

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technické možnosti zlepšování životních podmínek ryb v povrchových vodách v souvislosti s vodohospodářským provozem vodních nádrží

Technical options for improving fish welfare in surface waters in the context of reservoir management

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.

Květen 2023

Jiří Boháček

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Boháček Jméno: Jiří Osobní číslo: 494215
Zadávací katedra: Katedra hydrotechniky
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor/specializace: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Technické možnosti zlepšování životních podmínek ryb v povrchových vodách v souvislosti s vodohospodářským provozem vodních nádrží

Název bakalářské práce anglicky: Technical options for improving fish welfare in surface waters in the context of reservoir management

Pokyny pro vypracování:

Příčiny zhoršení životních podmínek ryb v povrchových vodách

Následky způsobené zhoršenými životními podmínkami ryb

Technické možnosti provozu vodních děl a jejich efektivita pro zlepšování života ryb

Seznam doporučené literatury:

KRÁSA, Josef. Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy: certifikovaná metodika pro praxi. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2013. ISBN 978-80-01-05428-4
ADÁMEK, Zdeněk. Aplikovaná hydrobiologie. Dotisk 2., rozš. upr. vyd., Vodňany, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2014. ISBN 978-80-87437-09-4

VELÍŠEK, J. a kol.: Vodní toxikologie pro rybáře, Vodňany, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2018. ISBN 978-80-7514-069-2

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 22.02.2023

Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.05.2023

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

22.2.2023

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze, dne 22.5.2023

Místo zpracování, celé datum

.....

Jiří Boháček

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Ladislavu Satrapovi, CSc. za velmi milý přístup a užitečné konzultace během zpracovávání bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat za zajímavé konzultace RNDr. Marku Šmejkalovi a PhD. a Ing. Tomáši Markovi. V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat rodině za podporu.

Abstrakt

Tato práce se zabývá problémem nedostatku kyslíku v povrchových vodách. Cílem práce je popsat zdroje, které vedou ke snížení rozpuštěného kyslíku ve vodě a navrhnout možná řešení, která by vedla ke zlepšení situace. Jako řešení jsou v práci navržena různá aerační zařízení, jejichž užívání vede ke zlepšení kvality povrchových vod.

Klíčová slova

Eutrofizace, fosfor, kyslík ve vodě, životní podmínky ryb, aerátory

Abstract

This work focuses on the problem of oxygen deficiency in surface waters. The aim of the work is to describe the sources that lead to a decrease in dissolved oxygen content in water and to propose possible solutions that would lead to an improvement of the situation. Various aeration devices are proposed as solutions in the thesis, the use of which leads to an improvement in the quality of surface water.

Key words

Eutrophication, phosphorus, oxygen in the water, fish welfare, aerators

Obsah

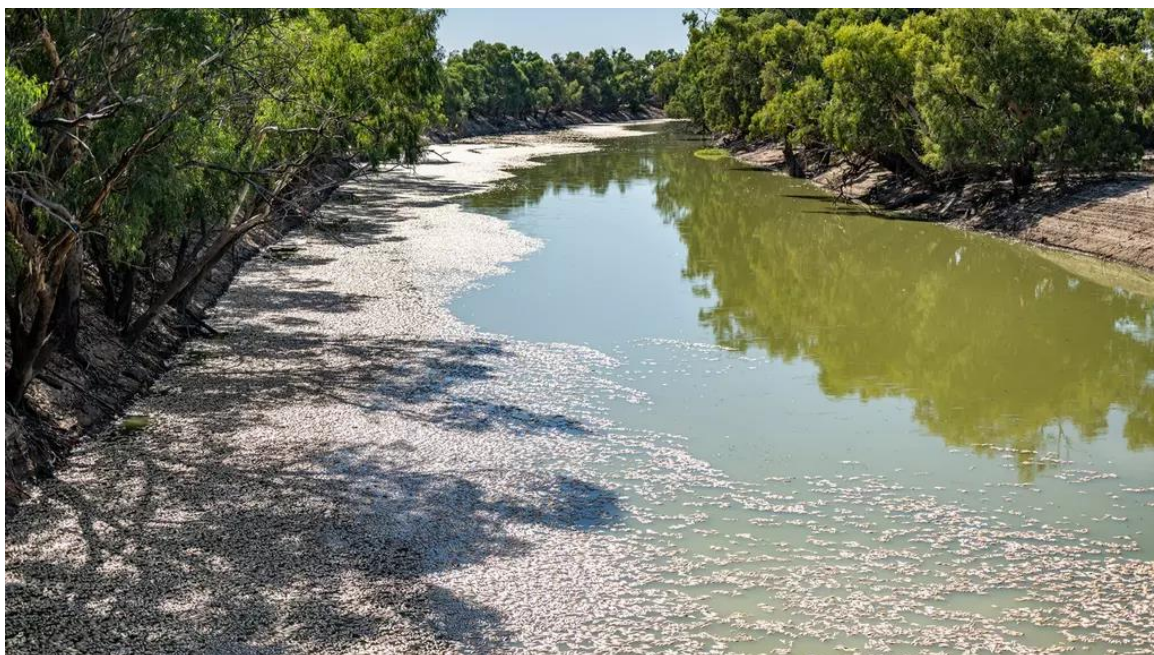
1	Úvod.....	3
2	Vliv vodních děl na kvalitu vody	6
2.1	Typy vodních děl	6
2.2	Hlavní změny v ekosystému způsobené přehradou	7
2.3	Vliv přehrad na ryby	9
3	Eutrofizace	10
3.1	Definice eutrofizace	10
3.2	Následky eutrofizace.....	11
4	Vliv fosforu na kvalitu vody	12
4.1	Formy fosforu	12
4.2	Zdroje forem fosforu.....	12
5	Kyslík	15
5.1	Příčiny nedostatku kyslíku.....	16
5.2	Citlivost ryb na nedostatek kyslíku ve vodě	16
5.3	Klinické příznaky.....	17
6	Teplota vody.....	19
6.1	Vliv teploty vody na její kvalitu	19
6.2	Klinické příznaky vedoucí k úmrtí ryb	20
6.3	Teplotní stratifikace	20
6.4	Teplota vody pod přehradou	24
7	Aerace vodního prostředí	26
7.1	Věžové aerátory	27
7.1.1	Typy věží	30
7.2	Speece cone (Kuželový aerátor)	31
7.3	Aerace pomocí vodního skoku	33
7.3.1	Okysličení pomocí prstencového vodního skoku.....	33
7.3.2	Aerace pomocí vodního skoku na nádrži	34
7.4	Porovnání aerátorů.....	35
7.5	Povrchové aerátory	36
7.5.1	Solární provzdušňovač	36
7.5.2	Lopatkový aerátor.....	37
7.5.3	Hřebenový aerátor	38

7.5.4	Vertikální aerátor.....	40
7.5.5	Tryskový aerátor.....	41
7.5.6	Combito	43
7.5.7	Gejírový aerátor	45
7.5.8	Porovnání povrchových aerátorů.....	46
8	Závěr.....	47
9	Zdroje	49
10	Seznam obrázků.....	52
11	Seznam grafů	53
12	Seznam tabulek.....	53

1 Úvod

Ke zpracování bakalářské práce mě dovedl často se vyskytující, a to i v různých oblastech, problém s nedostatkem rozpuštěného kyslíku ve vodě. Nedostatek kyslíku ve vodě vedl už v minulosti k řadě úmrtí ryb. Jako rybáře mě tedy tyto události velmi zasáhly, a tak jsem se jako student vodního hospodářství a vodních staveb rozhodl zabývat technickými možnostmi, které by vedly ke zlepšení kvality povrchových vod.

Nejnovějším případem je hromadný úhyn ryb na Australské řece Darling, která se nachází na jihovýchodě Austrálie (obr.1-1). Celkem zde došlo k úmrtí přibližně milionu ryb. Důvodem úmrtí ryb byl označen právě nedostatek kyslíku ve vodě, což bylo způsobeno velkou vlnou veder. V místě úmrtí ryb se teplota vzduchu vyšplhala během několika dní na vysokých čtyřicet stupňů Celsia. To vedlo k výraznému oteplení vody v řece, což mělo za následek úbytek kyslíku ve vodě. [1]



Obrázek 1-1: Masivní úhyn ryb na řece Darling (Zdroj: Seznam Zprávy)

S podobným případem jsme se setkali také v minulém roce v naší republice, a to konkrétně na řece Dyji pod Novomlýnskými nádržemi. Bylo zde zlikvidováno celkem 42 tun uhynulých ryb, které se nacházely pod jezem v Bulharech. Odborníci došli k závěru, že zde došlo k vyčerpání kyslíku ve vodě. Kyslík zde nebyl dostatečně doplňován fotosyntézou ani během dne. Kyslík ve vodě byl vyčerpán zejména kvůli jeho vysoké spotřebě řasami, sinicemi, odumírající organickou hmotou a také samotnými rybami. Na místě se snažili rybáři zajistit kyslík různými způsoby, jako bylo odpouštění okysličené vody z nádrže nebo rozstříkávání vody pomocí segmentového jezu. Hlavní příčina, která stála za úbytkem rozpuštěného kyslíku ve vodě a následnému úmrtí ryb, bylo označeno nadměrné vypouštění odpadních vod z čistíren odpadních vod nad nádržemi. Tyto vody obsahovaly velké množství živin, které pomohly rozvoji sinic a další biomasy. Následkem byla zvýšená spotřeba kyslíku v ranních hodinách. Rybáři ze začátku označovali za příčinu úmrtí ryb vodní elektrárnu, a to z toho důvodu, že voda přes vodní elektrárnu není okysličená. Tato varianta byla nakonec vyvrácena. [2]

S nedostatkem kyslíku ve vodě jsme se nesešli jenom v tomto roce, ale také už v minulosti. V roce 2014 došlo k úhynu přibližně 700 kilogramům ryb na Vranovské přehradě. Nejvíce došlo k úhynu okounů a candátů. Za úmrtím stály letní deště, kdy z řeky přitekla studená voda, která začala klesat ke dnu. Klesání mělo za následek to, že zmíněné druhy ryb zůstaly v neokysličené části nádrže, která se zde během léta vytvořila. [3]

V dnešní době se tedy setkáváme zejména s úmrtím ryb z důvodu nedostatku kyslíku ve vodě. Ovšem může nastat i opačný jev, kdy dojde k úhynu z nadbytečného množství kyslíku. Takovým příkladem je úhyn ryb na Žermanické přehradě v roce 2002. V tomto roce se na této přehradě odehrál zcela opačný jev než na řece Dyji nebo na přehradě Vranov. Na Žermanické přehradě došlo k nepřírodně vysoké koncentraci rozpuštěného kyslíku. V jeho důsledku došlo k úhynu zejména menších ryb. Hlavní příčina byla uvedena právě vysoká koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě, alkalita vody a vysoká teplota vody v nádrži. K přesycení zde došlo z důvodu vysoké intenzity fotosyntézy, která byla způsobená přemnožením sinic. Koncentrace rozpuštěného kyslíku byla naměřena až 200 %, což není slučitelné s životem ryb. U ryb zde došlo k plynové embolii. Kyslík v krvi se v tomto případě přeměnil na plynný, což způsobí ucpaní žaber a srdce. V přehradě došlo k úhynu přibližně 2150 kg ryb. Nejvíce bylo odloveno uhynulých okounů, cejnů, plotic a candátů. [4]

Z těchto důvodů jsem se rozhodl v bakalářské práci zaměřit na zlepšení kvality kyslíkových poměrů v povrchových vodách, které by vedly ke zlepšení životních podmínek ryb. Vzhledem k tomu, že dochází ke globálnímu oteplování a růstu teplot, bude docházet k podobným událostem častěji, a to mě vedlo k tomu najít možnosti, jak zamezit nedostatku kyslíku ve vodě. Je důležité si uvědomit, že zhoršená kvalita vody vlivem vyšších teplot bude ohrožovat funkce nádrží (vodárenské nádrže).

V bakalářské práci nejprve zmiňuji příčiny, které vedou ke zhoršení životních podmínek ryb. Následně uvádím následky, které mohou nastat při zhoršených podmínkách ve vodě. V poslední části popíšu a porovnáám technické možnosti vedoucí ke zlepšení kvality povrchových vod.

2 Vliv vodních děl na kvalitu vody

2.1 Typy vodních děl

Vodní díla jako jsou jezy a přehrady mají významný vliv na hydrologii a ekologii vodních toků. Jejich vliv se začal zkoumat od 20. století. Vodní díla, podle jejich vlivu na ekosystém, rozdělujeme celkem na čtyři typy. [5]

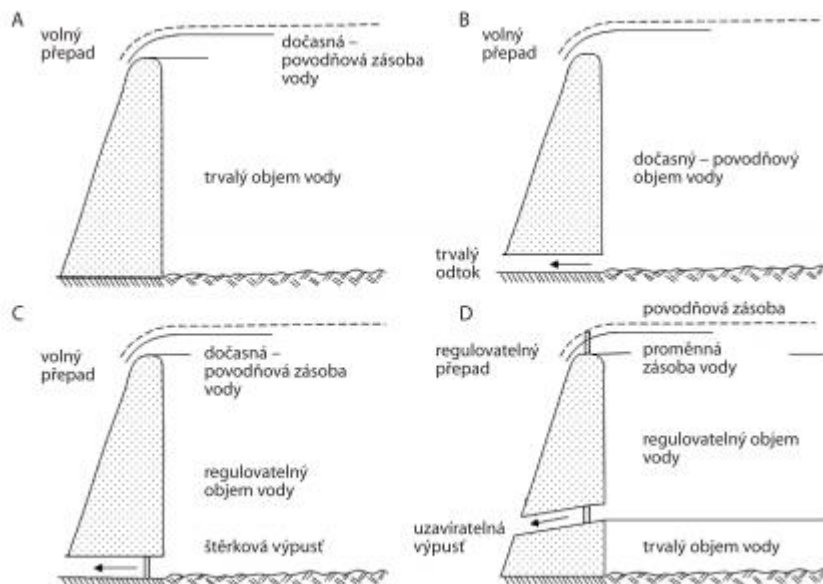
Prvním typem je pevný jez označený na přiloženém obrázku písmenem A (obr. 2-1). Tento typ je nejstarší a nelze u něj regulovat průtok ani hladinu. Voda zde přepadá přes přelivnou hranu. Nad jezem se tvoří trvale zatopený objem stojaté vody. V trvalém zatopeném prostoru se objevují díky zatopení některé druhy koryšů, kteří by se v daných úsecích vůbec nevyskytovaly. U tohoto typu vzdouvací stavby dochází ke zpomalování průtoku, a to vede k výraznému ochuzování vodního prostředí o rozpuštěný kyslík. [5]

Druhým typem, se kterým se můžeme na vodních tocích setkat je takzvaný propustný jez označen písmenem B (obr. 2-1). S tímto typem se setkáme zejména v lesnických melioracích. Příkladem mohou být přehrážky, které se často vyskytují na horních tocích. Tento typ stavby se staví k zachycení plavenin a splavenin. Přehrážky se budují z různých materiálů. Máme betonové přehrážky, kamenné přehrážky, gabionové přehrážky a v neposlední řadě i dřevěné. Na rozdíl od prvního typu zde vzniká zatopený objem pouze při vyšších průtocích. Z toho vyplývá, že tento druh stavby má minimální vliv na ekosystém a neovlivňuje množství kyslíku v toku. [5] [6]

Třetím typem je kombinovaný jez na obrázku pod písmenem C (obr. 2-1). Průtok tímto jezem lze regulovat na rozdíl od prvního a druhého typu. Vliv na život organismů je podobný jako u prvního typu. Jedinou změnou je možnost regulovat hloubky a průtoky. [5]

Posledním typem označeným písmenem D je přehradní hráz (obr. 2-1). Vliv na ekosystém je zásadní a má vliv hned na několik faktorů. Prvním faktorem je, že přehrada ovlivňuje během celého roku průtok v dolním korytě. Druhý faktor výrazně ovlivňuje teplotu pod přehradou nádrže během celého roku. Teplota pod nádrží je velmi nízká (okolo 6 až 10°C). To způsobuje, že pod nádrží vzniká pstruhové pásmo a původní druhy ryb, jako je například parma obecná, přichází o svůj habitat. Navíc v zimě nedochází k zamrznání vody na řece. Příkladem může být řeka Vltava v Praze. Ta před vybudováním Vltavské kaskády

zamrzala. Dokonce se na ní dalo i bruslit. Od doby, co je kaskáda vybudována, řeka už z důvodu vypouštění teplejší vody v období zimy vůbec nezamrzá. [5]



Obrázek 2-1: Typy vodních děl [5]

2.2 Hlavní změny v ekosystému způsobené přehradou

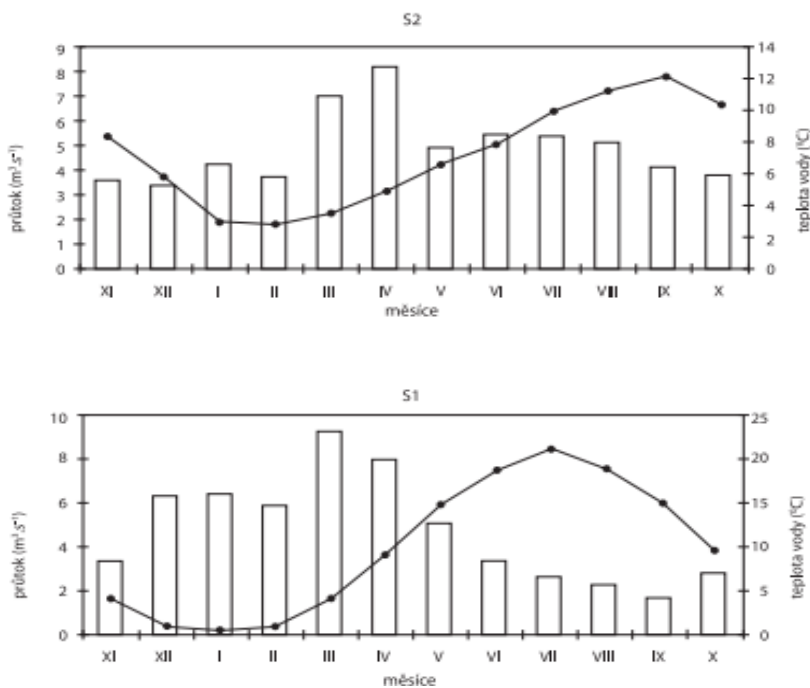
Přehrady mají významný vliv na ekosystém, protože způsobují hned několik změn v ekosystému. Mezi první řadíme změny ročního a denního hydrologického režimu. Denní změny mohou nastat například během výroby elektrické energie. Takovým příkladem může být vodní dílo Dalešice. Dalešice jako špičková elektrárna během několika hodin výroby sníží svoji hladinu hned o několik metrů. Z důvodu, aby nedošlo k tak velkému růstu průtoku v řece pod nádrží, je zde vybudována vyrovnávací nádrž Mohelno, ze které už odtéká předem dohodnutý průtok. Hladina v Mohelnu se může během dne změnit až o 12 metrů. Roční výkyvy hydrologického režimu mohou například nastat u nádrží sloužících k zásobě vody pro závlahu. [5] [7] [8]

Vliv mají příčné stavby také na změny odnosového režimu a ukládání splavenin. Dále mají vliv také na morfologii sedimentů u dna a břehů. Dalším významným vlivem jsou změny týkající se obsahu živin v odtokové vodě, protože většina živin se usadí v nádrži. Stavby mají v neposlední řadě také vliv na průtoky. Pokud bychom se podívali na průtoky u toků, které nejsou ovlivněny žádnou stavbou a jsou umístěny zároveň ve střední Evropě,

zjistíme, že nejvyšší průtoky jsou naměřeny v březnu a dubnu, minima pak zejména v září, popřípadě v srpnu anebo říjnu. Jarní měsíce březen a duben mají vyšší průtoky způsobené táním sněhu a ledu. [5]

Velký vliv má přehrada na teplotu vody během celého roku. Na grafu (graf 2-1) si lze všimnout teplotních rozdílů nad nádrží a pod nádrží. Sloupce v tomto grafu znázorňují průměrné měsíční průtoky v m^3/s na řece Dyji nad Vranovskou přehradou (spodní graf). Nejvyšší průtoky jsou naměřeny právě v měsících března a dubna, kdy dochází k tání sněhu. Nejmenší průtoky byly naměřeny v září. Teplota vody v řece se nejvýše vyšplhala v červenci. [5]

V druhém měřeném profilu, který je umístěn výše (graf 2-1), si lze všimnout, vyznačenosti průtoků během celého roku, na rozdíl od profilu, kde nedochází k regulaci průtoků. Z grafu tedy vyčteme, že voda je zadržena a vypouštěna v měsících většího sucha. To může mít velmi pozitivní vliv na ekosystém, protože může dojít k záchraně některých živočichů pod nádrží. Vliv na průtoky není tak zásadní jako druhý faktor, kterým je teplota vody. Voda z nádrže má nejvyšší teplotu okolo $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ a málo kdy vůbec překročí teplotu $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, to má právě vliv na původní rybí pásma, a to stojí za vznik nových pstruhových pásem. [5]



Graf 2-1: Porovnání teploty vody a průtoků vody během roku nad a pod Vranovskou přehradou [5]

2.3 Vliv přehrad na ryby

Přehrady mají významný vliv na rybí populace. Nejvíce přehrady ovlivňují teplotu vody pod dolním tokem, jak bylo zmíněno v předchozí kapitole a dále také ovlivňují migraci některých druhů ryb. Příkladem takové ryby je losos (*Salmo salar*) a úhoř (*Anguilla Anguilla*). Postavením jezu Střekov na Labi došlo k vymizení lososa z českých řek. Dalším problémem je průchod ryb přes vodní turbíny vyrábějící elektrickou energii, kdy může dojít k roztrhnutí ryby. [5]

Údolní nádrže představují odlišné prostředí pro ryby, než to které bylo původní. Po vybudování přehrad došlo k vymizení říčních druhů ryb a došlo k rozšíření jezerních typů ryb. Vybudování přehrad mělo za následek vymizení charakteristických druhů ryb, jako je parma obecná, ostroretka stěhovavá a hrouzek obecný. Jejich místa osídlily jiné druhy ryb. Příkladem těchto ryb jsou plotice obecná, cejn velký, cejnek malý nebo candát obecný. Velice zajímavá je statistika úbytku původních ryb z parmového pásma. Na řece Dyji po vybudování přehrad došlo k úbytku původních druhů ryb z parmového pásma (parma obecná, podoustev říční, ostroretka stěhovavá) až o 35,7 procent. [5]

3 Eutrofizace

3.1 Definice eutrofizace

Eutrofizace je proces, který vede k obohacení (trofii) stojatých a tekoucích vod o anorganické živiny. Vody podle úživnosti lze podle množství fosforu, chlorofylu a průhlednosti rozdělit na vody oligotrofní, mezotrofní, eutrofní a hypertrofní. (tab. 3-1). Nádrže a rybníky v České republice jsou velmi často ohroženy eutrofizací a za druhé jsou ohroženy vnosem erozního materiálu. Eutrofizace vede k řadě negativním následkům. Příkladem omezení je rekreace v letních měsících, zvyšování nákladů pro úpravu vody u pitných nádrží a zhoršení kyslíkových poměrů ve vodě. [5] [9]

ÚŽIVNOST	FOSFOR	CHLOROFYL - A		PRŮHLEDNOST	
	mg/l	µg/l		m	
	průměr	průměr	max.	průměr	max
Oligotrofie	< 0.010	< 2.5	< 8	> 6	> 3
Mezotrofie	0.010 – 0.035	2.5 - 8	8 - 25	3 - 6	1.5 - 3
Eutrofie	0.035 – 0.100	8 - 25	25 - 75	1.5 - 3	0.7-1.5
Hypertrofie	> 0.100	> 25	> 75	< 1.5	< 0.7

Tabulka 3-1: Rozdělení vod podle úživnosti [5]

Oligotrofní prostředí je v dnešní době velmi těžké vyhledat, proto je toto povodí v dnešní době velmi ohrožený ekosystém. Oligotrofní prostředí se vyznačuje jako prostředí s nízkým obsahem živin, nízkým obsahem chlorofylu a s velkou průhledností vody. Na oligotrofní povodí má vysoký vliv zemědělství a hospodaření v lese. Negativní působení na toto prostředí má například smrková monokultura nebo odvodňovací systémy na vlhkých loukách. Dalším negativním vlivem může být například orná půda, která navazuje na břehy potoků a živiny se ihned dostávají do toku. Příkladem organismu žijícího v oligotrofním prostředí je perlorodka říční. [5] [10]

Přechodnou fází mezi oligotrofním prostředím a eutrofním je mezotrofní prostředí. Tomuto prostředí se dá říkat také středně úživné prostředí, které stále neobsahuje velké množství živin a jeho průhlednost může stále být až k 6 metrům. V dnešní době se setkáváme s dalšími dvěma fázemi a ty způsobují velké problémy na našich vodních plochách. [5]

Následkem eutrofního prostředí je růst fytoplanktonu. Eutrofizace je negativní vliv, který je přírodního charakteru, ale v důsledku lidské činnosti přesáhl přirozené meze.

Přirozená eutrofizace je způsobena několika zdroji. Mezi takové zdroje řadíme uvolňování fosforu, dusíku a dále uvolňování silikátů z půdy anebo v neposlední řadě také sedimenty s odumřelými vodními organismy. S těmito zdroji si ale příroda dokázala poradit. Avšak v důsledku lidských zdrojů přesáhla přirozené meze. Příkladem lidských zdrojů vedoucích ke zvýšení eutrofizace mohou být odpadní vody nebo prací prášky, které běžně používáme v domácnosti. [5]

3.2 Následky eutrofizace

Zvýšená eutrofizace vede k rozvoji vodního květu, sinic a k tvorbě zelených řas. Sinice mají vliv hned na velký vliv na kvalitu povrchové vody. Sinice mají vliv na rybí osádku, reprodukci korýšů, vliv na bakteriální diverzitu a také na světelnou intenzitu ve vodě. Sinice vedou k narušení kyslíkového režimu. Během dne dochází k fotosyntéze. Opak, a tím pádem i problém pro ryby nastává během noci a následně nejvíce během rána, kdy dochází ke vzniku anoxického prostředí. To vede ke vzniku takového prostředí, které je zcela nepřijatelné pro organismy. Následkem tedy mohou být hromadné úhyny ryb v důsledku nedostatku kyslíku ve vodě. K tomuto jevu nedochází pouze na rybnících nebo přehradách, ale dochází k nim dokonce i v mořích, kde vznikají tyto zóny a ryby nestíhají místo opustit. Následně tedy dochází k úhynu ryb i zde. [5]

Ke spotřebování kyslíku dochází také při velkém úhynu řas a sinic ve vodě. To vede také k úbytku tolik potřebného kyslíku ve vodě. Tento děj probíhá tak, že odumřelá hmota klesá ke dnu, kde je následně rozkládána bakteriemi. Zde potom vzniká také anoxické prostředí. U dna má anoxické prostředí negativní vliv zejména na bentické organismy Mezi bentické organismy (bentos) řadíme například mikrobiální rozkladače (houby a bakterie) nebo raci. [5] [11]

4 Vliv fosforu na kvalitu vody

Eutrofizace v nádržích v České republice je spojena především s fosforem, proto se fosfor používá jako hlavní indikátor znečištění nádrží. [12]

4.1 Formy fosforu

Fosfor je řazen mezi biogenní prvky. Biogenní prvky jsou prvky, které jsou nezbytné pro život. Fosfor je společně s dusíkem důležitou látkou pro růst organismů. I díky tomu právě dochází k nárůstu sinic a řas na našich vodních dílech. Fosfor ve složení s kyslíkem vytváří takzvané fosforečnany. Fosforečnany se běžně vyskytují v litosféře, biosféře, hydrosféře a atmosféře. Znamená to tedy, že se s nimi setkáváme téměř všude. Polyfosforečnany mohou mít celkem dvě podoby ve vodě, a to strukturu řetězovou nebo cyklickou. [12]

Fosfor se může vyskytovat ve formě rozpuštěného fosforu anebo také v podobě částicového fosforu. Nejčastější podoba fosforu, se kterou se setkáváme v problematice eutrofizace je rozpuštěný fosfor ve formě $\text{PO}_4 - \text{P}$. Tuto formu přijímají řasy, sinice a bakterie. Následně se sloučeniny v biomase dostávají zpět do vodního ekosystému. Kromě rozpuštěného fosforu se můžeme setkat také s takzvaným částicovým fosforem. Řadíme sem například řasy, sinice, bakteriální vločky. Dalším takovým příkladem mohou být částice, které se dostaly do nádrže erozí z polí. Takové částice se do nádrže dostávají tokem, který ústí v nádrži. [12]

4.2 Zdroje forem fosforu

Zdroje forem fosforů lze dělit na přírodní a antropogenní zdroje. Přírodním zdrojem je minerál apatit. Dalším přirozeným zdrojem mohou být fosforečnany z biologické hmoty. [12]

Mezi antropogenní zdroje fosforečnanů v nádržích patří zejména fosfor obsažený v odpadních vodách, fosfor ze zemědělských ploch, kde se ve velkém množství využívají fosforečná hnojiva ke zvýšení úrody. Tyto fosforečnany se do nádrží dostávají splachem z polí. Ze zemědělských ploch se dostává do nádrží pouze část, protože část se přemění v biomasu. Větším problémem mohou být spíše prací prášky. Ty jsou totiž nerozpustné a dostávají se tedy do vody ve velkém množství. [12]

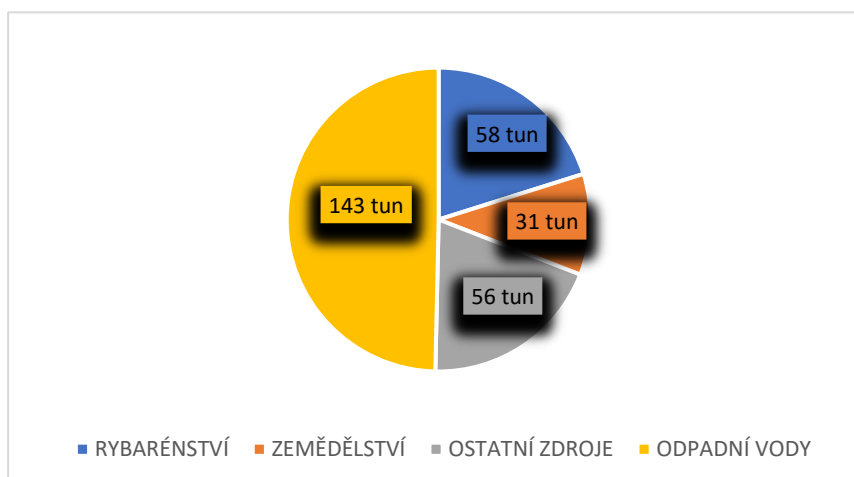
Mezi lety 2007 až 2009 se uskutečnilo měření koncentrace fosforu na přehradě Orlík. Bylo změřeno, že do této přehrady přitéká ročně až 288 tun fosforu. Nejvíce fosforu bylo obsaženo v odpadních vodách (graf 4-1). Přibližně 143 tun, což bylo zhruba 55 % z celkového množství přitékajícího fosforu do nádrže. Dalším významným zdrojem fosforu je intenzivní chov ryb. Zde bylo množství fosforu stanoveno na 58 tun za rok, tedy 22 % z celkového množství fosforu. Zemědělství v povodí se podílelo 12 % fosforu, tedy 31 tunami. Řešením problému by mělo být snížení vnosu fosforu až o 114 tun ročně. [13]

Možná opatření snížení množství fosforu lze rozdělit do celkem tří skupin:

1. Opatření bodová
2. Opatření v rybníkářství
3. Opatření v oblasti vnosů fosforu ze zemědělství

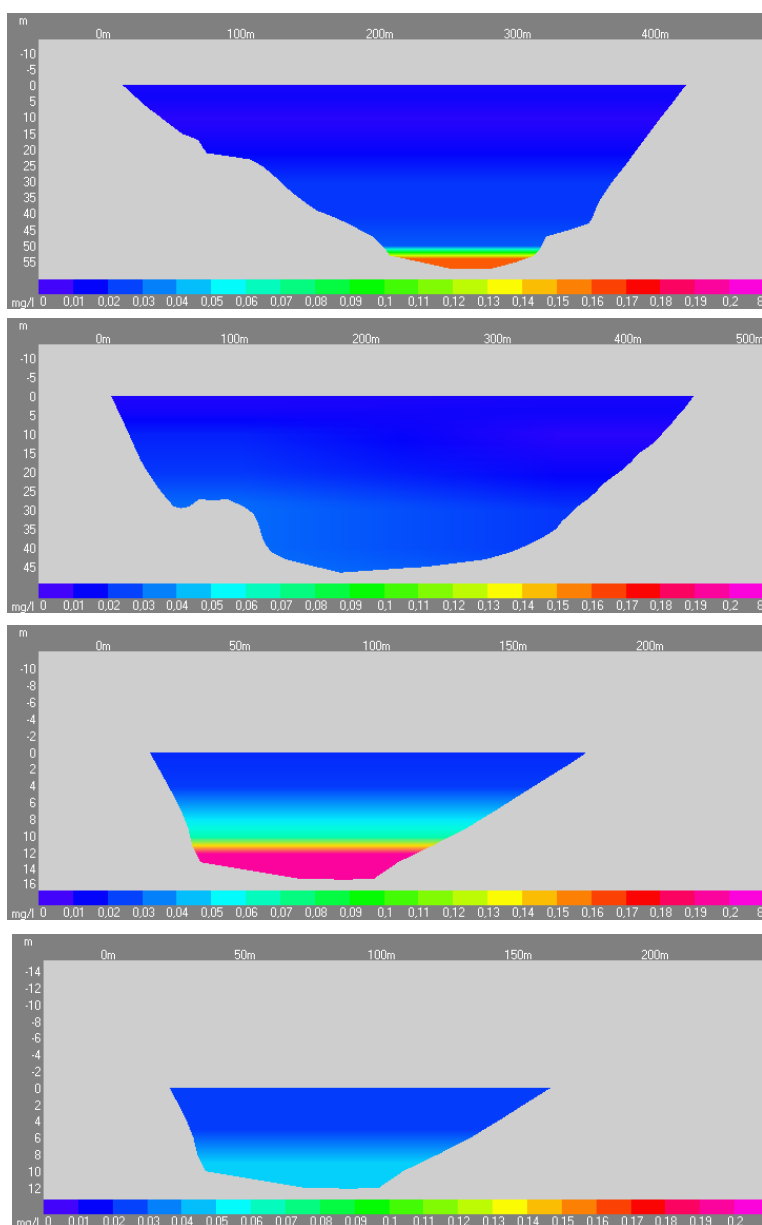
První skupinou opatření jsou rekonstrukce kanalizací, vybudování nových čistíren odpadních vod a vybudování retenčních nádrží. [13]

Opatření v rybníkářství se mohou týkat jak změny chovu ryb anebo také vhodnou volbou potravy pro ryby. Například přikrmování kapra pšenicí, může vést k zvýšení fosforu ve vodě. Proto musíme volit takové krmivo, aby došlo k zadržení fosforu v biomase. Výsledkem by mělo být, že fosfor obsažený v krmivu, hnojivu a v rybí osádce, by se měl rovnat celkovému množství fosforu v rybách. [13]



Graf 4-1: Zdroje fosforu v nádrži VD Orlík [13]

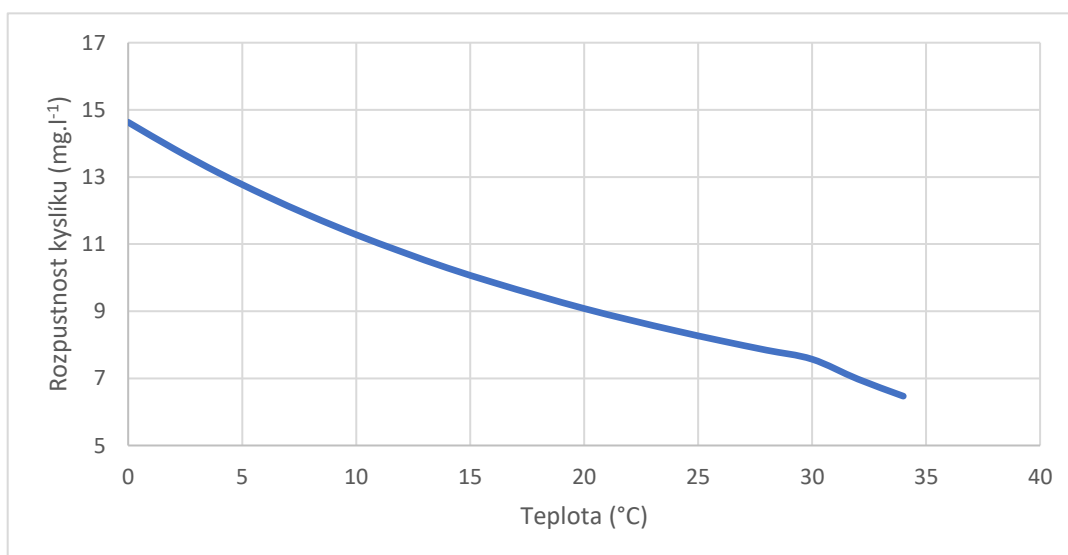
Přiložené obrázky (obr. 4-1) nám ukazují celkové množství fosforu na nádrži Vír. První tři obrázky zobrazují stav z července, kde je fosforu naměřeno nejvíce v celém roce. Poslední obrázek zobrazuje profil z října, kdy už je množství fosforu minimální. Profil na třetím obrázku je u vtoku do nádrže a lze si všimnout, že zde máme nejvíce fosforu. U hráze potom máme také fosfor, ale už ne v takovém množství. Třetí obrázek je ze středu nádrže a zde vidíme, že zde máme fosfor v minimálním množství i v červenci. Množství fosforu se během roku v přehradě mění. Nejvíce jeho množství stoupá od června do července a následně jeho množství začíná pomalu klesat. To lze vidět na posledním obrázku z října.



Obrázek 4-1: Množství fosforu na Vírské přehradě (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.)

5 Kyslík

Kyslík potřebujeme ve vodě z mnoha důvodů. Prvním důvodem je dýchání různých organismů, jako jsou třeba ryby. Za druhé je kyslík důležitý pro řadu chemických reakcí, které probíhají ve vodě za jeho přítomnosti. Kyslík se do vody dostává dvěma způsoby. První z možností je difúze z atmosféry a druhou možností je fotosyntetická asimilace vodních rostlin, sinic a řas. Rozpustnost kyslíku ve vodě je závislá na teplotě vzduchu (graf. 5-1). V grafu je popsána závislost rozpustnosti kyslíku ve vodě na teplotě vody, kdy rozpustnost kyslíku klesá s rostoucí teplotou. Důležité je si uvědomit, že z této závislosti vyplývá, že studenomilné ryby (lososovité – losos, pstruh) jsou více citlivější na nedostatek kyslíku ve vodě. Dalším faktorem, který může ovlivnit rozpustnost kyslíku ve vodě je atmosférický tlak, jehož důležitostí je nutné brát v úvahu při vyšších nadmořských výškách. Posledními faktory mohou být koncentrace rozpuštěných látek, a to z důvodu, že se zvýšením koncentrace klesá rozpustnost kyslíku ve vodě. Při popisování kyslíku je důležité si definovat dva pojmy, a to hypoxii a hyperoxii. Kyslíkový deficit nazýváme hypoxie a tento děj nastává, pokud je koncentrace kyslíku nižší, než by odpovídalo 100% nasycení. Opačný jev nazýváme hyperoxie. [14]



Graf 5-1: Závislost rozpustnosti kyslíku na teplotě vody [14]

5.1 Příčiny nedostatku kyslíku

Kyslík je vodě spotřebováván několika jevy. Příkladem těchto jevů je nitrifikace, spotřeba kyslíku při oxidaci železa, manganu a sulfidů. Kyslík je spotřebováván také při aerobním biologickém rozkladu organických látek a při disimilaci fotoautotrofních organismů (organismy využívající energii ze světla - fotosyntézou) . Fotoautotrofní organismy mohou způsobit závažné problémy v letních měsících v silně eutrofních a hypertrofních nádržích, protože tyto organismy spotřebovávají kyslík v noci. Tímto následkem může dojít ke kyslíkovému deficitu a k úhynu ryb v nádrži. Nejčastěji dojde k vyčerpání kyslíku v brzkých ranních hodinách, kdy ještě nedochází k fotosyntéze. V neposlední řadě je kyslík také spotřebováván respirační vodních organismů. [14] [15]

Hlavní příčinou nedostatečné koncentrace kyslíku ve vodě je zejména znečišťování povrchových vod organickými látkami, které se snadno rozkládají. Tyto organické sloučeniny se rozkládají pomocí mikroorganismů, které při rozkladu spotřebovávají velké množství kyslíku. Další možností úbytku kyslíku může být snížení nebo dokonce úplné zastavení přítoku vody do rybníku nebo nádrže. Tato možnost nastává zejména v letních měsících [14]

5.2 Citlivost ryb na nedostatek kyslíku ve vodě

Všechny druhy ryb jsou citlivé na nedostatek kyslíku ve vodě (tabulka 5-1). Ovšem každý druh je jinak choulostivý, což znamená, že některé ryby dokážou přežít takové podmínky, které by jiný druh už nepřežil. Nejnáročnějším druhem jsou lososovité ryby, kde ideální hodnota nasycení se pohybuje okolo 8 až 10 mg.l⁻¹. Projevy nedostatku kyslíku u tohoto druhu ryb lze pozorovat při poklesu kyslíku pod 3 mg.l⁻¹. Kaprovité ryby jsou na tom s citlivostí o něco lépe. Optimální koncentrace se pohybuje okolo 6 až 8 mg.l⁻¹ a projevy nedostatku lze pozorovat až u 2 mg.l⁻¹. [14]

Ryby spotřebovávají kyslík v závislosti na teplotě, průměrné kusové hmotnosti a celkové hmotnosti ryb na jednotku objemu vody (počet ryb na krychlový metr vody). S růstem teploty a celkové hmotnosti ryb se bude spotřeba kyslíku zvyšovat. Příkladem může být zvýšení teploty z 10 °C na 20 °C, kdy při tomto vzrůstu teploty dojde ke dvojnásobné spotřebě kyslíku. Rybám se v dospělosti zastaví růst žaber a se zvětšujícím tělem je pro ně obtížnější přežívat složitější podmínky. [14]

Jak už bylo napsáno v úvodu práce, můžeme se setkat i s opačným problémem, a to s hypoxií neboli přesycením vody kyslíkem. Tento jev může nastat při mimořádných turbulencích, se kterými se můžeme setkat například v peřejích, jezích a u vodopádů anebo při fotosyntetické asimilaci fotoautotrofních organismů. Dále se s přesycením můžeme setkat také při přepravě ryb po výloveh rybníků anebo v kádích při použití oxidačních zařízení. Proto je nutné hlídat množství dodávaného kyslíku. [14]

DRUH RYBY	HMOTNOST (g)	KRITICKÉ HODNOTY OBSAHU O ₂ (% nasycení)					
		5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	28 °C
AMUR BÍLÝ	6-10	10.7	12.0	14.0	14.0	17.3	26.5
CEJN SILNÝ	2-5	-	14.0	18.0	21.3	24.0	28.0
CEJN VELKÝ	6-9	-	14.6	18.6	24.0	29.5	33.0
CEJNEK MALÝ	2-5.5	-	13.3	14.6	16.6	25.0	30.7
JELEC JESEN	3.5-6	-	8.0	10.6	13.3	18.6	18.6
JEŽDÍK OBECNÝ	3-6.5	15.5	16.0	18.6	21.5	28.0	34.5
KAPR OBECNÝ	6-35	10.7	12.0	15.3	18.6	24.0	28.0
OKOUN ŘÍČNÍ	4-18	11.5	15.4	25.0	30.5	37.0	-
PLOTICE OBECNÁ	2-6.5	-	8.0	8.5	12.0	20.0	30.5
PSTRUH DUHOVÝ	7.5-16	20.5	26.0	32.0	26.7	40.0	-
SIVEN AMERICKÝ	22-32	22.6	22.6	26.0	36.5	41.5	-
STŘEVLE POTOČNÍ	1.8-4	12.0	16.0	20.0	22.5	28.5	33.0
ŠTIKA OBECNÁ	4-7.5	-	19.4	20.5	21.5	28.0	32.5
TOLSTOLOBIK BÍLÝ	4-12	6.7	8.0	10.0	10.0	18.6	27.0

Tabulka 5-1: Kritické množství nasycení kyslíkem pro plůdky ryb [14]

5.3 Klinické příznaky

Při hypoxii se příznaky nedostatku kyslíku projevují u každého druhu ryby jinak, a to podle jejich náročnosti na kyslík, jak už bylo uvedeno v tabulce číslo 5-1. Z této tabulky vyplývá, že nejdříve se nedostatek kyslíku projeví u druhů ryb, jako je okoun říční, siven americký nebo pstruh říční. Na nedostatek kyslíku nejdříve doplatí studenomilné ryby, protože jak ukazuje tabulka rozpustnost kyslíku ve vodě záleží na teplotě (tabulka 5-1), a proto studenomilné ryby budou citlivější na nedostatek kyslíku. Naopak nejodolnější rybou je v tomto případě amur bílý a tolstolobik bílý. Při nedostatku kyslíku ryby přestávají

přijímat potravu a nouzově dýchají (u kapra se tento stav nazývá troubení). Pokud dochází kyslík ve vodě, ryby se často shromažďují u přítoku do nádrže, jsou malátné, ztrácejí únikové reflexy a v nejhorším případě i hynou. [14]

Při přesycení kyslíkem se u ryb projevuje nemoc zvaná gas bubble disease. Příznakem tohoto onemocnění je hromadění plynu v očích, ploutvích, kůži a žábrech. Ryby přesycené kyslíkem mají nápadně světle červené okraje žaberních lístků roztřepené. Pokud dojde k poškození vysokou koncentrací kyslíku, je důležité přesunout rybu do nádrže s vhodným obsahem plynů. Ryba se potom do dvou dnů zotaví. [14]

Prevenčí před nedostatkem kyslíku ve vodě může být vhodná volba rybí osádky a stejně tak i dobře zvolené množství. Na nádržích, které řadíme mezi eutrofní a hypertrofní by bylo vhodné sledovat množství rozpuštěného kyslíku. V minulosti se často při přemnožení dafiniového zooplanktonu, který mohl vést k nedostatku rozpuštěného kyslíku, využívaly se chemické látky. Přípravky Soldep a aplikace Diazinonu 60 EC byla jedna z chemických cest, jak se zbavit nežádoucího zooplanktonu. Oba přípravky byly v minulosti zakázány. [14]

6 Teplota vody

Dalším důležitým faktorem, kterým je důležité se zabývat, je teplota vody. Ta totiž ovlivňuje kvalitu vody a za druhé také intenzitu metabolismu vodních organismů. Teplota vody je tedy faktor, který ovlivňuje nejenom vnější prostředí organismů, ale také vnitřní prostředí ryb (životní funkce organismů). [14]

Ryby jsou navíc poikilotermními živočichy, což znamená, že teplota jejich těla vychází z teploty vody. Rozdíl mezi teplotou vody a těla ryby se pohybuje mezi 0,5 až 1 °C. Právě s teplotou je spojen také metabolismus ryb. Každý druh ryby potřebuje, tak jako u kyslíku jinou teplotu vody. Z toho důvodu rozlišujeme dva typy ryb. Prvním druhem ryb jsou ryby teplomilné. U těchto ryb platí, že s rostoucí teplotou roste metabolismus. Druhým typem jsou ryby studenomilné, kam zařadíme lososovité ryby. Studenomilným rybám stačí nízké teploty k růstů a pokud teplota překročí přibližně 20 °C, potom dochází k zmenšení aktivity a s tím související příjem potravy. [14]

Při výběru ryby, kterou chceme dát do nádrže, si tedy musíme zjistit optimální teploty vody. Ideální teplota pro růst kaprovitých ryb se pohybuje od 18 do 28 °C. U lososovitých, které řadíme mezi studenomilné, potom od 8 do 18°C. V mírném pásu jsou ale ryby velmi tolerantní a dokážou snášet jak nižší, tak vyšší teploty, nesmí ale překonat kritická termální minima a maxima, která by vedla k horšímu metabolismu. [14]

6.1 Vliv teploty vody na její kvalitu

Teplota vody ovlivňuje hned několik důležitých faktorů. Mezi tyto faktory můžeme zařadit rozpustnost kyslíku a dostupnost některých látek v nich obsažených. Také chemická a biochemická reaktivita je ovlivněna teplotou vody. Pokud se teplota vody pohybuje okolo 0 °C, potom většina reakcí ve vodě vůbec neprobíhá a pokud probíhá, tak pouze pozvolna. Příkladem reakce, která probíhá velmi pomalu při teplotě blízké 0 °C, je nitrifikace. Nejrychleji probíhá tato reakce při teplotách v rozmezích 20 až 30 °C. Vyplývá nám z toho, že rychlost rozkladu organických látek bude probíhat při vyšších teplotách. A to se dostáváme ke kapitole 4, kdy v důsledku rozkladu organických látek docházelo ke kyslíkovému deficitu na vodních nádržích. V tomto případě je více kyslíku spotřebováno při rozkladu organických látek, než ho přijímá voda z atmosféry. [14]

V legislativě je z těchto důvodů zakotveno, že teplota vypouštěných odpadních vod do recipientu nesmí překročit hranici 25 °C a zároveň nesmí dojít v mísicí zóně k nárůstu teploty o více než 3 °C.

6.2 Klinické příznaky vedoucí k úmrtí ryb

Pokud se ryba vyskytuje v chladnější vodě než je její optimální teplota pro život, potom dojde ke zpomalení růstu ryby a zhorší se činnost imunního systému. Dále se také sníží rozpustnost kyslíku ve vodě, jak už bylo zmíněno v předcházející kapitole. Následky náhlé změny teploty mohou u ryb způsobit takzvaný teplotní šok, při kterém ryby hynou z důvodu ochrnutí dýchacích a srdečních svalů. U ryb postižených teplotním šokem se může objevit křečovitě rozevření tlamy a odchlípení skřelí. [14]

Důraz na teplotu vody bychom měli zejména klást při vysazování plůdku a při letních výlovech, kdy musíme dát pozor, aby teplota v kádích a sádkách nebyla výrazně nižší než v nádrži, kam ryby vysadíme. [14]

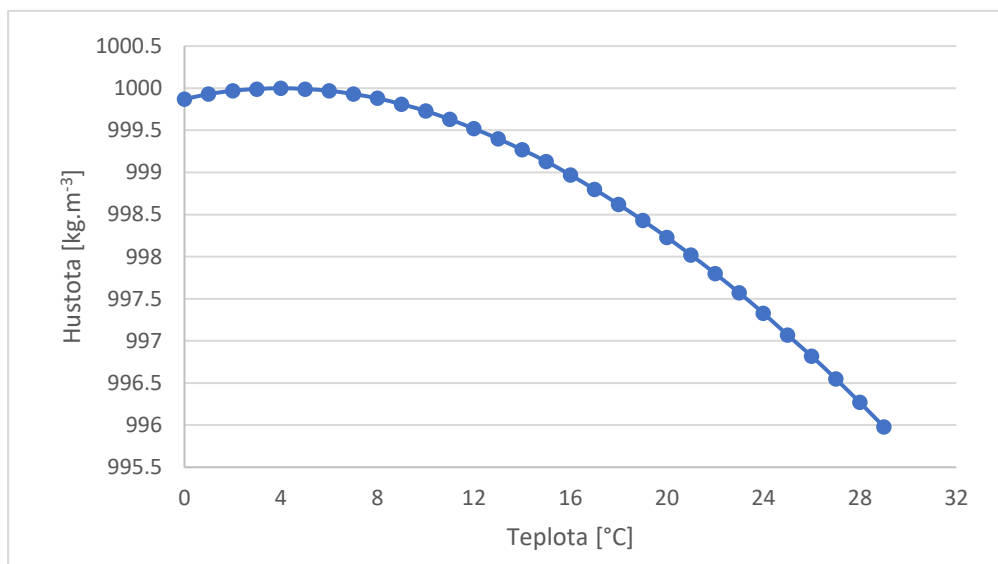
6.3 Teplotní stratifikace

Na nádržích probíhá během celého roku stratifikace. Celkem máme čtyři stratifikace, rozdělené podle ročních období: jarní stratifikace, letní stratifikace, podzimní stratifikace a zimní stratifikace. [16]

Během jarní stratifikace (obr. 6-2), po roztátí ledu na hladině, dochází pomocí větru k promíchávání celého vodního sloupce. To má za výsledek přibližně stejnou teplotu vody v celém vodním sloupci nádrže. Teplota vody se pohybuje okolo 6°C. [16]

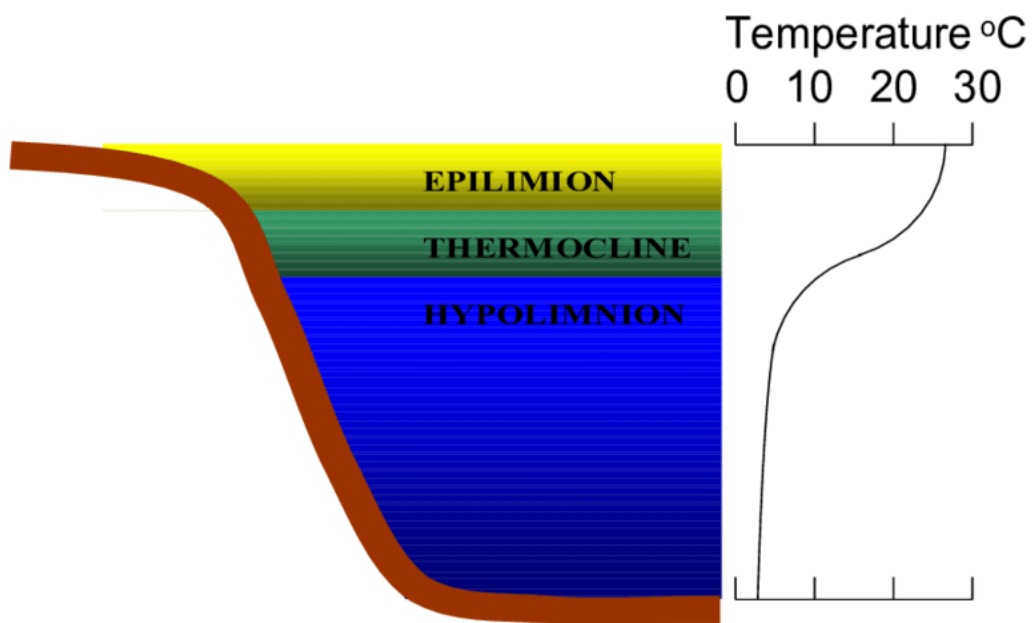
Během pozdějšího oteplování dochází k letní stratifikaci (obr. 6-3). To má za výsledek, že teplejší voda s nižší hustotou (graf 6-1) zůstává u hladiny, a naopak studenější voda s vyšší hustotou zůstává u dna nádrže. V nádrži se vytvoří celkem dvě vrstvy, které jsou od sebe oddělené skočnou vrstvou neboli termoklimou. Horní vrstva je nazývána epilimnion a dolní vrstva hypolimnion. Termoklima je vrstva, ve které dochází ke klesání teploty vody přibližně o 1 °C na 1 metr (obr. 6-1). V letním období se vrstva epilimnia zvětšuje. Skočná vrstva chrání hypolimnion před prudkými změnami teplot na hladině. Hypolimnion také ovlivňuje některé další jevy. Příkladem takového jevu je snížení rychlosti

usazování částic, oxidační procesy a biochemické reakce. Šířka hypolimnia je závislá na povětrnostních podmínkách a také na velikosti a umístění nádrže. Promíchávání vody v nádrži bude probíhat odlišně na otevřené nádrži než na nádrži umístěné v hlubokém údolí. [16] [17]

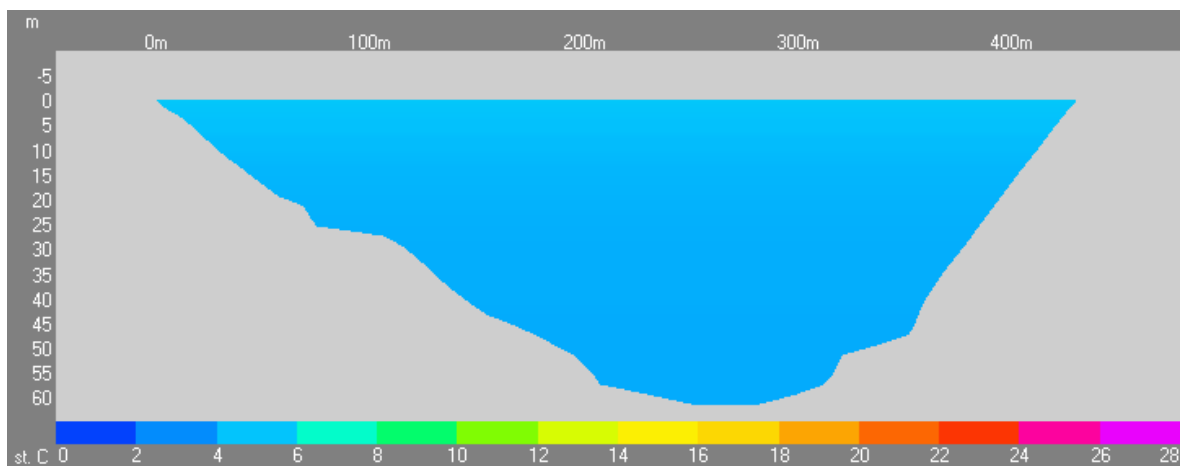


Graf 6-1: Závislost hustoty vody na teplotě vody [17]

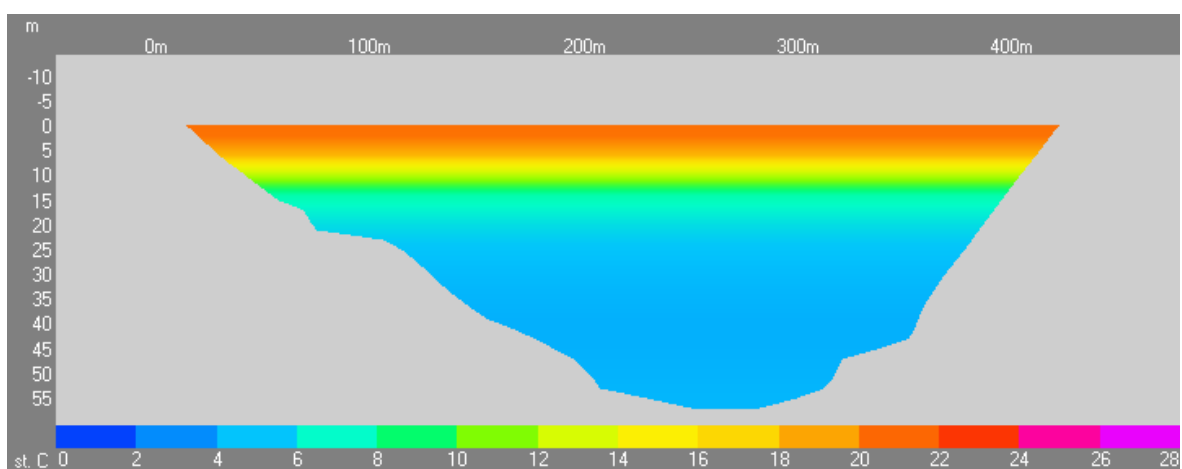
Podzimní stratifikace (obr. 6-4) začíná tím, že se epilimnium zmenšuje a klesá hlouběji. Během podzimu může dojít k poklesu teploty vody až ke 4 °C. Během zimní stratifikace se nejteplejší voda, která má okolo 4 až 6 °C a má tím pádem i nejvyšší hustotu, nachází u dna nádrže. Na hladině se nachází led, který ochraňuje nádrž před promícháváním větrem. Díky tomuto fyzikálnímu jevu dokážou přežít ryby a další organismy u dna nádrží. [16]



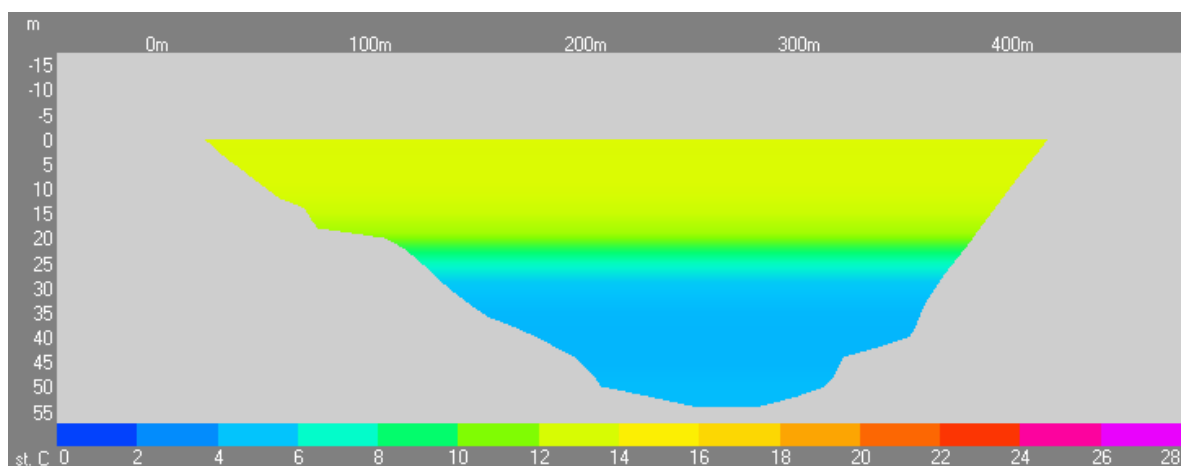
Obrázek 6-1: Rozdělení vrstev vody v nádrži během léta (Zdroj: Management Strategies for Cyanobacteria)



Obrázek 6-2: Jarní stratifikace na VD Vír (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.)



Obrázek 6-3: Letní stratifikace na VD Vír (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.)



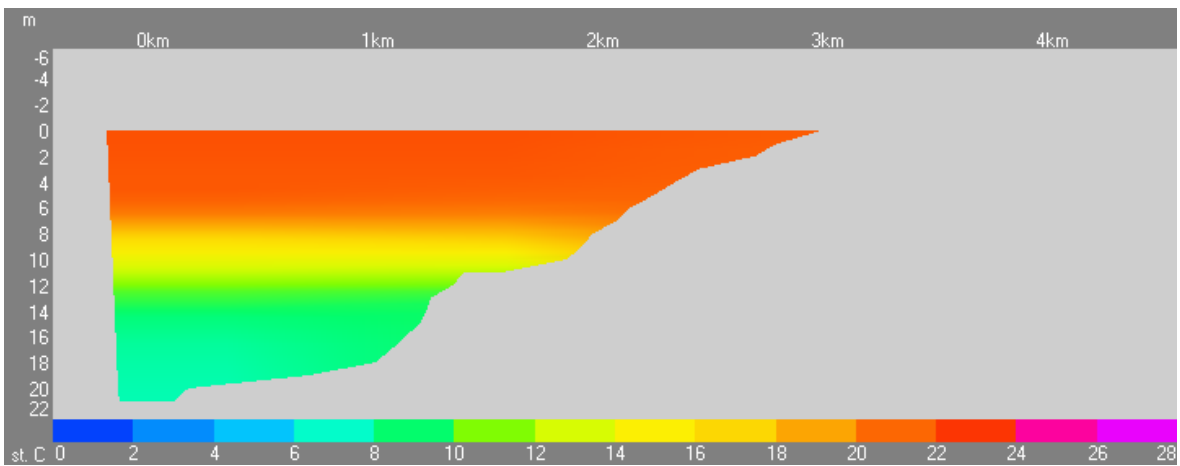
Obrázek 6-4: Podzimní stratifikace na VD Vír: (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.)

6.4 Teplota vody pod přehradou

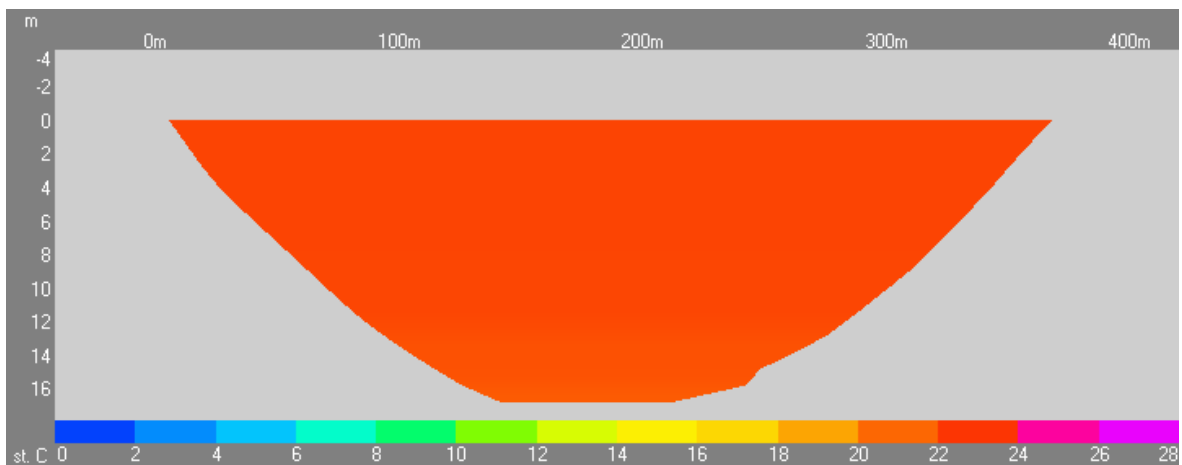
Velkým problémem, se kterým se v souvislosti s přehradami na řekách setkáváme, je vypouštění studené vody spodními výpustěmi. To představuje zásadní vliv pro původní organismy žijící pod přehradami. Jak už bylo v práci zmíněno, výsledkem tohoto je vytvoření pstruhových pásem a vymizení původních druhů organismů.

V budoucnosti by bylo vhodné se tímto problémem zabývat, a to především při návrzích nových vodních děl. Problém s teplotou vody se nemusí týkat jenom zmíněných ryb a jejich rybích pásem, protože i u zavlažování je potřeba řešit teplotu odebírané vody. Studená voda z řeky pod nádrží by nebyla vhodná pro závlahu plodin, protože ideální teploty vody pro závlahy rostlin se pohybují v jarních měsících okolo 10 až 15 °C a v létě až okolo 15 až 25 °C. Teplota okolo 20 °C se v nádržích nachází pouze v prvních pěti metrech. [18]

Bylo by tedy vhodné najít způsoby, jak do dolního toku vypouštět teplejší vodu v létě. Jako řešení se mohou nabízet výpusti, které by vypouštěly vodu z vyšší hloubky nebo popřípadě promíchat vodní sloupec před hrází tak, abychom vypouštěli teplejší vodu. Výborným příkladem jsou věžové aerátory na Brněnské přehradě (obr. 6-6), protože zde si lze všimnout, že vodní sloupec má v celém vodním profilu přibližně stejnou teplotu. Obrázky ukazují porovnání nádrží VD Mostiště (obr. 6-5) s VD Brno. VD Mostiště nemá žádné zařízení k promíchávání vodního sloupce, a tak se u dna nachází studená voda. Na druhém obrázku je již zmíněná Brněnská přehrada, kde je voda promíchávaná. [19]



Obrázek 6-5: Teplota vody v srpnu na VD Mostišť (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.)



Obrázek 6-6: Teplota vody v srpnu na VD Brno (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.)

7 Aerace vodního prostředí

Princip aerace spočívá v prokysličení vodního sloupce pomocí různých technických zařízení. Aeraci se snažíme prokysličit vodní sloupec anebo se snažíme vtlačit prokysličenou vodu ke dnu (oxygenace), kde bývá voda nad sedimenty neokysličená. Důležité je nepřenést živiny z hypolimnia do vyšší vrstvy (epilimnia), kde by došlo ke zvýšenému růstu živin. [14]

Prokysličením snížíme obsah fosforu, dusíku, železa, manganu, zlepšíme průhlednost a snížíme množství chlorofylu. U fosforu dochází při aeraci k prudkému poklesu koncentrace u dna nádrže. Současně dochází také ke snížení koncentrace železa ve vodním sloupci, a to pravděpodobně v důsledku srážení hydroxidu železitého a adsorbovaným fosfátem. Další prvek, jehož koncentrace se sníží aerací, je dusík. Provzdušňování má za následek snížení anorganických forem dusíku. Při této reakci dochází k vzrůstu koncentrace dusičnanů. Průhlednost a množství chlorofylu může být aerací také ovlivňováno, ale výsledek není tak rychlý jako u předchozích prvků. Dokonce u mělkých nádrží může dojít k podpoření růstu fytoplanktonu z důvodu podpory mikrobiální aktivity sedimentů při aeraci. [14]

7.1 Věžové aerátory

Prvním typem aerátorů, který lze využít na přehradách, je věžový aerátor. Tento aerátor je v naší republice používán na Brněnské přehradě již několikátým rokem. Systém je zde vybudován z důvodu zachování dostatečné kvality vody pro koupání v letních měsících. Brněnská přehrada je totiž velmi vyhledávaným rekreačním místem. Celá technologie je zde navržena za účelem pomoci rozkládat organické látky ve vodě a následně vytvořit dobré podmínky pro organismy vázaných na kyslík. Jejich první instalace proběhla již v roce 2009, kdy došlo k vypuštění nádrže z 12 mil. m³ na 2 mil. m³. Bylo tedy nutné zajistit dostatečnou koncentraci kyslíku v nádrži. V této době byla maximální hloubka na této moravské nádrži pouze 6 metrů. Od roku 2010, po opětovném napuštění nádrže, se rozložilo po ploše nádrže, která činí 114 hektarů, celkem 20 aeračních věží. Životnost těchto věží není dlouhá, a tak se momentálně plánuje již čtvrtá etapa, která bude začínat letošním rokem, tedy rokem 2023 a potrvá až do roku 2027. Věže se uvádějí do provozu po zimě okolo 30.dubna, kdy začínají pomalu stoupat teploty vzduchu a začíná pomalu docházet k letní stratifikaci nádrže. Kvalitu vody zde pomáhají udržovat také zařízení sloužící ke srážení fosforu, které se nacházejí na přítoku do nádrže, tedy v místě, kde se na nádržích nejvíce vyskytuje fosfor. Díky aeraci dokonce dochází k rozvoji rozsivek, které dokážou spotřebovat zbytkový fosfor. [20] [21]

Aerační věže se spouštějí každý rok koncem dubna a fungují nepřetržitě až do poloviny září. Pokud by došlo k poruše anebo by docházelo k pozdnímu uvedení do provozu aeračních věží, mohlo by dojít k velmi rychlé stratifikaci vody. Následné obnovení aerace pomocí aeračních věží by bylo velmi energeticky náročné a v některých případech dokonce nemožné. Aerační věže jsou bezpečné i co se týče plavců a plavidel, protože jsou na věžích umístěné bezpečnostní prvky a během 12 let užívání technologie nedošlo k žádné kolizi. [21]

Celý systém na Brněnské přehradě se skládá z počtu 20 věží (obr 7-1). Tyto věže rozdělujeme na dva základní typy. Využíváme zde celkem 15 míchacích věží a 5 aeračních věží. Věže jsou napojeny na elektrickou síť pomocí elektrických kabelů, které vedou do čtyř strojoven umístěných na břehu nádrže. Věže jsou upevněny na betonových panelech. Řízení systému je prováděno pomocí in-situ instalovaných kyslíkových čidel. Ovládání probíhá buďto přes internet anebo přímo z kontejneru na břehu. Množství kyslíku v ‰ a také v mg/l se měří pomocí čidel, která také uvádí teplotu vody. Jako limitní parametr je obsah kyslíku u dna nádrže určen na 2 mg/l. [21]

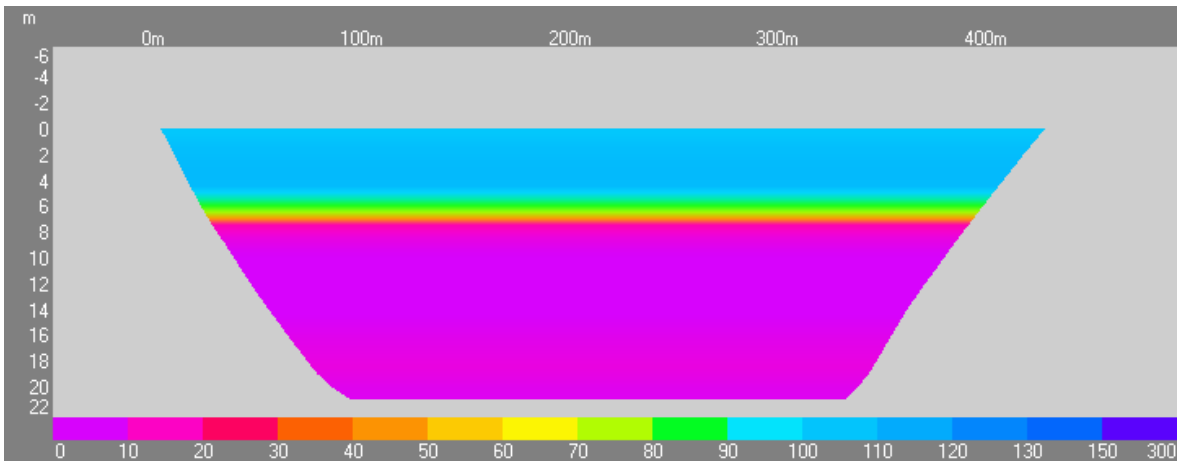


Obrázek 7-1: Rozmístění aeračních věží po nádrži (Zdroj: ČT Brno)

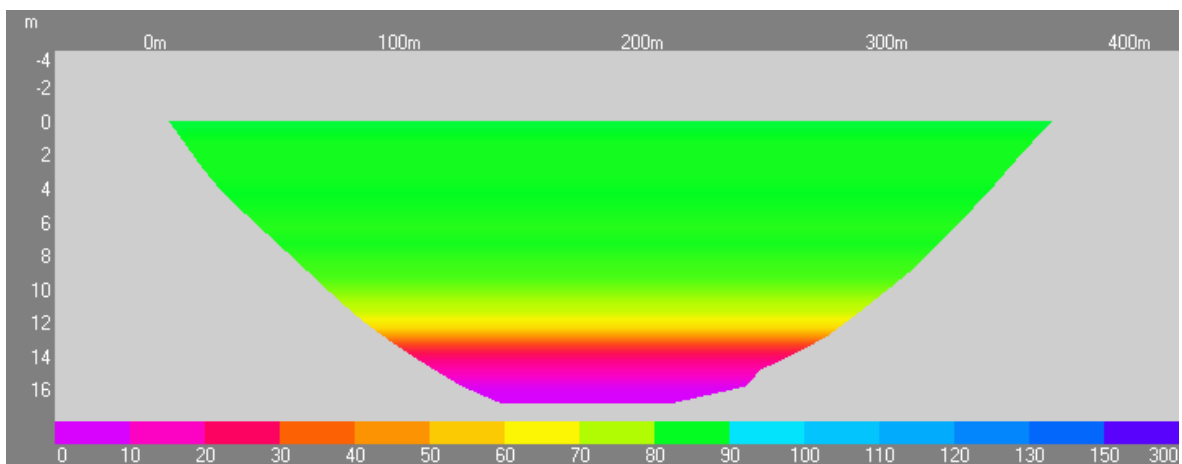
Aerační věže na Brněnské přehradě spolupracují také s plavidly odebírající biomasu z hladiny nádrže. Následně je mechanickým filtrem odstraněna biomasa s velkým množstvím živin, které by se usazovaly u dna nádrže v podobě organických látek. Díky tomuto postupu dochází k redukci potenciálních živin. [21]

Přiložené obrázky (obr. 7-2 až 7-4) porovnávají nádrže podle množství nasycení kyslíku v procentech v měsíci červu. Řezy umístěné u hrází nádrže Brněnské přehrady (obr. 7-3) a VD Mostiště (obr. 7-2) zobrazují množství rozpuštěného kyslíku v %. Oba řezy nádrží jsou z měsíce června. Na VD Mostiště (obr. 7-2) se nepoužívají žádná aerační zařízení ke zvýšení množství nasyceného kyslíku narozdíl od VD Brno (obr. 7-3). Obrázek číslo 7-3 ukazuje, jak díky aeračním zařízením došlo k prokysličení až do 10 – 12 metrů kyslíkem na 80 až 90 %. Na VD díle Mostiště (obr. 7-2) jsou dobře prokysličený pouze 4 metry a zbytek je neokysličen, což může průtokem přes vodní elektrárnu zapříčinit vypuštění neokysličené vody do dolního toku. [19]

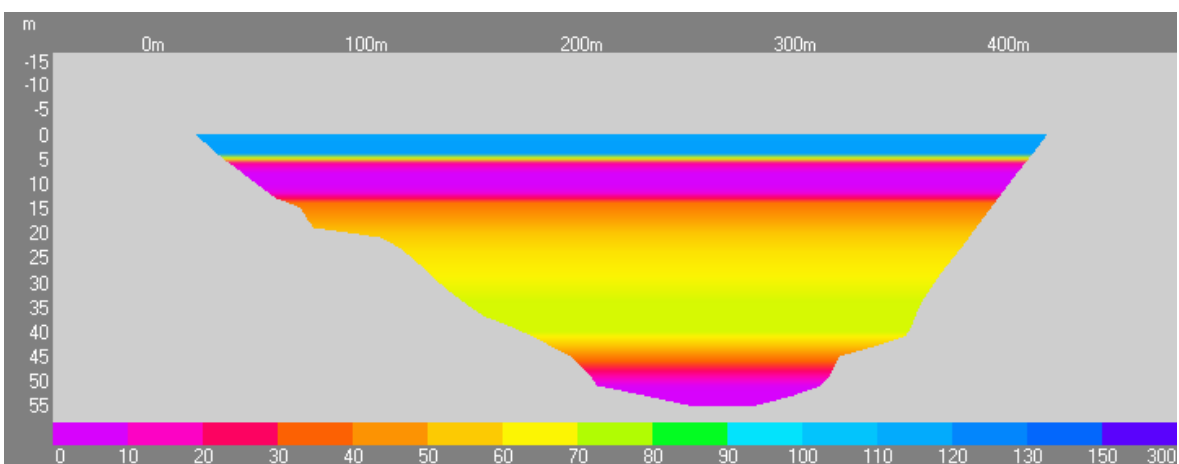
Na posledním obrázku je řez z VD Vír, (obr. 7-4) který má výrazně větší hloubku u hráze než předešlá dvě vodní díla. Zde jde vidět, že na této nádrži vznikají dokonce dvě oblasti s nulovým nasycením kyslíkem. U hlubších přehrad jako je právě VD Vír se z toho důvodu nedají aktuálně vyráběné aerační věže použít. Muselo by dojít k jejich konstrukčnímu vylepšení tak, aby dokázaly prokysličit i hlubší nádrže. [19]



Obrázek 7-2: Nasycení kyslíkem [%] na VD Mostiště (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.)



Obrázek 7-3: Nasycení kyslíkem [%] na VD Brno (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.)



Obrázek 7-4: Nasycení kyslíkem [%] na VD Vir (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.)

7.1.1 Typy věží

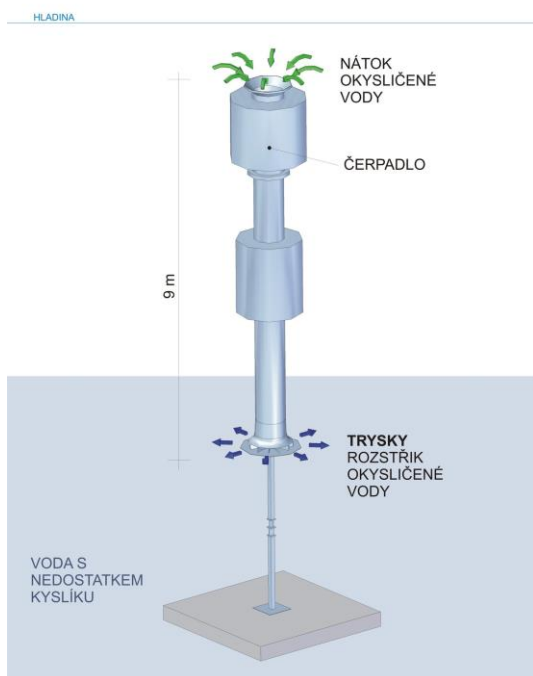
Věž s čerpadlem

Na Brněnské přehradě je umístěno celkem patnáct kusů aeračních věží s čerpadlem. Tento typ funguje tak, že věž s čerpadlem nasává vodu s vyšším množstvím rozpuštěného kyslíku a dostává tuto směs do vyšší hloubky, kde se nachází anoxické prostředí. Voda je nasávaná přibližně z hloubky dvou metrů do hloubky anoxického prostředí. Tato věž rozstříkuje okysličenou vodu v hloubce 9 metrů (obr. 7-5). [21]

Aerační věž s aerátorem

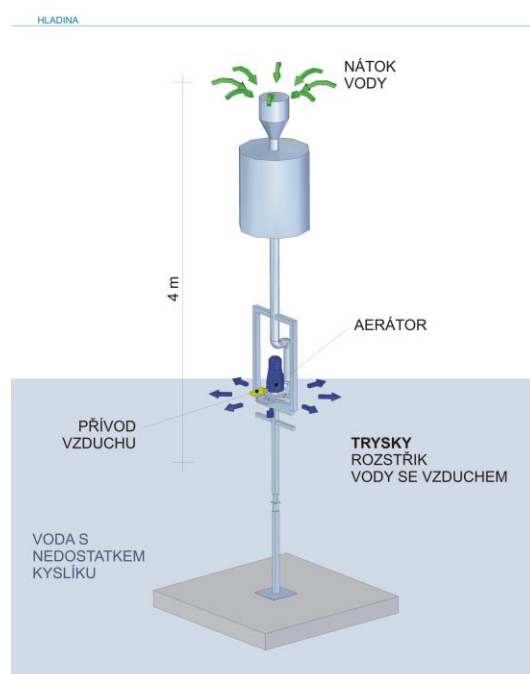
Celkem bylo umístěno po nádrži pět věží tohoto typu. Konstrukce těchto věží nezasahuje více jak 2 metry pod hladinu. Funkcí těchto věží je prokysličit vodní sloupec. Voda z nádrže je přivedena do aerátoru, kde je smíchána se vzduchem. Následně se dostává do míst, kde není okysličená voda (obr. 7-6). [21]

AERAČNÍ VĚŽ S ČERPADLEM



Obrázek 7-5: Aerační věž s čerpadlem
(Zdroj: Asio)

AERAČNÍ VĚŽ S AERÁTOREM



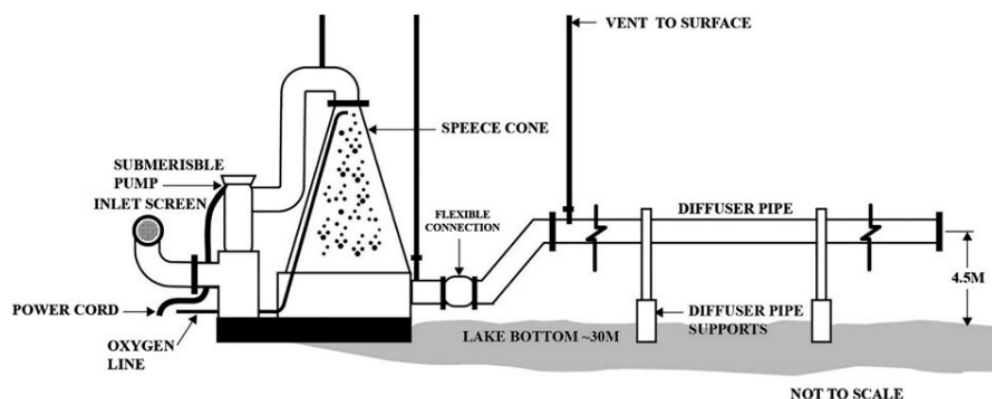
Obrázek 7-6: Aerační věž s aerátorem
(Zdroj: Asio)

7.2 Speece cone (Kuželový aerátor)

Že problém nedostatku rozpuštěného kyslíku není jenom problémem na našich přehradách, dokazuje využívání aerátoru speece cone (kuželovitý aerátor), který se začal používat na přehradě Camanche Reservoir nacházející se v Kalifornii. V roce 1987 a 1989 zde uhynulo okolo 300 000 pstruhů a lososů, tedy ryb háklivých na množství rozpuštěného kyslíku ve vodě. Tato nádrž má přibližně rozlohu 31 km² a objem nádrže je 514 milionů m³. Maximální hloubka nádrže je 41 metrů a průměrná hloubka činí 17 m. Hlavní příčinou úbytku kyslíku na této americké přehradě je H₂S neboli sirovodík, který se vyskytuje nad sedimenty v nádrži. [22]

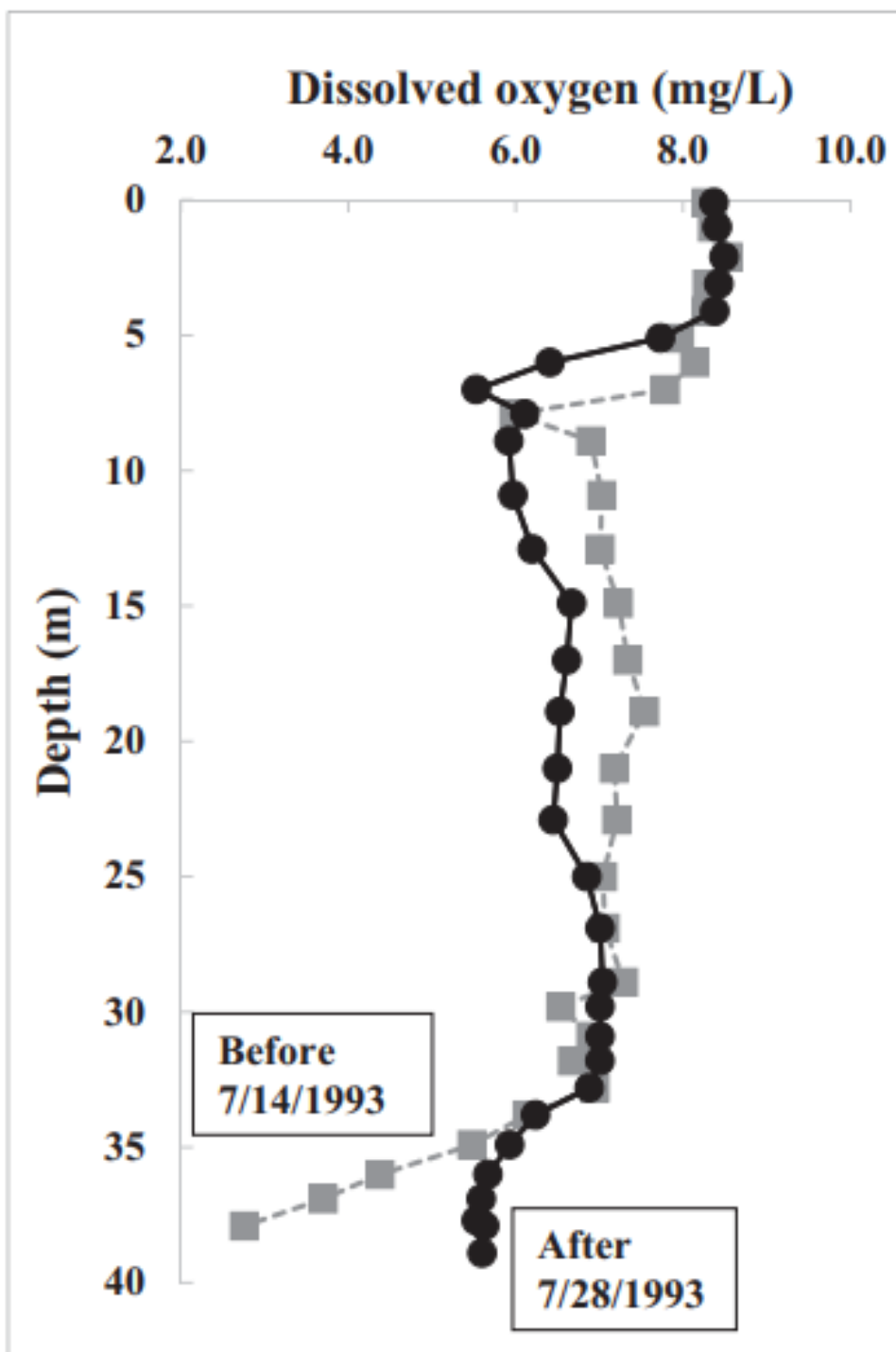
Speeceův kužel (obr. 7-7) se snaží vodu prokysličit tím, že kužel čerpá anoxickou vodu z hloubky 5 metrů ode dna a vede do aerátoru. Kuželový aerátor okysličí vodu až na 80 mg/l. Do vody se následně vrací dobře prokysličená voda s dostatečným obsahem rozpuštěného kyslíku okolo 8 mg/l (původních 80 mg/l je zředěno na bezpečnou hodnotu pro ryby 8 mg/l). Okysličovací potrubí má délku celkem 400 metrů. Nekvalitní voda je tak nahrazena kvalitně prokysličenou vodou. Pokud totiž na H₂S působí minimálně šest hodin kyslík, dojde k jeho výraznému snížení. Důležité bylo také zachovat teplotu vody v této nádrži, a to z důvodu, že se v této přehradě chovají lososi a pstruzi. Tyto druhy ryb potřebují chladnější vodu pro život. Rybářské agentuře se ale i přes okysličení vody v nádrži nelíbilo to, že kvůli kuželovému aerátoru došlo k dřívější stratifikaci vody v nádrži, což ovlivnilo migraci některých ryb žijících pod hrází. [22]

4 A. J. HORNE ET AL.



Obrázek 7-7: Kuželový aerátor [22]

Kuželový aerátor dokázal okysličit vodu až do hloubky 40 metrů (graf 7-1), kde se před okysličením nacházelo velmi malé množství kyslíku. Směrem k hladině už okysličení nebylo tak výrazné a v některých hloubkách bylo naměřeno menší množství kyslíku než před spuštěním aerátoru. [22]



Graf 7-1: Okysličení pomocí kuželového aerátoru [22]

7.3 Aerace pomocí vodního skoku

7.3.1 Okysličení pomocí prstencového vodního skoku

Prstencový vodní skok řadíme mezi přechodné jevy proudění. Přechodné jevy umožňují ve spodních výpustích nasycení kyslíkem vody vytékající ze spodních vrstev nádrže. Spodní vrstvy jsou velmi často chudé na rozpuštěný kyslík. Z tohoto důvodu je využití prstencového vodního skoku velmi užitečné pro tok pod nádrží. [23]

Důležité je si zde definovat z důvodu využití prstencového vodního skoku dva typy proudění, a to prstencové a smíšené proudění. Prstencové proudění je takové proudění, kdy v potrubí kapalná složka proudí v prstenci podél stěn, nejčastěji kruhového potrubí a plynná složka proudí ve vnitřním prostoru. Smíšené proudění je potom proudění plným profilem, kdy plynná složka je dispergována ve složce kapalné. [23]

Prstencový vodní skok je hydraulický jev, při kterém dochází k přechodu prstencového proudění do smíšeného proudění. Projevuje se vznikem vírů a vyvoláním vysoké turbulence proudění, vznikem charakteristických vírů v rovinách proložených podélnou osou potrubí. [23]

Prstencové proudění lze vytvořit obtékáním tvarovaných těles osově umístěných v potrubí anebo pomocí uzávěru do odpadního prostředí. Podmínkou pro vytvoření prstencového vodního skoku je rovnost tlakové síly proudění za skokem s dynamickou silou prstencového skoku. Největší dvě výhody prstencového vodního skoku jsou vysoká intenzita turbulence a vysoký střední gradient rychlosti. Z toho plyne, že se přiměšovaný plyn rozbije na malé bubliny a vytvoří se velká mezifázová plocha. [23]

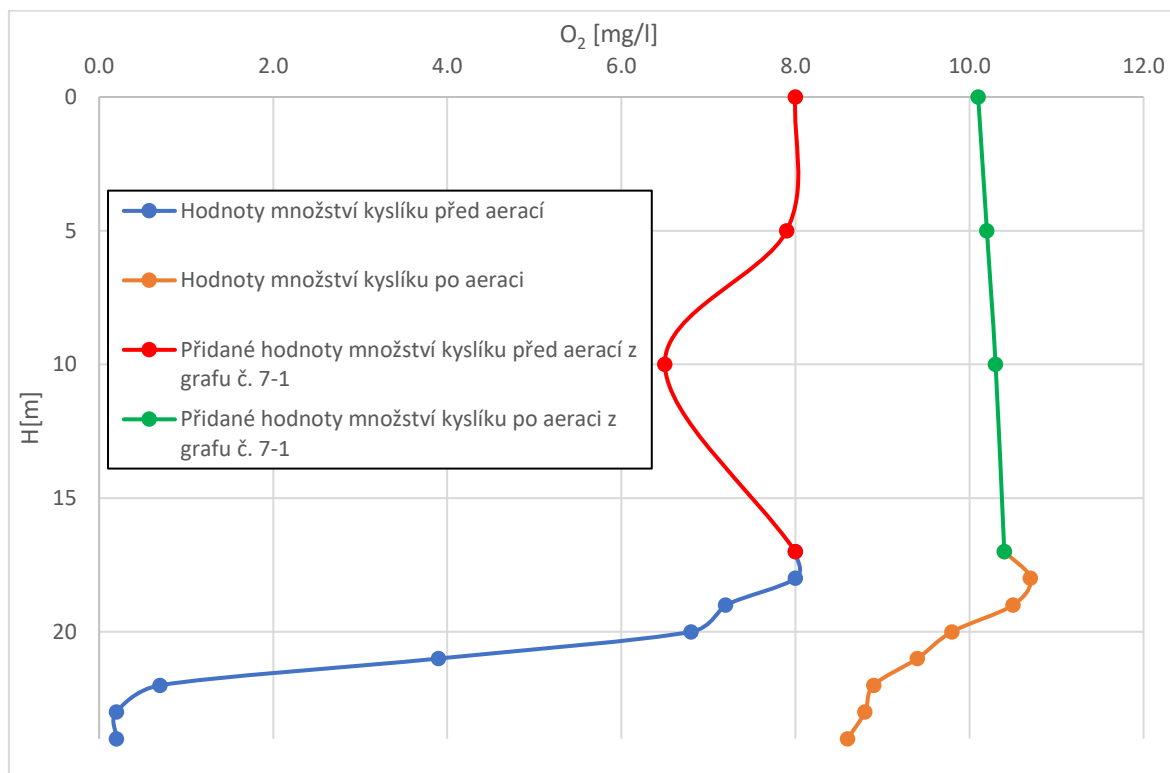
S využitím prstencového vodního skoku se setkáme u spodních výpustí přehrad, kdy dokáže nasytit vzdušným kyslíkem vodu. Prstencový vodní skok je také vhodný k tlumení nadbytečné energie výtoků z vysokotlakých potrubí. [23]

7.3.2 Aerace pomocí vodního skoku na nádrži

S využitím aerace pomocí vodního skoku jsme se setkali na nádrži Klíčava, kdy došlo ke zlepšení kvality vody. Navíc tento technický postup se na nádrži Klíčava jevil nejvýhodnější, jak z ekonomického hlediska, tak také z technického hlediska. Princip tohoto technického zařízení spočívá v tom, že do spodních vrstev jsou vháněny vzduchové bubliny, které stoupají k hladině a vyvolávají vertikální proudění vody a okysličování vody. [23]

Aerační zařízení na nádrži Klíčava se skládalo z několika částí. Na hladině nádrže byl umístěn ponton s čerpadlem a aeračním zařízením. Pod vodou potom bylo gumové potrubí společně se sacím košem. S potrubím a košem se dalo manipulovat díky navijáku, který byl umístěn na pontonu. [23]

V grafu (graf 7-2) si můžeme všimnout, že aerátor s vodním skokem dokázal prokysličit vody až do hloubky 24 metrů, kdy se koncentrace kyslíku zvýšila o 8,4 mg/l. Tento typ aerátorů lze tedy použít u hlubších nádrží, což u věžových aerátorů je o trochu složitější. Tento typ aerátoru nemění teplotu ve vodním sloupci a ta tím pádem zůstává téměř stejná jako před aerací. [23]



Graf 7-2: Změna množství kyslíku ve vodním sloupci po aeraci pomocí vodního skoku [23]

7.4 Porovnání aerátorů

Volba aerátoru bude závislá vždy na několika parametrech. Mezi nejdůležitější parametry bude patřit hloubka nádrže. Z popisovaných aerátorů se totiž do vyšších hloubek nehodí věžový aerátor. Ten dokáže okysličit vodu do hloubky přibližně 10 metrů, a ačkoliv by to i ve 40 metrů hluboké přehradě byl vítaný jev, museli bychom řešit problém s neokysličenou vodou pod nádrží, která by navíc obsahovala i větší množství živin. Tento typ aerátoru je tedy vhodné rozmisťovat na méně hluboké přehrady. Zbylé dva typy aerátorů bych pro změnu volil na hlubších dílech.

Druhým důležitým faktorem, který je potřeba při výběru aerátoru brát v úvahu, je ovlivnění teploty v nádrži a zejména pod nádrží. Z ekologického hlediska by bylo vhodné vypouštět z nádrže v létě teplejší vodu spodními výpustěmi než vodu, která se pohybuje okolo 6-10 °C. V tomto směru z popisovaných aerátorů vychází nejlépe věžový aerátor, který u dna hráze dokázal dostat teplotu vody na 20 °C v létě.

Za třetí je ještě zvážit umístění řídicího zařízení nebo aeračního zařízení. Věžové aerátory musí mít v okolí přehrady řídicí kontejnery. Na Brněnské přehradě jsou hned 4 a na některých přehradách vybudovaných v údolí by to nemuselo být jednoduché umístit řídicí centra. Podobě na tom je i kuželový aerátor, který má pro změnu čerpadlo umístěné na břehu. Z tohoto hlediska se nejlépe jeví aerátor s vodním skokem, který je umístěn na plovoucím pontonu a jediné, co je u něho potřeba řešit, je přívod energie. Pokud by se ale ponton vylepšil o solární panely, jednalo by se v tomto směru o zcela nejlepší řešení.

Poslední faktor, který je potřeba u nás zvážit, je údržba v zimním období, kdy stále dochází k zamrznání vodní hladiny. Věžové aerátory jsou nejnáročnější na zazimování, protože se musí sklápět za pomoci potápěčů. Aerátor s vodním skokem se na zimu bude muset také stáhnout z nádrže, ale to nebude tak náročné. Kuželový vzhledem k umístění rozvodných trubek pod vodou nebude potřeba zabezpečovat. Volba aeračního systému bude vždy závislá na typu nádrže. [20]

7.5 Povrchové aerátory

V předchozích kapitolách jsem se zabýval aerátory, které jsou schopné okysličovat nádrže do vyšších hloubek. Běžně se ale setkáváme spíše s povrchovými aerátory, které většinou okysličují vodu přibližně do hloubky 1,5 metru. Jejich využití lze tedy očekávat spíše na rybnících, rybích sádkách anebo například na řekách, kde není dostatek kyslíku. V roce 2013 v rámci pilotního projektu Rybářství Hodonín s.r.o. společně s Mendelovou univerzitou v Brně zkoumali některé povrchové aerátory. [24]

7.5.1 Solární provzdušňovač

Prvním typem aerátoru, který by dokázal provzdušnit hladinu nádrže, rybníka nebo řeky je solární provzdušňovač (obr. 7-8) od firmy Hydroservis Union a.s., který je stále ve stavu zlepšování. Tento aerátor nebyl zkoumán v rámci pilotního projektu 2013 na rozdíl od dalších popisovaných povrchových aerátorů v následujících kapitolách. Velkou výhodou tohoto typu je to, že u něj nemusíme instalovat žádnou elektrickou přípojku, protože aerátor má na sobě umístěné tři fotovoltaické panely. Navíc každý panel je vybaven vlastním systémem akumulace. Akumulátory dokážou uchovat potřebnou energii až na pět dní, což lze využít během nepříznivých slunečních podmínek. Aerátor může být také připojen na elektrickou přípojku. [25]

Zařízení je vybaveno perlátorem, který slouží také k provzdušňování vody a jeho výhodou je, že při využití v sádkách nedochází k poškození jiker a plůdku. Zařízení je v nádrži ukotveno tak, aby zařízení neuplavalo a zároveň by to mělo i zabránit případným pokusům o krádež. [25]

Zařízení spotřebuje během provozu přibližně 0,12 kW a přístroj je plně autonomní. Další výhodou pro rybí osádku je to, že aerátor neobsahuje žádné ostré hrany a nezpůsobí žádné zranění rybám ani dalším organismům. Jedno zařízení by mělo zajistit kvalitní prokysličení vody do hloubky 1,5 metrů a jeden aerátor by měl bez problému okysličit plochu o rozloze 1,5 hektarů. [25]



Obrázek 7-8: Solární provzdušňovač [25]

7.5.2 Lopatkový aerátor

Zařízení má šířku okolo 130 mm a délku 100 mm. Aerátor je opatřen hřebeny, které mají různé množství zubů, které mají za úkol okysličovat vodu. Lopatkový aerátor (obr. 7-9) jinak zvaný také kesener se skládá z plováku, na kterém je umístěn motor s hřídelí a dvěma lopatkovými koly nebo u některých typů i se dvěma páry kol. Podle druhu lopatkového aerátoru se může lišit potřebná minimální hloubka rybníku nebo nádrže. Ta se může pohybovat v rozmezí přibližně od 0,3 metrů. Hmotnost zařízení se pohybuje od 30 do 50 kilogramů. [24] [26]



Obrázek 7-9: Lopatkový aerátor [24]

Výhodou aerátoru je efektivní výměna plynů a dlouhá životnost. Aerátor je také jednoduchý na údržbu, protože nedochází k ucpávání lopatek. Lopatkový aerátor byl zkoumán společně s aerátorem COMBINO Rybářstvím Hodonín s.r.o. ve spolupráci s Mendelovou univerzitou v Brně na rybníce Dvorský v průběhu srpna. [24]

7.5.3 Hřebenový aerátor

Tento typ aerátoru se skládá z plováku a válce (obr. 7-10). Válec zajišťuje aeraci a jeho šířka se pohybuje od 0,4 metru až po 1,5 metru. Válec je opatřen nejčastěji s šesti hřebeny a různým počtem zubů. Množství dodaného kyslíku aerátorem se pohybuje od 1,1 až 3,0 O₂/kWh. [24]

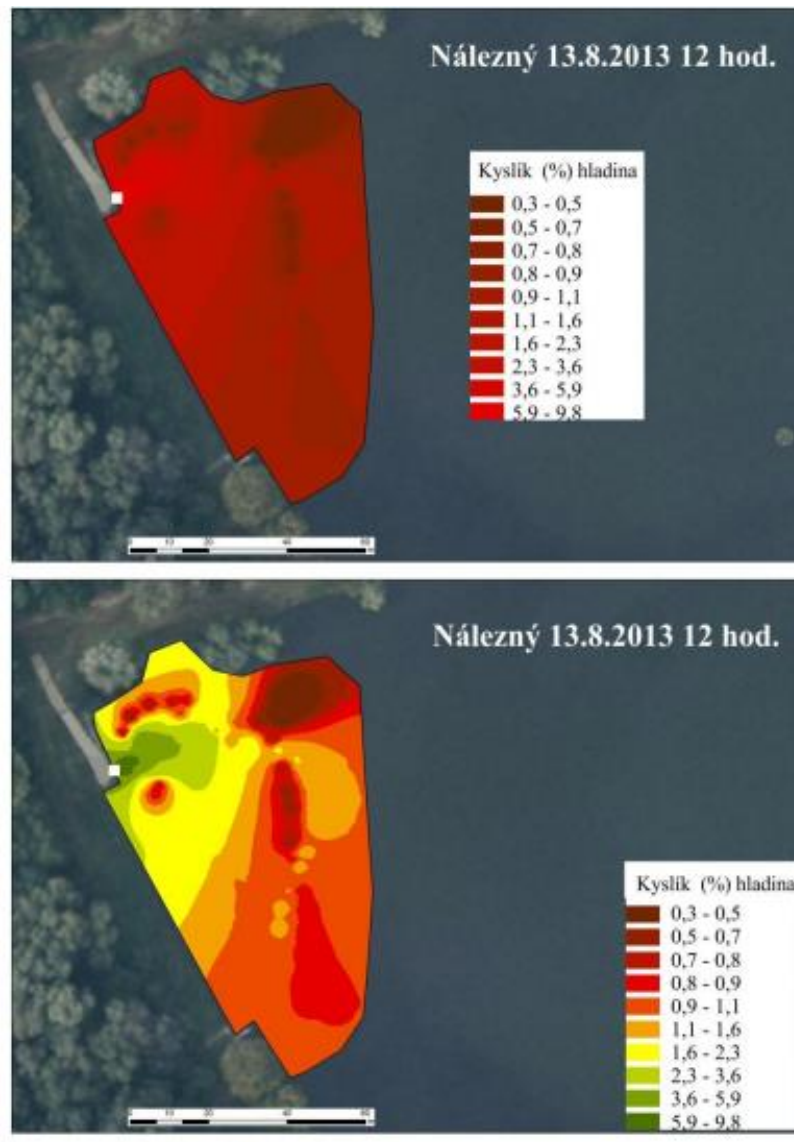


Obrázek 7-10: Hřebenový aerátor [24]

Aerátor byl během zmíněného projektu použit na rybníce Nad Sádkami, kde byl použit v kombinaci společně s vertikálním aerátorem. Šířka hřebenového válce byla 1,2 m. Rozloha rybníka činí 11,22 ha. Dále byl také při projektu použit na rybníce Nálezný, kde byl umístěn menší typ tohoto aerátoru s šířkou aeračního válce 0,6 metru. Menší typ byl použit z důvodu chybějícího přívodu elektrické energie, a tak byl pohon zajištěn pomocí dieselagregátu. [24]

Na rybníce Nálezný byl aerátor zprovozněn v srpnu, kdy na rybníce docházelo k úhynu ryb z důvodu nedostatku rozpuštěného kyslíku. Na přiložených obrázcích (obr. 7-11) si lze všimnout, že aerátor umístěný na rybníce, který je na obrázku vyznačen bílým čtverečkem, dokázal okysličit vodu pouze na 10% nasycení kyslíkem. Aerátor navíc dokázal okysličit vodu pouze v místě aerátoru a nedokázal okysličit vodu po celém rybníce. Z toho důvodu většina ryb zůstala rozprostřená po celém rybníce, kde nouzově dýchala. V tomto případě by bylo potřeba nainstalovat více aerátoru po ploše rybníka a zajistit nepřetržitý

provoz, protože po vypnutí aerátoru došlo k okamžitému zhoršení obsahu kyslíku ve vodě. Aerátor sice nedokázal dostatečně nasytit vodu kyslíkem po celé ploše, ale dokázal alespoň zmenšit v tomto případě škody. Ani dodané množství v tomto případě nebylo úplně dostačující. [24]



Obrázek 7-11: Množství dodaného kyslíku na rybníce Nálezny hřebenovým aerátorem [24]

7.5.4 Vertikální aerátor

Vertikální aerátor (obr. 7-12) se skládá ze segmentového rotoru na duté hřídeli. Na hladině se aerátor drží díky čtyřem nebo třem plovákům. Množství dodávaného kyslíku je závislé na hloubce aerace a také na typu rotoru. Množství kyslíku dodané tímto typem se pohybuje od 0,8 kg O₂/kWh. Tento typ aerátoru se používá také k rozmrazování na rybnících. Během výzkumu nebyl jeho vliv na kyslíkový režim zaznamenán. [24]



Obrázek 7-12: Vertikální aerátor [24]

7.5.5 Tryskový aerátor

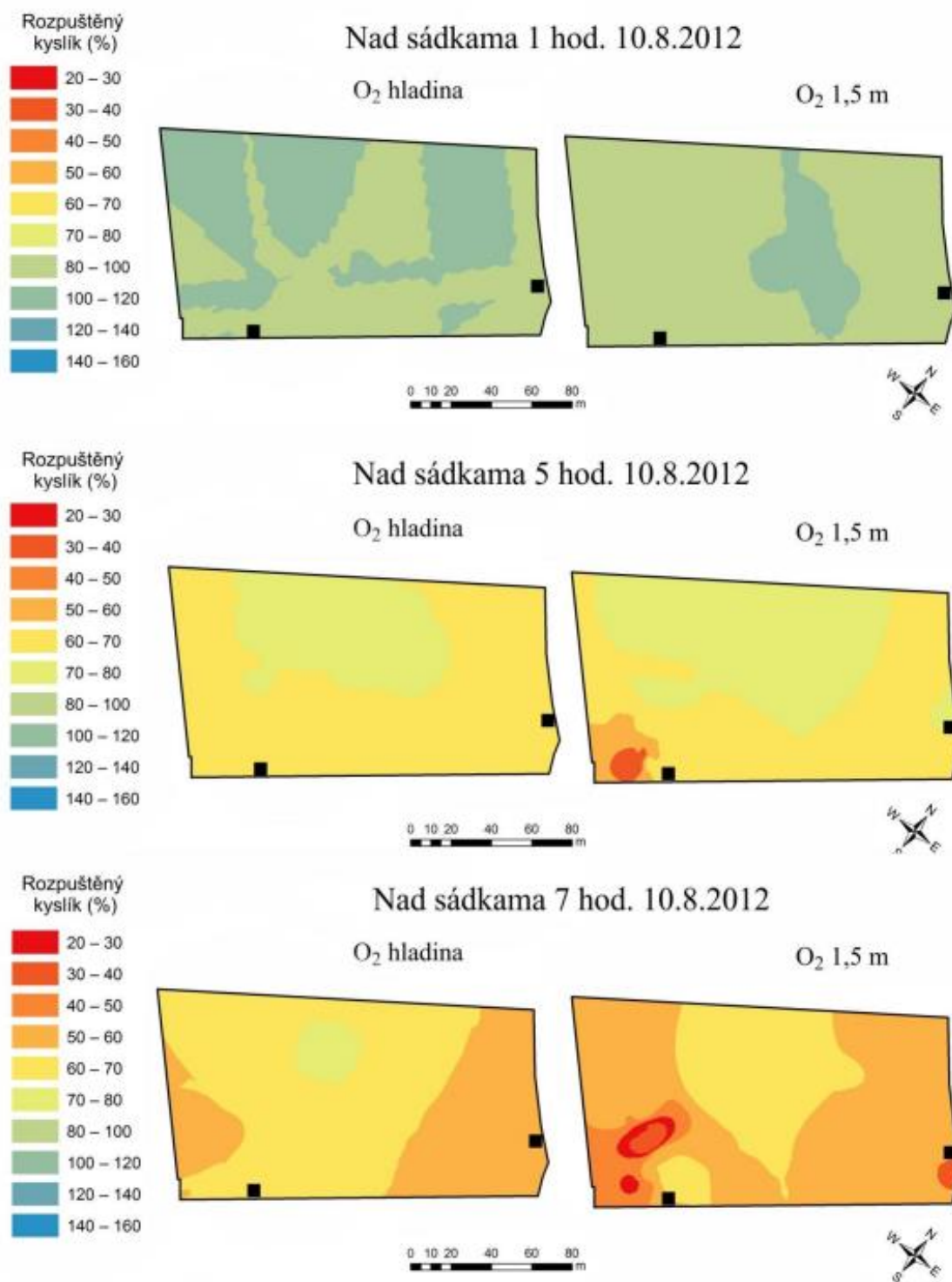
Dalším popisovaným typem je tryskový aerátor FORCE 7. Tento typ aerátoru je zařízení, které vytváří horizontální proudění a zároveň dochází k přísávání vzduchu. Hodnoty dodávaného kyslíku do vody se pohybují okolo 0,9 až 1,9 kg O₂/kWh. Aerátor dodává celkem až 85 m³ vzduchu do vody za hodinu. [24]

Aerátor byl během zmíněné studie pozorován na rybníce Dvorský a na rybníce Nad sádkama. Na rybníce Dvorský byl tento typ pozorován v kombinaci s aerátorem COMBITO, který bude popsán v další kapitole. Na rybníce Nad sádkama (obr. 7-14), kde bylo možné porovnat účinnost s hřebenovým horizontálním keserem, bylo zjištěno, že oba aerátory nedokázaly dodávat před rozběhnutím fotosyntézy dostatek kyslíku do vody. [24]

Dalším prodávaným typem je FORCE 72 (obr. 7-13), jehož pohon je zajištěn pomocí třífázového proudu i 230 V. Princip fungování aerátoru spočívá v tom, že otáčením vrtule vzniká za lopatkami podtlak a tím dochází k přísávání vzduchu. Směr okysličené vody lze u tohoto typu různě naklonit. [27]



Obrázek 7-13: Aerátor FORCE 72 [27]



Obrázek 7-14: Okysličení na rybníce Nad sádkama [23]

7.5.6 Combito

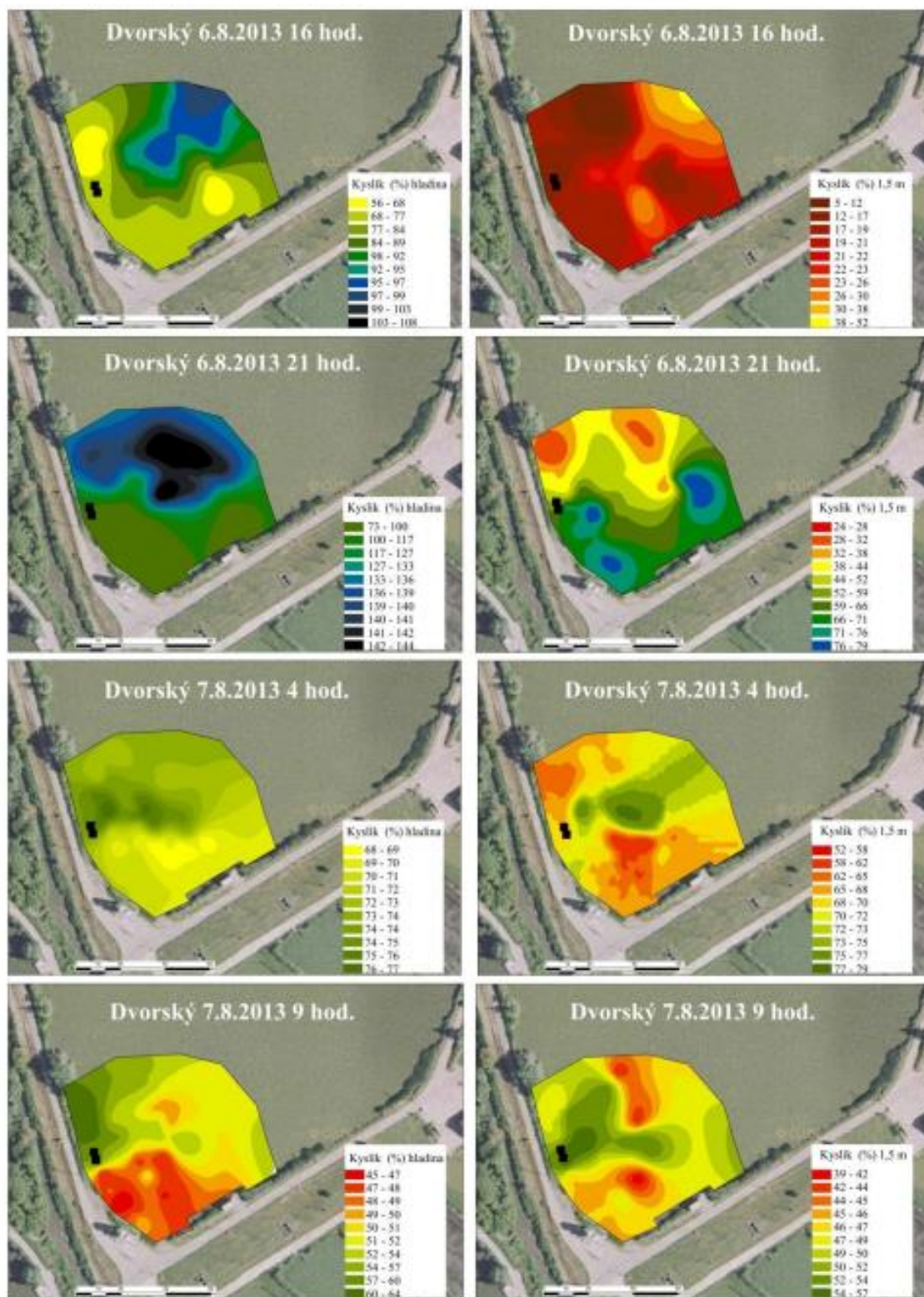
Aerátor se skládá ze dvou aerátorů, z FORCE 7 a aerátoru Brio (obr. 7-15). Brio je typ aerátoru s injektorem. Výhodou bria je možnost volení směru proudění. Brio je navíc lehký a snadný pro manipulaci. Samostatně lze Brio použít na rybnících o velikosti do 3000 m². Brio dokáže zabránit náhlým teplotním změnám v rybníce a dokáže rovnoměrně rozložit živiny a kyslík. [28] [24]



Obrázek 7-15: Aerátor Brio [28]

Combito byl při zmíněném projektu na rybníce Dvorský (obr. 7-16) s rozlohou 29,89 hektarů použit společně s lopatkovým aerátorem. Teplota vzduchu během sledování byla až 39,6 °C, což znamená, že ve vodě docházelo k úbytku kyslíku. Brio podle neměřených dat do vody dostane 0,9 až 1,9 kg O₂/kWh a Force 0,6 až 2,0 kg O₂/kWh. [24]

Aerátory dokázaly na rybníce dokázat okysličit vodu velmi kvalitně. Na hladině okolo 16 hodiny byla koncentrace kyslíku okolo 70 až 100 %, ale v hloubce 1,5 metru byl obsah kyslíku pouze na hodnotách pod 20 %. Jak si lze všimnout na obrázku, během dne se výrazně obsah kyslíku zvednul díky kombinaci aerátorů a druhý den ráno v 9 hodin už byl obsah kyslíku na hodnotě minimální okolo 45 %. Ačkoliv 45 % není stále ideální hodnota obsahu kyslíku ve vodě, jde určitě o výrazné zlepšení obsahu kyslíku ve vodě. [24]



Obrázek 7-16: Okysličení vody pomocí aerátoru COMBITO na Rybníce Dvorský [24]

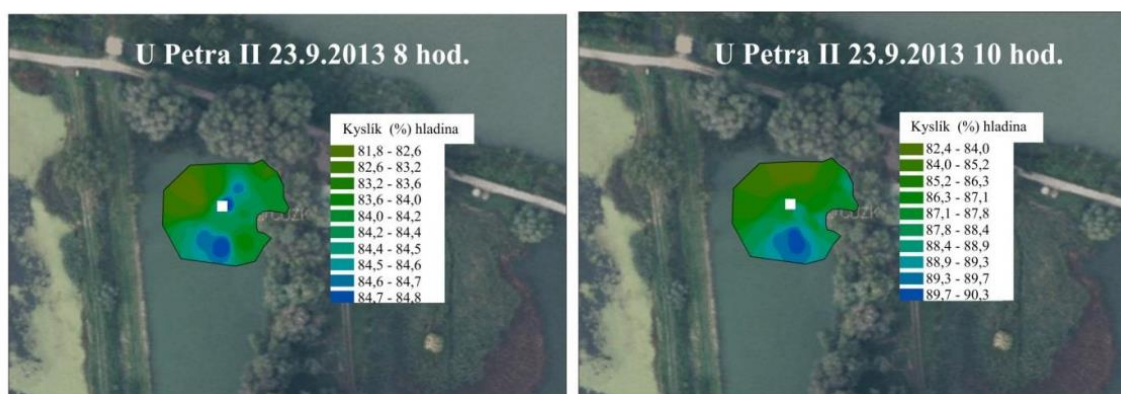
7.5.7 Gejírový aerátor

Posledním užívaným aerátorem je gejzírový aerátor SPLASH (obr. 7-17). Jeho uplatnění nalezneme zejména na rybích sádkách anebo na menších rybnících. Aerátor musí být uchycen proti pohybu na hladině. Gejzír vzniká pomocí vrtule, která vystřikuje vodu směrem vzhůru. Voda je odebírána přibližně z hloubky jednoho metru. [24] [29]



Obrázek 7-17: Gejírový aerátor [29]

Rozmezí dodávaného kyslíku se udává okolo 0,7 až 1,8 kg O₂/kWh. Ve zmiňovaném projektu byl použit na rybníce U Petra II (obr. 7-18). Aerátor byl zapnutý celou noc až do 9 hodin ráno. Na obrázcích si lze všimnout kvalitního okysličení v 8 hodin ráno, kdy aerátor byl v provozu. Naopak v 10 hodin, tedy hodinu po odstavení, se situace s kyslíkem mírně začala v okolí aerátoru zhoršovat. Znovu z toho vyplývá, že aerátory by měly běžet téměř nepřetržitě.



Obrázek 7-18: Okysličení vody gejzírovým aerátorem na rybníce U Petra II [24]

7.5.8 Porovnání povrchových aerátorů

Jak už bylo zmíněno na začátku kapitoly o povrchových aerátorech, jejich užití se předpokládá u menších nádrží, popřípadě někde na řekách, kde je méně kyslíku. Ale i tak jsou povrchové aerátory velmi důležité a lze je volit jako rychlé řešení při náhlém snížení obsahu kyslíku ve vodě. Povrchové aerátory, kromě prvního zmíněného, mají velmi často problém s tím, jak je budeme zásobovat energií. Nejběžněji se využívá elektrický kabel, popřípadě dieselagregát. Jako vhodné řešení problému s energií bych viděl využití solárních panelů, jako je tomu u prvního aerátoru. Bohužel i zde mohou nastat problémy, protože nemusí dostatečně svítit a jak už jsem v práci zmiňoval, je velmi důležité provádět aeraci na ohrožených nádržích neustále.

Ceny povrchový aerátoru jsou přibližně podobné. Cenový rozsah se pohybuje od 20 000 do 60 000 Kč bez DPH. Výjimkou bude aerátor se solárními panely, který bude dražší. Ovšem v budoucnosti u nich nebudeme muset řešit náklady na energii. Nejlevnějším aerátorem je gejzírový aerátor SPLASH. Jeho účinnost patří mezi ty nejnižší. Tento typ bych tedy spíše volil na menší rybníky, popřípadě rybí sádky. Nejlepším řešením se nabízí, pokud nebudeme používat aerátor se slunečními panely, aerátor Combito, skládající se ze dvou aerátorů. Pokud bychom chtěli pouze jeden, tak potom se nabízí lopatkový aerátor (tab. 7-1). Na větších rybnících doporučuji rozmístit větší počet aerátorů. Je totiž třeba, aby došlo k okysličení větší části plochy a nedošlo k tomu, aby okysličená voda byla pouze na jedné části rybníka. To by mohlo znamenat, že některé ryby by zůstaly v neokysličené části rybníka.

V závěru je potřeba říct, že povrchové aerátory se jeví spíše jako nouzové řešení při nedostatku kyslíku, narozdíl od hloubkových aerátorů, které se využívají na přehradách. Ale i tak je jejich důležitost zmínit a dodat, že mohou v některých případech zachránit velké množství ryb na rybnících při nedostatku kyslíku.

DRUH AERÁTORU	kg O ₂ /kWh
Hřebenový horizontální aerátor	1.1–3.0
Tryskový aerátor FORCE 7	0.9–1.9
Gejzírový aerátor SPLASH	0.7–1.9
Vertikální aerátor	0.4–0.8
Lopatkový aerátor	1.1–3

Tabulka 7-1: Porovnání aerátorů podle množství dodaného kyslíku v kg O₂/kWh [24]

8 Závěr

Nedostatek kyslíku v povrchových vodách je aktuální problém, se kterým se budeme setkávat i v příštích letech. Důvodem je především globální oteplování, které vede ke zhoršování kvality povrchových vod v důsledku eutrofizace. Z tohoto důvodu se budeme muset v budoucnosti zabývat tím, jak zachovat kvalitu povrchových vod (pitná voda, rekreace).

Z důvodu nedostatku kyslíku ve vodě je nutné zohlednit druh vysazované rybí osádky. Při záměru vysadit náročnější druh ryby na kyslík, jako je například pstruh, měli bychom na nádrž umístit aerační zařízení, které by dodalo potřebný kyslík do vody. Na plánovaném vodním díle Kryry, kterým se zabýval v bakalářské práci Ondřej Němčanský z FSv, ČVUT v Praze, se navrhuje vysadit okoun a v pozdějších letech i candát obecný, či štika. Na základě získaných poznatků během psaní bakalářské práce jsem zjistil, že okoun je citlivější ryba na obsah kyslíku, proto doporučuji umístit na nádrž aerační zařízení ke zlepšení kvality vody. [30]

V bakalářské práci jsem rozdělil aerátory na povrchové (hřebenový aerátor, lopatkový aerátor, atd.) a hlubinné (věžové aerátory, kuželový aerátor, aerátor s vodním skokem). Povrchové aerátory se jeví spíše jako nouzové řešení při nedostatku kyslíku na rybníce a dokážou zmírnit úhyny ryb. Tento typ se spouští zejména až v průběhu nedostatku kyslíku, což je způsobeno pravděpodobně vysokými náklady na energii nebo nepřítomností elektrického napojení. Z toho důvodu doporučuji umístění solárních panelů na jejich konstrukce, které by zajistily provoz během celého léta.

V současných podmínkách bude zásadní využívat technické možnosti ke zlepšení kvality povrchových vod. Hlubinné aerátory představují tuto možnost. Ideálním řešením by bylo, aby aerátor dokázal kromě dodání kyslíku do vody také zlepšit teplotu vody u dna nádrže tak, aby se do dolních toků nevypouštěla příliš studená voda.

Cílem práce bylo zjistit příčiny vedoucí ke zhoršení životních podmínek ryb v povrchových vodách. Ke zhoršení kvality vody vede především eutrofizace, která je spojená s velkým množstvím fosforu. V budoucnosti by bylo důležité tento přísun fosforu zmenšit, a to zejména zlepšením technologie čistíren odpadních vod, a také omezením nadměrného hnojení na polích. Za snížením kvality vody vede také zvyšující se teplota vody, a s tím související nižší rozpustnost kyslíku ve vodě.

Negativními následky nedostatku kyslíku je zhoršení životních podmínek ve vodě, které mohou vést v extrémních případech až k úhynu ryb. Proto je důležité tyto případy eliminovat za pomoci technických řešení.

Technickou možností, jak zlepšit životní podmínky ryb, je využívání aerátorů, které díky dodávání kyslíku dokáží udržet dostatečnou kvalitu vody během celého roku. Na hlubokých nádržích doporučuji využívat aerátory hlubinné, především aerátor s vodním skokem nebo kuželový aerátor. Na mělčích nádržích doporučuji věžové aerátory, které navíc dokáží zlepšit i teplotu v dolním toku.

9 Zdroje

- [1] *Hladinu australské řeky pokryly miliony mrtvých ryb. Uhynuly kvůli nedostatku kyslíku* [online]. Praha: ČT24, 2023 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/svet/3572602-hladinu-australske-reky-pokryly-miliony-mrtvych-ryb-uhynuly-kvuli-nedostatku-kysliku>
- [2] *Za loňský úhyn ryb na jezu na Dyji mohly znečištěné povrchové vody* [online]. České Budějovice: Biologické centrum AV ČR, v. v. i., 2023 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://www.bc.cas.cz/novinky/detail/6811-za-lonsky-uhyn-ryb-na-jezu-na-dyji-mohly-znecistene-povrchove-vody/>
- [3] *Ve Vranovské přehradě uhynuly tisíce ryb* [online]. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2014 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/media/aktuality/ve-vranovske-prehrade-uhynuly-tisice-ryb/>
- [4] Příčiny úhynu na Žermanické přehradě. *ČISTOTÁŘ* [online]. 2002, 1(5), 1-2 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://www.rybsvaz-ms.cz/katalog-obrazku/produkt-371/780-istotar-5.doc>
- [5] ADÁMEK, Zdeněk. *Aplikovaná hydrobiologie. 2., rozš. upr. vyd.* Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2014. ISBN 978-80-87437-09-4.
- [6] VOKURKA, Adam a Karel ZLATUŠKA, ed. *Technická doporučení pro hrazení bystřin a strží. 1.* Praha: Ministerstvo zemědělství, 2020. ISBN 978-80-7434-557-9.
- [7] *Tajemství přehrad: Rekordní Dalešice jistí Česko před blackoutem* [online]. Praha: iDnes.cz, 2020 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/cestovani/po-cesku/tajemstvi-prehrad-dalesice-mohelno.A200217_100512_po-cesku_vrja
- [8] *Malá vodní elektrárna Mohelno* [online]. Praha: ČEZ, a. s., 2010 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektrarny/ceska-republika/mohelno-58165>
- [9] KRÁSA, Josef. *Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy: certifikovaná metodika pro praxi.* Vyd. 1. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2013. ISBN isbn:978-80-01-05428-4.
- [10] *OLIGOTROFNÍ POVODÍ* [online]. Praha: Beleco, z.s., 2015 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <http://www.perlorodkaricni.cz/prostredi/oligotrofni-povodi.html>
- [11] ČERNÝ, Martin a Adam PETRUSEK. *Rybník nejsou jenom ryby* [online]. Praha: Nakladatelství Academia, SSČ AV ČR, v. v. i., 2022 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/rybnik-nejsou-jenom-ryby.pdf>

- [12] *Eutrofizace 2000: sborník semináře 10.10.2000, Praha*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2000. ISBN 80-708-0396-7.
- [13] *Eutrofizace vodní nádrže Orlík: Jak ji co nejlevněji vyřešit?* [online]. České Budějovice: REFRESH, 2015 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: http://www.e-academia.eu/images/Voda/letak_Orlik.pdf
- [14] VELÍŠEK, Josef, Zdeňka SVOBODOVÁ, Jana BLAHOVÁ et al. *Vodní toxikologie pro rybáře*. Druhé aktualizované vydání. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2018. ISBN 978-80-7514-069-2.
- [15] Autotrofie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Autotrofie>
- [16] *Tepelný režim ve vodách* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://e-learning.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=T000
- [17] HAVLÍK, Vladimír a Ivana MAREŠOVÁ. *Hydraulika 10: příklady*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02403-2.
- [18] ŠKARPA, Petr. *HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ANALÝZY ZÁVLAHOVÉ VODY* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/laborator/index.php?N=3&I=4&J=0&K=0
- [19] *Jakost vody v nádržích* [online]. Brno: Povodí Moravy, státní podnik, 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: http://www.pmo.cz/portal/jvn/cz/index.htm?fbclid=IwAR20r0pLf8PhlX-X_gHGH5pxINvdn6oFRaSrnahQrBw6VKgv1gux6xJ1gj4
- [20] *Po vydařené sezóně potápěči sklápějí na VD Brno aerační věže* [online]. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2022 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/media/tiskove-zpravy/po-vydarene-sezone-potapeci-sklapeji-na-vd-brno-aeracni-veze/>
- [21] *Potlačování masového rozvoje sinic na přehradě Brno* [online]. Brno: ASIO, spol. s r.o., 2011 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/potlacovani-masoveho-rozvoje-sinic-na-prehrade-brno.45>
- [22] HORNE, Alex J., Rodney JUNG, Hubert LAI, Bill FAISST a Marc BEUTEL. Hypolimnetic oxygenation 2: oxygen dynamics in a large reservoir with submerged down-flow contact oxygenation (Speece cone). *Lake and Reservoir Management* [online]. 2019, **35**(3), 323-337 [cit. 2023-05-21]. ISSN 1040-2381. Dostupné z: doi:10.1080/10402381.2019.1648612
- [23] HAINDL, Karel. *Prstencový skok a přechodové jevy proudění*. 1. vyd. Praha: Academia, 1975.

- [24] HLUŠEK, Jaroslav. *Provozní ověření různých typů aerátorů ke zvýšení obsahu rozpuštěného kyslíku v rybnících*. Brno, 2013. Technická zpráva. Mendelova univerzita v Brně.
- [25] *Solární provzdušňovač* [online]. Stráž nad Nežárkou: HYDROSERVIS-UNION a.s., 2020 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://h-union.cz/solarni-provzdušnovac/>
- [26] *Kesener lopatkový 550 W* [online]. Praha: Pražské rybářství spol. s r.o., 2015 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://praryb.cz/kesener-lopatkovy-550-w/1336>
- [27] *AERÁTOR FORCE 72* [online]. České Budějovice: SLUŽBY RYBÁŘSTVÍ Hynek Chromý, 2023 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.aquaculture.cz/aeratory-a-rozmrazovace/aaerator-force-72/>
- [28] *ROZMRAZOVAC BRIO 0,5* [online]. České Budějovice: SLUŽBY RYBÁŘSTVÍ Hynek Chromý, 2023 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.aquaculture.cz/aeratory-a-rozmrazovace/rozmrazovac-brio-0-5/>
- [29] *AERÁTOR SPLASH 0.5* [online]. České Budějovice: SLUŽBY RYBÁŘSTVÍ Hynek Chromý, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.aquaculture.cz/aeratory-a-rozmrazovace/aerator-splash-0-5/>
- [30] NĚMČANSKÝ, Ondřej. *Studie proveditelnosti VD Kryry na Podvineckém potoce*. Praha, 2023. Bakalářská práce. ČVUT v Praze.

10 Seznam obrázků

Obrázek 1-1: Masivní úhyn ryb na řece Darling (Zdroj: Seznam Zprávy)	3
Obrázek 2-1: Typy vodních děl [5]	7
Obrázek 4-1: Množství fosforu na Vírské přehradě (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.).....	14
Obrázek 6-1: Rozdělení vrstev vody v nádrži během léta (Zdroj: Management Strategies for Cyanobacteria)	21
Obrázek 6-2: Jarní stratifikace na VD Vír (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.).....	23
Obrázek 6-3: Letní stratifikace na VD Vír (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.).....	23
Obrázek 6-4: Podzimní stratifikace na VD Vír (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.).....	23
Obrázek 6-5: Teplota vody v srpnu na VD Mostišť (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.).....	25
Obrázek 6-6: Teplota vody v srpnu na VD Brno (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.)	25
Obrázek 7-1: Rozmístění aeračních věží po nádrži (Zdroj: ČT Brno)	28
Obrázek 7-2: Nasycení kyslíkem [%] na VD Mostišť (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.)	29
Obrázek 7-3: Nasycení kyslíkem [%] na VD Brno (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.).....	29
Obrázek 7-4: Nasycení kyslíkem [%] na VD Vír (Zdroj: Povodí Moravy, s.p.).....	29
Obrázek 7-5: Aerační věž s čerpadlem (Zdroj: Asio).....	30
Obrázek 7-6: Aerační věž s aerátorem (Zdroj: Asio)	30
Obrázek 7-7: Kuželový aerátor [21]	31
Obrázek 7-8: Solární provzdušňovač [24].....	37
Obrázek 7-9: Lopatkový aerátor [23]	37
Obrázek 7-10: Hřebenový aerátor [23].....	38
Obrázek 7-11: Množství dodaného kyslíku na rybníce Nálezny hřebenovým aerátorem [23]	39
Obrázek 7-12: Vertikální aerátor [23]	40
Obrázek 7-13: Aerátor FORCE 72 [26]	41
Obrázek 7-14: Okysličení na rybníce Nad sádkama [23].....	42
Obrázek 7-15. Aerátor Brio [27]	43
Obrázek 7-16: Okysličení vody pomocí aerátoru COMBITO na Rybníce Dvorský [23]...	44
Obrázek 7-17: Gejírový aerátor [28]	45
Obrázek 7-18: Okysličení vody gejírovým aerátorem na rybníce U Petra II [23]	45

11 Seznam grafů

Graf 2-1: Porovnání teploty vody a průtoku vody během roku nad a pod Vranovskou přehradou [5]	8
Graf 4-1: Zdroje fosforu v nádrži VD Orlík [13]	13
Graf 5-1: Závislost rozpustnosti kyslíku na teplotě vody [14]	15
Graf 7-1: Okysličení pomocí kuželového aerátoru [21].....	32
Graf 7-2: Změna množství kyslíku ve vodním sloupci po aeraci pomocí vodního skoku [22]	34

12 Seznam tabulek

Tabulka 3-1: Rozdělení vod podle úživnosti [5]	10
Tabulka 5-1: Kritické množství nasycení kyslíkem pro plůdky ryb [14].....	17
Tabulka 7-1: Porovnání aerátorů podle množství dodaného kyslíku v kg O ₂ /kWh [23]	46