizace na rozdíl od přirozené vzniká vlivem činnosti člověka, tím že narušuje přirozený koloběh dusíku a fosforu. Následky eutrofizace jsou velmi často zřejmé hned, například v podobě zarůstání vod vodním květem, ale někdy mají podobu skrytou a jsou patrné až po několika letech. Vysoký obsah živin může mít dalekosáhlé negativní dopady na přírodní ekosystémy, např. existenci čtyř z deseti českých přírodních rezervací, které byly klasifikovány jako mokřady mezinárodního významu, ohrožuje eutrofizace. Dokonce i v některých mořích se může zvýšený vstup živin projevit. Zranitelné jsou zejména pobřežní oblasti a uzavřené vodní masy jako Středozemní, Černé nebo Baltské moře. Eutrofizace Baltského moře způsobila, že jeho velkou část dvakrát zamořil vodní květ, který tvorbou toxických látek ohrožoval mořskou faunu.

K narušení přirozeného koloběhu fosforu a dusíku a k následnému hromadění těchto prvků v podzemních a povrchových vodách dochází zejména kvůli vypouštění nevyčištěných splašků a kvůli vyplavování nadbytečných živin ze suchozemského prostředí. Naprostá většina velkých čistíren odpadních vod v ČR není vybavena III. stupněm čištění, při kterém dochází k odstraňování anorganického fosforu. Zpráva integrovaného registru znečištění za rok 2004 uvádí, že 44,5% hlášeného znečištění vod fosforem pochází z kategorie nakládání s odpady, tedy ze splašků, které obsahují množství fosfátů z pracích a mycích prostředků. Údaje ze zprávy o Dunaji z roku 2005 říkají, že na celkovém umělém vstupu dusíku do Dunaje se podílí především zemědělství (39 %) a zdroje ze sídel (27 %). V případě fosforu připadá 53 % na zdroje ze sídel a 32 % na zemědělství. K vyplavování dusíku ze zemědělských půd dochází při vysoké hladině dusičnanových iontů spolu s dostatečným vsakem vody, který ionty přemístí mimo kořeny rostlin. K tomu přistupují další ztráty erozí podobně jako v případě fosforečnanových iontů. Vymývání živin ze suchozemských ekosystémů do vod podporuje také odlesňování. Když odstraníme dřeviny, zbývající rostliny nestačí dusík z půdy odčerpávat a vázat ve svých tělech. Proto se odtok dusíku nebo únik do atmosféry zvyšuje. Podíl na celkovém znečištění vod živinami můžeme přičíst na vrub i ovlivnění vodního koloběhu odstraňováním vegetace a

odvodňováním. Na eutrofizaci vod se v neposlední řadě podílí dokrmování ryb v chovných rybnících. [1]

2.2.1 Dusík

V rámci eutrofizace nás budou zajímat minerální živiny, které čerpají zelené rostliny, sinice a některé bakterie, aby z nich prostřednictvím fotosyntézy vyrobily živiny organické. Zejména nám půjde o dusík a fosfor, neboť právě tyto prvky přicházejí do prostředí vlivem lidské činnosti v nadměrném množství. Jejich přirozené koloběhy jsou tak narušeny.

Dusík (chemická značka N) patří mezi základní biogenní prvky, je čtvrtou nejhojnější složkou živé hmoty. Hraje nezastupitelnou roli při tvorbě jednoho ze základních stavebních kamenů všeho živého - bílkovin. Řada organismů, včetně všech živočichů, neumí přijímat dusík ve formě anorganických sloučenin, musí jej získávat zprostředkovaně z organických sloučenin. Tento organický dusík vyrábějí např. rostliny.

Zdroje dusíku

Největším světovým zásobníkem dusíku je zemská atmosféra. Její nejnižší vrstva troposféra obsahuje 78 % dusíku, který se zde vyskytuje převážně v molekulární formě (N₂). V zemské kůře a ve vodách je ho na rozdíl od ovzduší nepoměrně méně. V biosféře se vyskytuje coby součást organických látek v tělech organismů, především v bílkovinách.

Koloběh dusíku

Nejdůležitější část koloběhu dusíku představuje atmosférická fáze. Odtud dusík přechází do půdy a do vody zásluhou některých bakterií, sinic a hub, které umí vázat dusík ze vzduchu.

V jednotlivých ekosystémech se pak odehrává tzv. vnitřní cyklus, kdy dusík koluje uvnitř jednoho ekosystému mezi zjednodušeně řečeno třemi úrovněmi. Rostliny přijmou z půdy anorganický dusík rozpuštěný ve vodě v podobě dusičnanových nebo amonných iontů a zabudují jej do organických látek, býložravci konzumují rostliny a predátoři v rámci potravního řetězce býložravce. Výkaly a uhynulá těla organismů rozkládají bakterie ve spolupráci s dalšími půdními organismy a připravují tak anorganický dusík pro rostliny.

V průběhu rozkladných dějů, např. během procesů nitrifikace a denitrifikace, dochází k uvolňování dusíku zpátky do atmosféry. Jakmile se z odumřelých těl nebo z výkalů uvolní amoniak, přichází na řadu nitrifikace, během níž nitrifikační bakterie oxidují amoniak na dusičnany. Denitrifikací se označuje proces, kdy denitrifikační bakterie redukují dusičnany na plynné sloučeniny dusíku (N₂, oxidy dusíku), které unikají do ovzduší. Další cestu

dusíku představuje vyplavování ze suchozemských do vodních ekosystémů, v tomto bodě je koloběh výrazně narušen činností člověka. Dusík, který doputuje do moře, se zde v relativně malém množství včleňuje do sedimentů. [1]

2.2.2 Fosfor

Fosfor (chemická značka P) řadíme stejně jako dusík mezi základní biogenní prvky. Podílí se především na tvorbě těch kyselin a sloučenin, které v tělech všech organismů uchovávají chemickou energii. Ani v případě fosforu není řada organismů, člověka nevyjímaje, schopna přijímat anorganickou podobu prvku. Organický fosfor vyrábějí opět rostliny.

Zdroje fosforu

Fosfor je ze všech základních biogenních prvků nejméně hojný. Hlavní zásobník představují horniny a oceánské sedimenty, ve kterých je zastoupen jednou desetinou procenta (0,1 %). Vzduch a voda v přirozeném stavu obsahují velice málo fosforu. Významné procento představuje pouze fosfor vázaný v organismech.

Koloběh fosforu

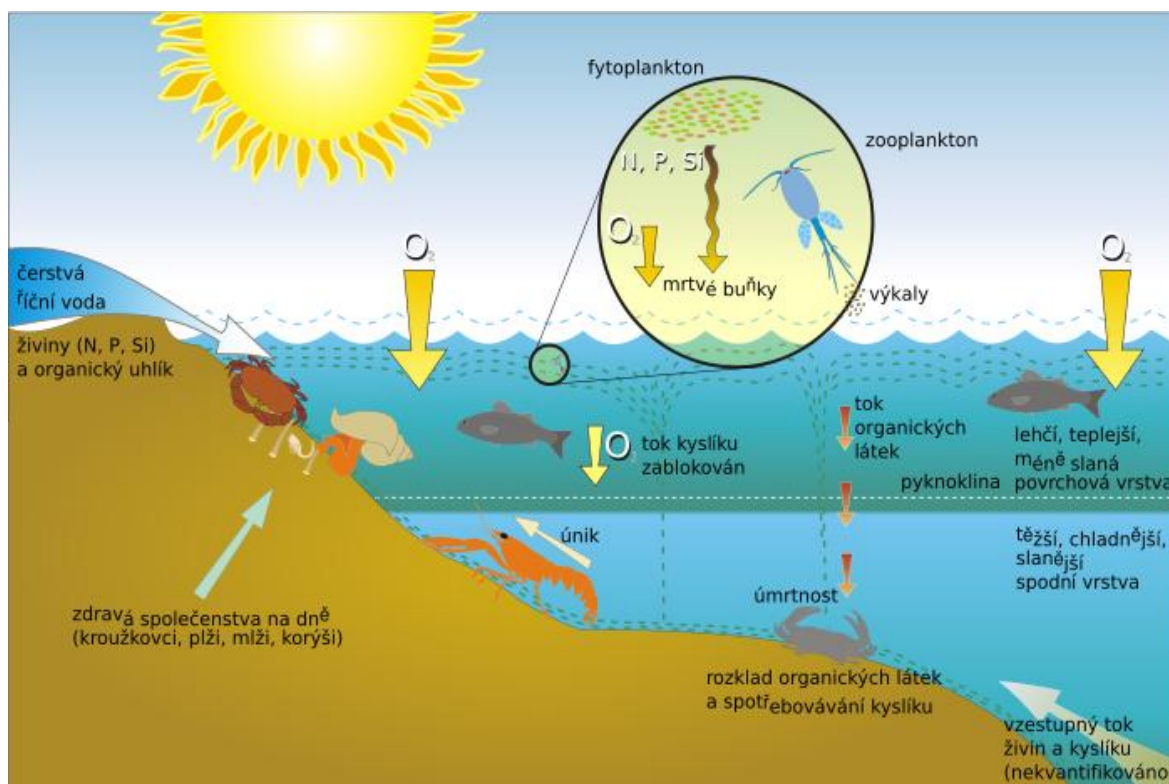
Celkově je v pohybu poměrně málo fosforu, přibližně polovina množství je do koloběhu uvedena činností člověka. Koloběhu fosforu se říká sedimentační, protože anorganický fosfor nakonec vždy opouští pevninu a odchází do oceánů, kde se včleňuje do sedimentů. Tento prvek přichází do ekosystémů v podobě rozpuštěných fosforečnanů, které se uvolňují z hornin.

Fosfor prodělává obdobně jako dusík vnitřní ekosystémový cyklus, který ve zjednodušené podobě vypadá následovně. Rostliny přijmou rozpuštěné fosforečnanové ionty a zabudují je ve svém těle do organických sloučenin. Organicky vázaný fosfor putuje tradiční cestou potravního řetězce až k poslednímu článku, který nakonec uhynie a o rozklad jeho těla se postarají bakterie a další půdní organismy, které tak zpřístupní anorganický fosfor pro rostliny. Část fosforu zůstane vázána v nerozpustných sedimentech. Hlavní měrou se však na koloběhu fosforu v ekosystémech podílí látkový metabolismus organismů. S jejich výkaly se fosfor vrací do prostředí v rozpuštěné formě, kterou jsou rostliny schopny čerpat.

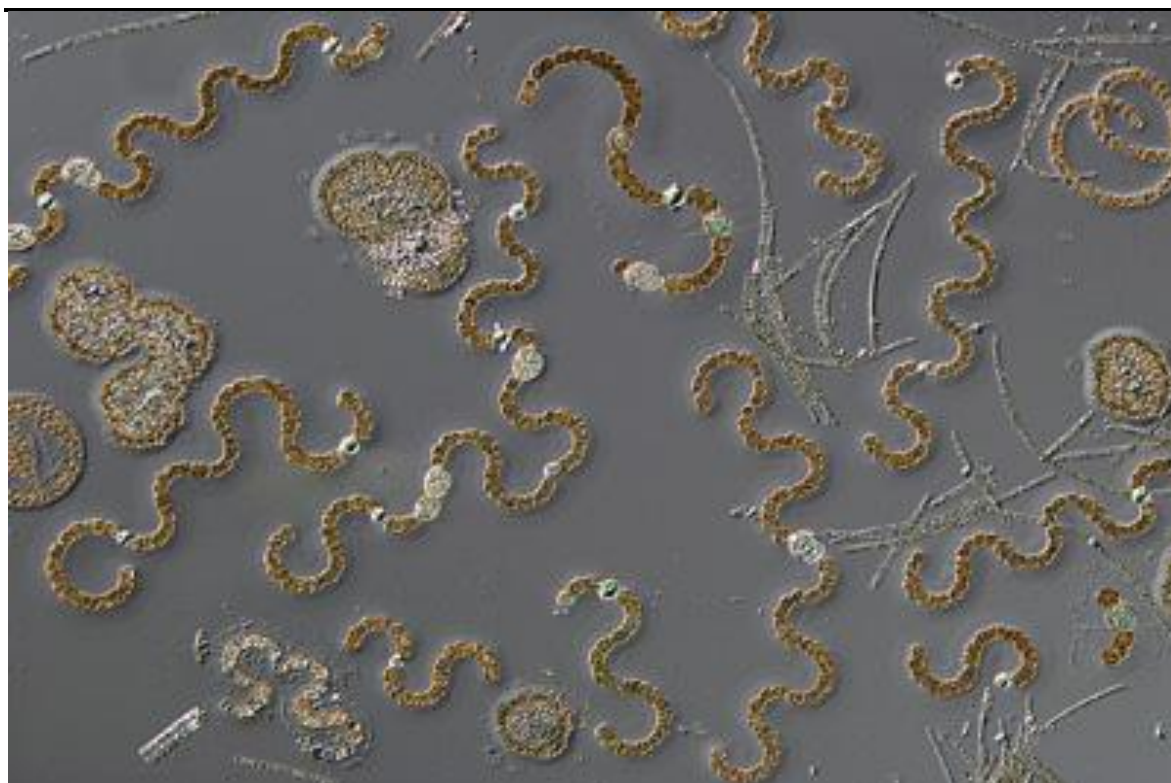
Prvek koluje v suchozemských ekosystémech, dokud jej podzemní voda nebo povrchové splachy neodplaví do vodního prostředí. Po vstupu do vodního toku je odnášen do oceánu, kde se usazuje do sedimentů dna oceánu. Fosfor zabudovaný v oceánských sedimentech se může vrátit do koloběhu při nadzdvížení dna moří a následném zvětrávání hornin. Do přirozeného koloběhu fosforu rušivě zasahuje člověk svou činností. Dvě třetiny množství fosforu, které řeky každoročně odnesou do moří, pochází z lidských aktivit. [1]

2.3 NÁSLEDKY EUTROFIZACE VE VODĚ

Zvýšený přísun fosforu a dusíku do vod se podobně jako v suchozemských ekosystémech projevuje vysokou produktivitou některých organismů na úkor druhové bohatosti a rovnováhy. Zvýšené hladiny živin ve vodách umí nejlépe využít řasy a sinice (fytoplankton), které se rychle množí a rapidně rozšiřují svou populaci. V případě řas dochází k rozvoji vegetačního zákalu, zatímco sinice mají na svědomí vodní květ. Vyšší rostliny jsou konkurenčně vytlačovány a postupně mizí. Časem se začnou vytrácet na nich závislí bezobratlí živočichové a dále obratlovci, kteří se živí bezobratlími. Zanedlouho se v ekosystému začne hromadit ohromná biomasa odumřelých sinic. To zapříčiňuje snížení koncentrace kyslíku, který ve zvýšené míře spotřebovávají bakterie při rozkladu jejich těl (viz Obr. 2.2). Následný výrazný pokles množství kyslíku může vést až k úhynu ryb a bezobratlých. K úhynu organismů však může dojít už v prvotních fázích vodního květu, kdy se sinice intenzivně množí, a to naopak vinou zvýšené koncentrace kyslíku a následného uvolňování toxického amoniaku. Ve vodách postižených vodním květem dochází kromě nedostatku kyslíku také ke zvyšování obsahu železa a manganu, v horším případě k tvorbě sirovodíku a metanu.



Obr. 2.2 Schéma eutrofizace [5]



Obr. 2.3 Vláknnité a koloniální sinice [7]

2.4 MOŽNÁ ŘEŠENÍ EUTROFIZACE

Především je třeba brát v úvahu, že eutrofizace představuje komplexní problém a že prevence je nejlepší recept. Nejvíce se vyplatí předcházet vlastnímu znečišťování dusíkem a fosforem, které eutrofizaci způsobují. Chceme-li zabránit eutrofizaci vodních ploch a rozvoji vodního květu, musíme se poohlédnout zpět do povodí a snížit vstup živin ze všech směrů - tedy omezit vypouštění nevyčištěných splašků, spady z ovzduší a vymývání živin z intenzivně hnojených zemědělských půd. Jedním z kroků pro snížení ztrát dusíku při hnojení minerálními hnojivy je volba vhodného hnojiva. Nově vyvinutá tzv. HPL organominerální hnojiva se vyznačují vysokou přijatelností živin a tím i nízkými ztrátami vyplavením. Jejich používání neznamena omezení zdrojů živin pro rostliny, ale minimalizaci ztrát vstupů. Záleží také na způsobu používání hnojiv. Zónová aplikace hnojiv, např. pod patu při seti nebo radličkami do půdy pro přihnojení, je úspornější než aplikace plošná. A konečně závisí i na způsobu zpracování půdy. Ve svažitém terénu je nezbytné používat protierozní opatření, např. orat kolmo na průběh svahu.

Dodatečné odstraňování fosforu a dusíku je prozatím reálné pouze při čištění odpadních vod na malých čistírnách odpadních vod, velké čistírny naopak fosfor ze splašků většinou neodstraňují. Vedle čistírenských technologií vědci hledají další nové postupy. Objevují se sice přípravky, které mohou dočasně snížit koncentraci dostupného fosforu, jenže tato

druhotná řešení eutrofizace jsou značně finančně náročná a především nepoužitelná v praxi.[1]

2.4.1 Provzdušňování (aerace)

Nedostatek kyslíku způsobený větším přísunem nebo vyšší produkcí organické rozložitelné hmoty může být vyrovnán umělým provzdušňováním. Cílem je zabránění vzniku stratifikace (vytváření vrstev) na rozhraní voda-sediment a zajištění příznivé koncentrace kyslíku ve vodě. V praxi se používají následující 2 metody:

- a) Technika rozptýleného provzdušňování/destratifikace
- b) Provzdušňování hypolimnia bez porušení teplotní stratifikace

Technika rozptýleného provzdušňování/destratifikace

Vhodné použití zejména pro mělké nádrže. Stlačený vzduch se uvolňuje skrze otvory v perforované trubici umístěné na dno nebo těsně nad povrchem dna. Unikající vzduchové bubliny vyvolávají vertikální proudění vody směrem k hladině. K přenosu kyslíku dochází při pohybu bublin vodním sloupcem vzhůru k vodní hladině a při jejich vyublání na hladinu. Vzduch je vháněn kompresorovým zařízením umístěným na břehu jezera.

Provzdušňování hypolimnia bez porušení teplotní stratifikace

Je vhodné pro hluboká jezera s dobře vytvořenou teplotní stratifikací. Ekologické důsledky této metody kolísají podle charakteristiky jezera a zejména pokud ovlivňují koloběh živin. Aerace hypolimnia může a nemusí ovlivnit koncentrace amoniaku a nitrátů.

2.4.2 Srážení fosforu

Snížení dostupnosti fosforu pro primární producenty je možné dosáhnout aplikací látek, které váží fosfor a tím jej inaktivují, přímo do vody. Používání metody srážení fosforu by však mělo být omezeno pouze na ty případy, kdy v rámci obnovy povodí byly již odstraněny všechny významné zdroje přivádějící fosfor do jezera zvnějšku.

Pro tyto účely se používá sloučenin hliníku (síran hlinitý $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) či železa (chlorid železitý FeCl_3), které tvoří relativně stabilní, fosfor vážící sloučeniny, sedimentující ve formě želatinových vloček. Někteří autoři doporučují vedle sloučenin Al a Fe též použít vápna. V tomto případě jsou do vody aplikovány přesycené roztoky oxidu a hydroxidu vápenitého. Vápník spolu s hydroxidem a fosforečnanem tvoří apatit, minerál obsahující fosfor.

Zatím však není známo žádné technicky úspěšné využití této látky při ošetřování jezer. Metody srážení fosforu z vodního sloupce jsou nejvhodnější pro menší mělká jezera.

Vzhledem k vlivu síranu hlinitého a chloridu železitého na hodnoty pH vody, musí se při používání těchto látek postupovat opatrně.

2.4.3 Ošetření sedimentu

V nádržích a jezerech se silnou vrstvou organické hmoty je třeba podpořit především mineralizaci organické hmoty a zabránit vytvoření anoxických podmínek. Používá se tzv. kombinované ošetření sedimentu sloučeninami dusíku a železa.

Zvýšená produkce vyvolaná vysokými koncentracemi živin, které přicházejí z různých bodových zdrojů nebo přísunem z povodí, vede k hromadění rozložitelné organické hmoty v povrchové vrstvě sedimentů. V takto obohaceném substrátu dochází k nárůstu bakteriálních aktivit a spotřeby kyslíku a na povrchu sedimentu se dlouhodobě vytvářejí anoxické podmínky. Spontánně se tak snižuje oxidační potenciál a při mineralizaci jsou využívány místo kyslíku spíše jiné elektronové akceptory (probíhá postupně: denitrifikace, desulfurikace, metanogeneze).

Denitrifikace, zajišťuje konečnou oxidaci organické hmoty, při které se uvolňuje oxid uhličitý a molekulární dusík. V jezerech nehraje denitrifikace významnou roli, neboť dusík v oxidovaném stavu je jen málokdy přítomen. Jeho nedostatek se projevuje zejména v obdobích stagnace.

Po vyčerpání dusíku probíhá v sedimentu *desulfurikace*, při které je organická hmota oxidována, dochází k redukci síranů a vzniká CO_2 a sirovodík. Vzniklý H_2S reakcí se sloučeninami Fe tvoří siřník železnatý, což vede k uvolňování fosfátů ze sedimentů. V tomto okamžiku se projeví toxický účinek volného sirovodíku, který brání životu vyšších faunistických složek bentosu.

V okamžiku vyčerpání síranů (obvykle v hlubších vrstvách sedimentu) začíná proces *metanogeneze*, tj. produkce metanu. Protože metan je pouze v malé míře rozpustný ve vodě, uvolňuje se ze sedimentu ve formě bublin. Při tomto probublávání dochází k promíchávání sedimentů a k uvolňování fosforečnanů do pelagiálu (horní vrstva nádrže), kde způsobují nadměrnou primární produkci.

V praxi se obvykle používá aplikace sloučenin dusíku ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) a železa (FeCl_3) na povrch sedimentu, ošetření těmito sloučeninami se zpravidla provádí až v druhé části jarní cirkulace. Zkušenosti ukazují, že je vhodné začít aplikací sloučenin železa, které destabilizují sirovodík v sedimentu a teprve posléze aplikovat sloučeniny dusíku.

Aby se zabránilo vzniku kyselých podmínek po přidání sloučenin železa, je v některých případech nezbytné přidat i uhličitán vápenatý pro zajištění dostatečného množství pufru (roztok zajišťující stabilní pH).

2.4.4 Odstraňování bahna vybagrováním

V současné době jsou nejpoužívanější dva způsoby těžby bahna:

- a) Suchou cestou pomocí buldozerů a bagrů, kdy je rybník vypuštěn a vysušen
- b) Mokrú cestu pomocí sacího bagru, těžba je prováděna bez vypuštění nádrže.

Odstraňování bahna suchou cestou

Tato metoda je osvědčená, dlouho používaná, transportovaný sediment neobsahuje zbytečné množství vody. Nevýhodou je, že je zpravidla odstraněno veškeré bahno, včetně vrstvičky aktivního bahna, nutného pro vyváženost rybníčního ekosystému a podstatně ovlivňujícího primární produkci rybníka. Po takto provedeném zásahu trvá i několik let, než se produkce rybníka navrátí do původní podoby. Navíc těžká těžební i transportní technika značně devastuje okraje rybníka a okolní porosty.

Odstraňování bahna mokrou cestou

Výhodou této metody je, že rybník je těžen na plné vodě i za přítomnosti rybí obsádky, takže pro majitele nevzniká negativní ekonomický efekt, jako v prvním případě, kdy je rybník po dobu těžby vyřazen z funkce. Další výhodou je, že aplikace rozstříkem na pole je snazší a méně energeticky náročná než aplikace pevného bahna. Určitou nevýhodou metody je to, že je zatím ne příliš známá a vyzkoušená v praxi a dále pokud není zajištěna přímá aplikace na pole či jiné využití bahna, je nutno zajistit pro část vytěženého bahna sedimentační lagunu, odkud bude přebytečná voda po sedimentaci odčerpána.

Využití vytěženého sedimentu je závislé na výsledcích provedeného průzkumu a analýz vzorků. V případě, že výsledky rozborů jsou v souladu s požadavky ČSN 46 5735 Průmyslové komposty, lze bahno využít jako:

- a) zúrodňující nebo rekultivační prvek v zemědělství
- b) přírodní ekologické hnojivo
- c) kompost nebo jeho součást

-
- d) zúrodňující prvek pro těžný rybník nebo jiné rybníky
 - e) rekultivační prvek pro výsypky nebo lesy, lesní školky
 - f) pro výrobu travních a střešních biokoberců
 - g) hrubší frakce ve stavebnictví

3 EUTROFIZACE NA VODNÍCH NÁDRŽÍCH V ČR

3.1 VODNÍ DÍLO ORLÍK

Vodní dílo Orlík, vybudované na říčním kilometru 144,65 *Vltavy* v letech 1956 až 1966, je nejen největší přehradou celé Vltavské kaskády, ale zároveň i co se objemu vody týče, největším jezerem v celé ČR. Při plném vzduť má na *Vltavě* délku 68 km a zasahuje až za *Týn nad Vltavou*, k *Hněvkovicím*. Na *Otavě*, kterou vzduť hladiny *Vltavy* rovněž postihlo, zasahuje jezero do vzdálenosti 22 km k městu *Písek*. Plocha *Orlické nádrže* je 2640 ha, obvod břehů činí přibližně 300 km.

Primárním účelem *VD Orlík* je akumulace vody pro nadlepšení průtoků na spodní části toku *Vltavy* (a potažmo také *Labe*), ochrana území pod přehradou vč. hlavního města před velkými vodami a dále výroba elektrické energie. Samozřejmostí je rovněž využití jezera pro sportovní, rekreační a rybářské aktivity a také pro plavbu.[8]



Obr. 3.1 Vodní květ na přehradě Orlík [7]

Velké měřítko a značná průtočnost nádrže v zásadě v současnosti vylučují použití postupů zmírňujících následek (použití algicidů, ekotechnologické zásahy typu aerace, aplikace koagulantů, odstraňování či ošetřování sedimentů...) a jednoznačně hovoří nejprve pro realizaci metod zaměřených na příčinu. Touto příčinou je mimo jakoukoli pochybnost dostupnost fosforu pro růst řas a sinic v nádrži. Tato dostupnost se odvíjí od přísunu fosforu do nádrže z povodí. Dostupnost dusíku, a tedy také jeho přísun z povodí, nemá pro rozvoj biomasy ve VN Orlík význam. Za zdůraznění ovšem stojí, že nedostatek dusičnanů v letním období výrazně snižuje retenční kapacitu rybníků v povodí pro fosfor. Přestože se jakost vody ve všech přítocích VN Orlík (s výjimkou říček Lomnice a Skalice) v posledních cca 20 letech zlepšila, což platí i o koncentracích fosforu, jejichž průměrné roční hodnoty poklesly o třetinu až polovinu, výsledky monitoringu kvality vody (prováděn státním podnikem Povodí Vltavy) však ukázaly obecně zásadní vliv bodových zdrojů fosforu a na Lužnici také rybníků, především Rožmberka. [9]

Momentální příčinou eutrofizace je přítékající fosfor z povodí nádrže (lesy, pole, velkochovy, aplikace kejdy, louky, pastviny), nikoli fosfor ze sedimentu. Kromě absence čistíren odpadních vod a nedostatečného odstraňování fosforu na stávajících čistírnách je rozhodujícím zdrojem fosforu i rybníční hospodaření. Zatím nejsou zcela upřesněny metody (postupy rybochovného hospodaření), jakými tento zdroj fosforu eliminovat. Tato problematika bude podrobena dalšímu výzkumu s cílem identifikovat možné metody bez negativního vlivu na ekonomiku rybářských podniků.

Problém je třeba řešit v rámci celého povodí Orlické nádrže, avšak s důrazem na opatření v oblasti vzduší a v bezprostředním okolí. Je potřeba zapojení všech významných dotčených subjektů a to již ve fázi přípravných prací. Na základě závěrů bilanční studie má být připraven plán, jenž bude vycházet z navržených opatření a zhodnotí jejich přínos pro zlepšení kvality vody, finanční náklady na jejich realizaci, ekonomickou efektivitu a právní proveditelnost. Mimo snižování množství fosforu ve vypouštěných odpadních vodách je také nutné posílit přirozenou retenční schopnost drobných toků a lépe motivovat vymáhání správné zemědělské praxe. [10]

3.2 VODNÍ DÍLO LIPNO

Nádrž Lipno (kóta max. hladiny 726 m n. m., celkový objem 310 mil. m³, zatopená plocha 48,7 km², průměrná/maximální hloubka 6,2/21 m, průměrná doba zdržení 0,74 roku) je významnou víceúčelovou nádrží v podhůří Šumavy.



Obr. 3.2 Vodní nádrž Lipno [13]

Nádrž Lipno nese příznaky eutrofizace již nejméně od počátku 80. let minulého století. Eutrofizace této nádrže je způsobena nadměrným přísunem fosforu, který má původ zejména v komunálních odpadních vodách vypouštěných do nádrže a do toků v povodí. Během posledního desetiletí byla vybudována řada účinných čistíren, což částečně snížilo vnos fosforu do nádrže, avšak k výraznějšímu snížení trofie nádrže nedošlo. V současnosti existuje tlak na další rozvoj okolí nádrže i celého povodí, což může znamenat potenciální ohrožení kvality vody v nádrži, pokud současně nebudou přijata regulační opatření ve vypouštění odpadních vod.

Největším zdrojem fosforu pro nádrž byly odnosy ze zalesněných ploch a z polí, které přispívaly k celkovému zatížení nádrže 35–68 %. Jejich velikost závisela především na průtoku v daném roce. Podíl komunálních zdrojů zahrnujících splaškové odpadní vody v celém povodí se pohyboval v rozmezí 21–42 %. Odhad příspěvku sedimentů uložených na dně nádrže na zatížení vodního sloupce fosforem se pohyboval kolem 10 %. Podíl rybochovného hospodaření na vnosu fosforu do nádrže prostřednictvím rybích násad činil 1,7–2,9 %; zároveň je však u tohoto zdroje třeba mít na zřeteli, že prostřednictvím odlovů

byl tento fosfor z nádrže opět odstraněn, takže čistá bilance fosforu v rybách byla naopak mírně záporná. Podíl atmosférické depozice fosforu na hladinu nádrže činil v průměru 2,4 %. Průměrné hodnoty přísunu fosforu do nádrže v jednotlivých měsících ukazují, že v letním období nabývají na významu komunální odpadní vody a spolu se zatížením ze sedimentů mohou zahrnovat až 70 % celkového vnosu fosforu do vodního objemu nádrže.

Rozbor problematiky eutrofizace nádrže Lipno ukázal, že tato nádrž je z hlediska produktivity limitována fosforem a má přirozenou tendenci k mezotrofii až slabé eutrofii. Z hlediska ročních průměrů je největším zdrojem fosforu v nádrži odtok z plošných zdrojů, ale z hlediska eutrofizace nádrže byly nejdůležitějším zdrojem komunální odpadní vody a vnitřní zatížení ze sedimentů. V letních měsících, kdy je nádrž z hlediska rozvoje vodního květu nejcitlivější, dominoval přísun fosforu odpadními vodami (až 70 %). Výsledky scénářů pro různé varianty vývoje osídlení a rekreačního využití oblasti ukázaly, že k dosažení cílového stavu mezotrofie až slabé eutrofie, odpovídajícího přírodním podmínkám dané oblasti, je třeba čistit odpadní vody v povodí celé nádrže na hodnoty $\sim 1 \text{ mg/l}^1\text{P}$. [11]

3.3 VODNÍ DÍLO PLUMLOV

Vodní dílo Plumlov na říčce Hloučele bylo do trvalého provozu uvedeno v roce 1936 a patří tak k nejstarším v celém povodí řeky Moravy. Povodí Hloučely má k profilu hráze Plumlov plochu $118,5 \text{ km}^2$ a v toku je dlouhodobý průměrný průtok $0,58 \text{ m}^3$ za vteřinu. Hlavním účelem vodního díla je snižování povodňových průtoků a nadlepšování minimálních průtoků pod vodním dílem v období sucha.

Problémy s kvalitou vody vedly v roce 2008 k zahájení příprav a posléze spuštění projektu Čištění vodního díla Plumlov. Cílem tohoto projektu je revitalizace několika nádrží v blízkosti Plumlova na řece Hloučele. V celém jejím povodí vedla v posledních desetiletích zemědělská činnost, spolu s nevyhovující likvidací odpadních vod, ke zvýšenému přísunu živin do vody a jeho ukládání do sedimentů na dně Plumlovské nádrže. Po předchozím snížení hladiny a obnažení co největší plochy dna se odtěžily sedimenty, které obsahují živiny pro přemnožené sinice a provedla se aerace budoucího dna nádrže. Akci předcházel několikerý záchranný transfer ryb a vodních živočichů na náhradní lokality. Povodí Moravy, s.p. využilo vypuštěné nádrže k tomu, aby mohlo opravit hráz z roku 1936. Jde o první takto zásadní opravu v Česku. Práce zahrnují nové opěrné zdi u vypouštěcí věže, silnici v koruně, osvětlení, zábradlí i přemostění přes bezpečnostní přeliv. Cílem je zvýšit bezpečnost hráze natolik, aby další nákladné opravy vodního díla nebyly nejméně příštích 50 let nutné. S opětovným napuštěním nádrže se počítá v dubnu roku 2013. [12]



Obr. 3.3 Provádění úprav dna nádrže [12]

4 EUTROFIZACE VE SVĚTĚ

Otázka eutrofizace není nikterak lokální a netýká se pouze středoevropského regionu či snad jen naší republiky. Dnes se jedná doslova o celosvětový problém. Nadměrná eutrofizace povrchových vod začala zhruba v 50. letech 20. století, kdy se započalo s intenzivním a velkoplošným hnojením zemědělských ploch a kdy množství lidské populace začalo exponenciálně narůstat. Eutrofizovány jsou téměř všechny velké evropské řeky – Seina, Dunaj, Labe či Tajo ve Španělsku.

V Anglii vykazuje 84% sledovaných vodních ploch příznaky eutrofizace. V Benátkách vedly časté letní anoxické krize k vymizení téměř veškeré bentické (žijící u dna) mikrofauny. Silně eutrofizovaný je Balaton či německé jezero Arendsee. V Nizozemí se sleduje úživnost (trofie) jezera Loosdrecht, ale i jiných oblastí. V 60. letech si časté nizozemské hypertrofie (vysoce úživné-trofie) vodní plochy vynutily soustavnější studium a nápravu, a tak bylo možno do již téměř neosídlených jezer pozorovat od roku 1994 návrat makrofyty (vodních rostlin). Ve Švédsku je zvyšování úživnosti vedle acidifikace (okyselování) jezer druhým nejzávažnějším problémem. Oba jevy jsou zde společně zkoumány a dávány do zajímavých souvislostí. Od roku 1920 do roku 1970 se množství použitého fosforu na hnojení zdvojnásobilo. Účinnými zásahy bylo opět docíleno snížení přísunu fosforu na hodnoty z dvacátých let. Přesto je více než 14 000 z 90 000 švédských jezer eutrofních (včetně některých největších jako Mälaren a Hjälmaren). Z estonských jezer patří mezi silně eutrofizované jezero Vortsjaerv. V 90. letech byla pozorována silná anoxie i u jedněch z nejstarších jezer v Řecku a Makedonii, u jezer Ohrid a Prespa, pravděpodobně byla způsobena silně úživnými podmínkami v důsledku nešetřného zavlažování a znečištění. Za posledních 30-40 let značně narostla koncentrace fosforu a dusíku v Irských jezerech.

K neevropským příkladům patří floridské jezero Apopka, jež bylo do začátku 50. let čisté s bujnou makrofytickou (fauna pevně přichycena na pevný povrch) vegetací a rybím oživením. Vlivem lidské činnosti se změnilo v zakalenou vodní plochu s nadměrným nárůstem řas a minimem ryb. Příčinou byl opět nadměrný přísun nutrientů. Samotným omezením přísunu živin by však k rychlému zlepšení nedošlo, jelikož velké množství nutrientů je vázáno v sedimentech, jejichž odstranění je komplikované a přírodními procesy by trvalo několik století. Dalším silně eutrofizovaným jezerem USA je jezero Mendota ve Wisconsinu, Travis v Texasu či Coeur d' Alene v Idahu. Mezi závažné problémy lze považovat stále více eutrofizovaná velká kanadsko-americká jezera.

V Chile byly zaznamenány případy otrav fyto toxiny (toxické látky produkované patogenem). Velká brazilská jezera jsou rovněž silně eutrofizována, což se projevuje nejen nárůstem sinic a řas, ale i masovým výskytem zooplanktonu. Velký rozvoj užívání hnojiv a

nárůst lidské populace způsobil, že se problémy s eutrofizací nevyhnuly ani velkým africkým jezerům a přehradním nádržím. Kupříkladu ve Viktoriině jezeře zmizelo v posledních desetiletích na 300 endemických druhů ryb (druhy žijící na malém území). Za příčinu je považována eutrofizace způsobená narůstajícím množstvím odpadních vod a vzdušných emisí. Silně eutrofizovaná jezera a toky lze nalézt v Číně, kde lze se současnou explozí průmyslové výroby očekávat výrazné změny ve vodním i vzdušném prostředí. Většina povrchových vod je eutrofizována v Korei.

V Austrálii, na rozdíl od Evropy kde jsou hlavními zdroji nutrientů bodové zdroje znečištění, ČOV, velkochovy dobytka, textilní průmysl a detergenty, jsou to zde především plošné zdroje a opět detergenty, jejichž přínos je tu však poněkud ignorován. Stále častěji jsou publikovány práce sledující souvislosti mezi klimatickými změnami a masovým nárůstem sinic a řas. Bouřlivé diskuse jsou vedeny o vlivu El Nino. V mořích a oceánech jsou s eutrofizací rovněž problémy. Mezi silně eutrofizované oblasti Baltského moře patří Finský záliv či Polsko-Lotyšské pobřeží. Podobná situace je v Severním moři, kde se na přísunu živin rovněž silně podílí námořní doprava a vzdušné emise. Středomořské pobřeží Francie je eutrofizováno velmi silně a v poslední době se objevují problémy i v dříve lepších oblastech Biskajského zálivu a kanálu La Manche, kde proudění mořské vody přísun živin do značné míry eliminovalo. Vzdávající znečištění Seiny a pobřeží Bretaně však i tyto oblasti narušilo. Eutrofizace začala být sledována v Irském moři. Zejména severní oblasti Jadranu jsou silně eutrofizované. Nepříznivá situace je v Řecké části Egejského moře, kde tato oblast v některých výzkumech slouží jako srovnávací eutrofizovaná lokalita. V Mexickém zálivu se v důsledku kyslíkového deficitu způsobeného eutrofizací hovoří o tzv. „dead zones“. Předpokládá se, že příčinou je přísun nutrientů velkými americkými řekami z nichž nejvýznamnější je Mississippi. V Karibské oblasti jsou vážně poškozována korálová společenstva. Eutrofizací jsou postižené již i korálové atoly u Austrálie. Důvodem jsou především kompetitivní (konkurenční) vztahy mezi řasami a korály. Jižní Atlantik je silně eutrofizován v pobřežních oblastech Brazílie, zejména u velkých městských aglomerací. Značně eutrofizované je pobřeží Japonska či Číny a Hong-Kongu.[2]



Obr. 4.1 Eutrofní Čínské jezero [20]



Obr. 4.2 Satelitní snímek Mexického zálivu a Kaspického moře [5]

5 EUTROFIZACE VODNÍ NÁDRŽE BRNO



Obr. 5.1 Vodní nádrž Brno

5.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA VODNÍHO DÍLA

Vodní dílo (dále jen VD) Brno leží na řece Svratce, tedy v povodí řeky Moravy, přesně na 56,19 říčním km. Jedná se o pátou největší vodní nádrž ve správě firmy Povodí Moravy, s.p. s objemem 21 000 mil. m³.

S budováním přehradního tělesa hráze se započalo v 30. letech 20. století. Díky hospodářské krizi, která sužovala téměř celý svět, byl jedním z požadavků zaměstnat co nejvíce lidí. Proto se při výstavbě používalo jen velice málo mechanizace.

Důvody, které podporovaly výstavbu VD Brno, byly zejména výroba elektrické energie ve špičkové vodní elektrárně, zachycení povodňových průtoků a díky své poloze také rekreace a možnost vodních sportů.

Přehradní hráz VD Brno je betonová gravitační. Šířka hráze v její koruně je 3,00 m a je dlouhá 120 m, je po ní vedena veřejná komunikace. Výška hráze nade dnem je 23,50 m, její nadmořská výška ve výškovém systému Balt po vyrovnání činí 232,50 m n. m.

Brněnská přehrada je oblíbeným místem rekreace místních i návštěvníků. Po obou stranách je lemována rozlehlými lesy (Obora na levém břehu, Podkomorské lesy na pravém) a nabízí tak příležitost nejenom ke koupání a vodním sportům, ale i k turistice a cykloturistice. Častým cílem výletníků je také hrad Veveří, který se tyčí na skále nedaleko Veverské Bítýšky. U hradu byl přes přehradu vybudován most pro chodce a pro cyklisty. Na přehradě provozuje v letní sezóně Dopravní podnik města Brna lodní dopravu, která jezdí z přístaviště v Bystrci do Veverské Bítýšky.

5.2 POPIS EUTROFIZACE

Díky své výhodné poloze a zvýšení turistické atraktivnosti VD Brno se dohodli nadřízené složky pro boj s vysokou eutrofizací VD Brno, která se díky tomuto stavu nedala během letních prázdnin téměř využít. Popis celé problematiky a průběh opatření pro potlačení eutrofizace v jednotlivých letech jsou shrnuty a popsány v následující kapitole.[4]

V povodí Brněnské údolní nádrže na území Jihomoravského kraje leží 90 obcí s téměř 50 000 obyvateli. Z toho 14 obcí s cca 2 500 obyvateli neodvádí své odpadní vody do Brněnské údolní nádrže, ale kvalitu vody v přehradě ovlivňují půdní erozí (splachy).

Ze zbývajících 76 obcí má čistírnu odpadních vod vybudovanou nebo v realizaci 31 měst a obcí s přibližně 40 000 obyvateli, přitom 4 města a obce s celkovým počtem cca 11 500 obyvatel (Kuřim, Lipůvka, Moravské Knínice, Rozdrojovice) odvádějí své odpadní vody na ČOV Modřice a neovlivňují tedy kvalitu vody v Brněnské údolní nádrži vůbec.

Kvalitu vody v Brněnské údolní nádrži tedy ovlivňuje 72 měst a obcí z toho 27 z nich s cca 28 500 obyvateli své odpadní vody čistí a 45 obcí s velikostí většinou mezi 100 – 200 obyvateli s celkem cca 7 500 obyvateli vypouští své odpadní vody zatím bez čištění.

Plošné znečištění v povodí Svratky je z více jak 50 % zdrojem přísunu základních živin N a P do toků a nádrží. K plošným zdrojům patří zemědělské a lesní hospodaření, přírodní podmínky, eroze, atmosférická depozice, ale také odpadní vody z obcí pod 500 EO, dále staré ekologické zátěže a nezajištěné skládky. Význam plošného znečištění roste, jeho intenzita je závislá na hustotě osídlení, intenzitě a způsobu zemědělského, ale i lesního hospodaření a přírodních podmínkách.[14]

5.3 OPATŘENÍ PRO POTLAČENÍ EUTROFIZACE

Statutární město Brno hradilo v letech 1992 – 2004 sledování struktury sinic, mikroskopické analýzy rozvoje fytoplanktonu se zaměřením na planktonní druhy sinic a zjišťování fyzikálně – chemických parametrů ve vertikálním profilu VD Brno. Na území ČR bylo určeno povodí Svratky jako pilotní povodí v boji proti sinicím.

Projekt „Čisté povodí Svratky“ zahájil Jihomoravský kraj a statutární město Brno v roce 2003.

Řešitel projektu Aquatis a.s., v první polovině roku 2004 stanovil a doporučil další postup prací na projektu, navrhl konkrétní kroky:

- odstranit bodové zdroje znečištění - realizovat výstavbu a rekonstrukci čistíren odpadních vod a kanalizací v povodí,
- omezit plošné znečištění – realizovat protierozní opatření v povodí,
- realizovat sedimentační prostory před vtokem do Brněnské údolní nádrže, vybudovat retenční nádrže v povodí a revitalizovat vodní toky,
- zlepšit monitoring,
- ošetřit nebo odtěžit sedimenty v údolních nádržích Vír a Brno,
- rozvinout informační kampaň pro obyvatelstvo, enviromentální vzdělávání, výchovu a osvětu.

V letech 2005 a 2006 se pokračovalo v projektu, a to ve spolupráci nejen statutárního města Brna a Jihomoravského kraje, ale i kraje Vysočina a Pardubického kraje.

Studie „Čisté povodí Svratky – realizace opatření I. etapa“ byla rozdělena do pěti okruhů opatření:

- technicko – ekonomické zadání projektu vyčištění Brněnské údolní nádrže,
- omezení plošného znečištění – studie protierozních a ekologických opatření snižující tvorbu a transport nutrientů pod údolní nádrží Vír,
- modelování jakosti vody v povodí Brněnské údolní nádrže a údolní nádrže Vír,
- technicko – ekonomické zadání projektu přednádrže Brno,
- kvantifikace a analýzy sedimentů v údolní nádrži Vír (v údolní nádrži Brno je již zpracováno).

Dílicí opatření:

- *Opatření přímo v nádrži* – podpora a urychlení přirozených procesů v nádrži, které významným způsobem ovlivňují samočisticí funkci nádrže. Tedy podpora oxidace obnažených sedimentů při snížené hladině mletým vápencem, dále na podporu procesu oxidace vodního sloupce a sedimentů pod hladinou aplikací jemnobublinné aerace.
- *Opatření v bezprostředním okolí nádrže* – kontroly rekreačních objektů na březích údolní nádrže, zaměřeny na způsob likvidace odpadních vod z těchto objektů. Podpora měst a obcí, které jsou nositeli a předkladateli projektů a žádostí o dotace na výstavbu čistíren odpadních vod a kanalizací v obcích.
- *Opatření v povodí* – snížení vnosu živin do povrchových vod, přípravy komplexních pozemkových úprav, jejichž cílem je snížení eroze půdy v krajině, zadržení vody v povodí a tím omezení přísunu živin do vod povrchových. Dále je řešena výstavba splaškových kanalizací ukončených čistírnami odpadních vod v obcích povodí.

5.3.1 Popis jednotlivých opatření na Brněnské přehradě

Srážení fosforu na přítoku do přehrady

Základní zdroje fosforu jsou:

- Vnos fosforu z malých čistíren odpadních vod z obcí – nemají legislativní povinnost srážení fosforu na odtoku z čistírny
- Vnos fosforu ze zemědělské půdy – Soukromí zemědělci hospodařící v ČR nejsou vázáni žádnými předpisy ohledně aplikace fosfátových hnojiv a ohledně pěstování plodin na svažitých pozemcích v povodí řek.

Vlivem těchto dvou zdrojů vnosu fosforu dochází k jeho nadměrné koncentraci v recipientech potažmo ve vodních nádržích. Tím se zvedá úživnost (trofie) vody. Vlivem přísunu vysoké koncentrace fosforu z povodí nad nádrží dochází k masovému rozvoji sinic. Srážení fosforu síranem železitým se dosahuje účinnosti odbourání fosforu až 93%. Tím se do vodní nádrže dostane minimální koncentrace fosforu, která přispívá k potlačení masového rozvoje sinic.[17]

Aerace aeračními věžemi

Aerační zařízení v areálu Brněnské údolní nádrže je vybudováno jako dočasné a bude ve funkci po smluvenou dobu 3 až 8 let. Dvacet aeračních/destratifikačních věží bude provozováno od dubna do října. Aerační technologie je navržena s cílem podpořit rozklad

organických látek v sedimentech a vytvořit podmínky pro rozšíření životního prostoru organismů vázaných na kyslík. Tím by mělo být podpořeno zvýšení druhové skladby organismů a potlačení dominance sinic. Dalším principem je narušení životního cyklu sinic rodu *Microcystis*, který tvořil dominantu vodních květů sinic v posledních dvaceti letech. Podkladem pro stanovení kyslíkových poměrů v nádrži byla tříletá řada měření v letech 2006-2008.



Obr. 5.2 Rozmístění aeračních věží v Brněnské přehradě

Funkce věží je spočítána pomocí nejlepšího dostupného software a je ověřena provozní zkouškou. Každá aerační věž má svoji specifickou výšku podle hloubky sedimentu v místě instalace. Výtlačné trysky aerátorů či čerpadel jsou umístěny nad sedimentem tak, aby nedocházelo k jeho víření. Všechny aerační věže jsou zásobovány elektrickou energií. Pět z aeračních věží je také napájeno stlačeným vzduchem. Věže jsou rozděleny do 4 skupin po 5 věžích. Každá skupina má svoji strojovnu (kontejner). Základní konstrukce věží je sestavena z nerezové oceli, základový panel je z armovaného betonu.[18]



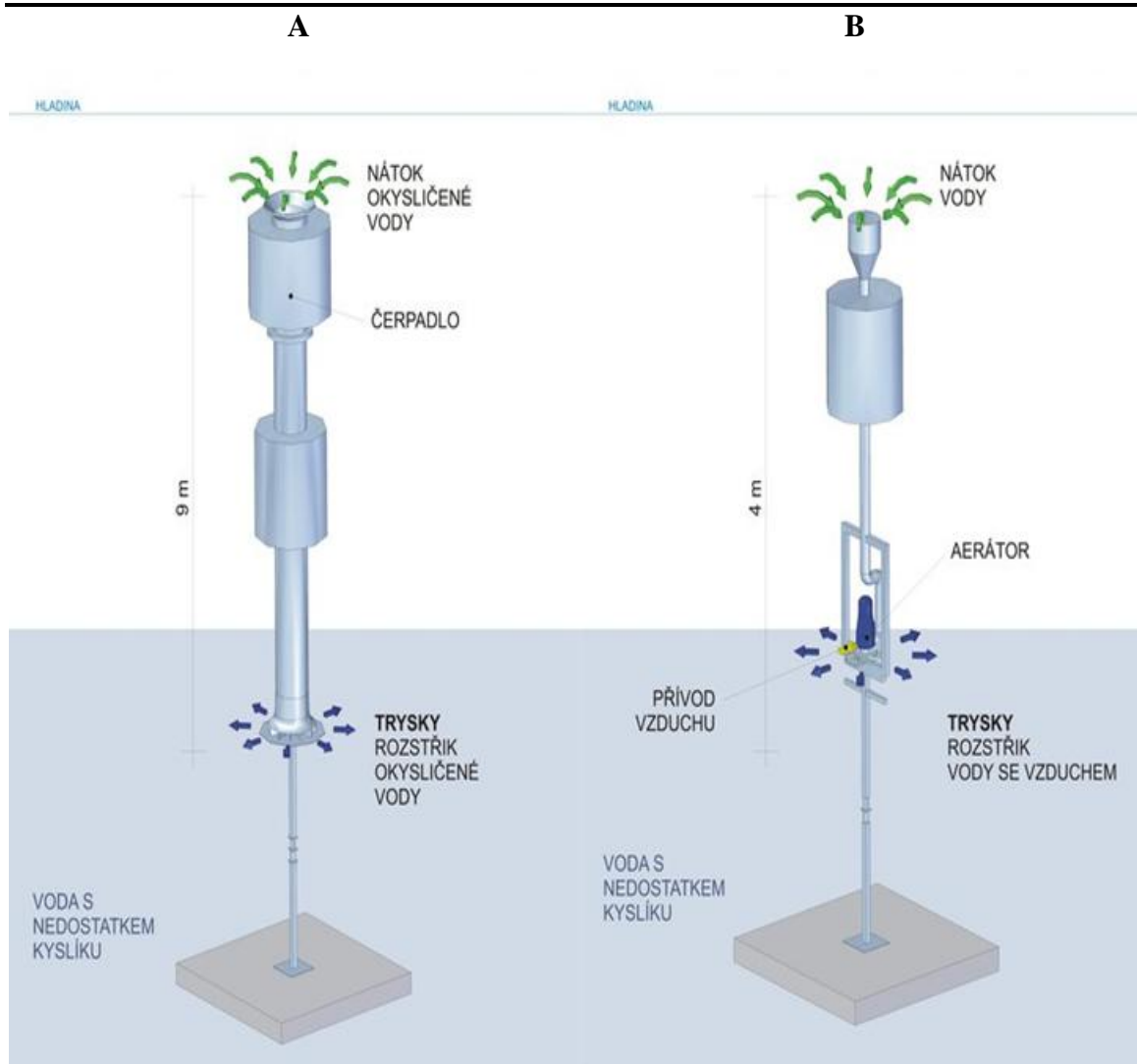
Obr. 5.3 Strojovna



Obr. 5.4 Aerační věž použitá na Brněnské přehradě [15]

Roku 2009 byla brněnská přehrada vypuštěna z 12 mil. m³ na 2 mil. m³. Pro zajištění dostatečné koncentrace kyslíku v oblasti nade dnem (z důvodu zamezení úhynu ryb) bylo použito mobilních aeračních zařízení. Tato zařízení byla instalována na dvě plavidla. Aerační zařízení tím byla mobilní a flexibilní.

Aerace napuštěné přehrady probíhá od roku 2010. V roce 2008 (před instalací věží) byla anoxická vrstva v nádrži v rozsahu 5 až 17 m pod hladinou. V současné době je zabezpečená koncentrace kyslíku u dna větší jak 2 mg/l.[17]



Obr. 5.5 Schéma aerační věže s čerpadlem(A) a s aerátorem(B) [23]

Sběr plovoucí biomasy v nádrži

Sběr biomasy probíhá pomocí speciálně vyvinutého plavidla, které je založeno na mechanickém odstraňování plovoucí biomasy z vodní hladiny. Jedná se o nechemickou metodu ošetřování vodní plochy. Vodní květ sinic je oddělován filtrací. Separovaná biomasa, která má vzhled a konzistenci mixovaného špenátu, je uskladňována v kontejneru na lodi, po zaplnění kontejneru je kontejner vyměněn za jiný a sinice jsou odvezeny k ekologické likvidaci. Přefiltrovaná voda je buď zpět odváděna do jezera, nebo může být ještě dále upravena.[18]



Obr. 5.6 Plavidlo pro separaci částic biomasy [23]

5.3.2 Průběh opatření

ROK 2003

Byla poskytnuta dotace na zpracování „Návrhu opatření k realizaci projektu Čisté povodí Svratky“

ROK 2004 – 2005

Na základě Smlouvy o poskytnutí dotace z rozpočtu statutárního města Brna byla Jihomoravskému kraji poskytnuta dotace na zpracování další části projektu „Čisté povodí Svratky“.

ROK 2006

Řešitelským týmem byla dokončena studie „Čisté povodí Svratky – realizace opatření – I. Etapa“. Nosným cílem této studie bylo vypracování dokumentace, která bude podkladem pro rozhodnutí o dalších krocích směřujících k vypracování podrobných návrhů řešení jednotlivých opatření.

31. 5. 2006 byla provedena veřejná prezentace návrhu protierozních opatření na území kraje Vysočina a Pardubického kraje.

Byla organizována informační kampaň vedoucí ke zlepšení čistoty řek pod záštitou Jihomoravského kraje a doplňoval tím projekt „Čisté povodí Svratky“. V rámci tohoto projektu byla řešena osvětová činnost, takzvané infohlídky, které se velmi osvědčily a jejímž cílem bylo informovat například, proč jsou v nádrži přemnožené sinice, proč je potřeba používat bezfosfátové prací a mycí prostředky, proč je potřeba používat biominerální hnojiva, proč je potřeba čistit odpadní vody, taktéž informovaly o zákazu, na základě vyhlášky Ministerstva životního prostředí od 1. 7. 2006 uvádět na trh fosfátové prášky a od 1. 10. 2006 byl jejich prodej zakázán úplně.

Bylo zadáno zpracování studie „Odkanalizování určených lokalit ovlivňujících kvalitu vody v Brněnské údolní nádrži“.

ROK 2007

Manipulací na vodním díle Brno, při které byla snížena hladina na kótu 224,9 m n. m., kvůli opravě hradidel na hrázi vodního díla, byl na nádrži ověřen efekt urychlení mineralizace obnaženého dna a břehů vápenným hydrátem. Na podzim roku 2007 bylo provedeno letecké vápnění obnažených břehů Brněnské údolní nádrže v množství 200 kg/ha vápenného hydrátu na ploše 120 ha.

Uskutečnilo se setkání se starosty měst a obcí, kteří byli informováni o možnostech získat příspěvky na projekty a finanční podporu na stavby kanalizací a ČOV v rámci Fondu životního prostředí Jihomoravského kraje.

Pracovníci vodoprávního úřadu Odboru vodního a lesního hospodářství a zemědělství Magistrátu města Brna provedli 94 kontrol u rekreačních objektů na březích Brněnské přehrady, zda-li nejsou odpadní vody z těchto objektů vypouštěny na terén.

Byla zpracována technická studie „Odkanalizování určených lokalit ovlivňujících kvalitu vody v Brněnské údolní nádrži“.

ROK 2008

V únoru a listopadu roku 2008 byla provedena letecká vápnění na ploše 120 ha v množství 400 kg/ha, celková spotřeba 48 tun vápenného hydrátu.

Byla vypracována a projednána „Studie proveditelnosti k realizaci opatření na Brněnské údolní nádrži“.

Moravský rybářský svaz již nezarybňoval vody Brněnské údolní nádrže

Nezávislá organizace zpracovala sociologický výzkum „Postoje obyvatel města Brna ke kvalitě vody v Brněnské údolní nádrži.“ Výsledky výzkumu byly využity jako podklad pro

přípravu a následně jako příloha žádosti o dotace na projekt vyčištění Brněnské údolní nádrže z Operačního programu životní prostředí.

Bylo vydáno územní rozhodnutí pro instalaci aeračních věží.

ROK 2009

Dne 16. 3. 2009 byla akceptována Státním fondem životního prostředí žádost Povodí Moravy s.p., o finanční podporu projektu „Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži“ z evropských fondů (Operační program Životní prostředí).

V dubnu 2009 bylo provedeno další letecké vápnění obnažených břehů Brněnské přehrady při snížené hladině o 5 m na ploše 120 ha a spotřebě 48 tun vápenného hydrátu.

Současně byla předložena Závěrečná zpráva k realizaci akce Ošetření sedimentů VD Brno vápenným hydrátem. Závěrem zprávy bylo konstatováno, že opatření realizovaná na VD Brno měla pozitivní vliv především na snížení sinic v sedimentech nádrže, čímž byly plánované efekty dosaženy.

ROK 2010

V únoru 2010 zhotovitel provedl odstranění biomasy v oblasti Rakovce.

V jarních měsících byly do vod Brněnské údolní nádrže osazeny aerační věže. Od 17. 5. 2010 probíhá provozní zkouška. V chodu je 5 aeračně-vzduchových a 15 aeračně-mísících věží.

Od 12. 7. 2010 bylo spuštěno ošetření vody na přítoku do nádrže – aplikuje se látka PIX 113 – síran železitý v množství 20-60 mg/l. Ošetření přítoku je sledováno a monitorováno.

ROK 2011

V září přestaly pracovat aerační věže, dodávající do nádrže vzduch okysličující vodu. Na přítoku také přestal do vody proudit síran železitý, který srážel nejvydatnější potravu pro sinice – fosfor.

28. října 2011 udělali vodohospodáři z Povodí Moravy poslední úkol z aktivních opatření. Začali upouštět hladinu tak, aby byla na kótě 225 m.n.m. Tzn. o téměř čtyři metry níže než za letního stavu.

Rekreanty již druhý rok neohrožovaly toxické sinice, jejich zárodky zmizely také ze sedimentů a voda měla po celou sezónu průhlednost 2 až 4 m.

Vodohospodáři nemuseli tedy přistoupit k žádným záložním opatřením, jako je např. aplikace PAXu nebo vápnění obnažených břehů.

Odborníci, analyzující výsledky rozborů vody potvrdili, že zabralo také vypouštění síranu železitého u přítoku do nádrže. Neškodné železo totiž dokázalo vysrážet fosfor natolik, že

do nádrže už jej přitékalo minimum. Podařilo se snížit obsah fosforečnanového fosforu z 0,025- 0,085 mg/l na 0,010 mg/l.

ROK 2012

Od 1. května tohoto roku se opět spustil provoz aeračních věží. Rovněž se v květnu opět rozběhlo dávkování síranu železitého, který na přítoku sráží fosfor. A navíc tyto dvě základní opatření doplňuje úprava rybní osádky, která reguluje množství tzv. bílých ryb (cejni, plotice) a nahrazuje je rybami dravými, jako jsou štiky nebo candáti.[4]

ROK 2013

Povodí Moravy má na období let 2013-2017 rozpracovaná opatření na přítocích Veverka a Kuřimka. Cílem těchto opatření je vytvořit sedimentační prostory, které budou mít za úkol zvýšit retenční schopnosti daného území a snížit živinové zátěže toku a tím i přísun živin včetně fosforu do Brněnské přehrady. Dokud nedojde k výraznému snížení celkového fosforu na přítoku do nádrže, bude Povodí Moravy i nadále zajišťovat dobrou kvalitu vody stejnými prostředky jako doposud tj. aerací, dávkováním síranu železitého a odstraňováním biomasy z hladiny. Po tomto pětiletém cyklu se množství fosforu přitékajícím do přehrady vyhodnotí.[16]



Obr. 5.7 Vápnění dna Brněnské přehrady [22]

5.4 VYNALOŽENÉ NÁKLADY

Celkem bylo od roku 2004 až do června 2010 z dotačních titulů JMK do povodí Svratky na území Jihomoravského kraje investováno 72 220 600,- Kč na realizace kanalizací a ČOV, na projektové dokumentace a na stavby protipovodňových opatření v povodí nad Brněnskou přehradou.

Tab. 5.1 Přehled dotací z JMK v letech 2004-2010

Rok	Realizace staveb odkanalizování a čištění	Realizace staveb protipovodňové ochrany	Projektová dokumentace	Počet žadatelů
2004	5 500 000 Kč	nebyl dotační titul	528 000 Kč	2
2005	8 100 000 Kč	nebyl dotační titul	700 000 Kč	3
2006	8 900 000 Kč	nebyl dotační titul	687 000 Kč	2
2007	8 030 000 Kč	1 467 000 Kč	2 265 600 Kč	9
2008	4 800 000 Kč	3 320 000 Kč	7 520 000 Kč	22
2009 a 2010	16 759 000 Kč	175 000 Kč	3 458 000 Kč	10
Celkem	52 089 000 Kč	4 962 000 Kč	15 158 600 Kč	-

Investice do čisté vody v řece jsou však již dlouhodobé. Do dílčích opatření jako je například odkanalizování, budování čistíren odpadních vod, protierozních projektů či stavby záchytných mokřadů již přišly více než dvě miliardy korun.

5.5 ZHODNOCENÍ OPATŘENÍ APLIKOVANÝCH PROTI EUTROFIZACI VD BRNO

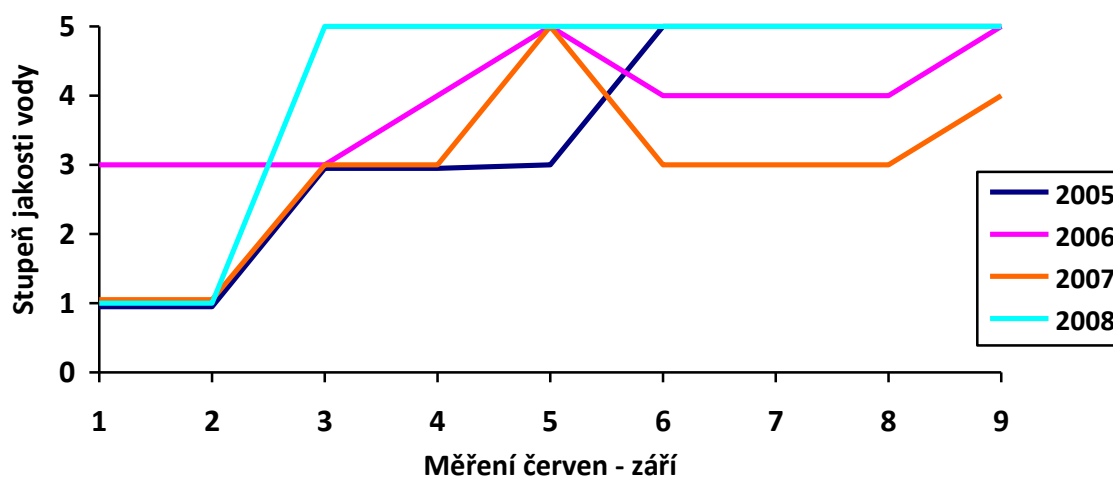
Z výsledků monitoringu je zřejmé, že Brněnská přehrada je po víceletém průběhu opatření proti sinicím z biologického i rekreačního hlediska ve zlepšeném stavu. Tento stav je evidentní na hodnocení koupacích vod, které pravidelně provádí Krajská hygienická stanice. Ta vydává hodnocení dle vyhlášky 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku. [19]

Tab. 5.2 Hodnocení jakosti vod v přírodních koupalištích dle vyhlášky 238/2011 Sb.

Hodnocení	Kategorie	Příklady zdůvodnění
1	voda vhodná ke koupání	-
2	mírně zhoršené vlastnosti vody	snížená průhlednost; znečištění odpadky; zápach vody; výskyt pěny
3	zhoršení jakosti vody	zvýšený výskyt sinic; zvýšený výskyt indikátorů fekálního znečištění
4	voda nevhodná ke koupání	masový výskyt sinic; možnost vzniku vodních květů; zvýšený výskyt indikátorů fekálního znečištění
5	zákaz koupání	vodní květ sinic; masový výskyt sinic; zvýšené riziko nákazy infekčním onemocněním; výskyt ostrých předmětů

Tab. 5.3 Hodnocení jakosti vody v letech 2005-2008 [19]

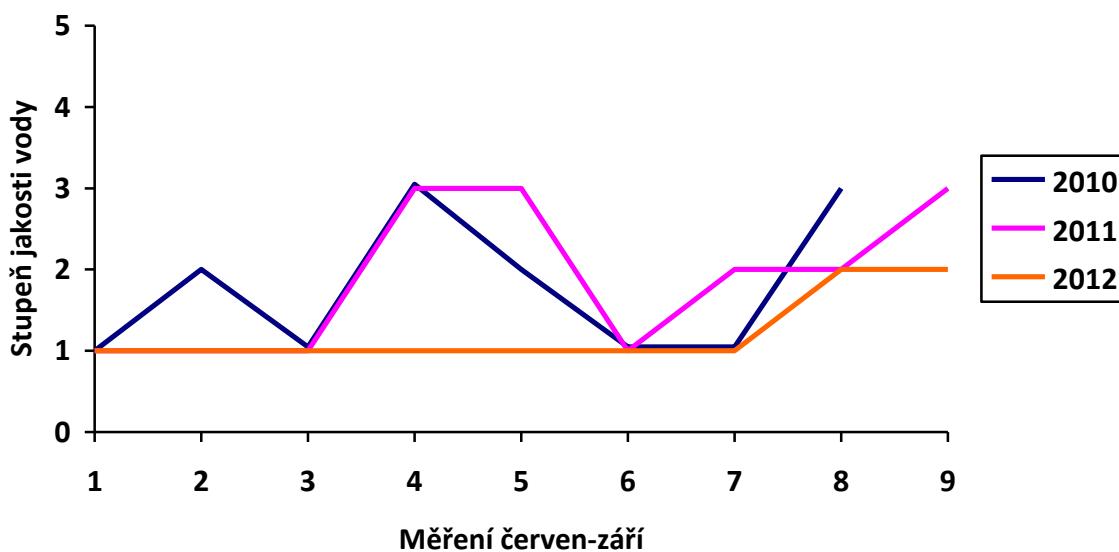
<i>Lokalita Sokolské koupaliště – před projektem</i>									
Datum	2.6.	30.6.	11.7.	21.7.	28.7.	4.8.	11.8.	18.8.	25.8.
2008	1	1	5	5	5	5	5	5	5
Datum	4.6.	18.6.	2.7.	9.7.	19.7.	23.7.	30.7.	13.8.	27.8.
2007	1	1	3	3	5	3	3	3	4
Datum	29.5.	12.6.	26.6.	10.7.	17.7.	31.7.	7.8.	21.8.	4.9.
2006	3	3	3	4	5	4	4	4	5
Datum	30.5.	13.6.	22.6.	7.7.	11.7.	20.7.	8.8.	22.8.	1.9.
2005	1	1	3	3	3	5	5	5	5



Obr. 5.8 Grafické hodnocení jakosti vody v letech 2005-2008

Tab. 5.4 Hodnocení koupacích vod v letech 2010 až 2012 [19]

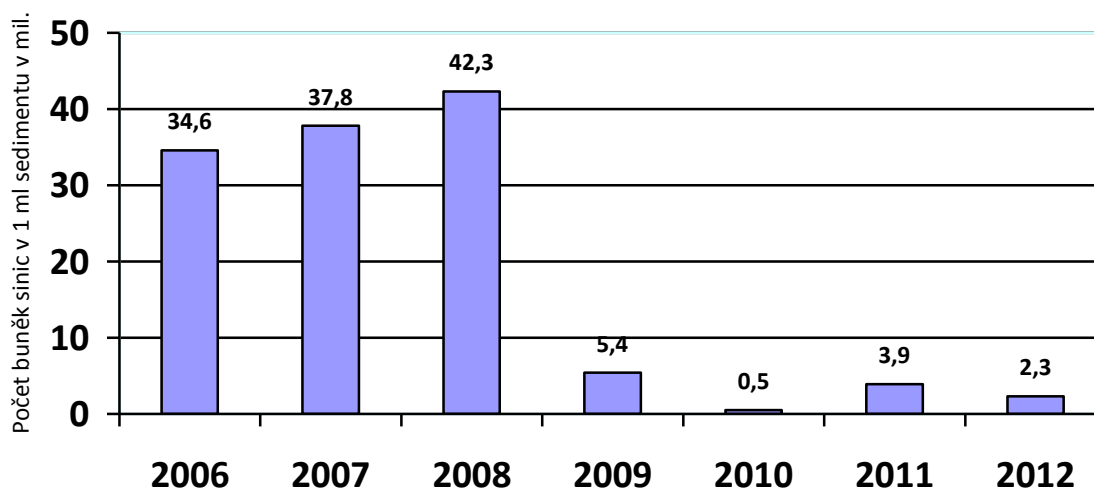
<i>Lokalita Sokolské koupaliště – během projektu</i>									
Datum	14.5.	4.6.	11.6.	25.6.	9.7.	23.7.	06.8.	20.8.	27.8.
2012	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Datum	16.5.	30.5.	13.6.	27.6.	11.7.	25.7.	8.8.	22.8.	29.8.
2011	1	1	1	3	3	1	2	2	3
Datum	24.5.	31.5.	14.6.	28.6.	12.7.	26.7.	09.8.	23.8.	-
2010	1	2	1	3	2	1	1	3	-



Obr. 5.9 Grafické hodnocení jakosti vody v letech 2010-2012

Jako další ukazatel výrazného zlepšení stavu nádrže je množství buněk sinic v sedimentu oproti sezónám před realizací projektu. Množství sinic v sedimentech se snížilo zhruba o 90%.

Množství buněk sinic v sedimentu 0 - 5 cm



Obr. 5.10 Množství sinic v sedimentu [19]

Druhým kritériem projektu je zvýšení koncentrace kyslíku 1,0 m nade dnem na 2 mg/l a to formou aerace. Před rokem 2008 se koncentrace kyslíku pravidelně snižovala téměř na hodnotu anoxie již v hloubce 10-12 m od hladiny vody. Koncentrace kyslíku před úpravou se měřily pouze v profilu hráze. Hodnoty těchto koncentrací vidíme v tabulce 6.

Tab. 5.5 Průměrné hodnoty koncentrace kyslíku 1m nade dnem měřené v červenci a srpnu v letech 2005-2010 [24]

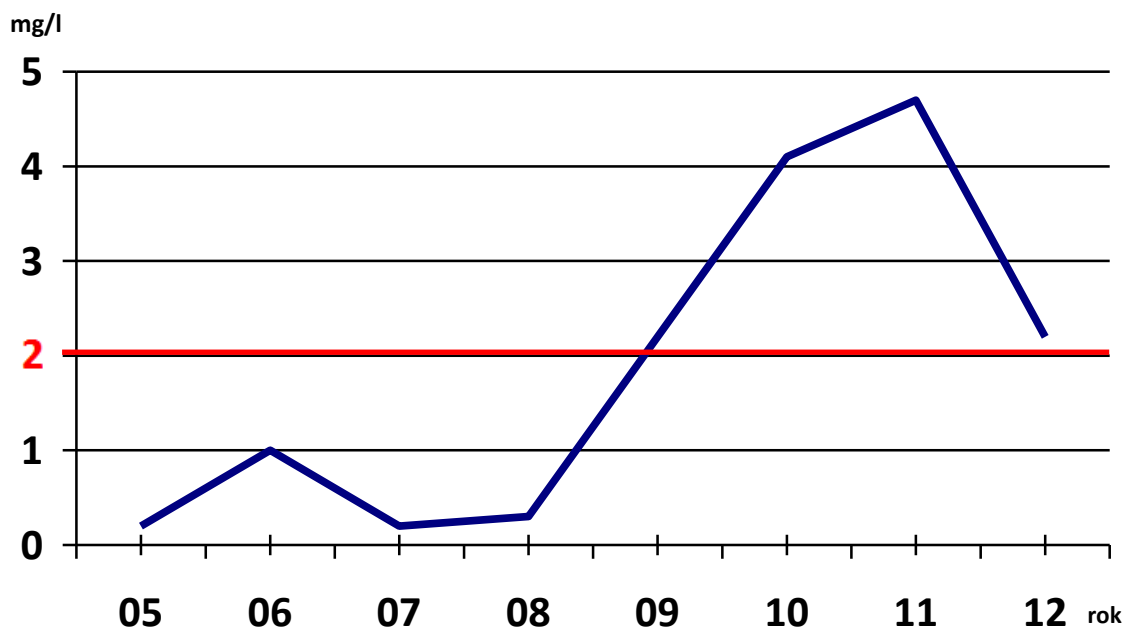
Profil/rok	2005	2006	2007	2008	průměr
Hráz	0,2 mg/l	1,0 mg/l	0,2 mg/l	0,3 mg/l	0,4 mg/l

Pozn: Rok 2009 není zahrnut, jelikož byla hladina snížena o 5m

Průměrné hodnoty koncentrace kyslíku v letech 2010-2012 jsou patrné z tabulky 5.6, jsou zde i údaje z profilu střed a Sokolské koupaliště.

Tab. 5.6 Průměrné hodnoty koncentrace kyslíku 1m nade dnem měřené v červenci a srpnu v letech 2010-2012 [19]

Profil/rok	2010	2011	2012	průměr
Hráz	4,1 mg/l	4,7 mg/l	2,2 mg/l	3,7 mg/l
Střed	6,6 mg/l	5,0 mg/l	4,0 mg/l	5,2 mg/l
Sokolské koupaliště	6,5 mg/l	5,8 mg/l	4,7 mg/l	5,7 mg/l



Obr. 5.11 Koncentrace kyslíku v profilu hráze v průběhu let 2005-2012

Z údajů můžeme jasně vidět zvýšení koncentrací kyslíku u dna nad požadovanou hodnotu 2 mg/l. Můžeme tedy konstatovat, že počet provzdušňovacích věží je v tomto ohledu dostačující a plní dobře svoji funkci.

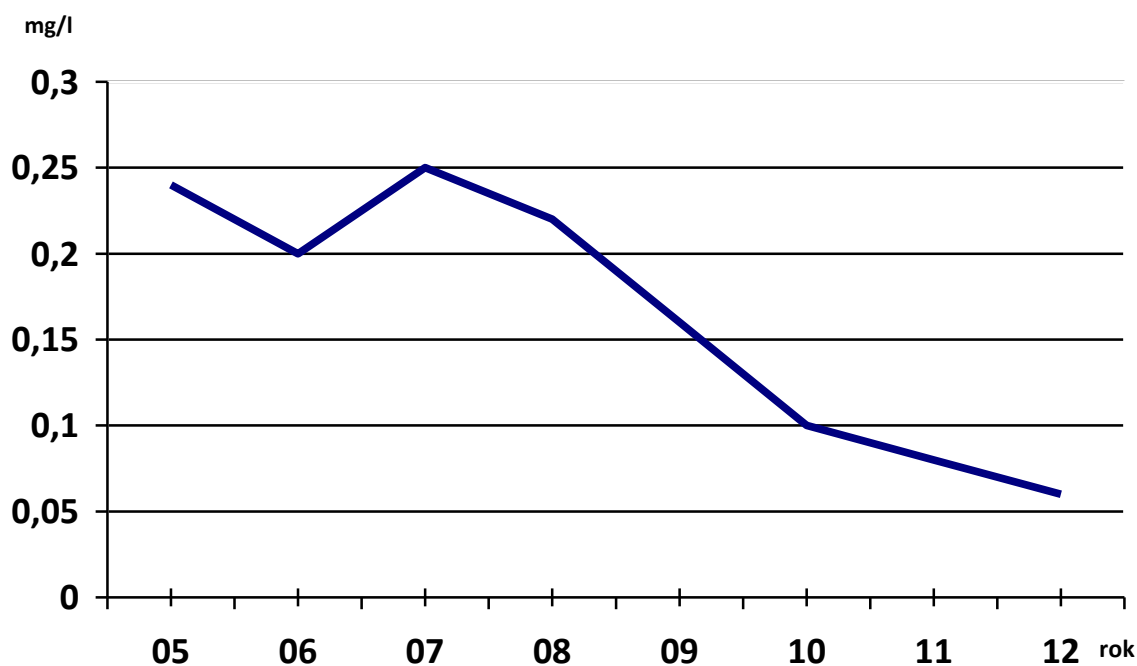
Základním účelem projekt bylo snížení koncentrací celkového fosforu, který je základní příčinou zhoršení kvality vody v přehradě. V následující tabulce vidíme průměrné koncentrace celkového fosforu u dna v profilu hráze v letech 2005-2012.

Tab. 5.7 Průměrné hodnoty koncentrace celkového fosforu měřené v červenci v letech 2005-2008 [24]

Profil/rok	2005	2006	2007	2008
Hráz	0,24 mg/l	0,20 mg/l	0,25 mg/l	0,22 mg/l

Tab. 5.8 Průměrné hodnoty koncentrace celkového fosforu měřené v červenci v letech 2009-2012 [24]

Profil/rok	2009	2010	2011	2012
Hráz	0,16 mg/l	0,10 mg/l	0,08 mg/l	0,06 mg/l



Obr. 5.12 Koncentrace celkového fosforu v průběhu let 2005-2012

Z grafu je patrné, že od roku 2009 zaznamenáváme rapidní pokles koncentrací celkového fosforu, tento pokles je způsoben začátkem revitalizačních prací. Zejména vidíme pozitivní vliv dávkování koagulantu síranu železitého na přítoku do VN Brno.

Posledním ukazatelem je koncentrace dusičnanů. Opatření navrhnutá k revitalizaci VN Brno, nebyly zaměřené na úpravy v zemědělství. Nemůžeme tedy očekávat náhlé snížení koncentrací dusičnanů v přehradě. Tato opatření jsou zahrnuta v dlouhodobém plánu za účelem zachování čisté řeky Svratky.

Tab. 5.9 Průměrné hodnoty koncentrace dusičnanů měřené v říjnu 2005-2008 [24]

Profil/rok	2005	2006	2007	2008
Hráz	-	11,2 mg/l	8,4 mg/l	8,43 mg/l

Pozn.: Rok 2005 není zahrnut, jelikož nebyla provedena měření dusičnanů

Tab. 5.10 Průměrné hodnoty koncentrace dusičnanů měřené v říjnu 2009-2012 [24]

Profil/rok	2009	2010	2011	2012
Hráz	8,87 mg/l	18,5 mg/l	-	10,0 mg/l

Pozn.: Rok 2011 není zahrnut, jelikož nebyla provedena měření dusičnanů

Na základě výše uvedených výsledků lze konstatovat, že opatření realizovaná dle projektu „Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži“ začínají přinášet ve kvalitě vody v Brněnské přehradě viditelné zlepšení. Projekt však zatím neprobíhá tak dlouho, aby výsledky byly bez dalšího pokračování projektu dlouhodobě udržitelné.

I v následujícím období proto bude postupováno v souladu s projektem „Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži“, tedy:

- provádění aerace,
- ošetření sedimentů,
- ošetření vodního sloupce,
- změna rybí osádky.

Jednotlivé kroky postupu budou na základě výsledků monitoringu upřesňovány.

Pro úspěšnost a dlouhodobou udržitelnost cílů projektu je však nezbytné pokračovat také v opatřeních v povodí nad Brněnskou přehradou. Především:

- eliminovat bodové zdroje znečištění v povodí další výstavbou kanalizací a čistíren odpadních vod,
- eliminovat plošné zdroje znečištění v povodí uplatňováním protierozní ochrany zemědělského půdního fondu, omezením nadměrné eroze půdy včetně realizace protipovodňových opatření a posilováním samočisticích schopností řeky realizací projektů revitalizace toku.[4]

6 ZÁVĚR

V první části práce jsem vysvětlil, co znamená pojem eutrofizace a popsal její vliv na životní prostředí. Zmínil jsem se o některých nařízeních a zákonech týkajících se tohoto problému. Popsal jsem zdroje dusíku a fosforu, škodlivý vliv těchto látek na kvalitu vod, navrhl jsem některá preventivní opatření před přesycením těmito látkami a v samostatné kapitole jsem popsal nejznámější metody odstraňování dusíku a fosforu z eutrofních nádrží.

V další kapitole jsem se zaměřil na konkrétní vodní nádrže v České republice. Každou nádrž jsem nejdříve popsal a poté jsem zhodnotil uskutečněná nebo plánovaná opatření. Na závěr první části této práce jsem ještě stručně nastínil situaci ve světě a některých světových oceánech.

Situace ve vodních nádržích v České republice není zdaleka optimální a vzhledem ke geografické poloze musíme více dbát na ochranu našich vod. Přestože se v současné době budují čistírny odpadních vod, zůstává stále velké množství malých obcí, které nemají vypracovaný návrh na ČOV. Existuje také velké množství malých ČOV, které jsou sice v provozu, ale neodstraňují v dostatečné míře fosfor z odpadních vod. Přitom budování dostatečně účinných ČOV má zásadní význam pro potlačování eutrofizace. Bez účinného odstraňování fosforu z odpadních vod není možné docílit dlouhodobě kvalitní vodu v nádržích.

Druhá část mé práce se podrobně zaměřuje na VN Brno. Brněnskou nádrž jsem zvolil hlavně proto, že se na ní provádí projekt, který je zcela unikátní. Jedná se pravděpodobně o nejrozsáhlejší opatření za účelem odstranění eutrofizace na jedné nádrži. Nejdříve jsem charakterizoval obecně celou Brněnskou nádrž a následně popsal problém, který byl způsoben hlavně příliš velkou koncentrací fosforu.

Nejvíce jsem se věnoval konkrétním opatřením aplikovaných v nádrži. Podle údajů z měření před začátkem prací a v jejich průběhu lze konstatovat, že se situace v nádrži podstatně zlepšila. Zejména je to vidět na koncentracích fosforu a kyslíku, kdy po aplikaci koagulantu a postavení aeračních věží došlo k výraznému snížení fosforu a naopak zvýšení kyslíku ve vodě. Oba tyto faktory mají okamžitý vliv na kvalitu vody, a protože tato nádrž slouží zejména k rekreaci, můžeme konstatovat, že provedená opatření splnila svůj účel. Otázkou ovšem zůstává, jestli se kvalita opět nezhorší po skončení provozu těchto zařízení. Proto bude ještě několik let probíhat intenzivní monitoring. V případě zhoršení kvality vody se počítá s okamžitým znovuspuštěním aeračních věží a aplikací koagulantu do nádrže.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HRÁZSKÝ, Zábaj, Luční společenstva - indikátory živin v krajině, 2006, dostupné z WWW: <http://www.daphne.cz/indikacezivin/ke_stazeni.shtml>
- [2] KOČÍ, BURKHARD, MARŠÁLEK, Eutrofizace na přelomu tisíciletí, dostupné z WWW: <http://www.vscht.cz/uchop/ekotoxikologie/kategorie/eutro_tisic.pdf>
- [3] Aplikovaná hydrobiologie III, prezentace přednášky předmětu, dostupné z WWW: <<http://ekologie.upol.cz/ku/ahdo/Eutrofizace.pdf>>
- [4] Informativní zpráva o opatřeních realizovaných statutárním městem Brnem a jeho partnery na Brněnské údolní nádrži a v povodí nad ní, 2010, dostupné z WWW: <http://www.brno.cz/fileadmin/user_upload/sprava_mesta/magistrat_mesta_brna/O_VLHZ/Souhrn_opatreni_cisteni_Brnenske_prehrady.doc>
- [5] Eutrofizace. *Cs.wikipedia.org* [online]. 9. 3. 2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Eutrofizace>
- [6] OECD. In: <http://www.oecd.org/>. 1982. Dostupné z: <http://www.oecd.org/>
- [7] VRBA, Jaroslav a Jakub BOROVEC. Revitalizace Orlické nádrže a přilehlého území. *Akademický bulletin* [online]. 14.3.2011 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://abicko.avcr.cz/2011/03/05/revitalizace.html>
- [8] Vodní dílo Orlík. <Http://www.visitvltava.cz> [online]. 2008 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.visitvltava.cz/cz/vodni-dilo-orlik/25/>
- [9] Duras J., 2008: Monitoring kvality vody nádrže Orlík a vodních toků v jejím povodí, nejdůležitější výsledky. Sborník semináře Revitalizace orlické nádrže, 6. října 2008, Písek)
- [10] PAROULEK, Michal, Hana BOROVEC a KRATOCHVILOVÁ. Revitalizace Orlické nádrže. <Http://www.b4i.cz> [online]. 5. října 2011 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.b4i.cz/zaostreno-na/projekt/revitalizace-orlicke-nadrze>
- [11] HEJZLAR, Milan, Vladimír HLADÍK, RŮŽIČKA a ROHLÍK. *Scénářová studie pro snížení eutrofizace nádrže Lipno* [online]. České Budějovice, 4.4.2001 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://www.npsumava.cz/storage/87_90.pdf
- [12] VD Plumlov. <Http://www.pmo.cz> [online]. 2010 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodni-dila/plumlov/>
- [13] <Http://www.lipensko.org/>. SELUCKÝ, Daniel. <Http://www.lipensko.org/> [online]. 2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.lipensko.org/>
- [14] sinice.unas.cz. HINDÁK, František. *Fotografický atlas mikroskopických sinic* [online]. 1. vyd. Bratislava: Veda, vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 2001 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: sinice.unas.cz
- [15] PAŘÍLKOVÁ, Jana. Brněnská údolní nádrž - aerace. [Www.vodohospodarske-stavby.cz](http://www.vodohospodarske-stavby.cz) [online]. Praha: Grada, 4.6.2009 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.vodohospodarske-stavby.cz/clanek/brnenska-udolni-nadrz-aerace/>
- [16] Kvalita vody v přehradě poroste i v budoucnu. *Brněnský Metropolitan*. Duben 2013, roč. 8.
- [17] *Omezení rozvoje sinic na vodních nádržích*. Tuřanka 1, 627 00 Brno, ČR: ASIO, spol. s.r.o., 2011.

-
- [18] *Vodohospodářské chuťovky*. Tuřanka 1, 627 00 Brno, ČR: ASIO, spol s.r.o., 2011.
- [19] MORONGA, Jan, Roman SLÁDEK a Jiří PALČÍK. *Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži*. Brno: ASIO, spol. s.r.o., 2012. WORLD RESOURCES INSTITUTE.
- [20] *Www.wri.org* [online]. 10 G Street NE Suite 800, Washington, DC 20002, 2005 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z:
http://farm2.staticflickr.com/1201/4599397428_5657deb314.jpg
- [21] DANĚK, Ondřej. *Http://sinice.unas.cz/* [online]. 1. prosince 2010 9:58:59 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://sinice.unas.cz/1.jpg>
- [22] Bahno ukáže, jak bylo úspěšné vápnění přehrady. *Brněnský deník.cz* [online]. 2008 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z:
http://brněnsky.denik.cz/zpravy_region/bahno_vapneni_prehrad_20080205.html
- [23] Aerační věže. ASIO, spol s.r.o. *Www.asio.cz* [online]. 2010 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/aeracni-veze>
- [24] POVODÍ MORAVY S.P., Závod Dyje. *Monitoring brno 2003-2009*. Brno, 2010.

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Stupně trofie	4
Tab. 5.1 Přehled dotací z JMK v letech 2004-2010	36
Tab. 5.2 Hodnocení jakosti vod v přírodních koupalištích dle vyhlášky 238/2011 Sb.	37
Tab. 5.3 Hodnocení jakosti vody v letech 2005-2008 [19]	37
Tab. 5.4 Hodnocení koupacích vod v letech 2010 až 2012 [19]	38
Tab. 5.5 Průměrné hodnoty koncentrace kyslíku 1m nade dnem měřené v červenci a srpnu v letech 2005-2010 [24].....	39
Tab. 5.6 Průměrné hodnoty koncentrace kyslíku 1m nade dnem měřené v červenci a srpnu v letech 2010-2012 [19].....	39
Tab. 5.7 Průměrné hodnoty koncentrace celkového fosforu měřené v červenci v letech 2005-2008 [24]	40
Tab. 5.8 Průměrné hodnoty koncentrace celkového fosforu měřené v červenci v letech 2009-2012 [24]	40
Tab. 5.9 Průměrné hodnoty koncentrace dusičnanů měřené v říjnu 2005-2008 [24]	41
Tab. 5.10 Průměrné hodnoty koncentrace dusičnanů měřené v říjnu 2009-2012 [24]	41

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Eutrofní voda v Brněnské přehradě [5]	4
Obr. 2.2 Schéma eutrofizace [5]	9
Obr. 2.3 Vlákňité a koloniální sinice [7]	10
Obr. 3.1 Vodní květ na přehradě Orlick [7]	15
Obr. 3.2 Vodní nádrž Lipno [13]	17
Obr. 3.3 Provádění úprav dna nádrže [12]	19
Obr. 4.1 Eutrofní Čínské jezero [20]	22
Obr. 4.2 Satelitní snímek Mexického zálivu a Kaspického moře [5]	22
Obr. 5.1 Vodní nádrž Brno	23
Obr. 5.2 Rozmístění aeračních věží v Brněnské přehradě	28
Obr. 5.3 Strojovna	29
Obr. 5.4 Aerační věž použitá na Brněnské přehradě [15]	30
Obr. 5.5 Schéma aerační věže s čerpadlem(A) a s aerátorem(B) [23]	31
Obr. 5.6 Plavidlo pro separaci částic biomasy [23]	32
Obr. 5.7 Vápňení dna Brněnské přehrady [22]	35
Obr. 5.8 Grafické hodnocení jakosti vody v letech 2005-2008	37
Obr. 5.9 Grafické hodnocení jakosti vody v letech 2010-2012	38
Obr. 5.10 Množství sinic v sedimentu [19]	39
Obr. 5.11 Koncentrace kyslíku v profilu hráze v průběhu let 2005-2012	40
Obr. 5.12 Koncentrace celkového fosforu v průběhu let 2005-2012	41

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
HPL	High performance liquid (organominerální hnojiva)
Al	Aluminium (hliník)
Fe	Ferrum (železo)
pH	Záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů
CO ₂	Oxid uhličitý
H ₂ S	Sulfan (dříve sirovodík)
Ca(NO ₃) ₂	Dusičnan vápenatý
FeCl ₃	Chlorid železitý
ha	Hektar
km	Kilometr
m	Metr
VD	Vodní dílo
VN	Vodní nádrž
mg	miligram
l	litr
USA	Spojené státy americké
ČOV	Čistírna odpadních vod
m n. m.	Metřů nad mořem
N	Nitrogenium (dusík)
P	Phosphorus (fosfor)
EO	Ekvivalentní obyvatel
ČSN	Česká technická norma
mil.	milion
kg	kilogram
PIX	Obchodní označení specifického produktu (síran železitý)

PAX Polyaluminiumchlorid

JMK Jihomoravský kraj

Pozn. Poznámka

SUMMARY

In the first part of this thesis I explain what the word eutrophication means and I described its impact on the environment. I mentioned some laws and regulations related to this issue. I described nitrogen and phosphorus and their resources and then I focused on their influence on eutrophication. I suggested some preventive measures against the supersaturation of these substances and in a separate chapter I described the most popular methods of removing nitrogen and phosphorus from eutrophic reservoirs.

In the next chapter I have focused on specific reservoirs in the Czech Republic. I described each reservoir and then evaluated its measure. At the end of the first part I have approached the situation in the world and in some of the world's oceans.

In the second part of my thesis I focus on water reservoir Brno. I have chosen Brno's reservoir because the project against eutrophication is unique. This project is probably the most extensive measure to eliminate eutrophication in one reservoir.

I paid attention to measures applied in the reservoir. According to data from measurements we can say that the quality of water has improved. We can see that the concentrations of phosphorus were reduced. This factor has an immediate positive effect on water quality. We can say that the measures fulfilled their purpose but we still have to monitor intensively the situation for the next few years to gain long-term data.