

**Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích**  
**Fakulta rybnářství a ochrany vod**

Ústav akvakultury

Diplomová práce

**Kvalita vody odtékající z rybníků v průběhu  
vypouštění a výlovu se zřetelem na bilanci  
fosforu a nerozpuštěných látek**

**Autor: Mgr. Jan Freidinger**

**Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Zdeněk Adámek, CSc.**

**Konzultant diplomové práce: Ing. David Hlaváč, Ph.D.**

**Forma studia: Kombinovaná**

**Ročník: III.**

**České Budějovice, 2016**



Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že, v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě, případně v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných FROV JU. Zveřejnění probíhá elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum

Podpis studenta



Děkuji svému vedoucímu Doc. RNDr. Zdeňkovi Adámkovi, CSc., i konzultantovi Ing. Davidu Hlaváčovi, Ph.D., za cenné připomínky a vstřícnost při vypracování této diplomové práce. Zároveň děkuji své manželce RNDR. Tereze Freidingerové, Ph.D., za praktické rady a trpělivost.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Mgr. Jan FREIDINGER**  
Osobní číslo: **V13N000K**  
Studijní program: **N4103 Zootechnika**  
Studijní obor: **Rybářství**  
Název tématu: **Kvalita vody odtékající z rybníků v průběhu vypouštění a výlovu se zřetelem na bilanci fosforu a nerozpuštěných látek**  
Zadávací katedra: **Ústav akvakultury**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Období vypouštění a výlovu rybníka jsou spojena se zvýšeným odtokem a zatížením rybníční vody nerozpuštěnými látkami a živinami. Kvalita vody v recipientech tak může být významně ovlivněna především z pohledu nebezpečí podpory eutrofizačních procesů v důsledku zvýšeného vyplavování fosforu.

Cílem práce bude vyhodnocení časového průběhu zatížení vody odtékající z rybníka nerozpuštěnými látkami a fosforem se speciálním zřetelem na podíl partikulovaného a reaktivního fosforu. Odběry vzorků budou zahájeny ve vegetační sezóně v měsíčních intervalech s cílem získání podkladů o kvalitě odtékající rybníční vody v obdobích, kdy je ovlivněna pouze hospodářskými zásahy souvisejícími s chovem ryb (především příkrmování). V návaznosti na zahájení vypouštění rybníka bude frekvence odběrů upravena tak, aby byla monitorována období vypouštění bez ovlivnění pohybem ryb (případně přípravnými pracemi na lovišti), období s odtokem potenciálně ovlivněným pohybem a reakcemi ryb (po redukci objemu vody na cca jednu třetinu) a období finálních prací na přípravě na lovení a vlastního výlovu. Při monitoringu prováděném v průběhu vlastního výlovu budou vzorky odebírány jako slévané se zohledněním jednotlivých technologických fází odlovu (zátaž, vydávání ze sítě, klidové fáze) a s dokumentací jejich trvání. V průběhu odběrů bude kvantifikován odtok. Pro řešení práce budou zvoleny dva rybníky o různé kvalitě dnových sedimentů (písčité a bahnité), případně různém složení obsádek.

Rozsah grafických prací: **podle potřeby, cca 10 grafů**  
Rozsah pracovní zprávy: **50-90 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury: **viz příloha**

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Zdeněk Adámek, CSc.**

Ústav akvakultury

Konzultant diplomové práce: **Ing. David HLAVÁČ**


Ústav akvakultury

Datum zadání diplomové práce: **14. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2015**

  
prof. Ing. Otomar Linhart, DrSc.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD  
Zátiší 728/II  
389 25 Vodňany (2)

  
Ing. Jan Mráz, Ph.D.  
ředitel

V Českých Budějovicích dne 14. února 2014



## Příloha zadání diplomové práce

### Seznam odborné literatury:

- Adámek Z., Helešic J., Maršálek B., Rulík M., 2010. Aplikovaná hydrobiologie. FROV JU Vodňany, 350 s.
- Adámek, Z., Linhart, O., Kratochvíl, M., Flajšhans, M., Randák, T., Policar, T., Masojídek, J., Kozák, P., 2012. Aquaculture the Czech Republic in 2012: Modern European prosperous sector based on thousand-year history of pond culture. *Aquacult. Europe* 37, 5-14 s.
- Adámek, Z., Maršálek, B., 2013. Bioturbation of sediments by benthic macroinvertebrates and fish and its implication for pond ecosystems: a review. *Aquacult. Int.* 21, 1-17 s.
- Čítek J., Krupauer V., Kubů F., 1993. Rybníkářství. Informatorium Praha, 281 s.
- Driver, P. D., Closs, G. P., Koen T., 2005. The effects of size and density of carp (*Cyprinus carpio* L.) on water quality in an experimental pond. *Arch. Hydrobiol.* 163, 117-131 s.
- Dulic, Z., Subakov-Simic, G., Ciric, M., Relic, R., Lakic, N., Stankovic, M., Markovic, Z., 2010. Water quality in semi-intensive carp production system using three different feeds. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 16, 266-274 s.
- Duras, J., Potužák, J., 2012. First results obtained by monitoring of phosphorus mass balance of several fish ponds. *Vod. hosp.* 6, 210-216 s.
- Chumchal, M. M., Nowlin, W. H., Drenner, R. W., 2005. Biomass-dependent effects of common carp on water quality in shallow ponds. *Hydrobiologia* 545, 271-277 s.
- Ćirić, M., Subakov-Simić, G., Dulić, Z., Bjelanović, K., Čičovački, S., Marković, Z., 2013. Effect of supplemental feed type on water quality, plankton and benthos availability and carp (*Cyprinus carpio* L.) growth in semi-intensive monoculture ponds. *Aquac. Res.* doi:10.1111/are.12230. 1-12 s.
- Hlaváč D., Adámek Z., Hartman P., Másilko J., 2014. Effects of supplementary feeding in carp ponds on discharge water quality: a review. *Aquacult Int* (2014) 22:299-320 s.
- Knösche, R., Schreckenbach, K., Pfeifer, M., Weissenbach, H., 2000. Balances of phosphorus and nitrogen in carp ponds. *Fisheries Management and Ecology.* 7, 15-22 s.
- Lellák J., Kubíček F., 1991. Hydrobiologie. Karolinum, 1. vydání, 257 s.
- Pechar, L., 2000. Impacts of long-term changes in fishery management on the trophic level water quality in Czech fish ponds. *Fisheries Management and Ecology* 7, 23-31 s.
- Všetičková, L., Adámek, Z., Rozkošný, M., Sedláček P., 2012. Effects of semi-intensive carp pond farming on discharged water quality. *Acta Ichthyol. Piscat.* 42, 223-231 s.



## Obsah

1	Úvod .....	13
2	Přehled literatury .....	15
2.1	Fosfor a eutrofizace .....	15
2.2	Není fosfor jako fosfor .....	16
2.3	Kdo za to může? .....	18
2.4	Fosfor a rybníční hospodářství .....	20
2.5	Rybníční sedimenty.....	25
2.6	Výlov rybníka a jeho vliv na kvalitu vody v recipientu .....	26
3	Aktuální trendy, které ovlivňují chov ryb v Česku .....	28
3.1	Kvalita povrchových vod a mimoprodukční funkce rybníků .....	28
3.2	Využití rybníčního sedimentu pro recyklaci živin .....	28
3.3	Dopady změn klimatu a rybníky jako součást adaptační opatření.....	30
4	Materiál a metodika .....	34
4.1	Sledované rybníky.....	34
4.2	Odběr vzorků .....	38
4.3	Sledované parametry.....	38
5	Výsledky a diskuse.....	43
6	Závěr .....	50
	Literatura:.....	53
	Seznam tabulek:.....	57
	Seznam obrázků:.....	57
	Seznam grafů: .....	57
	Abstrakt .....	58
	Abstract .....	59



# 1 Úvod

Rybniční akvakultura je na našem území tradičním zemědělským odvětvím již od středověku, kdy byly zakládány první rybníky. Ty se staly nedílnou součástí naší krajiny a kromě produkce ryb plní i řadu dalších pozitivních funkcí, od protipovodňové ochrany a retence vody v krajině, přes funkci ekologickou, krajino tvornou či rekreační, po schopnost zlepšovat kvalitu povrchových vod. Tyto tzv. mimoprodukční funkce rybníků mohou být omezovány v závislosti na rybničním managementu, především pak na způsobu a stupni intenzifikace rybářského hospodaření. Proto se vede poměrně živá debata mezi rybáři, vodohospodáři a ochránci přírody – ať už ze státní správy, nebo neziskových organizací – ohledně poměru či vztahu mezi produkční funkcí rybníků (dosažení maximální výtěžnosti) a ochranou přírody a krajiny (zachováním mimoprodukčních funkcí rybníků).

Zvláště diskutované téma je vliv rybničního hospodaření na kvalitu vody, která rybníky protéká. Na rozdíl od většiny ostatních mimoprodukčních funkcí, které v extrémním případě můžeme považovat za jakýsi „bonus“ samotné existence produkčního rybníka, kterého není v případě nevhodného managementu dosaženo, vliv na kvalitu vody může být i negativní. Konkrétně se nejvíce diskutuje vliv rybničního hospodaření na znečištění živinami, především fosforem (P), který je klíčovou eutrofizační živinou způsobující masový rozvoj řas a vodního květu sinic, jev v anglické literatuře souhrnně označovaný jako HABS (hazardous algal blooms – nebezpečný vodní květ řas a sinic).

Znečištění živinami se stalo v uplynulých několika dekádách jedním z nejzávažnějších problémů pro kvalitu povrchových vod i mořských pobřežních oblastí, jeho rozsah má globální charakter. Rozhodující antropogenní vliv na současný neutěšený a nelepšící se stav znečištění živinami je přitom nezpochybnitelný. Rozsah problému se odráží i v přijaté legislativě, především pak v Rámcové směrnici o vodách EU (WFD), jejíž implementace vyžaduje, aby Česká republika do roku 2015 zajistila alespoň „dobrý

ekologický stav“ našich vodních útvarů. Řešení tohoto problému je v ČR předmětem intenzivního výzkumu a snah o nápravu.

Společným východiskem je nutnost omezit znečištění živinami (P) přímo u zdrojů, především pak z komunálního znečištění, které nese největší díl odpovědnosti. Rozdílné názory panují ohledně problematiky kvantifikace dalších zdrojů P, jakými jsou eroze a především rybníční hospodaření. Jak již bylo řečeno výše, rybníky mají velký retenční potenciál živin, ale naplnění tohoto potenciálu závisí na mnoha faktorech, především na způsobu hospodaření na rybníce, včetně způsobu výlovu, který je podle některých autorů (Potužák, Duras 2012; Mikšíková et al. 2012) kritickým obdobím pro emise fosforu. Tato diplomová práce si klade za cíl přispět drobným střípkem do mozaiky poznání o vlivu výlovu rybníka na množství emisí fosforu a nerozpuštěných látek.

## 2 Přehled literatury

### 2.1 Fosfor a eutrofizace

Eutrofizace je termín, jehož definice se od svého prvního použití na počátku 20. století (Schindler 2006) měnila, pro účely této práce budu vycházet z definic použitých v relevantních právních předpisech Evropské unie, především v Rámcové směrnici o vodách (WFD), Směrnici pro městské čistírny odpadních vod (UWWT) a v jejich upřesňujících implementačních dokumentech<sup>1</sup>.

**Eutrofizace** – obohacování vody živinami, především pak sloučeninami dusíku a/nebo fosforu, v jejichž důsledku dochází k intenzivnímu růstu řas, sinic a vyšších forem rostlin, které jsou příčinou nežádoucího narušení rovnováhy organismů přítomných ve vodě a kvality vody.

**Eutrofický** – stav, kdy je přirozená trofická úroveň narušena v důsledku antropogenní intervence.

Přestože byl problém eutrofizace rozpoznán již v první polovině 20. století, vědci ho začali spojovat se znečištěním živinami až v šedesátých letech 20. století (Schindler 2006). V roce 1974 pak bylo prokázáno, že rozhodujícím prvkem pro proces eutrofizace a masový růst řas a sinic ve sladkých vodách je fosfor (Schindler 1974). Následný výzkum ukázal, že nízký poměr mezi N a P problém eutrofizace ještě zhoršuje, protože je příznivější pro růst sinic, které jsou schopny vázat atmosférický dusík (Schindler 1977). V průběhu 80. let minulého století se pak prokázalo, že nejefektivnější způsob omezení eutrofizace je kontrola bodových zdrojů fosforu (Edmondson 1970; Ahlgren 1978; Holtan 1981).

---

<sup>1</sup> COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC), Technical Report 2009 – 039, Policy Summary of Guidance document No. 23 ON EUTROPHICATION ASSESSMENT IN THE CONTEXT OF EUROPEAN WATER POLICIES

Tab. 1 Hraniční hodnoty pro klasifikaci trofických poměrů v nádržích a jezerech podle OECD (1982)

Kategorie	průměr	průměr	max.	průměr	min.
	Pcelk	Chla	Chla	průhlednost	průhlednost
	mg/l	mg/l	mg/l	m	m
Ultraoligotrofie	<0,004	<1,0	<2,5	>12	>6
Oligotrofie	<0.010	<2,5	<8	>6	>3
Mezotrofie	0,010–0,035	2,5–8	8–25	6–3	3–1,5
Eutrofie	0,035–0,1	8–25	25–75	3–1,5	1,5–0,7
Hypertrofie	>0,1	>25	>75	<1,5	<0,7

Zdroj: Vollenweider, Kerekes 1982

## 2.2 Není fosfor jako fosfor

Fosfor se v přírodě, tedy i ve vodě vyskytuje pouze ve formě sloučenin. Ve vodním prostředí se pod pojmem **celkový fosfor** rozumí suma všech **rozpuštěných** i **nerozpuštěných** sloučenin fosforu.<sup>2</sup> Z chemického hlediska se celkový fosfor dělí na anorganicky a organicky vázaný. Do vody se dostává většinou ve formě **anorganických fosforečnanů**, především ortofosforečnanů a méně polyfosforečnanů. Ortofosforečnany nabývají různých forem v závislosti na pH vody ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) (Švehláková 2009). Polyfosforečnany se pak ve vodách vyskytují s řetězovitou i cyklickou strukturou a hydrolyzují biochemickými i chemickými procesy na ortofosforečnany. Fosforečnanové ionty se lehko váží na železo, hliník a vápník, se kterými vytvářejí jednoduché soli nebo komplexy, jejichž rozpustnost se mění v závislosti na pH a nasycení vody kyslíkem (Švehláková 2009).

Další formou fosforu ve vodách je **organicky vázaný fosfor**. Mezi formy organicky vázaného rozpuštěného fosforu (**DOP** – dissolved organic phosphorus) patří například fosfáty hexos, fosfolipidy, fosfoproteiny, koenzymy ADP a ATP, nukleové kyseliny (Kočí et al. 2000). Nerozpuštěný organický fosfor je obsažen v organismech a jejich zbytcích ve volné vodě a v sedimentech. V bilančním množství dominuje v Česku nerozpuštěný fosfor, který představuje až 95 % celkového fosforu v tocích (Synáčková 1996).

Pro účely této práce je klíčový význam jednotlivých forem fosforu pro eutrofizační procesy, který byl popsán v řadě prací např. Hejzlar, Borovec (2004). Na důležitost snadno

<sup>2</sup> Pitter, P.: Hydrochemie. SNTL. Praha 1990, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2009, ISBN 978-80-7080-701-9



dostupného fosforu pro produkci ve vodních ekosystémech upozorňují zejména Reynolds a Davies (2001) nebo Peters (1981), kteří mluví o klíčové roli tzv. biologicky dostupného fosforu (**BAP** – bioavailable phosphorus). V nádržích lze tuto formu fosforu ztotožnit s fosforem stanoveným jako ortofosforečnanů nebo rozpuštěný reaktivní fosfor (**SRP** – soluble reactive phosphorus, Prozp).

Dobré shrnutí problematiky významu forem fosforu, ze kterého budu vycházet, poskytuje certifikovaná metodika *Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy* (Krása et al. 2013). Zásadní pro eutrofizaci je fosfor **rozpuštěný**, především pak v ortofosforečnanové formě ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ), který je schopen vodní mikroorganismy (řasy, sinice, bakterie) a vyšší i nižší rostliny přijímat a organicky vázat v podobě různých organofosforových sloučenin. Fosfor vázaný v biomase (nerozpuštěný organický fosfor) pak podstupuje klasický koloběh v potravním řetězci a po odumření organismu či po exkreci je tento organicky vázaný fosfor za pomoci extracelulárních enzymů bakterií a řas hydrolyzován do formy fosforečnanů (ortofosforečnanů) a je opět k dispozici pro růst dalších organismů (Kočí et al. 2000).

- **Částicový/partikulární fosfor (Ppart)** je tvořen jak organickými částicemi (řasy, detrit, sinice, bakteriální vločky), tak minerálními částicemi (částicemi erozního původu z povodí či koryt toků a jinými plaveninami).
- Zatímco **rozpuštěný fosfor (Prozp)** lze celý považovat za **biologicky dostupný**, u částic to není možné a je třeba hodnotit jejich „eutrofizační potenciál“ neboli schopnost částic zadržovat/uvolňovat fosfor
- Vysoký eutrofizační potenciál mají částice s velkým množstvím fosforu vázaného v organické složce (sinice, řasy, bakteriální vločky) a částice s malým obsahem vazebných partnerů pro fosfor (hydroxidy železa a hliníku).

### 2.3 Kdo za to může?

Obecně lze konstatovat, že hlavním zdrojem fosforu v povodí českých a moravských řek jsou bodové zdroje – vypouštění vyčištěných i nečištěných komunálních odpadních vod. To koneckonců potvrdily například bilanční studie zdrojů fosforu v povodí nádrže Orlík (Hejzlar et al. 2010 a Ansorge, Krása 2012) – obr.1 nebo bilanční studie v povodí nádrže Mostiště (Hejzlar et al. 2007).

Tab. 2 Zdroje fosforu v povodí vodní nádrže Orlík (2007–2009), průměr v t/rok

Zdroj / proces	Povodní vodní nádrže Orlík	
	T/rok	Procento zdrojů znečištění
Odpadní vody	143,0	55
Rybářství	58,3	22
Zemědělství	31,4	12
Neidentifikované zdroje	26,0	10
Sídla	0,6	0,2
Atmosférická depozice na vodní plochy	1,1	0,4
Přírodní pozadí	94,7	-
Znečištění v povodí celkem	260,4	-
Zdroje v povodí celkem	355,1	-
Retence fosforu v říční síti	66,9	-
Vstup fosforu do n. Orlík	288,2	-

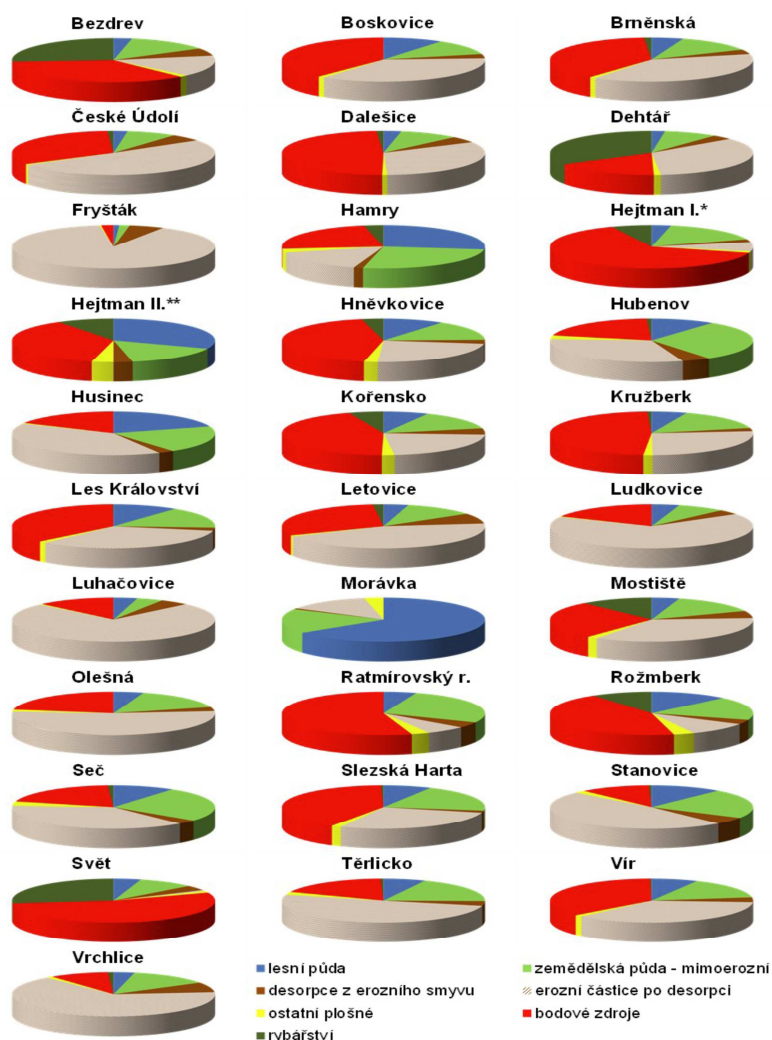
Zdroj: Hejzlar et al. 2010.

Zásadní podíl bodových zdrojů znečištění na eutrofizaci potvrdil i rozsáhlý výzkum a bilanční monitoring v rámci projektu Zdroje splavenin v povodích a jejich eutrofizační potenciál (Krása et al. 2012). V rámci výše uvedeného projektu byla pro 51 povodí a 31 vodních nádrží zpracována kompletní bilance zdrojů P, včetně retence v povodích, ze které vyplývají následující skutečnosti:

- Plošné zdroje, především eroze zemědělské půdy, se na vstupech celkového fosforu do povodí podílejí často rozhodující měrou. Výjimkou jsou nádrže, v jejichž povodí jsou výrazně zastoupeny lesní plochy. V těchto případech je vliv erozního fosforu zanedbatelný.
- Po přepočtu vstupu celkového fosforu jednotlivých typů zdrojů podle obvyklých podílů rozpuštěného, pro eutrofizaci zásadního fosforu, to jsou ovšem bodové zdroje, které se stávají ve většině povodí nejvýznamnějším zdrojem.

- Nejméně v 15 povodích je podíl těchto zdrojů vyšší než 50 %. Zejména v rozlehlějších povodích se projevuje přítomnost středních a velkých zdrojů znečištění, které se při průměrném způsobu odstraňování fosforu v čistírnách odpadních vod rozhodující měrou podílejí na celkovém zatížení nádrží. Vstupy ze zemědělských ploch za běžných srážkoodtokových událostí tvoří v 11 z hodnocených povodí více než čtvrtinu celkových vstupů rozpuštěného fosforu.

Obr. 1 Podíly typů zdrojů na vstupech celkového fosforu v povodí hodnocených nádrží v období 2006–2010



Zdroj: Ansorge, Krása 2012

Autoři monitoringu upozorňují na nejistoty spojené s některými typy vstupů znečištění. Především informace od provozovatelů čistíren odpadních vod o vypuštěném množství fosforu mohou být značně podhodnocené, jak dokázali autoři (Potužák et al. 2013), a toto podhodnocení následně zkresluje popis situace v celém povodí a vede ke špatnému nastavení priorit v rámci protieutrofizačních opatření. Zjištění v rámci monitoringu rybníků Rožmberk a Buzický a vodárenské nádrže Švihov ukázala, že skutečné emise fosforu z bodových zdrojů (měst a obcí) mohou být několikanásobně vyšší než ty deklarované od provozovatelů čistíren odpadních vod (Potužák et al. 2013).

Problém nastává především při srážkoodtokových událostech, které jsou z pohledu emisí fosforu klíčové, nicméně během těchto událostí je značná část odpadních vod odlehčována a čistícím procesem prochází jen částečně nebo vůbec. Výsledný rozdíl mezi skutečnými emisemi fosforu z bodového zdroje a množstvím nahlášeným provozovatelem ČOV je pak značný. Například v rámci monitoringu vodní nádrže Švihov (Potužák et al. 2013) bylo zjištěno, že ačkoliv ČOV města Pelhřimov, které je největším sídelním útvarem v povodí vodárenské nádrže Švihov, deklaruje emise 1,45–1,98 t P za rok, skutečné zatížení je 6 t. Zároveň je z řady studií (Millier, Hood 2011 nebo Neal et al. 2005) patrné, že rozhodující formou fosforu, který odtéká z ČOV, je rozpuštěný fosfor, který dosahuje až 90 %, bez ohledu na použitou technologii, která mění jen celkové množství vypouštěného fosforu. **Tyto poznatky jsou důležité i pro debatu o vlivu dalšího a pro tuto práci klíčového zdroje fosforu – rybníčního hospodářství.**

## **2.4 Fosfor a rybníční hospodářství**

Stanovení množství vneseného fosforu do povodí prostřednictvím rybářského hospodaření se obvykle vypočítává na základě bilance vnosu fosforu do rybníka krmením a násadou ryb a exportu ve výlovcích (Hejzlar et al. 2008). Kromě přímého vnosu fosforu skrze nespotřebované krmivo ovlivňuje bilanci fosforu i způsob managementu rybníka. Výrazným zdrojem živin včetně fosforu je hnojení rybníků, které má za cíl navýšit přirozenou produkci rybníka (Hlaváč et al. 2012), naopak ponechání rybníka bez obsádky celý rok má na bilanci fosforu pozitivní dopady (Wezel et al. 2013).

Produkční rybníky jsou z hlediska vlivu na zvyšování koncentrací fosforu stále předmětem na jedné straně intenzivního výzkumu, na druhé straně zatím neuzavřené diskuse o podílu rybníčního hospodaření na eutrofizaci vodních toků.

K velmi ostrým závěrům vůči intenzivnímu chovu došli například řešitelé projektu Identifikace antropogenních tlaků v české části mezinárodního povodí řeky Odry (Soldán, Tušil 2011), kteří ve svých závěrech říkají: „*Studiem produkce znečištění rybami v závislosti na druhu a množství předkládaného krmiva bylo jednoznačně prokázáno, že samotné zvýšení rybí obsádky (i bez intenzifikačních zásahů – v našem případě bez příkrmování) má negativní vliv na kvalitu vody a dochází k častějšímu překračování platných imisních standardů i míry jejich překročení. Pokusy zaměřenými na sledování znečištění produkovaného rybami bylo potvrzeno, že ryby působí jako jeden z eutrofizujících prvků. Orientace na vyšší rybí obsádky, příkrmování ryb a do určité míry i hnojení rybníků navozuje podmínky, kdy v zooplanktonu převládají zejména drobné druhy, které neregulují rozvoj sinic a řas. V důsledku toho nastává v letním období enormní rozvoj fytoplanktonu, který kulminuje ve druhé polovině léta* (Soldán, Tušil 2011: 3).

Velmi neblaze pro rybníční hospodaření dopadl i výzkum bilance zdrojů fosforu ve vodní nádrži Orlík provedený v letech 2007–2009 Hydrobiologickým ústavem AV ČR<sup>3</sup>. V rámci projektu byl vytvořen bilanční model zahrnující bodové i plošné zdroje fosforu. Z výsledku je patrné, že v době monitoringu (2007–2009) přitékalo ročně do nádrže 288 t fosforu a za plných 58 t, tedy 22 %, bylo podle autorů zodpovědné rybníční hospodaření (Hejzlar et al. 2010). Nadměrné množství fosforu je důvodem eutrofizace Orlíku a k jejímu odstranění je třeba snížit koncentraci fosforu ve vodě na polovinu, k čemuž je třeba redukovat vnos fosforu na 152 t ročně (Hejzlar et al. 2010). V návaznosti na tento výzkum

---

<sup>3</sup> Výzkum byl proveden v rámci projektu revitalizace Orlické nádrže, jedním z důležitých výstupů je Bilanční studie zdrojů fosforu a dusíku v povodí nádrže, kterou vypracovali pracovníci Hydrobiologického ústavu Biologického centra AV ČR, v.v.i. Studie byla vypracována na základě metodiky vydané Hydrobiologickým ústavem Biologického Centra AV ČR, v.v.i, a je výstupem řešení programového projektu Hodnocení dopadů odnosu živin z povodí s komplexním využitím krajiny na vodní ekosystém nádrží. Způsob hodnocení vychází z postupů z vodohospodářské praxe rozvinutých států EU, přitom ale respektuje specifické podmínky ČR (např. fenomén rybníkářství).

bylo v rámci projektu REFRESH<sup>4</sup> zpracováno vyhodnocení nákladové efektivity (cost-effectiveness analysis – CEA) identifikovaných opatření určených ke snížení vnosu fosforu do nádrže (Vojáček et al. 2014), ze kterého vyplývá, že je to právě rybníční hospodářství, které skýtá nejefektivnější možnosti pro snížení emisí fosforu a největší měrou může přispět k potřebné redukci vnosu fosforu do vodní nádrže Orlík (tab. 3 a 4). Ovšem nepřehlédnutelným otázkem nad tímto hodnocením je nerozlišování různých forem fosforu, které jednotlivé zdroje emitují a které mají na eutrofizaci různý vliv.

**Tab. 3** Struktura nejefektivnějších opatření k redukci 114 t fosforu v povodí vodní nádrže Orlík

Kategorie	Druh opatření	Počet opatření	Odstraněný fosfor (v t)	Roční náklady na opatření (v mil. Kč.)
<b>Opatření na odpadních vodách</b>		<b>1278</b>	<b>33,9</b>	<b>266</b>
<b>Zemědělská opatření</b>	Zatravnění 20 m oboustranných pásů	122	5,4	10
	Zatravnění všech svažitých ploch	0	0	0
	Zavedení bezorebných technologií na orné půdě se sklonem > 3°	51	2,0	10
	Nehnojení svažitých (> 3°) pozemků s travními prostory organickými hnojivy	60	3,6	7
<b>Celkem zemědělských opatření</b>		<b>233</b>	<b>11,0</b>	<b>27</b>
<b>Rybářská opatření</b>	Bilančně vyrovnaný chov	19	21,2	47
	Extenzivní chov	80	47,9	263
<b>Celkem rybářských opatření</b>		<b>99</b>	<b>69,1</b>	<b>310</b>
<b>CELKEM</b>		<b>1610</b>	<b>114,0</b>	<b>602</b>

Zdroj: Vojáček, Macháč 2015

<sup>4</sup> REFRESH byl mezinárodní projekt (2010–2014) zkoumající možnosti adaptačních a mitigačních opatření, která by mohla být přijata k minimalizaci nepříznivých dopadů změny klimatu na množství, jakost a rozmanitost sladkých vod. Cílem je dosažení dobrého ekologického stavu a zachování druhové pestrosti organismů. Hlavním nositelem projektu v České republice byl Hydrobiologický ústav AV ČR, hlavním řešitelem doc. Ing. Josef Hejzlar, CSc. V rámci projektu REFRESH zpracovaly týmy IEEP a IREAS, Institutu pro strukturální politiku, o. p. s., ekonomickou analýzu problému eutrofizace vodní nádrže Orlík: [http://www.ieep.cz/download/publikace/cea\\_orlik.pdf](http://www.ieep.cz/download/publikace/cea_orlik.pdf)

**Tab. 4 Charakteristické produkční údaje pro stávající metody chovu ryb v rybnících v povodí nádrže Orlík z let 2007–2009 a jejich srovnání s alternativními metodami (vyrovnaná bilance, extenzivní chov) snižujícími znečištění vody fosforem**

Rybářství	Polointenzivní	Fosforově neutrální	Extenzivní
Produkce kapra (kg/ha)	630,0	300,0	150,0
Spotřeba krmiva (t/ha)	1,5	0,5	0,0
Spotřeba hnojiv (t/ha)	1,4	0,5	0,0
Bilance fosforu (kg/ha)	1,7	0,0	-1,2
Náklady na krmivo a hnojiva v Kč (tis./ha)	6,0	2,1	0,0
Potvrzené prodeje kapra v Kč (tis./ha)	41,0	19,5	9,8
Zisk v Kč (tis./ha)	35,0	17,4	9,8
Ztráta z omezení produkce v Kč (tis./ha)	-	17,5	25,2

Zdroj: Hejzlar et al. 2010

Způsob zvyšování koncentrace fosforu v povodí v závislosti na produkčních rybnících může být různý. Obecně se lze opřít o shrnutí v certifikované metodice Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy (Krása et al. 2012), která uvádí tři hlavní způsoby vlivu zvyšování koncentrace fosforu v závislosti na produkčních rybnících.

- V případě intenzivního rozvoje řas a sinic, jejichž biomasa je bohatá na fosfor, a při odtoku zejména povrchové vrstvy vody z rybníka tak vytékají vysoké koncentrace fosforu, který je po snadné biodegradaci planktonní biomasy rychle dostupný dalším článkům trofického řetězce.
- Další z vlivů souvisí s každoročním vývojem nádrže, kdy v létě s vyčerpáním kyslíku a dusičnanů nade dnem dochází ke zvýšenému uvolňování rozpuštěného fosforu do vodního sloupce ze sedimentů, často zároveň se sloučeninami železa. Vysoký odtok rozpuštěného fosforu nastává především při odpouštění vody ode dna, kdy podíl rozpuštěných forem fosforu může dosahovat 80–90 %. Rozpuštěné sloučeniny fosforu se ale, např. různými epizodickými destratifikacemi vodního sloupce, dostávají soustavně do produkční vrstvy vody. Tam se fosfor ocitá v nadbytku a vzrůstá koncentrace jeho rozpuštěných forem, které už nedokáže

biomasa planktonu využít. Tehdy také stoupá podíl rozpuštěných sloučenin fosforu i při odtoku z povrchové vrstvy rybníka, a to zhruba na 30–80 %.

- Během výlovů rybníků odchází převážná část fosforu v partikulované formě, protože za oxických podmínek na podzim bývá vazba fosforu na částice sedimentu pevná a rovnovážná koncentrace fosforu mezi vodou a částicí je nízká.

Rybníky však mohou mít a často mají pozitivní bilanci zadržování fosforu. Naprostá většina rybníků má totiž schopnost živiny a fosfor zadržovat, a to především v závislosti na teoretické době zdržení (Hejzlar et al. 2006). Podrobně se retenci fosforu v rybnících věnují autoři Duras a Potužák (2012a, b, 2013, 2015), kteří kromě obecně odvozeného potenciálu retence P na základě doby zdržení upozorňují na nutnost jeho porovnání s reálnými možnostmi rybníků, kdy kromě způsobu hospodaření a vstupu P z povodí záleží také na jejich hydromorfologii či charakteru. *„Charakteristiky rybníka je ovšem třeba citlivě zvažovat i při volbě způsobu hospodaření, protože pokud je tlak na produkci nepřiměřený charakteru rybníka, dochází nejen k nadbytečnému vnosu živin, ale také k potlačení jeho přirozené retenční kapacity“* (Duras, Potužák 2012a: 50).

Míry retence fosforu lze docílit (nebo ji překročit), pokud intenzita rybářského hospodaření (hustota obsádky, krmení a hnojení) odpovídá vstupu látek (P) z povodí (Duras et al. 2015). Například fosforem nízko zatěžovaný rybník s hustou obsádkou kapra, kde bude přirozená úživnost silně dotována krmením obilovinami (vysoký relativní krmný koeficient) a hnojením, fosfor samozřejmě zadržovat nebude a naopak se bude chovat jako zdroj fosforu v povodí. Na druhé straně vysoce zatížený rybník bude i při silném nasazení kaprem (včetně příkrmování) fosfor velmi účinně zadržovat (Duras et al. 2015). Důležité jsou i další faktory, například morfologie rybníka – hluboký rybník s velkou plochou bezkyslíkatého dna zadrží méně fosforu, než bychom očekávali (Potužák, Duras 2013), nebo způsob vypouštění vody – se spodní vodou odchází výrazně víc fosforu a jeho retence v rybníce tedy klesá (Duras et al. 2015).



## 2.5 Rybníční sedimenty

V Česku je zhruba 24 000 nádrží, které se používají k chovu ryb, a v naprosté většině je v těchto nádržích usazeno větší či menší množství sedimentu. Ten je do nádrží transportován zejména napájecím tokem, menší množství sedimentu je do nádrží transportováno ze zemědělských pozemků v bezprostředním okolí vodní nádrže, břehovou abrazí a rozpadem biomasy přímo ve vodním prostoru nádrže, přičemž posledně uvedený jev může být podpořen a akcelerován zvýšeným hnojením nádrže nebo přímým příkrmováním ryb (Mikšíková et al. 2012). Největším zdrojem rybníčních sedimentů jsou ale půdní částice z erozních procesů na zemědělských pozemcích v povodí (Krása et al. 2012). Z tohoto důvodu je ve většině případů sediment obohacen živinami, zejména fosforem, ne však v jeho reaktivní formě. Fosfor se sice ve vodě vyskytuje i v jiných formách, má však tendenci vázat se na pevné částice, které pak sedimentují na dně. Živiny jsou ukládány hlavně do svrchní vrstvy sedimentu, tzv. aktivního bahna s mocností 5 až 12 cm, které je tvořeno organickou půdou. Na tyto jemné frakce sedimentu se váže celkový i organický fosfor. Pokud by dno rybníka bylo písčité bez jemných frakcí a doba zdržení by byla malá, fosfor by se nevázal a byl by volně transportován vodou (Mikšíková et al. 2012). K **resuspendaci** sedimentu pak může dojít během turbulentního proudění v nádržích, se kterým se lze v praxi setkat při dvou základních událostech – průchodu **povodňové vlny** nebo při **vypuštění nádrže**, což je obvyklé při výlovu rybníka.

Zatímco povodňové průtoky jsou z hlediska rybářského managementu události neovlivnitelné, u výlovů je situace opačná. V tomto případě dochází k transportu sedimentu i na něj vázaného fosforu výhradně výpustným zařízením a množství odtékajících nerozpuštěných látek je závislé na způsobu manipulace s výpustným zařízením. Při vhodné technologii vypouštění nádrže je možno transport sedimentu z nádrže výrazně omezit (Mikšíková et al. 2012).

## 2.6 Výlov rybníka a jeho vliv na kvalitu vody v recipientu

V poměrně malém množství literatury, která se věnuje této problematice, je patrná shoda v tom, že výlov rybníků je z pohledu emisí fosforu a nerozpuštěných látek významné či kritické období (Faina et al. 1994; Potužák, Duras 2012; Mikšíková et al. 2012). Například v celoroční bilanci znamenal čtyřdenní výlov rybníka Rožmberk odtok 12 % P<sub>celk</sub>, 23 % P<sub>part</sub>, 0,3 % Prozp, a dokonce 42 % nerozpuštěných látek, to vše ve 2 % objemu celoročního odtoku vody (Potužák, Duras 2012). Podobné hodnoty naměřili Potužák s Durasem i na rybníku Dehtář – 17 % P<sub>celk</sub>, 22 % P<sub>part</sub>, 0,3 % Prozp a 38 % NL<sub>105</sub>, přičemž výlov taktéž trval 4 dny a podíl výlovu na celkovém ročním odtoku objemu vody činil 0,2 %. Přitom kvalita vody vypouštěná v různých fázích je proměnlivá, v průběhu tzv. strojení rybníka je zpravidla uspokojivá, ke zhoršení dochází až při vlastním výlovu, kdy se z důvodů zvíření sedimentů v lovišti pohybem ryb i rybářů s posledními 2–5 % objemu vody vyplaví velký objem poměrně dobře mineralizovaných suspendovaných látek, které obsahují velké množství fosforu (Mikšíková et al. 2012).

Zcela nezmapovanou oblastí v moderní vědecké literatuře se zdá být vztah jednotlivých metod výlovů rybníků. Samotné metody jsou popsány především ve starší literatuře (Čítek et al. 1998), kde jsou děleny podle několika faktorů:

### Podle období výlovu

- Výlovy jarní (obvykle výlovy komorových rybníků)
- Výlovy podzimní (uváděné též jako hlavní výlovy)

### Podle samotného způsobu výlovu

- Výlovy v lovišti rybníka, kterému předchází tzv. strojení – příprava a vypouštění vody, v ideálním případě velmi pozvolné. Samotný výlov se provádí záťahovými sítěmi nebo podložními sítěmi. Po samotném záťahu sítě dojde ještě k tzv. jádření, při kterém se ryby koncentrují do menšího prostoru. Po vydání ryb z prvního záťahu se záťahy opakují, dokud není většina ryb slovena.

- Výlov pomocí podložní sítě, obvykle čtvercového či obdélníkového tvaru, která se pokládá do prostoru loviště s dostatečným časovým předstihem před samotným výlovem. Ryby na síť samy najednou nebo jsou tam nahnány během tzv. sháňky – plácáním dřevěných tyček o vodu. Poté následuje jádření a stejný postup jako při lovu zátahovými sítěmi.
- Výlov pod hrází, který se provádí na vnější (vzdušné) straně hráze, tedy mimo rybník. Ten musí být vybaven hladkým výpustním otvorem o dostatečném průměru, kterým se ryby splavují pod hráz do připraveného odloveného zařízení.
- Výlovy na plné vodě, jejichž hlavní využití je pro získání tržních ryb v letním období nebo při mimořádných událostech. Nejčastěji se provádějí na krmišti pomocí prubního plotu.

Modernější či analytičtější vědecká literatura ohledně fází výlovů rybníků a jejich vlivu na kvalitu vytékající vody či ohledně technik, které omezují vypouštění znečištění během výlovu, chybí. Stručný výčet možných technik bez jejich zevrubnějšího hodnocení a podrobnějšího popisu můžeme nalézt u Potužáka a Durase (2012). Pro omezení až úplné zastavení vyplavování sedimentu během výlovu doporučují tato opatření:

- Výlov na plné vodě, případně po částečném vypuštění rybníka
- Vypouštění největšího objemu vody od hladiny. Operativní manipulaci s vodou
- Odbahnění loviště před výlovem

Pro zachytávání sedimentu pod hrází pak uvádějí tato opatření:

- Výlov podložní sítí pod hrází
- Zachycení sedimentů v níže ležícím rybníce nebo sedimentační nádrži
- Zachycení sedimentu přerodem přes travní pás
- Zachycení sedimentu a na něj vázaného P ve speciálních vacích z geotextilie.

V obou případech jde skutečně jen o výčet bez podrobnějších doplňujících informací.

### **3 Aktuální trendy, které ovlivňují chov ryb v Česku**

#### **3.1 Kvalita povrchových vod a mimoprodukční funkce rybníků**

Přestože se kvalita povrchových vod od roku 1989 výrazně zlepšila, ani zdaleka nespĺňuje normy environmentální kvality a nedosahuje dobrého ekologického stavu, jak je stanoven Rámcovou směrnicí o vodách. Především zatížení fosforem a dusíkem zůstává vysoké, a to nejen v Česku, ale v celé Evropské unii, což potvrdila i zpráva SOER 2015 (The European Environment – state and outlook)<sup>5</sup>. Aby Česko dosáhlo stanovené kvality povrchových vod, ke které se zavázalo, a zároveň řešilo problém eutrofizace, budou zaváděny či zpřísňovány normy v oblasti životního prostředí, například vodoprávní předpisy, kvůli kterým bude docházet k omezení hospodářské činnosti v rybnících snížením intenzity produkčních metod. Zároveň bude vyvíjen tlak na posílení mimoprodukčních funkcí rybníka, které pomůžou řešit problémy spojené například s úbytkem biodiverzity či změnou hydrologického režimu v důsledku změny klimatu. Toto se koneckonců již děje, například pomocí dotačních titulů z Operačního programu Životní prostředí<sup>6</sup>.

#### **3.2 Využití rybníčního sedimentu pro recyklaci živin**

Moderní průmyslové zemědělství orientované na maximální výnosy či pěstování plodin, které jsou sice nejziskovější, ale nevhodné pro dané lokality, je spojeno s řadou negativních externalit, mezi kterými převažuje degradace zemědělské půdy především díky zvýšené erozi, která má za následek masivní erozní smyv půdních částic, často bohatých na živiny, které jsou transportovány do povodí a ukládají se na dně rybníků a dalších vodních nádrží. Zvýšené ukládání sedimentů a zazemňování rybníků omezuje možnosti produkce ryb a zároveň snižuje jejich akumulaci i retenční kapacitu rybníků, což je v době probíhající změny klimatu a s ní souvisejících častějších extrémních klimatických

---

<sup>5</sup> Zpráva SOER 2015 hodnotí stav a vývoj životního prostředí v Evropě a byla zpracována agenturou EEA ve spolupráci s národními organizacemi zabývajícími se hodnocením a výhledy v oblasti životního prostředí v jednotlivých členských zemích EEA. Zpráva SOER 2015 je určena pro podporu rozhodovacích procesů v EU i v členských zemích. <http://www.eea.europa.eu/soer>

<sup>6</sup> <http://www.opzp.cz/>

jevů – přivalových dešťů a povodní či such – klíčová mimoprodukční funkce rybníků. Rozhodující řešení tohoto problému spočívá sice v redukci vnosu do povodí, nicméně nelze očekávat, právě v souvislosti s častějšími extrémními klimatickými jevy, že se situace bude zlepšovat, spíše naopak. V tomto ohledu mohou rybníky hrát velmi důležitou roli při navrácení částic do půdy, o které byla ochuzena erozí a dalšími degradačními vlivy, a při recyklaci živin, především fosforu.

Právě fosfor, který je na jednu stranu hrozbou pro vodní ekosystémy, kvůli rozhodujícímu podílu na eutrofizaci vnitrozemských vod a nárůstu výskytu vodních květů sinic, je na druhé straně cennou a nenahraditelnou hospodářskou surovinou, která se zatím výhradně čerpá z neobnovitelných zdrojů. Evropská unie proto fosfor (fosfátovou horninu) zařadila na Seznam kritických surovin<sup>7</sup> a zároveň u něj uvádí nejvyšší index nahraditelnosti (nejmenší nahraditelnost ze všech 20 surovin), který měří obtížnost při nahrazování dotyčné suroviny udávanou u všech příkladů jejího využití.

Znovuvyužití rybníčních sedimentů, bohatých na fosfor a další živiny, a schopnost rybníků fosfor zadržovat a sediment o fosfor ještě obohacovat jsou tak pro rybáře hospodařící na rybnících možnostmi, jak problém zanášení rybníků a nadměrného obohacení o živiny přeměnit v příležitost pro další rozvoj a potenciálně i zdroj zisků. V praxi by to znamenalo zaměřit větší pozornost na využití, další rozvoj a výzkum a inovace technologií na vytěžení sedimentů, především sacích bagrů a jejich zpracování (odvodnění), například pomocí geotextilních vaků. Výlovy a opatření během výlovů pro zachytávání sedimentů jsou samozřejmě zásadní, protože dochází k uvolnění obrovského množství sedimentu během krátkého časového úseku. Zmínky o podobných opatřeních v praxi jsou jen sporadické, ať už jde o stavbu a využívání sedimentačních nádrží pod rybníky, vytváření travních pásů, které zachytávají sedimenty, či opět využití geotextilních vaků. To ukazuje na velký prostor pro výzkum a vývoj.

---

<sup>7</sup> COM (2014) 297 final – Sdělení komise evropskému parlamentu, radě, evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů o přezkumu seznamu kritických surovin pro EU a o provádění iniciativy v oblasti surovin.  
<http://www.ipex.eu/IPEXL-WEB/dossier/files/download/082dbcc545921fa9014638455dfd2c99.do>

Je povzbudivé, že i v této oblasti se dělají v Česku první experimenty (Potužák et al. 2015), nicméně motorem těchto aktivit by měli být samotní rybáři a největší rybářské společnosti. Ty musejí nejdříve přijmout fakt, že jak vyšší nároky na kvalitu vody, tak recyklace živin je krok pravděpodobně nevyhnutelný a je nutné připravit se na něj včas a zároveň se podílet na vytváření legislativního a administrativního rámce a ekonomických stimulů (investiční či provozní dotace), které ekonomickou udržitelnost takového kroku zajistí. V této souvislosti je také nutné dodržování norem a emisních standardů pro znečišťující látky, které mohou sedimenty kontaminovat, u všech znečišťovatelů v povodí. Je třeba naplnit závazek ČR vyplývající z Rámcové směrnice o vodách, který počítá s úplným odstraněním prioritních nebezpečných látek pro vodní prostředí.

### **3.3 Dopady změn klimatu a rybníky jako součást adaptační opatření**

Doba bouřlivých debat o existenci či neexistenci změny klimatu se pomalu stává minulostí. Vědecký konsenzus nad probíhající změnou klimatu a antropogenní podíl na ní v podobě spalování fosilních paliv a vypouštění oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů do ovzduší je zřejmý a potvrzený i politickým aktem naprosté většiny států v podobě nedávno schválené Pařížské klimatické dohody. Dopady změn klimatu lze pozorovat již dnes, například v podobě acidifikace oceánů, ovšem ty nejdrastičtější dopady nás teprve čekají. Pro naše zeměpisné podmínky se v této souvislosti nejvíce hovoří o častých extrémních výkyvech počasí, přívalových deštích a povodňových událostech, dlouhých a častějších obdobích such. Obojí má přímý dopad i na změnu hydrologického režimu a je hrozbou či výzvou i pro rybáře obhospodařující produkční rybníky. Konkrétně lze podle Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR, vydané v roce 2015 Ministerstvem životního prostředí ČR a schválené vládou<sup>8</sup>, očekávat:

- Pokračující nárůst průměrné teploty vzduchu přibližně o 1,7 až 2,8 °C do roku 2050 a s tím související nárůst evapotranspirace. Pokud nebude dostatečná

---

<sup>8</sup> [http://www.mzp.cz/cz/zmena\\_klimatu\\_adaptacni\\_strategie](http://www.mzp.cz/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie)

zásoby vody v půdě, dojde k útlumu evaporace a s ní spojeného efektu ochlazování vzduchu.

- Zvýšení nebezpečí výskytu vln vedra, propagace sucha, častější výskyt závažnějších srážkových extrémů.
- Mírný nárůst celkového ročního srážkového úhrnu, který se však bude projevovat především v zimním období, zatímco v letním období je třeba počítat i s možným poklesem srážek.
- Změna charakteru srážek v zimním období ze sněhu na déšť, a tedy i menší zásoby vody ve sněhové pokrývce, která bude k dispozici na začátku jara. Doba jarního tání se posune směrem do zimy.
- Snížení dotace podzemních vod a pokles průtoků zejména v málovodných obdobích na přechodu léta a podzimu, což bude mít dopad na vydatnost dostupných vodních zdrojů.
- Malé průtoky a snížení rychlosti proudění způsobí, že voda bude mít v řekách a vodních nádržích delší dobu zdržení, bude se více prohřívat a bude tak posílen potenciál pro růst sinic a řas a snížení obsahu rozpuštěného kyslíku.
- Nižší minimální průtoky znamenají menší objem pro ředění, a tím i vyšší koncentrace znečištění po proudu od místa vypouštění přečištěných i nepřečištěných odpadních vod.
- Snížení ředicí kapacity toků a nepříznivý vliv především na koncentrace fosforu. Rostoucí výskyt srážkových extrémů povede k častějšímu přetoku odpadních

vod přes odlehčovací objekty jednotných kanalizačních sítí, a tím i ke zvýšení zátěže recipientu znečištěním.

- Extrémní srážkové události jsou přímo spojeny s procesy eroze půdy a transportem jemných sedimentů do povodí a jejich usazování ve vodních nádržích.
- Nárůst průměrné roční teploty vzduchu vede ke srovnatelnému nárůstu průměrné roční teploty vody, tím bude negativně ovlivněno i množství rozpuštěného kyslíku.
- Vyšší teplota vody rovněž indikuje nebezpečí urychlení procesu asimilace organické hmoty a ohrožení jakosti vody akumulované v nádržích.
- Zvýšené nároky na odběry vody především pro zemědělskou závlahu. Rostoucí požadavky na vodní zdroje mohou vést ke střetům zájmů mezi odběrateli i ke střetům se zájmem ochrany vodních ekosystémů a ekosystémů vázaných na vodní prostředí.

Z tohoto, byť zestručnělého výčtu dopadů změny klimatu lze vyčíst, že rybníční akvakultura bude čelit skutečně obrovským výzvám. A to nejen v důsledku výše uvedených dopadů změny klimatu, ale i v nutnosti rybníků v rámci mitigačních opatření. O tom svědčí i samotná Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR, kde se hovoří o klíčové úloze systému malých vodních nádrží pro stabilizaci hladiny podzemních vod a nutnosti obnovení vodohospodářské funkce malých vodních nádrží, které tuto funkci ztratily z důvodu špatného technického stavu nebo podřízení jejich funkce druhotnému využití pro chov ryb. Jako klíčové adaptační opatření ve vodním hospodářství, které povede k lepší připravenosti čelit oběma hydrologickým extrémům, je uvedeno přehodnocení stávajícího využití vodních nádrží a vodohospodářských soustav a optimalizace jejich řízení, tak aby co nejlépe plnily nově definované požadavky na jejich



funkci i s výhledem do budoucnosti. V této souvislosti se opět dostáváme zpět ke schopnosti rybníků zachycovat sedimenty a nutnosti průběžného odstraňování těchto sedimentů, aby se zvýšila jejich retenční schopnost. Zmínky o předpokladu zhoršení jakosti vod a snížení ředicí kapacity toků, což bude mít nepříznivý vliv především na koncentrace fosforu, ospravedlňují předpoklad, že „čisticí“ schopnost rybníků a schopnost retence živin může nabýt větší důležitosti než samotná produkce ryb. To v kombinaci se změnou chemicko-fyzikálních vlastností (zvyšující se teploty vody, snížení obsahu rozpuštěného kyslíku) může znamenat nutnost přechodu výhradně na extenzivní chov ryb v rybnících. Proto i v této oblasti je třeba aktivní přístup rybářů, kteří se musejí připravit na budoucí hrozby s předstihem a zároveň pochopit důležitost rybníků v procesu adaptace na změnu klimatu. V praxi to znamená iniciovat výzkum vlivu dopadů změn klimatu na rybníční akvakulturu, přípravu potřebných opatření a prosazení kompenzačních mechanismů a nástrojů, jak hospodářsky profitovat i z mimoprodukčních funkcí rybníka a začít rozvíjet či se pokusit propojit moderní inovativní způsoby chovu ryb, recirkulační systémy a akvaponie s tradiční rybníční akvakulturou.

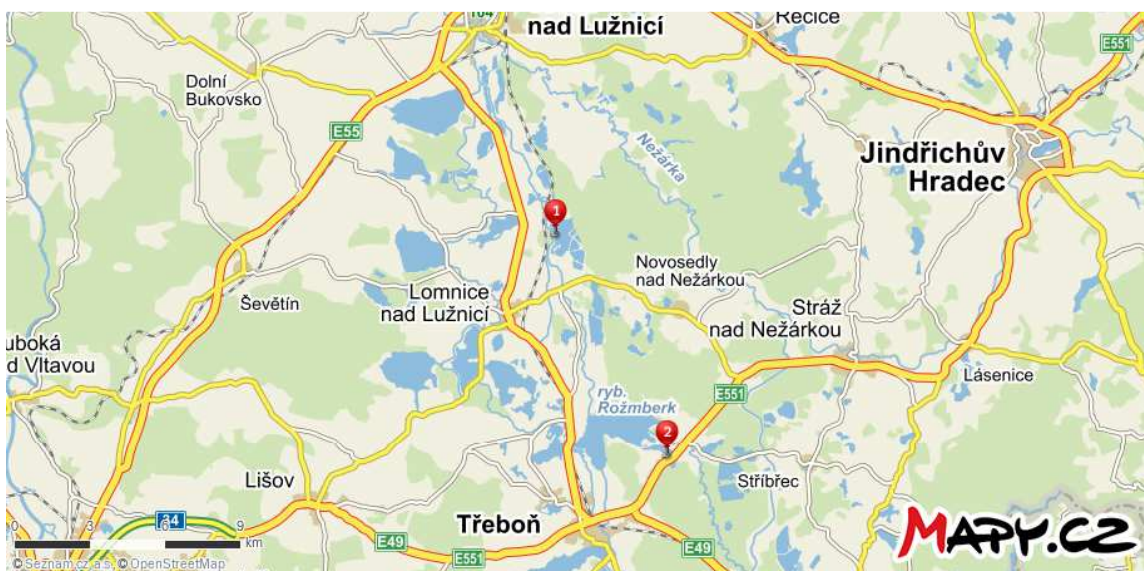
## 4 Materiál a metodika

### 4.1 Sledované rybníky

Pro výzkum bylo zvoleno 5 rybníků, které se nacházejí na území CHKO Třeboň. Čtyři z nich jsou součástí Nadějské rybníční soustavy – Horák (2,2 ha), Fišmistr (2,8 ha), Baštýř (1,7 ha) a Pěšák (2,7 ha), pátým je rybník Vítek (50,4 ha) u Třeboně. Plán péče o Chráněnou krajinnou oblast Třeboňsko na období 2008–2017 nevyžaduje pro zkoumané rybníky zvýšenou pozornost z důvodu ochrany přírody<sup>9</sup>.

Obr. 2 Lokace sledovaných rybníků

1. Rybníky Nadějské soustavy, 2. Vítek



Zdroj: mapy.cz

### Nadějská rybníční soustava

Její základ tvoří dva rybníky – Naděje a Skutek, založené Krčínem mezi lety 1577 a 1579, krátce před stavbou jeho legendárního Rožmberku. Oba rybníky byly naháněny derivačním náhonem nazývaným dodnes Potěšilka, nejdříve z řeky Lužnice, později, po dostavbě Rožmberku z tohoto rybníka (Rameš 2011). Oba původní rybníky byly v poslední

<sup>9</sup> <http://trebonsko.ochranaprirody.cz/cinnost-spravy/plan-pece/>

čtvrtině 19. století rozděleny či doplněny o další rybochovné nádrže. Vznikla tak ucelená Nadějská rybníční soustava s rybníky Naděje, Víra, Láska, Měkký, Strakatý, Skutek, Dobrá vůle, Blaník, Rod, Horák, Fišmistr, Baštýř, Pěšák, Dobrá vůle a další. V této enklávě byly zásluhou Josefa Šusty založeny malé rybníčky vhodné pro „výrost“ plůdku a násad, kterých se do té doby nedostávalo pro velké hlavní rybníky na Lomnicku a Ponědražsku. Nadějské rybníky patří mezi ty, které byly vysušovány po roce 1826 a později byly opět obnoveny v roce 1871 (Rameš 2011). Nadmořská výška se pohybuje mezi 415 a 420 m n. m.

### **Sledované rybníky Nadějské soustavy**

Všechny čtyři zkoumané rybník (Horák, Fišmistr, Baštýř, Pěšák) leží v dolní části Nadějské soustavy a jsou napájeny přítokem z výše položeného rybníka Rod (36,1 ha). V minulosti nebyly odbahněny, průměrná hloubka rybníků je cca 95 cm. V roce 2014 byl proveden 147denní pokus (v období od 21. května do 9. září) na čtyřech rybnících, a to Horák (2,2 ha), Fišmistr (2,8 ha), Baštýř (1,7 ha), Pěšák (2,7 ha) obhospodařovaných Rybářstvím Třeboň a.s. Rybníky během pokusu neprotékaly, voda byla doplňována pro pokrytí ztrát evaporací a transpirací. Před nasazením byly rybníky zimovány, tj. vysušeny, a nebyly hnojeny. V roce sledování byly nasazeny vždy tříletým šupinatým kaprem, tolstolobikem bílým (Tb) a amurem bílým (Ab) (Hlaváč, ústní sdělení). Obsádky rybníka Fišmistr a Baštýř byly sestaveny na bázi obvyklé standardní hustoty tříletého kapra šupinatého v Rybářství Třeboň – 360 ks.ha<sup>-1</sup>, doplněné 10 % početního zastoupení tříletým Tb a 5 % tříletým Ab. Zhuštěné obsádky tříletého kapra rybníků Horák a Pěšák byly zvýšeny na 150 %, tj. 540 ks.ha<sup>-1</sup>, o stejné individuální hmotnosti jako předchozí násada, opět s přisazením 10 % Tb a 5 % Ab početního zastoupení kapra. Příkrmování bylo zajištěno výlučně obilím – triticales. Dávkování bylo orientováno jen na obsádku kapra o celkové spotřebě 3 kg na 1 kg vysazeného kapra. Spotřeba krmiv pro býložravé ryby nebyla plánována záměrně, s cílem dokonalejšího využití přirozené potravní nabídky rybníků. Podávání krmiv bylo realizováno 3krát týdně v dopoledních hodinách v dávkách 2 % a více živé hmotnosti kapra v závislosti na podmínkách prostředí (Hlaváč, ústní sdělení).

Obr. 3 Nadějská rybníční soustava



Zdroj: Google earth

Obr. 4 Sledované rybníky Pěšák, Baštýř, Fišmistr a Rod



Zdroj: Google earth

### Rybník Vítek

Vítek byl zřízen v letech 1879–1880 oddělením od rybníka Rožmberk sypanou hrází. Rozkládá se v nadmořské výšce 426 m na katastrálním území Stará Hlína. Hráz rybníka je orientována severně a tvoří hranici přírodní rezervace Výtopa Rožmberka.

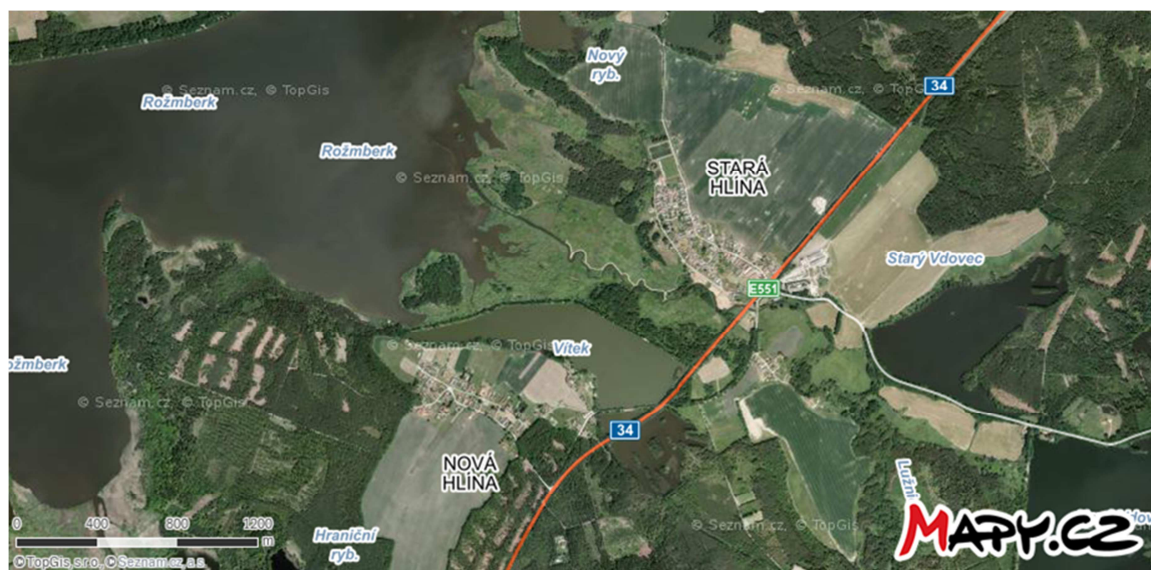
Rozloha rybníka je 49,46 ha a hospodaří na něm Rybářství Třeboň a.s. Jednalo se o jarní výlov, podrobné údaje jsou v tabulce 5.

Tab. 5 Obsádka rybníka Vítek

Název rybníka/nádrže	Plocha ha	Obsádka				Výlověk			Další hospodářská opatření		
		druh ryby	ks	kg	měsíc	měsíc	ks	kg	Krmení (t)	Vápnění (t)	Hnojení (t)
Vítek	49,46	Am 2				3	5080	990	52,91	10,49	100
		Běl. Tř.				3		40			
		K2 hl				3	54050	18390			
		K2 š				3	750	290			
		Okoun				3		50			
		Š 2				3	100	30			

Zdroj: Rybářství Třeboň a.s.

Obr. 5 Lokace rybníku Vítek



Zdroj: www.mapy.cz

## 4.2 Odběr vzorků

Frekvence odběrů byla odvislá od velikosti vybraného rybníka a množství vypouštěné vody. První vzorek (označen jako vypouštění) se odebíral jeden den před vlastním výlovem a poté v průběhu celého výlovu byly odebírány dílčí vzorky každou půlhodinu nebo podle aktuálních výlovových prací (zátah, nakládání atd.) a z dílčích vzorků byl vytvořen prostý slévaný vzorek a ve stejné frekvenci byla multimetrem měřena teplota vody, konduktivita (vodivost), pH a koncentrace rozpuštěného kyslíku.

## 4.3 Sledované parametry

### Fosfor a nerozpuštěné látky

Chemické analýzy byly během období vypouštění a vlastního výlovu primárně zaměřeny na stanovení fosforu celkového (P<sub>celk</sub>) a rozpuštěného (Prozp), z jejichž koncentrací byl následně vypočítán celkový partikulovaný fosfor (P<sub>part</sub>), vázaný na částice nerozpuštěných látek (NL), které po různě dlouhé době sedimentují. Vzorky pro stanovení rozpuštěného fosforu se filtrovaly přímo v terénu pomocí stříkačkového filtru o porozitě 0,45 $\mu$ m. Posléze byly transportovány do zkušební laboratoře ENKI O.P.S v Třeboni. Laboratoř je akreditována Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. pod číslem L 1612. V laboratoři byl stanoven obsah nerozpuštěných látek podle ČSN EN 872. Stanovení spočívalo v kvantitativním zachycení nerozpuštěných látek z přesně odměřeného objemu homogenního vzorku na GF/C filtru a následným vysušením filtru při teplotě 105°C do konstantní hmotnosti.

Obsah celkového fosforu (TP) a rozpuštěného (PO<sub>4</sub>-P) byl stanoven metodami kontinuální průtokové spektrofotometrie – za použití přístroje firmy FOSS TECATOR – FIAstar 5000. U celkového fosforu (TP) byla před měřením provedena mineralizace pomocí persulfátu (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) při teplotě 150 °C. Celkový fosfor se stanovil ve dvou frakcích, ve vzorku filtrovaném přes skleněné filtry GF/C jako rozpuštěný P a ve vzorku filtrovaném přes 100  $\mu$ m. Z rozdílu výsledků lze vypočítat koncentraci partikulovaného fosforu.

### Fyzikálně-chemické vlastnosti vody

Spolu s odběrem každého vzorku pro stanovení P a NL bylo provedeno měření fyzikálně-chemických vlastností pomocí multimetru YSI Professional Plus multimeter (YSI Incorporated, Yellow Springs, USA). Pomocí tohoto přístroje byla měřena teplota vody, pH, konduktivita a nasycení kyslíkem.

### Obsah kyslíku

Kyslík je nejvýznamnější z rozpuštěných plynů ve vodě, která s ním netvoří iontové sloučeniny. Na koncentraci kyslíku rozpuštěného ve vodě závisí nejen oživení vody, ale také biochemické a chemické reakce. Obsah rozpuštěného kyslíku v povrchových a přírodních vodách je důležitým ukazatelem kvality vody. Jeho obsah ve vodě se mění v závislosti na faktorech prostředí. S rostoucí teplotou nebo salinitou vody klesá koncentrace kyslíku ve vodě. Naopak čím větší je atmosférický tlak, tím více kyslíku se ve vodě rozpouští. Koncentrace kyslíku ve vodě závisí ale také na rozkladných pochodech a biologické aktivitě. Při teplotě 0 °C je stoprocentní nasycení vody kyslíkem 14,65 mg.l<sup>-1</sup>, při teplotě 20°C 9,08 mg.l<sup>-1</sup> a teplotě 30 °C jen 7,44 mg.l<sup>-1</sup> (tab. 6). V případě kyslíkového deficitu může koncentrace kyslíku ve vodě klesnout až na nulu, k přesycení vody kyslíkem může dojít, pokud ve vodě probíhá velmi intenzivní asimilace (Soukup 2006).

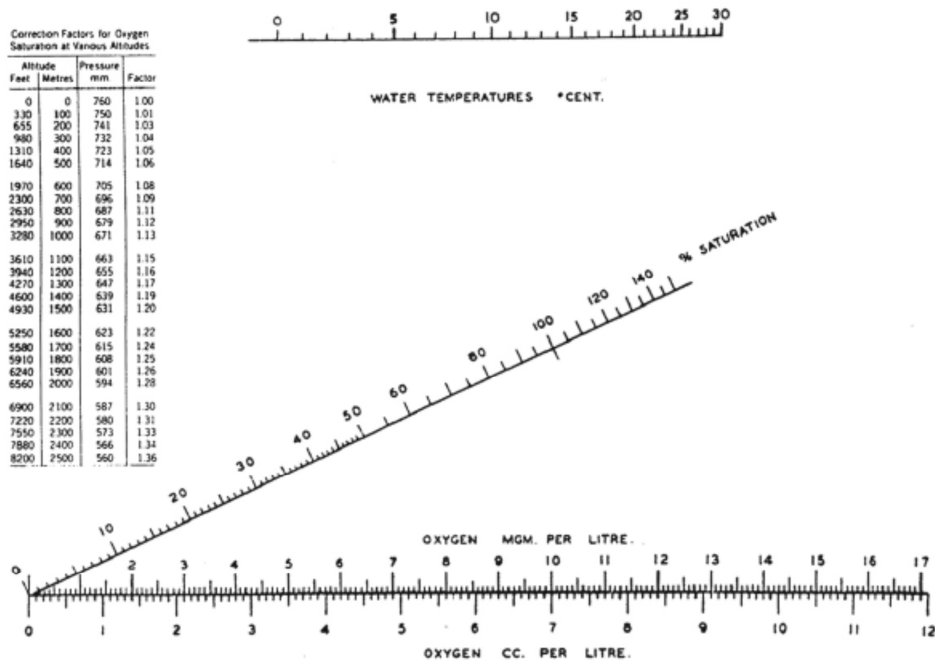
Tab. 6 Rozpustnost O<sub>2</sub> ve vodě při tlaku 101325 Pa

T (°C)	O <sub>2</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	T (°C)	O <sub>2</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	T (°C)	O <sub>2</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )
0	14.63	11	11.02	22	8.74
1	14.23	12	10.77	23	8.57
2	13.84	13	10.53	24	8.42
3	13.46	14	10.29	25	8.26
4	13.11	15	10.07	26	8.12
5	12.77	16	9.86	27	7.97
6	12.45	17	9.65	28	7.84
7	12.13	18	9.46	29	7.70
8	11.84	19	9.27	30	7.57
9	11.55	20	9.08	35	6.98
10	11.28	21	8.91	40	6.47

Zdroj: Pitter a kol. 1987

Obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě se vyjadřuje hmotnostní koncentrací ( $\text{mg.l}^{-1}$ ) a v procentech nasycení vody kyslíkem vztažených k rovnovážné koncentraci kyslíku ve vodě za dané teploty a daného atmosférického tlaku (Tab.6). Multimetrem bylo měřeno procento nasycení vody kyslíkem a následně s pomocí naměřených teplot a nadmořské výšky byla vypočítána koncentrace rozpuštěného kyslíku. Pro přepočet byl použit online kalkulačtor a hodnoty byly překontrolovány pomocí Rawsonova nomogramu (obr. 6).

Obr. 6 Rawsonův nomogram



Zdroj: <https://msu.edu/course/lbs/158h/manual/AquaticEcol.pdf>

Velmi náročné na obsah kyslíku jsou lososovité ryby s požadavkem na optimální koncentraci kyslíku ve vodě v rozmezí  $8\text{--}10 \text{ mg.l}^{-1} \text{ O}_2$ , při poklesu koncentrace kyslíku pod  $3 \text{ mg.l}^{-1} \text{ O}_2$  lze u těchto ryb pozorovat příznaky dušení. Optimální koncentrace kyslíku ve vodě pro méně náročné kaprovité ryby se pohybuje v rozmezí  $6\text{--}8 \text{ mg.l}^{-1} \text{ O}_2$  a příznaky dušení pozorujeme u těchto druhů ryb při poklesu koncentrace kyslíku na hodnoty  $1,5$  až  $2 \text{ mg.l}^{-1} \text{ O}_2$  (Svobodová et al. 2003, 1987).



Tab. 7 Hodnoty, které představují kritickou mez pro některé druhy ryb při teplotě 20 °C a tlaku 101325 Pa

Druh	Nasycení	Koncentrace
Kapr obecný	19 %	1,73 mg.l <sup>-1</sup>
Pstruh duhový	28 %	2,54 mg.l <sup>-1</sup>
Siven americký	37 %	3,36 mg.l <sup>-1</sup>
Štika obecná	22 %	2 mg.l <sup>-1</sup>
Amur bílý	14 %	1,27 mg.l <sup>-1</sup>

Zdroj: Svobodová et al. 1987

### Konduktivita

Elektrolytická konduktivita je elektrická vodivost vody. Jde o převrácenou hodnotu odporu roztoku v mΩ mezi dvěma elektrodami o ploše 1 m<sup>2</sup>, vzdálenými od sebe 1 m [mS.m<sup>-1</sup>]. Elektrolytická konduktivita určuje míru koncentrace rozpuštěných látek disociovaných na ionty (Malý a Malá 2006). Vodivost vody je větší, čím více látek je ve vodě rozpuštěno (Soukup 2006). Konduktivita je přibližná míra koncentrace elektrolytů, tj. iontově rozpuštěných látek ve vodě. Vyjadřuje tedy nepřímě obsah minerálních látek („solí“), které se ve vodě nacházejí. Limit vodivosti pro pitnou vodu je 125 mS.m<sup>-1</sup>, což odpovídá obsahu rozpuštěných látek asi 1000 mg.l<sup>-1</sup>. Optimálně by však pitná voda měla obsahovat rozpuštěných látek méně, asi 200–400 mg.l<sup>-1</sup> (asi 25–50 mS.m<sup>-1</sup>). Vody s mineralizací více než 1000 mg.l<sup>-1</sup> se považují za minerální a nejsou vhodné pro stálé pití.

### pH

Hodnota pH je záporný logaritmus látkové koncentrace vodíkových iontů (Malý, Malá 2006). Hodnota pH odráží relativní aciditu (nízké hodnoty) nebo zásaditost (vysoké hodnoty) roztoku. Hodnota pH ve vodách má úzký vztah k probíhající fotosyntéze. Při intenzivní fotosyntéze se odčerpává oxid uhličitý, dochází k narušení uhličitanovápenaté rovnováhy a hodnota pH se posouvá do alkalické oblasti (až na pH 11). Kyselost vody je způsobena nadbytkem vodíkových iontů, zásaditost nadbytkem hydroxylových iontů, pH vody je neutrální při rovnováze těchto iontů. Reakce vody významně ovlivňuje život vodních organismů, např. existenci letální hranice pH na zásaditou nebo kyselou hodnotu, dále také uvolňováním toxického dvojmocného železa nebo hliníku v kyselé oblasti. V zásadité oblasti se z amonných solí uvolňuje toxický čpavek (Soukup 2006).

## **Turbidita (zákal)**

U každého odebraného vzorku byla stanovena i turbidita (zákal). Turbidita je definována jako snížení průhlednosti kapaliny způsobené přítomnými nerozpuštěnými látkami. Měřena byla turbidimetrem Turb® 430 T/SET(WTW, Weilheim, Germany). Tento typ turbidimetru měří na principu nefelometrického měření dle normy US EPA 180.1, pracuje ve třech rozlišeních: 0,01–9,99 (0,01 NTU), 10,0–99,9 (0,1 NTU) a 100–1100 (1 NTU). Přesnost měření je  $\pm 2\%$  nebo 0,01 NTU, popřípadě  $\pm 3\%$  z měřeného rozsahu (500–1100 NTU).

Turbidita je jedním z parametrů dokumentujících optické vlastnosti vody. Jeho hodnoty při hladině umožňují posoudit intenzitu průniku slunečního záření do vodního tělesa. Turbidita je i měřítkem dostupnosti světelné energie pro zelené rostliny (řasy). Světlo je nezbytnou podmínkou pro jejich růst a rozmnožování. Změny zákalu ve vodním sloupci však také vykreslují průběh transportních procesů v nádrži a to jak horizontálním (materiál nesený přítoky) tak i vertikálním (rozvoj mikrobiálních společenstev u dna) směru. Hodnota zákalu se stanoví dle množství světla, které je odraženo od nerozpuštěných látek v okolním roztoku. Hodnoty zákalu se vyjadřují v jednotkách NTU

I když přesné měření zákalu v přírodním prostředí bývá zatíženo množstvím objektivních chyb (shluky partikulí, bubliny unikajícího plynu atd.), lze se setkat v literatuře s touto přibližnou klasifikací<sup>10</sup>:

0–5 NTU	minimální zákal
6–20 NTU	zvýšený zákal
21–50 NTU	silný zákal
51–80 NTU	velmi silný zákal, možné ohrožení ryb
81–300 NTU	velmi intenzivní zákal, úhyn ryb je pravděpodobný

---

<sup>10</sup> Podle webových stránek povodí Labe: [http://www.pla.cz/portal/jvn/cz/popis\\_cz.htm](http://www.pla.cz/portal/jvn/cz/popis_cz.htm)

## 5 Výsledky a diskuse

Obecně lze konstatovat, že výsledky měření (tab. 8, 9, 10) potvrdily některé trendy a závěry podobných předchozích zkoumání na jiných rybnících – Rožmberk, Dehtář (Potužák, Duras 2012), Sirákovský a Jezuitský rybník (Mikšíková et al. 2012) či rybníků Medlov a Jaroslavický (Poštulková et al. 2012). Zároveň se však potvrdilo, že koncentrace sledovaných látek, pokud vezmeme v potaz i výsledky z jiných měření (Potužák, Duras 2012; Mikšíková et al. 2012), je značně proměnlivá a u rybníků sledovaných v rámci této práce nebyla prokázána těsná korelace mezi množstvím vypouštěných nerozpuštěných látek a nárůstem koncentrace fosforu.

Přesto lze konstatovat, že vliv výlovu rybníka na kvalitu vody v recipientu je značný, především ve fázi samotného výlovu. A to i při vědomí faktu, že u předchozích zkoumání (viz výše) byly naměřené hodnoty fosforu, jak celkového, tak rozpuštěného, výrazně vyšší. Nicméně je třeba připomenout, že se v případě výlovu jedná o poměrně krátký časový úsek.

Tab. 8 Koncentrace fosforu a nerozpuštěných látek

Vypouštění					
Datum odběru	Vzorek	NL 105	P – celk. mg.l <sup>-1</sup>	P – rozp. mg.l <sup>-1</sup>	P/NL mg.g <sup>-1</sup>
28. 9. 2014	Baštýř	21	0,160	0,0140	6,95
24. 9. 2014	Fišmistr	32	0,19	0,0690	3,78
24. 9. 2014	Horák	7	0,270	0,1500	17,14
28. 9. 2014	Pěšák	52	0,20	0,1300	1,34
18. 3. 2014	Vítek	133,3	0,182	0,0240	1.19
Výlov					
Datum odběru	Vzorek	NL – 105 °C	P – celk. mg.l <sup>-1</sup>	P – rozp. mg.l <sup>-1</sup>	P/NL mg.g <sup>-1</sup>
25. 9. 2014	Horák	3000	0,18	0,009	0,057
25. 9. 2014	Fišmistr	2500	0,13	0,007	0,049
29. 9. 2014	Pěšák	13000	2,9	0,065	0,21
29. 9. 2014	Baštýř	2500		0,012	0,071
20. 3. 2014	Vítek	2180	0,28	0,018	0,12
21. 3. 2013	Vítek	6420	0,31	0,014	0,046

Zdroj: vlastní měření

Tab. 9 Přehled výsledků měření fyzikálně-chemických vlastností vypouštěné vody

rybník	datum	vypouštění /výlov	čas	teplota °C	rozpuštěný O <sub>2</sub> mg <sup>l</sup> -1	O <sub>2</sub> nasycení (%)	vodivost μS.cm <sup>-1</sup>	pH	turbidita (NPU)	poznámka
Vítek	18. 3. 2014	vypouštění	7:40	7,3	8,93	78,2	166,5	8,2	28,9	
	20. 3. 2014	výlov	9:06	5	4,13	34,1	173,3	7,7	55,8	před zátahem
			10:33	6,5	3,47	29,8	185,6	7	245,6	po zátahu
			11:03	7,4	3,87	34	184,9	7	78,4	nakládání ryb
			11:33	8	3,48	31	188,5	7	54,3	nakládání ryb
			12:10	9	3	27,4	187,8	6,8	50,5	nakládání ryb
			12:45	9,6	3,82	35,4	185,3	6,8	60,2	příprava na zátah
			13:40	10,9	4,78	45,7	182,5	6,9	185,6	zátah a zastavení výpustě
	21. 3. 2014	výlov	8:00	7,6	4,09	35,1	200,5	7,4	178,6	zátah
			9:45	9,5	4,6	42,5	214,8	7	70,7	nakládání ryb
			10:15	11,9	2,83	27,7	202	7	142,9	zátah
			10:30	11,6	0,41	4	204,9	6,9	287	dolovek
Horák	24. 9. 2014	vypouštění	8:05	14,5	8,35	86,5	198,7	8,8	15,6	
	25. 9. 2014	výlov	8:00	12,8	1,89	18,9	199,6	7	48,8	před zátahem
			8:30	12,3	2,97	29,3	205,4	6,9	116	zátah
			9:00	12,1	1,43	14	208,6	6,7	140	po zátahu
			9:30	12,2	0,22	2,2	208,9	6,9	343	dolovek
Fišmistr	24. 9. 2014	vypouštění	8:10	14,9	5,26	55	208,4	8	14,2	
	25. 9. 2014	výlov	8:30	13,3	2,9	21,1	207,4	7,4	21	před zátahem
			9:30	13,1	2,2	22,1	209,6	7,6	60,9	sháňka ryb
			10:00	13,2	1,92	19,3	207,2	7,3	95,2	zátah
			10:30	13,4	1,59	16,1	204,2	7,3	93,1	nakládání ryb
			11:00	14,1	0,21	2,2	212,4	7	413,3	dolovek
Baštýř	28. 9. 2014	vypouštění	8:00	14,6	8,43	87,6	199,7	8,2	16,4	
	29. 9. 2014	výlov	10:30	13,7	1,42	14,5	202,1	7,1	152	sháňka ryb
			11:15	13,9	0,27	2,8	205,6	6,8	248	zátah
			11:40	14,3	0,78	8	202,4	6,9	220	nakládání ryb
			12:00	14,3	0,18	1,9	207,8	6,8	326	dolovek ryb
Pěšák	28. 9. 2014	vypouštění	8:10	14,5	8,36	86,6	183	8,1	11,7	
	29. 9. 2014	výlov	8:00	12,7	2,85	28,4	199,4	6,8	192	sháňka
			8:38	12,7	1,63	16,2	201,6	6,7	276	zátah
			9:05	12,6	1,15	11,4	199,9	6,7	231	jádření sítě
			9:32	12,6	2,35	23,3	200,4	6,8	219	nakládání
			9:55	13	0,3	2,3	205,6	6,8	356	dolovek

Zdroj: vlastní měření

Pro vypouštění vody během výlovu rybníků nejsou stanoveny žádné zvláštní emisní limity znečišťujících látek. Nicméně vody, které jsou „vypouštěny“ z rybníků, musejí ve všech případech splňovat požadavky kladené na povrchové vody stanovené v příloze č. 3 nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech (Kladivová, Kult 2010). Hodnota přípustného znečištění povrchových vod je pro celkový fosfor  $0,15 \text{ mg.l}^{-1}$ . Vody, které jsou využívány nebo u kterých se předpokládá jejich využití pro koupání osob<sup>11</sup>, musejí splňovat přípustnou hodnotu  $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$ , stejně tak vody využívané pro vodárenské účely<sup>12</sup> nebo vody, které jsou nebo se mají stát trvale vhodnými pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů, s rozdělením na vody lososové a kaprové<sup>13</sup>. Pro nerozpuštěné látky je stanovena norma  $20 \text{ mg.l}^{-1}$  a nasycení kyslíkem nesmí být nižší než  $9 \text{ mg.l}^{-1}$ . Imisní standardy vyjadřují přípustné znečištění povrchových vod při průtoku Q365, popřípadě při minimálním zaručeném průtoku vody v toku, nebo hodnotu, která je dodržena, nebude-li roční počet vzorků nevyhovujících tomuto standardu větší než 5 %.

Z naměřených hodnot je patrné, že ve všech vzorcích kromě jednoho, a to slévaného vzorku při samotném výlovu rybníka Fišmistr, byly hodnoty pro celkový fosfor překročeny. Hodnoty nerozpuštěných látek byly opět překročeny u všech vzorků s výjimkou vypouštění rybníka Horák. Nasycení kyslíkem bylo opět u všech měření nižší, navíc během poslední fáze výlovu všech rybníků kleslo pod kritickou mez pro kapra a další běžně chované druhy v rybníční akvakultuře.

Pro posouzení kvality vypouštěných vod během výlovů můžeme použít i další předpisy, například klasifikace jakosti povrchových vod (ČSN 75 7221). V některých sledovaných parametrech (kyslík, nerozpuštěné látky, konduktivita) naměřené hodnoty převyšovaly mezní hodnoty určené pro zařazení povrchových vod do 5., nejvíce znečištěné třídy jakosti vod, a to během fáze výlovu, v konduktivitě i během vypouštění. Během fáze

---

<sup>11</sup> § 31 „vodního zákona“, č. 254/2001 Sb.

<sup>12</sup> § 34 „vodního zákona“, č. 254/2001 Sb.

<sup>13</sup> § 35 „vodního zákona“, č. 254/2001 Sb.

vypouštění rybníka byly hodnoty jak pro kyslík, tak nerozpuštěné látky na úrovni 1–2. třídy jakosti vod.

Výjimkou byl rybník Vítek, kde byla koncentrace nerozpuštěných látek při vypouštění rybníka  $133.3 \text{ mg.l}^{-1}$ , což odpovídá opět 5. třídě jakosti vod. Možným vysvětlením je skutečnost, že ostatní rybníky (Fišmistr, Pěšák, Horák, Baštýř) mají odlišný charakter, jsou výrazně menší a nacházejí se na konci rybníční soustavy a zároveň jsou všechny napájeny z rybníka Rod, který je přírodní rezervací a leží zhruba uprostřed Nadějské soustavy rybníků. Zároveň se mohl projevit delší časový úsek vypouštění.

Během samotného výlovu byla koncentrace nerozpuštěných látek značná, bez výjimky vysoce převyšovala minimální limit pro zařazení do 5. třídy jakosti vod. Zajímavostí je to, že u rybníku Pěšák, kde byla sice během vypouštění naměřena nejvyšší koncentrace ze zkoumaných rybníků Nadějské soustavy, ale stále více než poloviční v porovnání s rybníkem Vítek, byla koncentrace nerozpuštěných látek během výlovu nejvyšší, a to dvojnásobně oproti Vítku a řádově ve srovnání s rybníky Baštýř, Fišmistr a Horák. Rybník Pěšák se nejen v tomto ohledu vymykal. Výsledky naznačují, že mocnost sedimentu byla u rybníka Pěšák výrazně vyšší a samotný výlov tak způsobil uvolnění daleko většího množství sedimentu než u ostatních rybníků.

Pokud se zaměříme na pro nás klíčový ukazatel, fosfor, zjistíme, že všechny rybníky, respektive voda z nich vytékající již během vypouštění odpovídala hypertrofii, tak jak je charakterizována v klasifikaci OECD (tab. 1). I nejnižší naměřená koncentrace u rybníka Baštýř ( $0,160 \text{ mg.l}^{-1}$ ), převyšovala „hranici“ hypertrofie o  $0.060 \text{ mg.l}^{-1}$ . Ovšem kromě rybníku Pěšák se koncentrace fosforu během samotného výlovu nikterak dramaticky nezvýšila, nejvíce u Vítku z  $0,182 \text{ mg.l}^{-1}$  na  $0,31 \text{ mg.l}^{-1}$  druhý den výlovu. U rybníku Horák a Fišmistr se dokonce lehce snížila z  $0,27 \text{ mg.l}^{-1}$  na  $0.18 \text{ mg.l}^{-1}$ , respektive z  $0.19 \text{ mg.l}^{-1}$  na  $0.13 \text{ mg.l}^{-1}$ , a to za situace, kdy se koncentrace nerozpuštěných látek zvýšila o řády. Tento fakt je v rozporu se závěry předchozích měření, ať už na rybnících Rožmberk, Dehtář (Potužák, Duras 2012), nebo na Sirákovském a Jezuitském rybníku

(Mikšíková et al. 2012), kdy byl prokázán těsný vztah mezi zvyšující se koncentrací nerozpuštěných látek a celkového fosforu, tedy těsná vazba fosforu na sediment. U těchto rybníků se během výlovu poměr P/NL pohyboval mezi 2,3 a 0,9 P/NL mg.g<sup>-1</sup>, Potužák, Duras (2012) uvádějí pro srovnání i výsledky obdobného měření v Rakousku, kde se poměr P/NL pohyboval v obdobných relacích mezi 0,86–3,31 mg g<sup>-1</sup>.

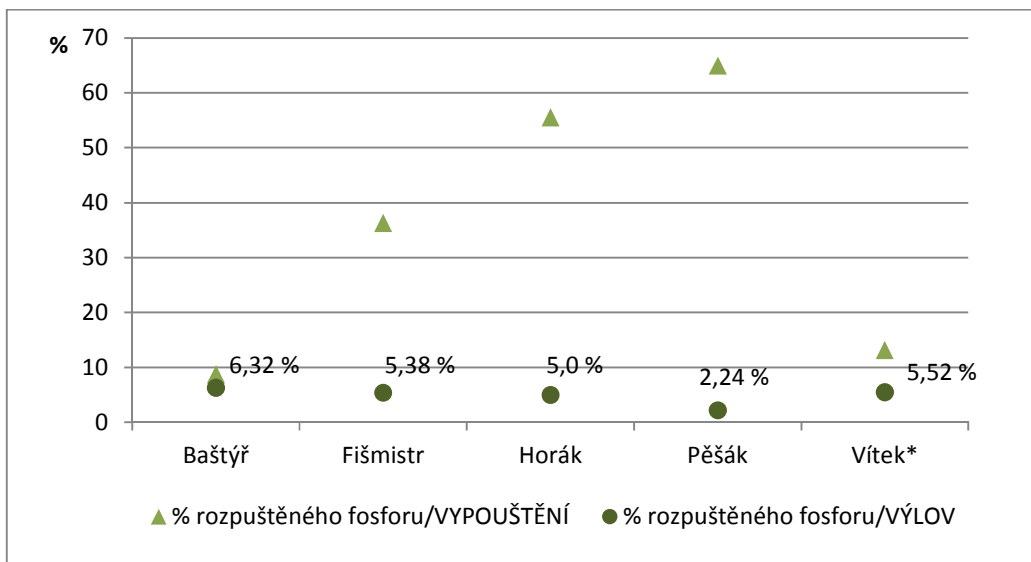
V případě našeho šetření byl poměr P/NL (tab. 8) v době samotného výlovu u všech vzorků velmi nízký, nejvyšší byl u vzorku z prvního dne výlovu rybníka Vítek 0,12 mg.g<sup>-1</sup>, u ostatních vzorků byl výrazně nižší. Hodnoty pod 1 mg.g<sup>-1</sup> lze přitom považovat za nízké (Potužák, Duras 2012).

Obsah fosforu v sedimentu tak byl v porovnání s měřeními na jiných rybnících (Rožmberk, Dehtář, Sirákovský, Jezuitský) velmi nízký. Vysvětlení pro tuto skutečnost na základě dostupných dat je velmi obtížné, nízký poměr P/NL může naznačovat větší podíl jílovitých sedimentů a nižší podíl jemných frakcí, schopných vázat fosfor. Charakter rybníků, které jsou mělké, promíchávané, naznačuje, že sediment je stále ve styku s produkční vrstvou a sedimentující biomasa nespotřebovaná v potravních řetězcích se rozkládá – mineralizuje. Fosfor a další živiny se tak vracejí hned do dalšího koloběhu, a nedochází tak k jejich mineralizaci a navázání na rybníční sediment. To může ovlivnit i nedostatek vazebných partnerů pro fosfor (např. sloučeniny železa, hliníku, vápníku).

Z pohledu obsahu pro eutrofizaci klíčové formy fosforu – tedy fosforu rozpuštěného – je viditelné, že výrazně vyšší koncentrace rozpuštěného fosforu a jeho podíl na koncentraci celkového fosforu při vypouštění byly u rybníků Horák 0,15 mg.l<sup>-1</sup> (55 % z celkového fosforu) a Pěšák 0,13 mg.l<sup>-1</sup> (65 %) oproti 0,014 mg.l<sup>-1</sup> (8,75 %) u rybníka Baštýř, 0,069 mg.l<sup>-1</sup> (36 %) u rybníka Fišmistr a 0,024 mg.l<sup>-1</sup> (15 %) u rybníka Vítek. Snad jedinou výraznou odlišností, kterou lze vysvětlit výrazně vyšší koncentraci rozpuštěného fosforu u dvou zmíněných rybníků, především v porovnání s dalšími rybníky stejné soustavy, je fakt, že obsádka tříletého kapra u rybníků Horák a Pěšák byla zhuštěná a zvýšená na 150 %, tj. 540 ks.ha<sup>-1</sup> oproti standardní hustotě tříletého kapra šupinatého 360 ks.ha<sup>-1</sup> u rybníků Fišmistr a Baštýř. Během samotného výlovu pak koncentrace

rozpuštěného fosforu klesla u všech sledovaných rybníků a podíl rozpuštěného fosforu na koncentraci celkového fosforu se také výrazně zmenšil. Nejmenší podíl rozpuštěného fosforu byl u rybníka Pěšák (2,24 %) největší u rybníka Vítek první den výlovu (6,42 %). Výsledky měření tak potvrdily předchozí závěry (Potužák, Duras 2012), že zatížení recipientu pro eutrofizaci nejdůležitější formou fosforu, tedy fosforu rozpuštěného, je při samotném výlovu zlomkové, oproti zatížení fosforem partikulovaným, který není považován za přímé riziko pro iniciaci eutrofizačních procesů.

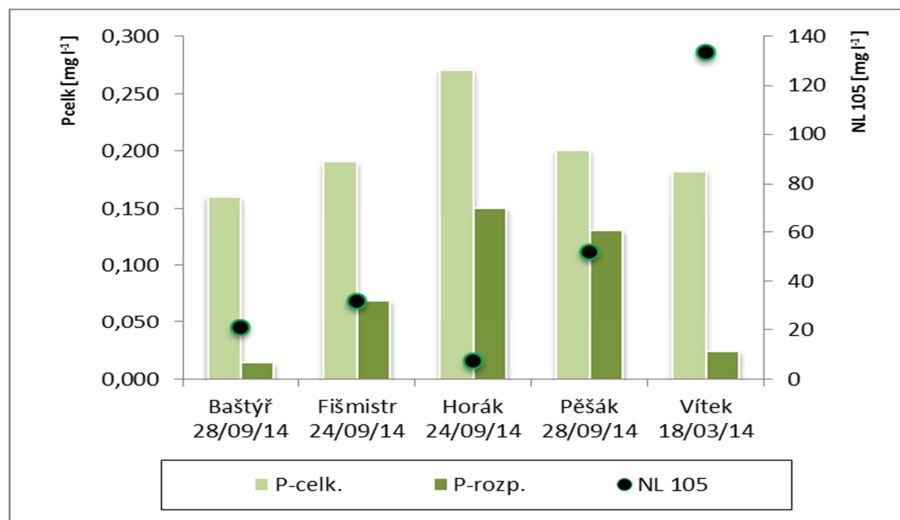
**Graf 1 Srovnání podílů rozpuštěného fosforu během vypouštění a výlovu**



Zdroj: vlastní měření

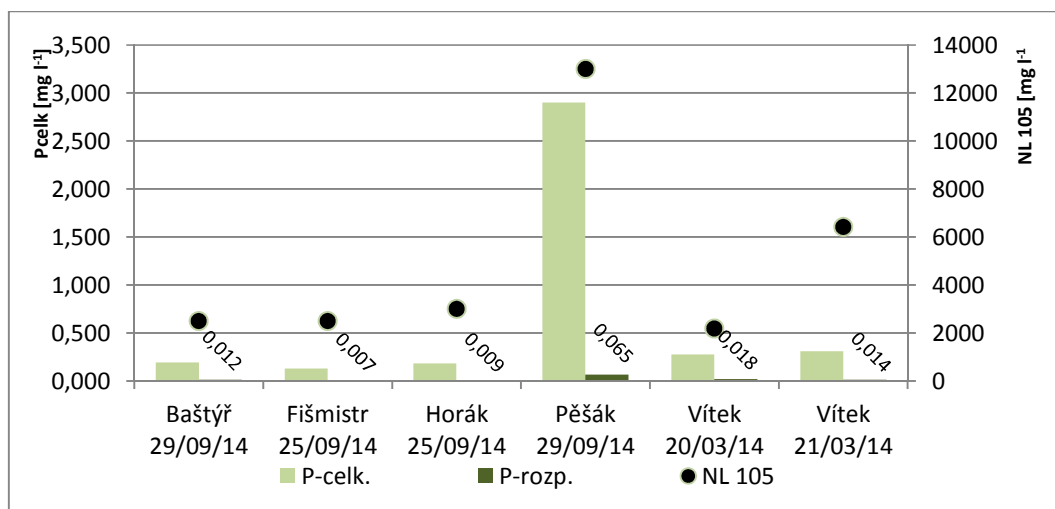


**Graf 2** Koncentrace nerozpuštěných látek, celkového a rozpuštěného fosforu během vypouštění



Zdroj: vlastní měření

**Graf 3** Koncentrace nerozpuštěných látek, celkového a rozpuštěného fosforu během výlovu



Zdroj: vlastní měření

## 6 Závěr

Přestože výlov rybníka představuje z pohledu celoročního hospodaření a vlivu na kvalitu vody v recipientu jednorázovou událost ohraničenou krátkým časovým úsekem, je evidentní, že v jeho důsledku dochází k dramatickému zhoršení kvality vody, v našem případě se tak stalo v podstatě ve všech měřených ukazatelích. Dochází ke znečištění recipientu především nerozpuštěnými látkami a fosforem, a jak ukázala podobná předchozí měření v delším časovém rozsahu, výlovy hrají významnou roli i v celoroční bilanci vypouštění těchto látek z rybníků.

Z pohledu koncentrací pro eutrofizaci klíčové formy fosforu, tedy fosforu rozpuštěného, se potvrzuje, že samotný výlov není z tohoto pohledu tak závažným problémem.

Výsledky zároveň ukázaly značné rozdíly nejen mezi zkoumanými rybníky, ale i ve srovnání s podobnými experimenty v minulosti, a to nejen ve vypouštěných koncentracích fosforu a nerozpuštěných látek, ale trochu překvapivě i v podílu obsahu fosforu v nerozpuštěných látkách, který byl v našem případě velmi nízký. Tato skutečnost indikuje nutnost dalšího výzkumu, který by měl nejen systematicky zhodnotit vliv na vody v recipientu, a to negativní i pozitivní, kombinace různých typů rybníků s různým způsobem rybářského hospodaření (extenzivní, polointenzivní, vyrovnaná bilance fosforu), ale zároveň by jeho šíře a cíle měly reflektovat i další související skutečnosti.

Výzkum by měl být zaměřen na efektivitu a možnosti využití systémů a opatření omezujících či zachytávajících nerozpuštěné látky během výlovů.

Považuji za klíčové, aby podobný výzkum nebyl osamocený, ale zapadal do širšího interdisciplinárního bádání, které bude reflektovat hrozby i příležitosti, které pro české rybníkářství představují zásadní aktuální trendy popsané v kapitole 3.

- stále větší tlak na zlepšování kvality vod a mimoprodukční funkce rybníků,

- využití rybníčního sedimentu – nutnost recyklace živin (především P),
- projevy změn klimatu (časté extrémní výkyvy počasí) a využití rybníků jako součást adaptačních strategií na změnu klimatu (eroze, retence vody).



## Literatura:

Ahlgren, I. (1978): Response of Lake Norrvikken to reduced nutrient loading. Verh. Int. Ver. Limnol. 20: 846–850.

Ansorge, L., Krása, J. (2012): Možnosti využití výsledků projektu QI102A265, Určení podílu erozního fosforu na eutrofizaci ohrožených útvarů stojatých povrchových vod při plánování v oblasti vod, Vodní hospodářství. 4/2012: 5–9.

Čítek, J., Krupauer, V., Kubů, F. (1988): Rybníkářství. Informatorium Praha, 306 s.

Edmondson, W. T. (1970): Phosphorus, nitrogen, and algae in Lake Washington after diversion of sewage. Science 169: 690–691. 1991. The uses of ecology. Lake Washington and beyond. Univ. of Washington Press.

Duras, J., Potužák, J. (2012a): Rybníky – obávaná součást povodí vodárenských nádrží ohrožených eutrofizací. Vodárenská biologie 2012, 1.–2. 2. 2012, Praha, Říhová Ambrožová, J., Veselá, J. (Edit): 45–51.

Duras, J., Potužák, J. (2012b): Látková bilance fosforu v produkčních a rekreačních rybnících, Vodní hospodářství 62 (6): 210–216.

Duras, J., Potužák, J. (2013): Rybníky – účinný nástroj pro recyklaci živin v krajině. Chov ryb a kvality vody II. Sborník referátů Rybářské sdružení České republiky, Urbánek M. (Edit.), 21.–22. únor 2013, České Budějovice, ISBN: 978-80-87699-02-07: 53–60.

Duras, J., Potužák, J., Marcel, M. (2015): Rybníky – producenti, či příjemci znečištění? In: Urbánek, M., (Edit), 3. ročník odborné konference: 19.–20. února 2015, České Budějovice, Česká republika. České Budějovice: Rybářské sdružení České republiky. ISBN: 978-80-87699-04-1

Faina, R., Gergel, J., Přikryl, I. (1994): Attempt in reduction of effluents from carp ponds during their fishing out. Book of Abstracts – Aquaculture and Water Resource Management, International Symposium, Stirling 21.–25. 6. 1994.

Hejzlar, J., Šámalová, K., Boers, P., Kronvang, B. (2006): Modeling phosphorous retention in lakes and reservoirs. Water, Air and Soil Pollution. Focus 6: 487–494.

Hejzlar, J., Duras, J., Komárková, J., Turek, J., Žaloudík, J. (2007): Vodárenská nádrž Mostišť: vyhodnocení monitoringu nádrže a povodí 2006. Studie pro MZe ČR, Biologické centrum AV ČR, v.v.i., Hydrobiologický ústav, České Budějovice.

Hejzlar, J., Žaloudík, J., Duras, J., Staňková, B., Mivalt, R. (2008): Vliv rybářského obhospodařování rybníků na jakost vody ve vodárenské nádrži Mostišť., Sborník konference Vodárenská biologie, 2008, Praha: 93–101.

- Hejzlar, J., Borovec, J., Mošnerová, P., Polívka, J., Turek, J., Volková, A., Žaloudík, J. (2010): Bilanční studie zdrojů fosforu a dusíku v povodí nádrže Orlick. Biologické centrum AVČR, v.v.i., Hydrobiologický ústav. České Budějovice.
- Hejzlar, J. (2010): Metodika bilanční analýzy zdrojů živin v povodí, Biologické centrum Akademie věd ČR, v. v. i. Hydrobiologický ústav, České Budějovice.
- Hlaváč, D., Adámek, Z., Hartman, P., Másílko, J. (2012): Vliv přikrmování na vývoj kvality vody v kaprových rybnících (přehled), Bulletin VÚRH Vodňany 48: 31–56.
- Holtan, H. (1981): Eutrophication of Lake Mjosa and its recovery. WHO Water Qual. Bull. 6: 99–156.
- Kladivová, V., Kult, A. (2012): Vodoprávní problematika rybníků II. Vodní hospodářství 6/2010: 1–4.
- Krása, J., Rosendorf, P., Hejzlar, J., Borovec, J., Dostál, T., David, V., Ansorge, L., Duras, J., Janotová B., Bauer M., Devátý J., Strouhal L., Vrána K., Fiala D. (2013): Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy. ČVUT v Praze.
- Kočí, V., Burkhard, J., Maršálek, B. (2000): Eutrofizace na přelomu tisíciletí: In Eutrofizace 2000, Kočí, V. (Edit) 10. 10. 2000, Praha: 3–13.
- Malý, J., Malá, J. (2006): Chemie a technologie vody. 2. vydání. Brno: ARDEC s. r. o., 329 s.
- Mikšíková, K., Vrána, K. (2012): Transport nerozpuštěných látek a celkového fosforu při vypouštění a výlovu rybníčních nádrží. In Vodní toky 2012. Kostelec nad Černými Lesy: Lesnická práce, 2012, díl 1, ISBN 978-80-7458-029-1: 139–143.
- Mikšíková, K., Dostál, T., Vrána, K., Rosendorf, P. (2012): Transport sedimentu a fosforu při výlovu malých vodních nádrží. Vodní hospodářství. 6/2012: 203–209.
- Millier, H. K. G. R., Hooda, P. S. (2011): Phosphorus species and fractionation – Why sewage derived phosphorus is a problem. Journal of Environmental Management. 92: 1210–1214.
- Neal, C., Jarvie, H. P., Neal, M., Love, A. J., Hill, L., Wicham, H. (2005): Water quality of treated sewage effluent in a rural area of the upper Thames Basin, southern England, and the impacts of such effluents on riverine phosphorus concentrations. Journal of Hydrology. 304: 103–117.
- Peters, R. H. (1981): Phosphorus availability in Lake Memphremagog and its tributaries. 1981. Limnol. Oceanography., 26(6): 1150–1161.
- Potužák, J., Duras, J. (2012): Výlov rybníků – kritické období z pohledu emisí fosforu? Vodárenská biologie 2012, 1.–2. 2. 2012, Praha, Říhová Ambrožová, J. (Edit.): 52–59.
- Potužák J., Duras J. (2013): Rybníky jako účinný nástroj pro snižování živinového zatížení povodí. Vodárenská biologie 2013, 6.–7. února 2013, Praha, ČR, Říhová Ambrožová, J. (Edit.) : 32–40.

Potužák, J., Duras, J., Marcel, M., Rohlík, V. (2013): Bodové zdroje a problematika jejich hodnocení. Sborník konference Vodní nádrže 2013: 25.–26. září 2013, Brno, Česká republika. Kosour, D. (Edit). Povodí Moravy, s.p., Brno.

Potužák, J., Duras, J., Kröpfelová, L., Šulcová, J., Chmelová, I., Benedová, Z., Svoboda, T., Novotný, O., (2015): Rybníční sediment – nový pohled na recyklaci živin v zemědělské krajině. In Kosour et al. (Edit): Vodní nádrže 2015: 6.–7. října 2015, Brno, Česká republika. Povodí Moravy, s.p., Brno.

Rameš, V. Rybníční soustava v okolí – Nadějská soustava [online]. Lomnice nad Lužnicí – oficiální stránky města, 2011 [cit. 2011-09-15]. Dostupné z <<http://lomnicenl.cz/c-54-rybnicni-soustava-v-okoli.html>>.

Reynolds, C., Davies, P. (2001): Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a British perspective. 2001. *Biological Reviews*, 76(1): 27–64.

Schindler D. W. (1974): Eutrophication and Recovery in Experimental Lakes: Implications for Lake Management. *Science* 184, 897–899.

Schindler D. W. (2006): Recent advances in the understanding and management of eutrophication. – *Limnology and Oceanography* 51: 356–363.

Soldán, P., Tušil, P. (2011): Identifikace antropogenních tlaků v české části mezinárodního povodí řeky Odry – souhrn výsledků z řešení projektu VAV, VTEI 53 (3), příloha Vodního hospodářství 6/2011: 1–4.

Soukup, M. (2006): Opatření v zemědělské krajině pro zlepšení vodních útvarů. 1. vydání. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 108 s.

Svobodová, Z., Gelnarová, J., Justýn, J., Krupauer, V., Máchová, J., Šimanov, L., Valentová, V., Vykusová, B., Wohlgemuth, E. (1987): *Toxikologie vodních živočichů*. Praha: SZN, 231 s.

Svobodová, Z., Máchová, J., Veselý, J., Modrá, H., Svoboda, M., et al. (2003): *Veterinární toxikologie*. Brno: Praktická cvičení, část 1. VFU, 179 s.

Švehláková, H. (2009): Fosfor. *Ekologické aspekty technické hydrobiologie*, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut Enviromentálního inženýrství, Ostrava: 43–46.

Vojáček, O., Macháč, J. (2015) Eutrofizace v povodí Orlické přehrad: Ekonomicky efektivní stav nebo problém vhodný k řešení? *Ekonomika v souvislostech*, Vávra, J., Lapka, M., Cudlínová, E., (EDIT), Filozofická fakulta University Karlovy, Praha, 2015. 170 s.

Vojáček, O., Hejzlar, J., Slavíková, L., Macháč, J., Smejkal, T., Cudlínová, E. (2014) Deliverable Deliverable 6.19: Cost-effectiveness analysis report for the Vltava catchment, Czech Republic, including analysis of disproportionality. Výstup z projektu REFRESH. [online] 2014, dostupné na: [http://www.ieep.cz/download/publikace/cea\\_orlik.pdf](http://www.ieep.cz/download/publikace/cea_orlik.pdf)

Vollenweider, R. A., Kerekes, J. J. (1982): Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. OECD, Paris.

Wezel, A., Guerin, M., Robin, J., Arthaud, F., Vallod, D. (2013): Management effects on water quality, sediments and fish production in extensive fish ponds in the Dombes region, France. *Limnologica* 43 (3): 210–218.



## Seznam tabulek:

Tab. 1 Hraniční hodnoty pro klasifikaci trofických poměrů v nádržích a jezerech podle OECD (1982)

Tab. 2 Zdroje fosforu v povodí vodní nádrže Orlík (2007–2009), průměr v t/rok

Tab. 3 Struktura nejefektivnějších opatření k redukci 114 t fosforu v povodí vodní nádrže Orlík

Tab. 4 Charakteristické produkční údaje pro stávající metody chovu ryb v rybnících v povodí nádrže Orlík z let 2007–2009 a jejich srovnání s alternativními metodami (vyrovnaná bilance, extenzivní chov) snižujícími znečištění vody fosforem

Tab. 5 Obsádka rybníka Vítek

Tab. 6 Rozpustnost O<sub>2</sub> ve vodě při tlaku 101325 Pa

Tab. 7 Hodnoty, které představují kritickou mez pro některé druhy ryb při teplotě 20 °C a tlaku 101325 Pa

Tab. 8 Koncentrace fosforu a nerozpuštěných látek

Tab. 9 Přehled výsledků měření fyzikálně-chemických vlastností vypouštěné vody

## Seznam obrázků:

Obr. 1 Podíly typů zdrojů na vstupech celkového fosforu v povodí hodnocených nádrží v období 2006–2010

Obr. 2 Lokace sledovaných rybníků: 1. Rybníky Nadějské soustavy, 2. Vítek

Obr. 3 Nadějská rybníční soustava

Obr. 4 Sledované rybníky Pěšák, Baštýř, Fišmistr a Rod

Obr. 5 Lokace rybníku Vítek

Obr. 6 Rawsonův nomogram

## Seznam grafů:

Graf 1 Srovnání podílů rozpuštěného fosforu během vypouštění a výlovu

Graf 2 Koncentrace nerozpuštěných látek, celkového a rozpuštěného fosforu během vypouštění

Graf 3 Koncentrace nerozpuštěných látek, celkového a rozpuštěného fosforu během výlovu

## Abstrakt

Tématem této práce je vliv výlovů rybníků na kvalitu vody v recipientu s důrazem na obsah nerozpuštěných látek a fosforu. Cílem práce je přispět dílčím výzkumem k živé debatě o podílu vlivu rybnického hospodaření na eutrofizaci a znečišťování povrchových vod. Šetření bylo provedeno na pěti rybnících v CHKO Třeboňsko. Hlavním sledovaným parametrem byl obsah nerozpuštěných látek a fosforu během vypouštění a samotného výlovu rybníků. U fosforu byl následně stanoven podíl formy rozpustné a partikulární na celkové koncentraci fosforu. Dalšími sledovanými parametry byly teploty, množství rozpuštěného kyslíku, turbidita, pH a konduktivita. Výsledky potvrdily, že výlov rybníka má výrazně negativní vliv na kvalitu vody v recipientu. Skoro ve všech sledovaných parametrech koncentrace sledovaných látek překračovaly imisní standardy pro povrchové vody a naměřené hodnoty převyšovaly často mezní hodnoty určené pro zařazení povrchových vod do 5. - nejvíce znečištěné třídy jakosti vod. Z pohledu koncentrací pro eutrofizaci klíčové formy fosforu, tedy fosforu rozpuštěného, se potvrzuje, že samotný výlov není z tohoto pohledu tak závažným problémem a vysoce převažuje forma fosforu částicového. Výsledky zároveň ukázaly značné rozdíly nejen mezi zkoumanými rybníky, ale i ve srovnání s podobnými experimenty v minulosti. Šetření ukázalo, že je třeba soustředit více úsilí do zavedení systémů a opatření omezujících či zachytávajících nerozpuštěné látky během výlovů a věnovat pozornost možnosti recyklace fosforu z rybnických sedimentů. Zároveň lze očekávat vyšší tlak na kvalitu vypouštěných vod z rybníků a využívání klíčových mimoprodukčních funkcí rybníka.

Klíčová slova: výlov rybníka, fosfor, nerozpuštěné látky, eutrofizace, znečištění.

## **Abstract**

The topic of this thesis is the impact of fish pond harvest on water quality especially on concentration of suspended solids and phosphorous. Goal of the study is to contribute to ongoing discussion about carp aquaculture's role in fresh water pollution. Sampling was carried out in five carp ponds in the Třeboňsko Protected Landscape Area. Main monitored parameters were concentration of suspended solids and total phosphorous during pond drainage and fish harvest. Concentration of soluble reactive phosphorus and particulate phosphorous was determined from total phosphorous concentration afterwards. Other monitored parameters were concentration of dissolved oxygen, pH, temperature, turbidity and conductivity,

Results of the study confirmed very negative impact of fish harvest on water quality in recipient water. Almost in all monitored parameters were concentrations higher than current immission limits for fresh waters. In many cases, especially during harvest phase, concentration of suspended solids, phosphorous as well as other parameters were higher than limiting values for the fifth grade – the most polluted – of water quality as is set by Czech legislation.

Regarding to the concentration of soluble reactive phosphorous, which is the critical form of phosphorous for eutrophication, analyses confirmed previous researches, which came to the conclusion that fish harvest, due to very low portion of soluble reactive phosphorous in total phosphorous concentration in effluents, doesn't that much boost the eutrophication processes in recipient water.

Results of the study also indicates, that much more research and development is need in order to implement measures and technologies for suspended solids capture and recycle of phosphorous from pond sediments. Without these steps carp aquaculture would hardly comply with growing pressure on water quality and ecological functions of carp ponds.

Key words: fish pond harvest, phosphorous, suspended solids, eutrophication, water pollution.