

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta rybářství a ochrany vod

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2015

Josef Šimánek

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Ústav akvakultury a ochrany vod

Bakalářská práce

Bilance fosforu v polo-intenzivním odchovu kapra

Autor práce: Josef Šimánek

Vedoucí práce: Ing. David Hlaváč

Konzultant práce: MSc. Maria Anton-Pardo, Ph. D.

Studijní program: B1601 Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana vod

Forma studia: Prezenční

Ročník: 3.

České Budějovice, 2015

Prohlašuji, že svoji bakalářskou 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 bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě. 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.

V Českých Budějovicích dne: 11. 5. 2015

.....
Josef Šimánek

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Davidu Hlaváčovi za metodické vedení, odbornou pomoc, cenné připomínky, poskytnuté materiály a rady při vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji své konzultantce M.Sc. Marii Anton Pardo, Ph.D., doc. RNDr. Zdeňku Adámkovi, CSc. a Ing. Pavlu Hartmanovi, CSc. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat za organizační a technickou pomoc při provádění tohoto experimentu společnosti Rybářství Třeboň a.s.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef ŠIMÁNEK**
Osobní číslo: **V12B029P**
Studijní program: **B1601 Ekologie a ochrana prostředí**
Studijní obor: **Ochrana vod**
Název tématu: **Bilance fosforu při polo-intenzivním odchovu kapra**
Zadávací katedra: **Ústav akvakultury**

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

Rybníky jsou unikátní, člověkem vytvořené vodní ekosystémy, které tvoří významnou a neodmyslitelnou součást naší krajiny. V současnosti je hlavní funkcí většiny rybníků produkce ryb, která svou podstatou spočívá ve využití produkčního potenciálu rybníčního ekosystému. Od počátku 20. století je tento produkční potenciál systematicky uměle zvyšován různými hospodářskými zásahy. Současné rybníční obhospodařování (hnojení, příkrmování obsádek ryb) společně s vlivy ze zemědělství a lidských sídel zapříčiňuje, že většinu dnešních produkčních rybníků lze označit za eutrofní až hypertrofní vodní ekosystémy. Problém eutrofizace povrchových vod je popisován od 60. let 20. století. Od 70. let je známo, že klíčovou živinou zhoršení jakosti vod doprovázené masovým rozvojem řas a sinic, je fosfor.

Zlepšení kvality podávaných krmiv s cílem zadržet fosfor v biomase ryb je jedním z hlavních cílů snižování dopadu akvakultury na životní prostředí. Z pohledu nadměrného živinového zatížení rybníčních ekosystémů využívaných k chovu ryb bude do budoucna velmi důležité nastavit množství podávaných krmiv a hnojení tak, aby rybníky dosáhly tzv. nulového salda fosforu ($TP \text{ v krmivu} + TP \text{ v hnojivu} + TP \text{ v obsádce ryb} = TP \text{ ve vylovených rybách}$). To by znamenalo, že veškerý fosfor dodaný do rybníka v souvislosti s chovem ryb by se s biomasou ryb zase z vody odebral. Tím by do povrchových vod nebyl dodán žádný fosfor "navíc", který by zvyšoval jeho koncentraci a tím i trofiu vody.

V současné době jsou v krmivářské produkci využívány metody účinných úprav krmiv za účelem zlepšování jejich dietetických vlastností, stravitelnosti, vyloučení antinutričních látek a prodloužení jejich trvanlivosti. Tepelné zpracování krmných obilovin před jejich použitím v kaprových rybnících může přispět ke zvýšení stravitelnosti takto upravených obilovin a ke snížení zatížení prostředí rybníka nestráveným nebo nedokonale stráveným krmivem a ulehčit tím i živinové bilanci daných rybníků.

Cílem práce bude zaměřit se na polo-intenzivní odchov tržního kapra v rybnících s příkrmováním technologicky upravených obilovin se zvláštním zřetelem na bilanci fosforu. Student sestaví ucelenou literární rešerši o problematice fosforu ve vodních ekosystémech. V praktické části se dále zaměří na vstupy a výstupy fosforu do ekosystému vybraných pokusných rybníků a vyhodnotí účinnost příkrmování ve vztahu k retenci či uvolňování tohoto prvku, jelikož trvale udržitelný chov ryb v rybnících mimo jiné předpokládá, že docilovaným přírůstkem ryb nedochází ke kumulaci živin v rybnících či v povodí rybníků, ale naopak, že dochází k žádoucí konverzi živin do biomasy přírůstku ryb a tím k jejich odčerpání.

Rozsah grafických prací: 5-10 tabulek a grafů

Rozsah pracovní zprávy: 20-30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

Bosma, R., H., Verdegem, M., C., J., 2011. Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits. *Livest. Sci.* 139, 58-68 s.

Boyd, C., E., 1995. Bottom soils, sediment, and pond aquaculture. Chapman & Hall, New York, USA, 348 s.

Boyd, C., E., Tucker, G., S., 1998. Pond aquaculture water quality management. Kluwer, Norwell, MA, USA, 700 s.

Hlaváč, D., Adámek, Z., Hartman, P., Másílko, J., 2014: Effects of supplementary feeding in carp ponds on discharge water quality - a review. *Aquacult. Int.* 22, 299-320 s.

Knösche, R., K., Schreckenbach, K., Pfeifer, M., Weissenbach, H., 2000. Balances of phosphorus and nitrogen in carp ponds. *Fisheries Manag. Ecol.* 7, 15-22 s.

Máchová, J., Valentová, O., Faina, R., Svobodová, Z., Kroupová, H., Mráz, J., 2010. Znečištění produkované kaprem obecným z různých podmínek odchovu. *Bulletin VÚRH Vodňany*, 46(1): 31-38 s.

Pechar, L., 2000. Impact 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.

Potužák, J., Duras, J., 2012. Jaké riziko představují rybníky v procesu eutrofizace vodních nádrží. In: Kosour D. (Ed.) *Vodní nádrže 2012*, 26.-27. září 2012, Brno, 69-72 s.

a další dle požadavků vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. David HLAVÁČ


Ústav akvakultury

Konzultant bakalářské práce: **María Teresa Antón Pardo, Ph.D.**


Ústav akvakultury

Datum zadání bakalářské práce: 14. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2015


prof. Ing. Otomar Linnhart, DrSc.
děkan

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


Ing. Jan Mráz, Ph.D.
ředitel

V Českých Budějovicích dne 14. února 2014

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Literární přehled	9
2.1 Problematika kvality vody a fosforu	9
2.2 Fosfor v odtékající vodě.....	11
2.3 Koloběh fosforu v nádržích.....	11
2.4 Zdroje fosforu.....	14
2.4.1 Zdroje fosforu obecně.....	14
2.4.2 Krmení jako zdroj živinového zatížení.....	16
2.4.2.1 Využití živin z krmiva rybami	16
2.4.2.2 Tepelné úpravy krmiv	17
3. Metodika	18
3.1 Fyzikálně-chemické parametry vody	19
3.2 Zooplankton	19
3.3 Makrozoobentos	20
3.4 Růst ryb	20
3.5 Bilance fosforu	21
3.6 Statistické vyhodnocení dat.....	22
4. Výsledky	23
4.1 Kvalita vody na pokusných nádržích	23
4.2 Zooplankton	24
4.3 Zoobentos	25
4.4 Růst ryb	26
4.5 Chemické složení krmiva a ryb.....	27
4.6 Bilance fosforu	27
5. Diskuse.....	29
6. Závěr	33
7. Seznam použité literatury	34

8. Seznam tabulek a grafů.....	38
9. Abstrakt.....	39
10. Abstract.....	40

1. Úvod

Převážná část produkce akvakultury v České republice se uskutečňuje prostřednictvím chovu ryb v rybnících. V posledních letech se na území ČR vyprodukuje okolo 20 tisíc tun ryb ročně s většinovým zastoupením kapra obecného (*Cyprinus carpio* L.). Rybníkářství má zde velmi dlouhou tradici sahající až do 12. století. Ovšem teprve od počátku 20. století jsou rozvíjeny způsoby, jak rybochovné postupy zefektivnit. S ohledem k současné situaci není možno tohoto zefektivnění produkce dosahovat pouze budováním nových nádrží, z důvodu nedostatku prostoru a vysokých cen pozemků potenciálně vhodných pro vytvoření nových produkčních nádrží. Proto je hlavní cestou, jak dosáhnout vyšší produkce, zlepšování chovných postupů na stávajících nádržích. Tomuto navýšení je v současných způsobech chovu napomáháno prostřednictvím hospodářských zásahů, jako je hnojení rybníků a příkrmování ryb. Tyto metody sice zvyšují množství vyprodukovaných ryb, mívají však za následek zhoršování kvality vody a s ním spojenou eutrofizaci, projevující se nadměrným rozvojem fytoplanktonu. Pro rozvoj autotrofních organismů jsou nejdůležitějšími prvky fosfor a dusík. Jelikož se ve vodních společenstvech téměř vždy vyskytuje dusík v nadbytku, je dle Liebigova zákona minima rozhodujícím prvkem pro rozvoj fytoplanktonu právě fosfor. V ideálním případě by měla akvakultura dospět do stádia, kdy se veškerý fosfor dodaný do nádrže uplatní pro růst ryb. Tohoto lze docílit správným nastavením množství krmiv a hnojiv tak, aby bylo dosaženo tzv. nulového salda fosforu, kdy je na konci produkčního cyklu veškerý fosfor dodávaný do rybníků spolu s hospodářskými zásahy z nádrží odstraněn spolu s vylovenými rybami. Za těchto podmínek by nedocházelo k nadměrnému zatěžování nádrží nutrieny, což by přispělo ke zlepšení stavu životního prostředí.

Problematika zvyšování živinového znečištění je v dnešní době velkým problémem, a pokud nenalezneme udržitelný způsob hospodaření, bude v budoucnu jeho význam zesilovat. Tato práce se zaměřuje na bilanci fosforu při polo-intenzivním odchovu kapra v rybnících a na případná řešení snižování vstupů tohoto prvku do odchovných nádrží. Dále se zabývá hledáním a vyhodnocením vhodného způsobu hospodaření především z pohledu příkrmování ryb, jelikož se značné množství fosforu dostává do vody spolu s krmivem a tím dochází ke zvyšování živinového zatížení prostředí vodních ekosystémů. Cílem práce také bylo ověřit, zda příkrmování obilovinami má vliv na kvantitu a kvalitu přirozené potravy v rybnících při odchovu tržního kapra.

2. Literární přehled

2.1 Problematika kvality vody a fosforu

Znečišťování povrchových vod nebyl v minulosti přikládán dostatečný význam. Intenzivní snaha o snížení znečištění vod probíhá až od počátku 90. let minulého tisíciletí (Volaufová, 2008). V důsledku rozvoje jednotných kanalizačních sítí, nadměrného hnojení zemědělské půdy (Fiala a kol., 2013) a v neposlední řadě snahy o zvýšení produkce v akvakultuře aplikací hnojiv a krmiv, se rybníky staly eutrofními nádržemi (Pechar, 2000). I přesto, že se zvyšuje přísun živin, produkce ryb neroste úměrně s množstvím nutrientů, ale zůstává na podobné úrovni, což způsobuje nevyužití těchto živin při produkci ryb, ale pro bujení vodního květu (Potužák a kol., 2007). V posledních letech je velkou snahou realizovat opatření, která by vedla k omezení živinových imisí do povrchových vod. Mezi tyto opatření se řadí zlepšování stávajících technologií na čistírnách odpadních vod, a to především zavedením třístupňového čištění (Volaufová, 2008). Podle Durase a kol. (2015) je jedním z největších současných problémů nesprávné vedení zemědělské činnosti na pozemcích přilehlých k vodním plochám, kde zemědělci nevěnují dostatečnou pozornost protierozním opatřením. Problém vidí jak v přísunu živin samotných, tak v transportu splavenin, jež se v rybnících stávají usazeným sedimentem.

Zhoršení kvality vody, zejména kvůli nadměrnému vnosu živin vyúsťuje ve zvýšení úživnosti povrchových vod, tedy eutrofizaci, která je provázána celou řadou průvodních jevů s negativními dopady na vodní prostředí. Dopadem zhoršené kvality vody na prostředí nádrže může být snížení, či úplná ztráta samočistící schopnosti, ústup citlivějších druhů organismů a další negativní jevy. Snížení biodiverzity je problém, který v nádržích může způsobit narušení přirozených potravních sítí (Kočí a kol., 2013).

Mnoho českých rybníků, které jsou primárně určeny k chovu ryb, funguje jako krajinný prvek, jenž je schopen zadržet značné množství živinového znečištění obsaženého v přítokové vodě. Význam roste především u nádrží, jejichž zdroj vody je zatížen odpadními vodami z čistíren odpadních vod (Potužák a Duras, 2012, Všeticková a kol., 2012) a splachy z intenzivně obhospodařovaných zemědělských ploch (Fiala a kol., 2013). Je známo, že nádrže, do kterých jsou zaústěny odpadní vody, mohou fungovat jako stabilizační rybníky. Ve stabilizačních rybnících je z vody na bázi přirozených procesů odstraňováno značné množství živin, a proto z těchto nádrží odtéká voda s lepší kvalitou, nežli voda do nich přitékající (Adámek a kol., 2010). Mluvíme zde o samočisticí schopnosti nádrží, která funguje na principu například denitrifikace nebo navázáním živin na rybníční sediment. Při správném způsobu hospodaření může být z povrchové vody odstraňováno značné množství živinového znečištění i v běžných rybnících užívaných pro produkci ryb (Céréghino a kol., 2014). Uložení živin (zejména fosforu) v sedimentech však není trvalé. V případě, že u dna nádrže dojde k anoxii, což je u českých rybníků běžný jev, dochází ke zpětnému uvolnění fosforu do vody a takto rozpuštěný fosfor přispívá k eutrofizaci daného prostředí, případně může představovat eutrofizační riziko pro recipienty ležící níže po proudu (Potužák a kol., 2015).

Kvalita vody odtékající z rybníka je určována kvalitou vody přitékající, dále pak procesy na dně nádrže, prokysličením, hospodářskými zásahy, hustotou a složením obsádky, dobou zdržení vody a typem nádrže (Adámek a kol., 2010; Bosma a Verdegem, 2011; Všeticková a kol., 2012). Knösche a kol. (2000) ve své studii německých rybníků prokázali, že každý hektar těchto nádrží byl schopen zadržet více než 5 kg fosforu za rok. V průběhu roku tedy funguje nádrž jako krajinný prvek fosfor kumulující. Schopnost rybníků kumulovat fosfor je vedle dalších funkcí jedním z důvodů, proč můžeme říci, že rybníky společnosti poskytují významné ekosystémové služby. (Potužák a Duras, 2012). Vedle schopnosti nádrží odstraňovat živiny z povrchových vod se mezi ekosystémové služby rybníků řadí samotná produkce ryb, ochrana před povodněmi, zásobování vodou a v neposlední řadě využití pro rekreaci (Pechar, 2000).

2.2 Fosfor v odtékající vodě

Jelikož se v průběhu roku fosfor v nádržích spíše ukládá do sedimentů a tím se v rybnících kumuluje (Bíró, 1995; Knösche a kol., 2000), nastává výrazný nárůst emisí fosforu až během výlovu. V důsledku pohybu rybářů a ryb v lovišti dochází ke značnému rozvívání sedimentů. Ve vzniklém kalu je velké množství dobře zmineralizovaných látek s vysokým podílem fosforu (Potužák a Duras, 2012). Knösche a kol. (2000) dospěli k závěru, že se při výlovu uvolní pouze asi 1 % mineralizovaného kalu z celkové retenční kapacity nádrže, ale i toto množství je významné, protože podle Potužáka a Durase (2012) během výlovu odchází i více než 15 % z celkové roční emise fosforu nádrže. Toto se nejvíce projeví v odtokové stoce, kde zůstane po zastavení vody velké množství kalu. Z toho plyne, že pokud chceme docílit snížení živinového zatížení nádrží, je nutné vkládat úsilí i do snížení znečištění stok pod rybniční výpustí. Toho lze dosáhnout vypouštěním rybníků pouze v období, kdy jsou rozpuštěné látky usazené na dně, nebo krátkodobou sedimentací kalu v sedimentačních nádržích níže po proudu odtokových stok (Knösche a kol., 2000). Další možností, jak zlepšit kvalitu na výpustí je například budování mokřadů, které jsou schopny snižovat obsah N a P ve vodě až o 30–45 % (Bosma a Verdegem, 2011). V neposlední řadě je to zajištění přeronu vody přes travní pás, nebo zachycování sedimentů do vaků z geotextílie (Potužák a Duras, 2012).

2.3 Koloběh fosforu v nádržích

Pro omezení množství živin obsažených ve vypouštěné vodě je nezbytné stanovit živinové bilance v nádržích. Odhad bilance živin umožňuje zobecnění a případné řešení vedoucí ke snížení znečištění vznikajícího při různých produkčních postupech (Bosma a Verdegem, 2011).

Fosfor je důležitým prvkem pro růst primárních producentů a jejich rozvoj je jím limitován. Fytoplankton je schopný pro vytvoření biomasy využívat rozpuštěný fosfor ve formě orthofosforečnanů. Vzniklý fytoplankton slouží jako potravní základna pro zooplankton, a proto prostupuje fosfor asimilovaný řasami potravním řetězcem. Vyskytuje se zde tedy úzká interakce, kdy je fytoplankton ovlivňován zooplanktonem, a to jak přímo jeho predací, tak i nepřímo, kdy zooplankton v rámci metabolických dějů vylučuje recyklované živiny (Kalff, 2002). Exkrecí těchto živin zpětně ovlivňuje primární producenty (Straškrabová a kol., 1996; Kalff, 2002). V českých rybnících bývá společenstvo zooplanktonu zastoupeno především třemi hlavními druhy, a to perloočkami (*Cladocera*), vířníky (*Rotifera*) a buchankami (*Cyclopoida*) (Potužák, 2009). Důležitost zooplanktonu spočívá především v tom, že zooplankton představuje podstatnou složku přirozené potravy ryb (Faina, 1983). Při porovnání s celkovým fosforem v nádrži bývá v zooplanktonu fosforu obsaženo pouze poměrně malé množství a to 2–8 % (Rohschein a kol., 1983).

V tělech ryb je fixován podstatný podíl fosforu ve vodě, nejvíce je ho v kostech a šupinách (Rohschein a kol., 1983, Nwanna a kol., 2010). Rohschein a kol. (1983) ve svém výzkumu zjistili hodnoty 7–10,5 g fosforu na kilogram ve vlhké biomase kaprovitých ryb. Ryby tedy mohou představovat 30 až 40 % ze sumy fosforu vázaného v organismech. Retence fosforu v biomase vzrůstá s intenzitou produkce. To znamená, že čím vyšší je vstup fosforu (přírodní zdroj, krmivo), tím více je ho zadrženo. Lze tedy sledovat vztah mezi výlovem ryb a množstvím jimi zadržného fosforu (Knösche a kol., 2000). Obsah fosforu v tělech ryb je druhově specifický a závisí na mnoha faktorech (Rohschein a kol., 1983). Odvíjí se například od míry biologické dostupnosti fosforu v potravě, kterou se ryby přikrmují (Hlaváč a kol., 2012). V neposlední řadě hraje v této problematice významnou roli věková kategorie ryb, kdy starší ryby mají v tělech obsažen vyšší podíl fosforu (Torres a Vanni, 2007).

Do celkové sumy fosforu v nádrži je nutné započítat bakterie, jež mají v tělech zabudované významné množství fosforu (Straškrabová a kol., 1996), které může odpovídat i trojnásobku množství v zooplanktonu (Rohschein a kol., 1983). Bakterie se podílejí na mineralizaci primární a sekundární produkce, čímž recyklují fosfor zpět do rozpuštěné anorganické formy. Prostup fosforu potravním řetězcem od bakterií přes prvoky do zooplanktonu a výš, je limitován jevem tzv. mikrobiální smyčky. Zooplankton je schopen odfiltrovat jen omezené množství prvoků, proto se část živin v tělech prvoků navrací zpět k bakteriím (Straškrabová a kol., 1996).

Fosforečnany obsažené ve vodě se ve značné míře sorbují na sedimenty dna (Boyd, 1985), proto je fosfor, jenž není z nádrže odstraněn s výlovem ryb, nebo odtokem vody, popřípadě výletem hmyzu a dalších ztrát, ukládán do sedimentů rybníčního dna. Při koloběhu fosforu ve vodě je vždy více fosforu sedimentováno, nežli zpětně rozpouštěno, proto se zde může vyskytovat v mnohonásobně vyšších koncentracích, než ve vodním sloupci (Lellák a Kubíček, 1992; Bíró, 1995). Ke zpětnému uvolnění fosforu ze sedimentů dojde v případě, že u dna nastanou anoxické podmínky.

Některé druhy fytoplanktonu produkují toxiny, díky kterým jsou uchráněny před predací zooplanktonem. Z důvodu nepoživatelnosti nejsou počty těchto sinic limitovány žádným predátorem, což vede k jejich velkému namnožení (Lellák a Kubíček, 1992). Důsledkem dominance nepoživatelných druhů fytoplanktonu bývá rozkolísání kyslíkového režimu, kdy je voda díky jejich fotosyntetické aktivitě přes den kyslíkem bohatě nasycena, kdežto v noci a zejména v brzkých ranních hodinách dochází k anoxiím. Ke kyslíkovým deficitům dochází také na konci jejich životního cyklu, kdy se začne rozkládat odumřelá masa organického materiálu a kyslík je odčerpán těmito rozkladnými procesy (Kočí a kol., 2000). Takto vzniklá anoxie řídí přechod fosforu ze sedimentu do vody. V důsledku odčerpání kyslíku se trojmocné železo Fe^{3+} redukuje na Fe^{2+} a fosforečnany, dříve sorbované na sedimenty, se v reakci s dvojmocným železem Fe^{2+} stávají snadno rozpustnými a uvolňují se do vodního prostředí (Pitter, 1999). Takto se dříve blokované fosforečnany dostávají ze sedimentů zpět do vody a ovlivňují tím její trofii (Pitter, 1999; Kalff, 2002).

2.4 Zdroje fosforu

2.4.1 Zdroje fosforu obecně

Fosfor se ve vodním prostředí vyskytuje v jak rozpuštěné, tak nerozpuštěné formě (Jarvie a kol., 2012). Rozpuštěný anorganicky vázaný fosfor se ve vodním prostředí nachází nejčastěji ve formě jednoduchých a komplexních orthofosforečnanů nebo polyfosforečnanů, a to jak v iontové, tak neiontové formě. Rozpuštěný organicky vázaný fosfor bývá zastoupen například fosfáty, fosfolipidy, fosfoproteiny a nukleovými kyselinami (Pitter, 1999). Tyto látky mohou být biogenního, přírodního a antropogenního původu. Přírodní sloučeniny fosforu se do vody dostávají především s opadem detritu. Dalším přírodním zdrojem je vyplavování fosforečnanů z podloží při zvětrávání apatitu (Kočí a kol., 2000). Nejvýznamnější podíl na zatěžování nádrží má ovšem lidská činnost, kdy se dostává do recipientů velké množství fosforu spolu s nedostatečně čištěnými odpadními vodami. Zdrojem těchto vod je například průmysl, živočišná výroba, prádelny a v neposlední řadě lidská sídla. (Pitter 1999). Dále je nutné zmínit transport fosforu z intenzivně obhospodařovaných zemědělských ploch v důsledku vodní eroze. Význam vodní eroze roste především v souvislosti s výskytem extrémních srážkových událostí, kdy jsou rybníky dotovány povodňovou vodou (Fiala a kol., 2013). Vedle vodní eroze má význam na transport živin i eroze větrná, kdy vlivem proudění vzduchu dochází k přesunu živin obsažených v prachových částicích. Pokud tyto částice dopadnou na vodní plochu, mohou vodu obohacovat o živiny (Pasák, 1970). Suchá atmosférická depozice je další z cest fosforu do sladkovodních společenstev (Pitter, 1999). Avšak tento spád je z hlediska přísunu fosforu významný pouze v systémech fosforem výrazně limitovaných. V úživných vodách se jedná při běžných klimatických poměrech o nevýrazný faktor (Vicars a kol., 2010) s výjimkou průmyslových oblastí, kde může vysoká míra depozice ovlivnit celkovou bilanci fosforu (Knösche a kol., 2000).

V důsledku vodní eroze vstupují do nádrže jemné půdní částice, které jsou již samy o sobě bohaté na sloučeniny fosforu (Fiala a kol., 2013), ale především jsou hlavním zdrojem pro tvorbu rybníčního sedimentu. Fosfor obsažený ve vodě se, jak je známo, ve velké míře ukládá do sedimentů, kde dochází k jeho kumulaci. V sedimentech však není vázán trvale a může se zpětně uvolňovat, a to buď chemickou cestou prostřednictvím redukce v důsledku anoxie, nebo mechanickou cestou, kdy dojde k rozvíření sedimentu. Pokud je množství fosforu v sedimentech velké, je jím nádrž ovlivněna i dlouho po uplynutí událostí, které vedly k jeho nahromadění. Ohrožena není však jen nádrž samotná, ale může představovat eutrofizační riziko i pro níže položené vodoteče. Rizikové činnosti pro emisi fosforu z nádrže mohou být nešetrně prováděné výlovy rybníků, či odpouštění spodní vody, kdy ve velké míře dochází k vyplavování sedimentu a s ním i fosforu (Duras a kol., 2015). Na přechodu fosforečnanů ze sedimentu do vodního sloupce mají podíl i ryby vyhledávající potravu sběrem ze dna. Při vyhledávání potravy bentofágních ryb (kapr) dochází k prorývání dna (bioturbaci), tedy ke značnému rozvíření sedimentů a následnému vyplavení živin do vody (Adámek a Maršálek, 2013).

Velké množství fosforu je ovšem do nádrží dodáváno při hospodářských zásazích, kdy je snahou docílit co možná nejvyšší produkce hnojením rybníků a příkrmováním ryb. Hnojení, které má za cíl podpořit přirozenou produkci nádrží je výrazným zdrojem živinového zatížení (Hlaváč a kol., 2012). Účelem hnojení je zintenzivnit růst primárních producentů a tím podpořit rozvoj potravních sítí. Snaha o vnos živin do vody hnojením se může jevit jako zbytečná a má na prostředí rybníků negativní dopady. Rozumnějším způsobem může být cílené uvolnění živin deponovaných v sedimentech, kterého lze dosáhnout například zimováním rybníků (Kořínek a kol., 1987). Vzhledem k požadavkům dnešní společnosti na zvyšování kvality povrchové vody se od hnojení nádrží postupně upouští a je zřejmé, že hlavním nástrojem pro udržení dobré produkce bude aplikace doplňkových krmiv (Hlaváč a kol. 2015). De Silva (2012) hovoří o silném zatížení živinami rovněž při příkrmování ryb. Podstatou je uvolňování živin z předkládaného krmiva, a to jak z nezkonzumovaného podílu, tak z exkrementů ryb poživších toto krmivo.

2.4.2 Krmení jako zdroj živinového zatížení

2.4.2.1 Využití živin z krmiva rybami

Přikrmování ryb bylo do českých produkčních postupů zařazeno na konci 19. století. Díky tomu bylo docíleno nárůstu produkce ryb (Pechar, 2004). Krmivo ovšem může být výrazným zdrojem živinového zatížení nádrže. Při produkci tržních kaprů jsou nejvyužívanějším doplňkovým krmivem obiloviny, které jsou pro kapra zdrojem snadno stravitelných sacharidů, a to především škrobů. (Másilko a Hartvich, 2010). Složení obilovin se odvíjí od jejich kvality, obecně lze ale podle Przybyla a Mazurkiewiczze (2004) říci, že hlavní složkou obilovin jsou škroby (až 70 % celkového obsahu zrnin) a bílkoviny (až 15 % celkového obsahu zrnin). Z hlediska problematiky ovlivňování kvality vody vlivem aplikace doplňkových krmiv se jeví jako důležitá složka obilovin také celulóza. Povrch obilných zrn je pokryt tvrdou slupkou, která je z velké části tvořena právě celulózou. Tato velmi málo rozpustná slupka brání bobtnání obilných zrn a tím omezuje vyplavování živin do vody (Hlaváč a kol., 2015). Avšak při přikrmování obilovinami se pro růst ryb uplatní pouze asi 5 % živin (Olah, 1986). V případě fosforu obsaženého v krmivu je jeho využití kolem 20 % (Adámek a kol., 1997). Zbylé živiny jsou vyloučeny ve formě exkrementů a následně podléhají bakteriálnímu rozkladu (De Silva, 2012). Z tohoto důvodu je nutné věnovat pozornost nalezení co nejvhodnějšího způsobu přikrmování. Stravitelnost krmiva se odvíjí od složení krmiv, způsobu výroby, chemických a fyzikálních parametrů vody (např. obsah O_2), způsobu a množství přikrmování a její míra je rozdílná pro každý druh ryby (Mráz, 2012). Vliv přikrmování na kvalitu vody se odvíjí zejména od výše krmného koeficientu (FCR). Koeficient FCR je určován mnoha faktory zahrnující kvalitu a množství krmiva, počet ryb a kvalitu a kvantitu přirozené potravy v rybníce. Krmiva používaná v dnešní době zůstávají zejména v monokulturách vždy alespoň zčásti nezkonsumovaná. Zvýšení podílu zkonsumovaného krmiva lze dosáhnout vhodným vytvořením polykulturní obsádky, kdy jednotlivé druhy obsadí různé niky s jejich minimálními překryvy (Bosma a Verdegem, 2011) či změnou krmné technologie.

2.4.2.2 Tepelné úpravy krmiv

Podle Rudehutsorda a kol. (1994) je podíl živin uvolněných do vody závislý na množství nutrientů přítomných v krmivu a efektivitě jejich využití. Z toho plyne, že je nutné zabývat se způsoby, jak lze zlepšit stravitelnost krmiv. V současnosti se rozvíjí nové cesty výroby krmiv tak, aby se procento rybami nevyužitých živin co nejvíce snížilo (Mráz, 2012). Možnosti úpravy krmiv pro zlepšení jejich konverze, a s tím souvisejícího zvýšení retence fosforu v biomase ryb, lze rozdělit na metody fyzikálně mechanické (máčení, mačkání, granulování, šrotování), tepelné a tlakové metody (vaření, pražení, pečení, paření), biologické a úpravy zušlechťující krmiva máčením. Za účelem zlepšení vstřebávání živin se nejčastěji používají metody tepelných úprav, které je možno rozdělit na metody suché (např. extruze, pufování, vločkování, fluidní sušení) a mokré (expandace) (Kopřiva a kol. 1992).

Tepelnými úpravami lze zvýšit stravitelnost sacharidů v obilovinách až na 90 %, což je o 20 % více, oproti krmivu v surovém stavu (Przybyl a Mazurkiewicz, 2004). Výživová hodnota škrobu závisí na jeho biologické dostupnosti a právě při tepelné úpravě dochází k modifikaci původních škrobů na škroby s lepší biologickou dostupností. Nutriční hodnota škrobů zůstává po tepelné úpravě stejná, avšak tepelně modifikované škroby jsou tráveny rychleji (Šárka a kol., 2013). Při tepelném ošetřování krmiv dochází rovněž k potlačení obsahu nežádoucích antinutričních látek, což jsou chemické sloučeniny omezující vstřebávání živin při průchodu zažívacím traktem ryb. Antinutriční látky přítomné v obilovinách jsou například amylázy a fytoestrogeny (Másílko a Hartvich, 2010). Z výše uvedeného lze usoudit, že tepelnými úpravami krmiv lze zvýšit konverzi živin krmiva a tím omezit znečišťování nádrží nevyužitými nutrieny (Jovanovic a kol., 2006).

3. Metodika

Studie proběhla na rybnících Baštýř (1,7 ha), Fišmistr (2,8 ha), Horák (2,2 ha) a Pešák (2,7 ha), které jsou součástí Nadějské rybníční soustavy na Třeboňsku (Česká republika, 49°12'N, 14°74'E). Odběry byly provedeny v letech 2012 a 2013 v průběhu dvou po sobě jdoucích vegetačních obdobích: od 25. dubna do 4. října v roce 2012 a od 2. května do 3. října v roce 2013. Všechny rybníky byly na jaře napuštěny vodou z výše položeného rybníka Rod (36,1 ha). V průběhu vegetační sezóny rybníky nebyly průtočné, pouze v případě potřeby byla v průběhu experimentu hladina vody upravena dopuštěním vody z tohoto zdroje za účelem kompenzace ztrát vzniklých evaporací a průsakem.

Po výlovu v zimním období byly všechny rybníky vyzimovány a v průběhu vegetační sezony nebyly rybníky hnojeny ani vápněny. Pro pokusy byla použita provozní linie třeboňského kapra šupinatého K_3 (používané označení TŠ). Obsádka pokusných nádrží byla přepočtena podle jejich rozměru na hodnotu odpovídající $363 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1} K_3$, tj. $372 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ o průměrné kusové hmotnosti $1026 \pm 250 \text{ g} \cdot \text{ks}^{-1}$. Všechny ryby použité ve studii byly totožného genetického původu a stejného stáří. K pokusu bylo jako krmivo použito celých neupravených obilovin (NO) a obiloviny ošetřené tepelnou úpravou při $100 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 90 sekund (TUO). Tepelně upravené obiloviny byly připraveny dle technologie Másílka a kol. (2014) s využitím metody hygienizace HTST (High Temperature Short Time), kdy bylo využito přístroje Bühler AG (Švýcarsko). Účinnost těchto krmiv byla porovnávána s hodnotami z kontrolního rybníka (K), kde nedocházelo k příkrmování a přírůstek ryb byl založen pouze na přirozené potravě. Tepelně upravenými obilovinami bylo každý rok příkrmováno na dvou rybnících. Obsádky byly příkrmovány 3x týdně (Po, St, Pá), vždy v ranních hodinách (8 – 11 hod.) a na stejné místo v daném rybníce. Příkrmování obsádek bylo rozloženo s ohledem na tepelný režim do jednotlivých měsíců. Při příznivých teplotních podmínkách činily krmné dávky 2 % z hmotnosti obsádek. Na konci obou měřených období, tedy po výloveh rybníků, byly ryby váženy a měřeny.

3.1 Fyzikálně-chemické parametry vody

Na pokusných rybnících mezi 7 a 10 hodinou ranní byly v průběhu podávání krmiv sledovány v měsíčních intervalech fyzikálně-chemické parametry vody: kyslík, teplota, vodivost, pH. K měření fyzikálně-chemických parametrů vody byl použit přístroj YSI Professional Plus (Yellow Spring, USA). Turbidita se rovněž měřila *in situ* použitím přístroje WTW Turb 430T/SET. Alkalita byla stanovována titrační metodou dle Stirlinga (1985) a průhlednost vody Secchiho deskou. Následně byly odebrány vzorky vody pro stanovení její jakosti, a to jako třílitrový směsný vzorek ze tří odběrných míst na každém rybníku pomocí upravené vzorkovací trubice (Opting servis, Ostrava). Vzorky byly do doby analýzy uchovány při teplotě 4°C a poté analyzovány v certifikované laboratoři ENKI Třeboň o.p.s. Chemické analýzy (PO₄-P, TP) byly provedeny spektrofotometrickými metodami s využitím průtokového injekčního analyzátoru (Foss-Tecator). Koncentrace nerozpuštěných látek byla měřena využitím GF/C filtru a následným vysušením filtru při teplotě 105°C do konstantní hmotnosti.

3.2 Zooplankton

Vzorky zooplanktonu byly odebírány standardně planktonní vrhací sítí o světlosti ok 80 µm a průměru 22 cm. Vrhací síť byla házena do vzdálenosti 3x5 m vždy jiným směrem od požerákové výpustě. Nalovené vzorky byly konzervovány formaldehydem na výslednou koncentraci cca 4%. Dále byla stanovena objemová biomasa zooplanktonu. Jako kaprem přijatelná velikostní kategorie zooplanktonu byla použita velikost > 0,7 mm (Faina, 1983). Vzorek zooplanktonu byl přefiltrován přes síto o velikosti ok 0,7 mm. Takto získaná frakce byla převedena do odměrného válce. Po 30 minutové sedimentaci byl odečten objem, který zooplankton zaujímal a přepočten na 1L. Tímto způsobem se určila biomasa planktonu využitelná kaprem a poté probíhalo stanovení kvalitativního složení zooplanktonu za pomoci binokulárního mikroskopu Olympus CX21.

3.3 Makrozoobentos

Současně s odběrem zooplanktonu probíhal odběr makrozoobentosu dle metodiky Adámek (2006). K odběru vzorků byl použit čelistový sklápěcí sběrač typu Ekman-Birge, který využívá pracovní plochu 225 cm². Při každém odběru byly za použití lodě odebrány 4 vzorky z různých míst dna, a to na každém ze čtyř pokusných rybníků. Získané vzorky byly po převedení na síto o velikosti ok 500 μm jednotlivě proprány a pro zajištění konzervace bentosu se zbylým sedimentem byl využit 4% formaldehyd. Pro potřeby dalšího zpracování byly hodnoceny jako jeden souhrnný vzorek ze čtyř odběrových míst. Ve vzorcích byla vyhodnocována pouze přítomnost larev pakomárů, kteří hrají důležitou roli z hlediska výživy kapra (Anton-Pardo a kol., 2014). Vzorky bentických organismů byly zpracovány přebráním, tříděním a zvážením s přesností na 1 mg.

3.4 Růst ryb

Vyhodnocení růstu ryb bylo provedeno každý rok čtyřikrát, a to vypočtením specifické rychlosti růstu (SGR). Data potřebná k výpočtu byla získávána jednou měsíčně během pravidelných odlovů na plné vodě zátahovou sítí. Použitím digitální váhy byly odlovené exempláře kapra váženy s přesností na 0.1 g. Ze zjištěných hmotností byla vypočtena průměrná tělesná hmotnost ryb. Počet zkontrolovaných ryb závisel na úspěšnosti odlovu (20–50 ks).

Koeficient SGR byl vypočten dle Steffense (1985):

$$SGR = \left[\frac{\ln W_1 - \ln W_2}{T} \right] \cdot 100$$

Kde SGR je specifická rychlost růstu (%.den⁻¹), W₁ je průměrná tělesná hmotnost na konci sledovaného období (kg), W₂ je průměrná počáteční tělesná hmotnost (kg) a T délka pokusného období (dny)

Relativní krmný koeficient (FCR) vyjadřuje množství krmiva v kilogramech na jeden kilogram přírůstku ryb a byl vypočten následujícím způsobem:

$$FCR = \frac{F}{W_t - W_0}$$

Kde F je množství spotřebovaného krmiva (kg), W_t konečná hmotnost ryb (kg) a W_0 počáteční hmotnost ryb (kg).

3.5 Bilance fosforu

Jelikož bylo předmětem studie zhodnotit živinovou bilanci pouze s ohledem na živinové vstupy (dodané krmivo, nasazená ryba) a výstupy (výlov ryb), nebyl při výpočtu brán zřetel na množství živin uchovaných v sedimentu. Pro výpočet bilance fosforu bylo nutno znát nejdříve vstup tohoto prvku do nádrží příkrmováním z podávaných obilovin. Rozbory podávaných krmiv se zaměřením na celkový fosfor byly provedeny dle České technické normy – Metody zkoušení krmiv (ČSN 46 7092, 1998). Při výpočtu se vycházelo z hodnot získaných rozbořem krmiv a z konkrétního množství spotřebovaných krmiv na jednotlivých rybnících.

Pro výpočet bilance byla také důležitá znalost obsahu tohoto prvku v biomase ryb, umožňující kvantifikaci výstupu nutrientů produkcí ryb. Náhodně vybrané ryby s prázdným zažívacím traktem byly odebrány před nasazením a po výlovu z každého rybníka. Ryby byly usmrceny tupým předmětem (nevykrvovány), zamrazeny a předány k analýzám v certifikované laboratoři. Následně byly celé ryby v laboratoři homogenizovány pomocí potravinářské řezačky (Seydelmann K40, Německo). Každý vzorek prošel řezačkou třikrát pro zajištění maximální homogenizace. Následně byly vzorky ryb analyzovány se zaměřením na celkový fosfor na bázi oxidace organických látek dle ČSN 46 7092 (1998).

Vstup fosforu do nádrže s rybami byl zjištěn výpočtem, kde se suma živin v rybách nasazených do nádrže rovná koncentraci živin v nasazovaných rybách vynásobené jejich celkovou biomasou.

Obdobný výpočet se použil pro zjištění výstupu fosforu, kde se množství živin obsažených ve vylovených rybách rovná koncentraci nutrientů ve vylovených rybách vynásobené opět jejich celkovou biomasou.

3.6 Statistické vyhodnocení dat

Data byla zpracována za pomoci programu STATISTICA CZ, v. 12. Všechny hodnoty jsou vyjádřeny jako průměr \pm směrodatná odchylka. Rozdíly v poměru využití krmiva (FCR), v množství zooplanktonu a zoobentosu mezi jednotlivými vegetačními obdobími, dále pak v obsahu fosforu v tělech nasazených a vylovených ryb byly vyhodnoceny pomocí neparametrického Mann-Whitneyho U testu. Pro zbytek dat byl použit neparametrický Kruskal-Wallis test. Výsledky jednotlivých testů jsou dále interpretovány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, tj. s 95 % spolehlivostí.

4. Výsledky

4.1 Kvalita vody na pokusných nádržích

Mezi rybníky s odlišným způsobem chovu nebyly v téměř žádných základních fyzikálně-chemických parametrech vody zjištěny statistické rozdíly. Zejména v množství živin obsažených ve vodě nenastaly takřka žádné rozdíly. Statistické odlišnosti byly zjištěny pouze v hodnotách turbidity (zákalu), průhlednosti vody a obsahu nerozpuštěných látek. Zvýšené množství nerozpuštěných látek a výrazně vyšší turbidita, která souvisí se snížením průhlednosti vody, se vyskytovala v kontrolním rybníku bez příkrmování obsádky (K). Nejvyšší průhlednost a nejméně nerozpuštěných látek bylo v nádržích příkrmovaných tepelně upraveným krmivem (TUO), i když v porovnání s nádržemi krmenými neupraveným krmivem (NO) nebyly zjištěny významné rozdíly.

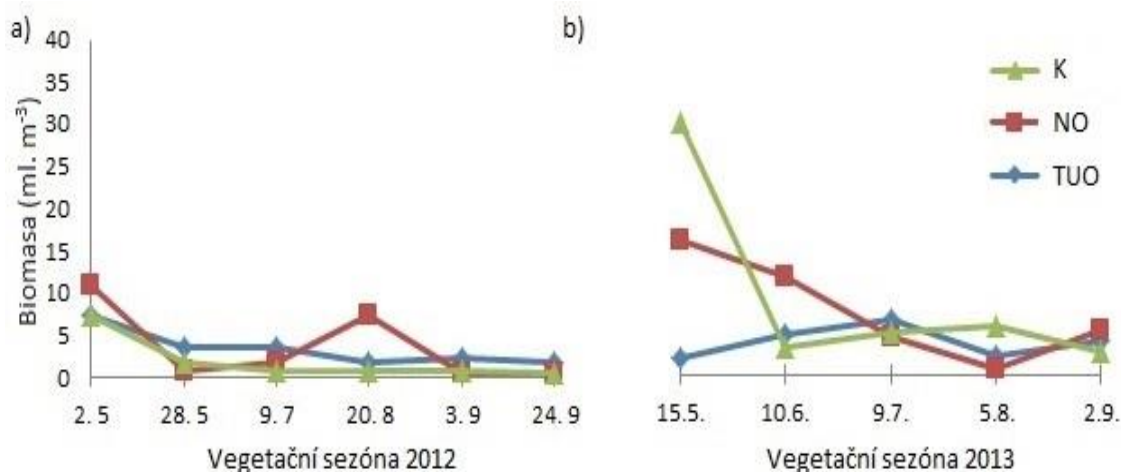
Tabulka č. 1: Hodnoty chemicko-fyzikálních parametrů vody (průměr ± směrodatná odchylka) zjištěné během dvouletého vzorkování. (písmena a, b značí signifikantní rozdíl na hladině $P < 0,05$; $n=12$)

Parametr	K	NO	TUO
T [°C]	20,81 ± 4,14	21,01 ± 4,49	20,69 ± 4,13
O ₂ [mg.l ⁻¹]	8,43 ± 2,10	7,50 ± 2,36	6,88 ± 1,79
pH	8,04 ± 0,69	7,87 ± 0,74	7,68 ± 0,54
Kond. [μS.cm ⁻¹]	174,90 ± 29,45	173,64 ± 36,66	176,40 ± 29,53
Turb. [NTU]	25,52 ± 15,15 ^a	13,76 ± 11,27 ^b	12,86 ± 9,62 ^b
Průhl. [cm]	43,42 ± 27,51 ^a	66,58 ± 44,18 ^b	75,79 ± 39,81 ^b
PO ₄ -P [mg.l ⁻¹]	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01
TP [mg.l ⁻¹]	0,16 ± 0,1	0,16 ± 0,1	0,15 ± 0,1
NL [mg.l ⁻¹]	31,67 ± 18,27 ^a	20,24 ± 16,57 ^b	16,56 ± 13,55 ^b

Poznámky: K: kontrolní obsádka bez příkrmování; NO: obsádka příkrmovaná neupravenými obilovinami; TUO: obsádka příkrmovaná tepelně upravenými obilovinami; T: teplota vody; O₂: obsah kyslíku ve vodě; Kond.: vodivost; Turb.: turbidita; Průhl.: průhlednost vody; PO₄-P: fosforečnanový fosfor; TP: celkový fosfor; NL: nerozpuštěné látky

4.2 Zooplankton

Vyhodnocení výsledků odběru zooplanktonu ($>0,7\text{mm}$) je znázorněno v grafu č. 2. V průběhu pokusu dominovali v každém vzorku drobní zástupci perlooček (*Daphnia longispina* a *Daphnia galeata*). V některých nádržích bylo v určitých obdobích rovněž vysoké zastoupení buchanek (*Thermocyclops Crassus*, *Acanthocyclops trajani*), případně některých větších druhů zooplanktonu (*Daphnia pulex*). V množství zooplanktonu nebyl při porovnání nádrží mezi odlišnými skupinami zjištěn žádný signifikantní rozdíl. Statistický rozdíl v množství zooplanktonu byl zaznamenán pouze meziročně, kdy v roce 2012 bylo zjištěno průměrné množství biomasy $3,59\text{ ml.m}^{-3}$, kdežto v roce 2013 $5,17\text{ ml.m}^{-3}$.

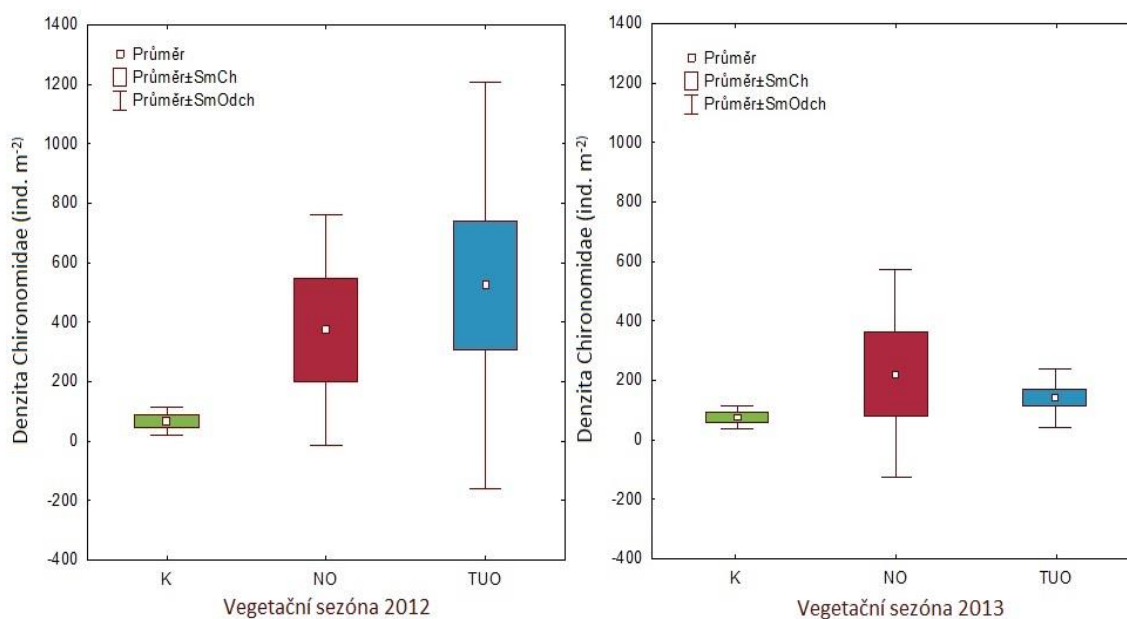


Graf č.1: Biomasa zooplanktonu (velikostní frakce $>0.7\text{ mm}$) v pokusných rybnících, zjištěná v letech 2012 a 2013.

Poznámky: a): vývoj zooplanktonu v roce 2012; b): vývoj zooplanktonu v roce 2013; K: kontrolní obsádka bez příkrmování; NO: obsádka příkrmovaná neupravenými obilovinami; TUO: obsádka příkrmovaná tepelně upravenými obilovinami

4.3 Zoobentos

Porovnání výsledků ze všech třech typů nádrží neukázalo na žádný signifikantní rozdíl, a to ani meziročně. Nejnižší početnost larev pakomárů se v letech 2012 i 2013 vyskytovala v kontrolním rybníce, kam nebylo aplikováno žádné krmivo. Takřka shodné hodnoty denzity pakomárů byly zjištěny u příkrmovaných obsádek. Celkově nižší denzita pakomárů byla zjištěna v roce 2013 oproti roku 2012. Zastoupení larev pakomárů v jednotlivých nádržích v letech 2012 a 2013 je vyjádřeno v grafu č. 2.

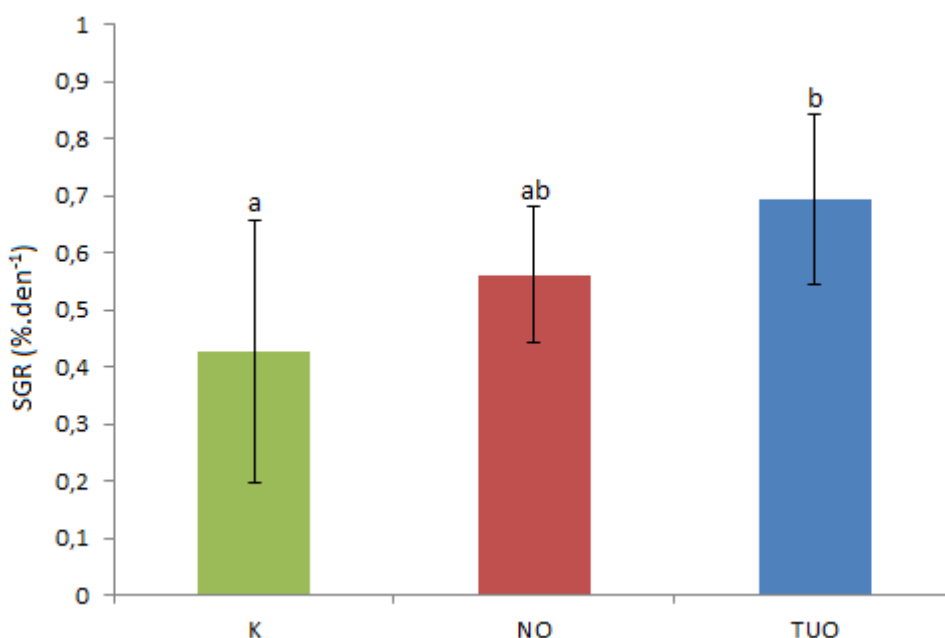


Graf č. 2: Denzita larev pakomárů (Chironomidae) na m² v pokusných rybnících v letech 2012 a 2013.

Poznámky: K: rybník s kontrolní obsádkou bez příkrmování; NO: rybník s obsádkou příkrmovanou neupravenými obilovinami; TUO: rybník s obsádkou příkrmovanou tepelně upravenými obilovinami

4.4 Růst ryb

Největší specifická rychlost růstu (SGR) byla zjištěna v nádržích, kde obsádky byly přikrmovány tepelně upravenými obilovinami. Hodnoty SGR u kontrolní obsádky bez přikrmování vykazovaly nižší hodnoty oproti obsádkám přikrmovanými obilovinami bez tepelné úpravy, nejednalo se však o statisticky významný rozdíl. Hodnoty specifické rychlosti růstu pro všechny tři typy nádrží vyobrazuje graf č. 3. Statisticky nižší hodnoty relativního krmného koeficientu (FCR) byly zjištěny u obsádek přikrmovaných tepelně upravenými obilovinami ($FCR=1,74 \pm 0,07$), zatímco vyšší krmný koeficient byl zjištěn u neupravených obilovin ($FCR=1,94 \pm 0,01$). Celkové srovnání ukázalo na lepší využití živin z tepelně upraveného krmiva, než-li z krmiva neupraveného.



Graf č. 3: Hodnoty Specifické rychlosti růstu - SGR (průměr ± směrodatná odchylka) získaných v průběhu pokusu (písmena a, b značí signifikantní rozdíl na hladině $P < 0,05$ při $n=16$).

Poznámky: K: kontrolní obsádka bez přikrmování; NO: obsádka přikrmovaná neupravenými obilovinami; TUO: obsádka přikrmovaná tepelně upravenými obilovinami

4.5 Chemické složení krmiva a ryb

Podíl fosforu obsaženého ve vlhké biomase těl ryb na konci vegetační sezony byl vyšší (nikoliv však signifikantně) u obsádek, kde bylo rybám předkládáno krmivo (Tab. 3). Dále bylo při analýze dat zjištěno, že nejvíce fosforu bylo inkorporováno do těl ryb příkrmovaných tepelně upravenými obilovinami, avšak rozdíl mezi obsádkami krmenými neupravenými obilovinami a obsádkami s příkrmováním tepelně upravenými obilovinami nebyl signifikantní. Výrazný rozdíl nebyl zjištěn ani při porovnání rybníků s příkrmovanými obsádkami a kontrolním rybníkem s obsádkou, které nebylo předkládáno žádné krmivo. Ve variantách byl obsah fosforu ve vlhké biomase ryb statisticky vyšší u ryb vylovených při podzimním výlovu, než u ryb nasazovaných na jaře, vyjma kontrolních rybníků bez příkrmování.

Tabulka č. 2: Chemické složení krmiva a ryb ve vlhké biomase (průměr ± směrodatná odchylka); (různé horní indexy značí signifikantní rozdíl na hladině $P < 0,05$)

Druh krmiva	K	NO	TUO
Krmivo (n=2)			
Obsah TP ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	-	$3,27 \pm 0,17$	$3,37 \pm 0,16$
Nasazené ryby (n=5)			
Obsah TP ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	$4,88 \pm 0,75$	$4,88 \pm 0,75^\dagger$	$4,88 \pm 0,75^\dagger$
Vylovené ryby (n=4)			
Obsah TP ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	$6,96 \pm 3,5$	$7,24 \pm 1,44^\ddagger$	$7,28 \pm 1,32^\ddagger$

Poznámky: K: kontrolní obsádka bez příkrmování; NO: obsádka příkrmovaná neupravenými obilovinami; TUO: obsádka příkrmovaná tepelně upravenými obilovinami; †, ‡: horní indexy značí rozdíl mezi hodnotami nasazených a vylovených ryb v rámci každé skupiny

4.6 Bilance fosforu

Do všech pokusných rybníků bylo na počátku vegetačních sezón vloženo s násadou kapra přibližně stejné množství fosforu. S tepelně upraveným krmivem bylo do nádrží vloženo na jednotku váhy krmiva vyšší množství fosforu, než-li s krmivem neupraveným, z důvodu vyššího obsahu tohoto prvku v překládaném krmivu. Celkový rozdíl bilance fosforu v poměru vložených živin a živin odstraněných s vylovenými rybami byl největší v kontrolní nádrži, kde byl celkový vstup fosforu výrazně menší, z důvodu nulového vnosu fosforu krmivem. U příkrmovaných rybníků vykazovaly vyšší

míru retence fosforu obsádky příkrmované tepelně upravenou obilovinou. Číselné vyjádření bilance fosforu vyobrazuje tabulka č. 2.

Tabulka č. 3: Bilance fosforu [g] v experimentálních rybnících (průměr ± směrodatná odchylka) přepočtená na ha vodní plochy (písmena a, b značí signifikantní rozdíl na hladině $P < 0,05$)

Druh krmiva	K	NO	TUO
Vstup P [g.ha ⁻¹]			
Množství živin dodaných s násadou kapra	1592 ± 256	1556 ± 237	1674 ± 364
Množství živin dodaných krmivem	0	3560 ± 185	3668 ± 145
Výstup P [g.ha ⁻¹]			
Množství živin výlovem ryb	4573 ± 125	6370 ± 338	7051 ± 411
Celkový rozdíl P [g.ha ⁻¹]	-2981 ± 132^a	-1254 ± 83^b	-1710 ± 150^{ab}

Poznámky: K: kontrolní obsádka bez příkrmování; NO: obsádka příkrmovaná neupravenými obilovinami; TUO: obsádka příkrmovaná tepelně upravenými obilovinami

5. Diskuse

Obecně převládá názor, že při příkrmování ryb dochází s vnosem krmiva k nárůstu koncentrací živin ve vodě a tím zhoršení její kvality (Rudehutsord a kol., 1994; Jovanovic a kol., 2006; De Silva, 2012). Tvrzení o zhoršování kvality vody vlivem aplikace doplňkových krmiv nelze na základě výsledků této studie potvrdit. Při srovnání nádrží příkrmovaných oběma typy krmiv s kontrolní nádrží se do ukazatelů obsahu fosforu ve vodě ($\text{PO}_4\text{-P}$ a celkový fosfor) vnos krmiv nijak výrazně nepromítl. Možné vysvětlení toho, že nebyl pozorován nárůst množství fosforu ve vodě, při aplikaci krmiv při polo-intenzivních odchovu kapra, je přechod živin z vody do sedimentů (Boyd, 1985), který nebyl ve studii zohledněn. Koncentraci živin ve vodě totiž významně ovlivňuje samočistící schopnost vody, kdy dochází k mineralizaci nestrávených živin přímo v nádrži, díky níž je část nutrientů navázána na rybniční sediment (Céréghino a kol., 2014). Nízký vliv příkrmování na kvalitu vody může být vysvětlen také tím, že v průběhu vegetační sezóny je v rybničním prostředí odezva na vnos živin pozorována až po poměrně dlouhé době. Živiny jsou totiž během vegetační sezóny zabudovány do biomasy primárních producentů, případně bakterií a až poté jsou zadržovány vyššími trofickými hladinami potravního řetězce. Toto tvrzení je v souladu s výsledky z dalších studií, kdy aplikace krmiva do odchovných nádrží nijak výrazně neovlivnila kvalitu vody (Wezel a kol., 2013; Hlaváč a kol., 2015). Výsledky této studie dále ukázaly, že nedošlo k významným rozdílům v koncentraci fosforu ve vodě mezi rybníky, na kterých bylo příkrmování prováděno dvěma rozdílnými druhy krmiva. Výsledky korespondují se závěry z některých dalších studií, kdy Dulic a kol. (2010) a Ciric a kol. (2015) ve svých výzkumech rovněž zjistili, že příkrmování kapra různými krmnými komponenty nemělo výrazný efekt na kvalitu vody. Výrazné odchylky v měřených parametrech byly zaznamenány pouze v zákalu vody, průhlednosti a obsahu nerozpuštěných látek. Parametry popisující průhlednost vody byly statisticky odlišné v kontrolní nádrži, kde bylo zjištěno vyšší množství rozpuštěných látek, což poukazuje na intenzivnější vyhledávání přirozené potravy rybami. To lze odůvodnit tzv. bioturbací, kdy ryby při vyhledávání potravy prorývají sediment a dochází k zvýšení zákalu a tím i snížení průhlednosti vody (Scheffer, 1997; Adámek a Maršálek, 2013).

Co se týče zooplanktonu, nebyl taktéž vyzorován statistický vliv příkrmování na jeho početnost. Výrazný výkyv v množství zooplanktonu byl zaznamenán pouze mezi jednotlivými vegetačními obdobími. Velký nárůst množství zooplanktonu na jaře roku 2013 oproti roku 2012 byl nejspíš způsoben poklesem teploty vody a s ním spojeným snížením potravní aktivity ryb, tedy predčního tlaku (Kalff, 2002). Pro výživu kapra je nutná přirozená potrava i v nádržích, na kterých je obsádka krmena doplňkovým krmivem, a to v podílu alespoň 50 % (Faina, 1983). V kontrolní nádrži, kde byl růst kaprů založen pouze na přirozené potravě, by mohl být očekáván úbytek zooplanktonu způsobený vyšší mírou predace rybami. Výrazný výkyv v množství zooplanktonu mezi kontrolním rybníkem a nádržemi, na kterých bylo obsádkám kapra předkládáno krmivo, však nenastal. A to pravděpodobně z důvodu, že se tržní kapr při vyhledávání přirozené potravy soustředí především na zoobentos (Adámek a kol., 2003).

Společenstvo larev pakomárů dosahovalo nepatrně vyšší denzity v nádržích, do kterých bylo aplikováno doplňkové krmivo. Toto lze vysvětlit orientací kapra na předkládané krmivo, tedy omezením vyhledávání makrozoobentosu. V kontrolní nádrži, kde byla obsádka odkázána pouze na přirozenou potravu, docházelo k intenzivní predaci larev pakomárů, což vedlo ke snížení jejich početnosti. Při odchovu kaprů do tržní velikosti jsou totiž hlavním zdrojem přirozené potravy právě larvy pakomárů (Adámek a kol., 2003). Vysoká variabilita dat popisujících početnost larev pakomárů, byla způsobena kolísáním jejich populací. Je totiž známo, že společenstva pakomárů v průběhu vegetační sezóny značně fluktuují. Výkyvy bývají způsobeny buď výletem dospělých jedinců, nebo k nim dochází například v období s nejvyšší potravní aktivitou ryb (Kloskowski, 2011).

Obsah fosforu v předkládaném krmivu dosahoval hodnot asi 3,3 gramů pro neupravenou obilovinu a 3,4 gramů na kilogram pro obilovinu tepelně upravenou. Vyšší koncentrace fosforu v tepelně upraveném krmivu je způsobena úbytkem obsahu vody, tedy zvýšením obsahu sušiny krmiva prošlého termickou úpravou (Čermák a Kadlec, 1999). Hodnota popisující obsah fosforu v tělech ryb na počátku vegetačního období byla stanovena na 4,88 gramů fosforu v kilogramu vlhké biomasy, kdežto na konci vegetačních sezón se podíl tohoto prvku v tělech vylovených ryb pohyboval v rozmezí 6,96 až 7,28 gramů fosforu na kilogram vlhké biomasy. Nižší obsah fosforu v tělech ryb na jaře vysvětlují Spangenberg a Schreckenbach (1984) jako důsledek přezimování ryb, kdy ryby během zimního období značně omezují příjem potravy a tím se snižuje přísun

fosforu. O vlivu na koncentraci tohoto prvku v rybách se zmiňují také Torres a Vanni (2007) a sice tvrzením, že mladší věkové kategorie ryb mají v tělech zabudovaný nižší podíl fosforu. Rothschein a kol. (1983) ve své studii stanovili také průměrný obsah fosforu v tělech kaprovitých ryb. S jimi stanoveným intervalem hodnot 7–10,5 g fosforu jsou srovnatelné výsledky rozboru těl ryb z této studie, které byly vyloveny na konci vegetačních sezón.

Rozdílnost, která nastala v obsahu fosforu v rybách mezi nádržemi, kde bylo přikrmováno a kontrolní nádrží bez přikrmování vysvětluje Nwanna a kol. (2010), kteří zmiňují, že podíl fosforu inkorporující se do těl ryb je závislý na obsahu tohoto prvku v potravě, kterou ryby přijímají. Přirozená potrava kapra je totiž v poměru k doplňkovému krmivu chudá na obsah fosforu (Rothschein a kol., 1983). Z tohoto důvodu byla koncentrace fosforu v rybách z nádrží, kde bylo rybám předkládáno doplňkové krmivo vyšší, než v rybách z kontrolní nádrže, kde se obsádka přijímala pouze přirozenou potravou.

Z výsledků pokusu dále vyplynulo, že předkládáním tepelně upravených obilovin jako krmiva vede oproti přikrmování neupravenou obilovinou k lepší inkorporaci tohoto prvku do biomasy kapra, tedy ke zvýšení retence fosforu. Zvýšení příjmu fosforu s potravou vede k hromadění tohoto prvku v tělech ryb (Vanni, 1996). Vyšší koncentrace fosforu v biomase ryb přikrmovaných tepelně upraveným krmivem potvrzuje příznivé účinky termických úprav na stravitelnost krmiv, kdy dochází k modifikaci škrobů na snáze přístupné formy (Šárka a kol., 2013; Másílko a kol., 2014) a také ke snížení obsahu antinutričních látek (Másílko a Hartvich, 2010). Z těchto důvodů se přikrmování termicky upravenou obilovinou rovněž promítlo do hodnot koeficientů SGR a FCR, a to v pozitivním slova smyslu.

Po vylovení ryb z pokusných rybníků a vyhodnocení dat bylo zjištěno, že s vylovenými rybami bylo z nádrží odebráno více živin, nežli vloženo s násadou kapra a předkládaným doplňkovým krmivem. Toto zjištění potvrzuje, že fosfor uložený v sedimentech, případně obsažený v přitékající vodě je velmi účinně asimilovaný do biomasy primárních producentů a postupuje potravním řetězcem směrem vzhůru k živočichům, které je kapr schopný využít jako potravní zdroj (Kalff, 2002). Správně prováděným hospodařením tedy lze z vody živiny odstraňovat (Duras a kol., 2015). Vyšší míra retence živin v tělech ryb navyšuje celkovou retenční kapacitu nádrže. I přes to, že v tomto pokusu nebylo zohledněno ukládání živin do sedimentu, lze na základě výsledků této studie potvrdit výroky Knöscheho a kol. (2000), případně Potužáka a

Durase (2012) hovořící o rybnících jako o nádržích, které jsou schopny zadržet značné množství živin. Knösche a kol. (2000) ve své studii stanovili, míru retence fosforu v nádržích na více než 5 kg P. ha^{-1} . Zjištěné množství fosforu v tomto experimentu, který byl z rybníků odebrán s vylovenými rybami, činilo v případě kontrolní nádrže asi $2,9 \text{ kg P. ha}^{-1}$. V nádržích, kde bylo přikrmováno a docházelo zde tedy k většímu vnosu fosforu spolu s hospodářskými zásahy, bylo za dobu vegetační sezóny v rybách zadrženo v jedné variantě (NO) $1,3 \text{ kg P. ha}^{-1}$ a v druhé (TUO) $1,7 \text{ kg P. ha}^{-1}$. V tomto experimentu jsou uvedena výrazně nižší čísla, protože Knösche a kol. (2000) při výpočtu retence zohlednili některé další faktory, které v této práci nebyly zohledněny.

6. Závěr

Přikrmování ryb je v dnešních akvakulturních postupech běžným nástrojem ke zvyšování produkce. Obecně je však přijímán fakt, že přikrmováním vzniká velké množství nestrávených částic, které jsou příčinou postupného zhoršování kvality vody. Cílem práce bylo sestavení literárního přehledu o problematice fosforu v rybníčních ekosystémech a především pokusem ověřit, zdali je možné docílit redukce živinového znečištění vznikajícího při produkci ryb, za použití tepelně upravených krmiv. Z výsledků pokusu vyplynulo, že tepelná úprava obilovin zlepšuje vstřebávání živin při odchovu tržního kapra, ať už zvýšením stravitelnosti škrobů, nebo snížením obsahu antinutričních látek, jež jsou v obilovinách obsaženy. Použitím tepelně upraveného krmiva bylo dosaženo vyšší produkce ryb a současně výsledky rozborů vody naznačily, že aplikací doplňkových krmiv nedochází, alespoň z hlediska krátkodobého, k výraznému navýšení koncentrace živin ve vodě. Dále byly prokázány příznivé účinky tepelné úpravy obilovin na retenci fosforu v tělech ryb. Do jisté míry tedy lze těmito úpravami omezit množství živin přecházejících do vody ve formě nestrávených zbytků krmiva. Jelikož je fosfor limitujícím prvkem eutrofizace, jedná se o opatření, jež může napomoci ke zpomalení zvyšování trofie nádrží. Výhodou tepelné úpravy obilovin pro výrobu krmiva by vedle určitého snížení množství odpadů v produkčních postupech mohla být také výsledná úspora krmiva samotného. Tento způsob úpravy krmiv není, v porovnání s jeho přínosem pro zlepšení stavu akvakultury, finančně náročný, proto se do budoucna jedná o perspektivní postup v chovu ryb.

7. Seznam použité literatury

Adámek, Z., 2006. Metodika odběru a zpracování vzorků makrozoobentosu stojatých vod. VÚV TGM, 10 s.

Adámek, Z., Helešic, J., Maršálek, B., Rulík, M., 2010. Aplikovaná hydrobiologie. 2. rozšířené přepracované vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 350 s.

Adámek, Z., Maršálek, B., 2013. Bioturbation of sediments by benthic macroinvertebrates and fish and its implication for pond ecosystems: a review. *Aquaculture International* 21, s. 1–17.

Adámek Z., Sukop I., Rendon P.M., Kouřil J., 2003. Food competition between 2+tench (*Tinca tinca* L.), common carp (*Cyprinus carpio* L.) and bigmouth buffalo (*Ictiobus cyprinellus* Val.) in pond polyculture. *Journal of Applied Ichthyology* 19, s. 165–169.

Anton-Pardo, M., Hlaváč, D., Másilko, J., Hartman, P., Adámek, Z., 2014. Natural diet of mirror and scaly carp (*Cyprinus carpio*) phenotypes in earth ponds. *Folia Zoologica* 63, s. 229–237.

Bíró, P., 1995. Management of pond ecosystems and trophic webs. *Aquaculture* 129, s. 378–386.

Bosma, R. H., Verdegem, M. C. J., 2011. Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits. *Livestock Science* 139, s. 58–68.

Boyd, C. E., 1995. Bottom soils, sediment, and pond aquaculture. New York, 348 s.

Céréghino, R., Boix, D., Cauchie, H. M., Martens, K., Oertli, B., 2014. The ecological role of ponds in a changing world. *Hydrobiologia* 723, s. 1–6.

Ciric M., Subakov-Simic G., Dulic Z., Bjelanovic K., Cicovacki S., Markovic Z., 2015. Effect of supplemental feed type on water quality, plankton and benthos availability and carp (*Cyprinus carpio* L.) growth in semi-intensive monoculture ponds. *Aquaculture Research* 46, s. 777–788.

Čermák, B., Kadlec, J., 1999. Krmivářství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 111 s.

ČSN 46 7092-11, 1998: Metody zkoušení krmiv – Část 11: Stanovení obsahu celkového fosforu, Praha: Český normalizační institut.

De Silva S., 2012. Carps. In: Lucas J.S., Southgate P.C. (Eds.), *Aquaculture: farming aquatic animals and plants*. Oxford, s. 294–312

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, s. 266–274.

Duras, J., Potužák, J., Marcel, M., 2015. Rybníky, producenti či příjemci znečištění?. In: Urbánek M. (Ed), *Sborník referátů 3. Odborné konference, Rybářské sdružení České republiky*. České Budějovice, Únor 19-20, 2015, s. 67–73.

- Faina, R., 1983. Využívání přirozené potravy kaprem v rybnících. Metodika č. 8, Fakulta rybářství a ochrany vod. České Budějovice, 15 s.
- Fiala, D., Fučík, P., Hruška, J., Rosendorf, P., Simon, O., 2013, Fosfor v centru pozornosti. Vodní hospodářství. Praha, roč. 90, č. 3, s. 247–250.
- Hlaváč, D., Adámek, Z., Hartman, P., Másílko, J., 2012. Vliv příkrmování na vývoj kvality vody v kaprových rybnících (přehled), Bulletin VÚRH Vodňany 48, s. 31–56.
- Hlaváč, D., Másílko, J., Hartman, P., Anto-Pardo, M., Melka, V., Regenda J., Vejsada, P., Mráz, J., Adámek, Z., 2015. Potenciál krmných směsí a obilovin, jako nástroj pro udržení dobré produkce tržního kapra ve vztahu ke kvalitě vody a bilanci živin. In: Urbánek M. (Ed), Sborník referátů 3. Odborné konference, Rybářské sdružení České republiky. České Budějovice, únor 19-20, 2015, s. 49–59.
- Jovanovic, R., Milisavljevic, D., Sredanovic, S., Levic, J., Duragic, O., 2006. Proizvodnja hrane za ribe razlicitih fizičkih karakteristika. Biotechnology in Animal Husbandary 22, s. 339–349.
- Kalff, J. 2002. Limnology: inland water ecosystems. Reprinted pbk. with corrections. Upper Saddle River, 592 s.
- Kloskowski, J., 2011. Differential effects of age-structured common carp (*Cyprinus carpio*) stocks on pond invertebrate communities: implications for recreational and wildlife use of farm ponds. Aquaculture International 19, s. 1151–1164.
- Knösche, R. K., Schreckenbach, K., Pfeifer, M., Weissenbach, H., 2000. Balances of phosphorus and nitrogen in carp ponds. Fisheries Management and Ecology 7, s. 15–22.
- Kočí, V., Burkhard, J., Maršálek, B., 2000. Eutrofizace na přelomu tisíciletí. Eutrofizace 2000, s. 3–13.
- Kopřiva, A., Barančic, F., Doležal, P., Dudáš, F., Prudil, S., Přikryl, J., Štencl, J., Zeman, L., 1992. Konzervace, skladování a úpravy krmiv. Vysoká škola zemědělská v Brně, 105 s.
- Korinek, V., Fott, J., Fuksa, J., Lellák, J., & Prazakova, M., 1987. Carp ponds of central Europe. In: Managed Aquatic Ecosystems. Ecosystems of the World 29. New York, s. 29–62.
- Lellák, J., Kubiček, F., 1991. Hydrobiologie. Univerzita Karlova, Praha, 257 s.
- Másílko, J., Hartvich, P., 2010. Využití upravených obilovin v chovu tržního kapra (přehled). Bulletin VÚRH Vodňany 46, s. 35–43.
- Másílko, J., Hlaváč, D., Hartman, P., Bláha, M., Hartvich, P., Hůda, J., Všetičková, L., 2014. Příkrmování kapra upravenými obilovinami. Edice metodik FROV JČU 143, 33 s.
- Mráz, J., 2012. Stravitelnost krmiv pro ryby (přehled). Bulletin VÚRH Vodňany 48, s. 57–69
- Nwanna L. C., Kuhlwein H., Schwarz F.J., 2010. Phosphorus requirement of common carp (*Cyprinus carpio* L.) based on growth and mineralization. Aquaculture Research 41, s. 401–410.
- Olah J., 1986. Carp production in manured ponds. In: Billard, R., Marcel, J. (Eds.), Aquaculture of cyprinids. Paris, s. 295–303.
- Pasák, V., 1970. Větrná eroze půdy. Výzkumný ústav meliorací, 187 s.

- Pechar, L., 2000. Impact of long-term changes in fishery management on the trophic level water quality in Czech fish ponds. *Fisheries Management and Ecology* 7, s. 23–31.
- Pechar, L., 2006. Procesy eutrofizace mělkých vod - studie rybníčních ekosystémů. Habilitační práce, Zemědělská fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 44 s.
- Pitter, P., 1999. *Hydrochemie: inland water ecosystems*. Praha: VŠCHT, 1999, 568 s.
- Potužák, J., 2009. Plankton and trophic interactions in hypertrophic fish ponds. Ph. D Thesis. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 137 s.
- Potužák, J., Duras, J., 2012. Výlov rybníků – kritické období z pohledu emisí fosforu?. In: Říhová Ambrožová J., Veselá J. (Eds.), *Vodárenská biologie*. Praha, únor 1–2, 2012, s. 52–59.
- Potužák, J., Duras, J., Kröpfelová, L., 2015. Rybníční sediment - kam s ním?. In: Urbánek, M. (Ed), *Sborník referátů 3. Odborné konference, Rybářské sdružení České republiky, České Budějovice*, únor 19-20, 2015, s. 59–67.
- Potužák, J., Hůda, J., Pechar, L., 2007. Changes in fish production effectivity in eutrophic fishponds—impact of zooplankton structure. *Aquaculture International* 15, s. 201–210.
- Przybyl, A, Mazurkiewicz, J., 2004. Nutritive value of cereals in feeds for common carp (*Cyprinus carpio L.*). *Czech. Journal Animal Science* 49, s. 307–314.
- Rodehutsord, M., Mandel, S., Pfeffer, E., 1994. Reduced protein content and use of wheat gluten in diets for rainbow trout: effects on water loading with N and P. *Journal of Applied Ichthyology* 10, s. 271–273.
- Rothschein, J., Zelinka, M., Helan, J. 1983. Kolobeh fosforu vo vodárenských nádržiach. *Vodní hospodářství*. Praha, roč. 58, č. 1, s. 9–14.
- Scheffer, M., 1997. *Ecology of Shallow Lakes*. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, 384 s.
- Spangenberg, K., Schreckenbach, K., 1984. On the origin of the spinning disease of common carp (*Cyprinus carpio*). *Fortschritte der Fischereiwissenschaft* 3, s. 23–46
- Steffens, W., 1985. *Industrialnyje metody vyraščivaniya ryby*. Agropromizdat. Moskva, 384 s.
- Stirling, H. P., 1985. *Chemical and biological methods of water analysis for aquaculturists*. Institute of aquaculture, University of Stirling, 199 s.
- Straškrabová, V., Hartman, P. Macek, M., Nedoma, J., Šimek, K., Vrba, J., 1996. *Mikrobiální ekologie vody*. Biologická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. 98 s.
- Šárka, E., Smrčková, P., Seilerová, L., 2013. Rezistentní a pomalu stravitelný škrob. *Chemické listy* 107, s. 929–935.
- Torres, L.E., Vanni, M.J., 2007. Stoichiometry of nutrient excretion by fish: interspecific variation in a hypereutrophic lake. *Oikos* 116, s. 259–270.
- Vanni, M. J., 1996. Nutrient transport and recycling by consumers in lake food webs: implications for algal communities. In: Polis, G. A., Winemiller, K. O. (Eds.), *Food Webs. Integration of patterns and dynamics*. New York, s. 81–95.

Vicars, W. C., Sickman, J.O., Ziemann, P. J., 2010. Atmospheric phosphorus deposition at a montane site: Size distribution, effects of wildfire, and ecological implications. *Atmospheric Environmental*, roč. 44, č. 44, s. 2813–2821 .

Volaufová, L. 2008. Kvalita povrchových vod v České republice. *Vesmír: přírodovědecký časopis Akademie věd České republiky*. Praha, roč. 87, č. 11, s. 768–770.

Všetičková, L., Adámek, Z., Rozkošný, M., Sedláček, P., 2012. Effects of semi- intensive carp pond farming on discharged water quality. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* (3) 42, s. 223–231.

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

8. Seznam tabulek a grafů

- Tabulka č. 1:** Hodnoty chemicko-fyzikálních parametrů vody (průměr ± směrodatná odchylka) zjištěné během dvouletého vzorkování.
- Tabulka č. 2:** Chemické složení krmiva a ryb ve vlhké biomase (průměr ± směrodatná odchylka).
- Tabulka č. 3 :** Bilance fosforu v experimentálních rybnících (průměr ± směrodatná odchylka) přepočtená na ha vodní plochy.
- Graf č. 1:** Biomasa zooplanktonu (velikostní frakce >0.7 mm) v pokusných rybnících, zjištěná v letech 2012 a 2013.
- Graf č. 2:** Densita larev pakomárů (Chironomidae) na m² v pokusných rybnících v letech 2012 a 2013.
- Graf č. 3:** Hodnoty Specifické rychlosti růstu - SGR (průměr ± směrodatná odchylka) získaných v průběhu pokusu.

9. Abstrakt

Cílem práce bylo ověřit obecně uznávaný fakt, že aplikace krmiv má vliv na nárůst koncentrace fosforu v povrchové vodě a prozkoumat případné snížení produkce nestrávených částí krmiva aplikací tepelně upravených obilovin. Pokus byl proveden ve dvou po sobě jdoucích vegetačních sezónách v letech 2012 a 2013

Pro účel studie posloužily 4 nádrže. Do třech experimentálních rybníků byly jako doplňkové krmivo aplikovány obiloviny, a to sice tepelně upravené obiloviny ve dvojnásobném opakování a neupravené obiloviny. Účinnost takto podávaných krmiv byla porovnávána s hodnotami z kontrolních podmínek bez příkrmování, kde byla obsádka kapra stejné hustoty chována pouze na přirozené potravě. Bioturbace ryb měla větší vliv na parametry kvality vody, než přísun živin z obilovin, kdy proměnné ovlivňující průhlednost vody byly statisticky ($P < 0,05$) odlišné (vyšší hodnoty zákalu a nerozpuštěných látek a nižší průhlednost vody) v kontrolních podmínkách bez příkrmování, oproti rybníkům, kde byly použity tepelně upravené obiloviny. Další odlišnosti, avšak statisticky nesignifikantní nastaly v distribuci makrozoobentosu, kdy byla jeho denzita nejnižší v kontrolní nádrži. Oproti tomu byl vyzorován takřka nepatrný vliv příkrmování na množství zooplanktonu v rybnících. Rozdíly byly zjištěny také například v produkční účinnosti krmiv v různých nádržích, která byla největší v rybnících, kde byly ryby krmeny tepelně upravenými obilovinami. Dále bylo potvrzeno, že množství fosforu v tělech ryb je závislé na stáří ryb a na biologické dostupnosti fosforu obsaženého v krmivu. Celkově výsledky naznačily, že tepelné úpravy obilovin se vzhledem k malé finanční náročnosti jeví jako do budoucna perspektivní způsob, jak přispět k trvalé udržitelnosti rybníkářské produkce.

Klíčová slova: fosfor, příkrmování, kvalita vody, tepelně upravené obiloviny, kapr obecný

10. Abstract

The aims of this bachelor thesis are (i) to verify the generally recognized fact that supplementary feeding has an effect on the increase in phosphorus concentration in the surface water; and (ii) to explore a potential reduction of wastes by supplementary feeding with thermally treated cereals. The experiment was run in two consecutive growing seasons in the years 2012 and 2013.

Four ponds were selected for this study. Cereals were applied as supplementary feed in three ponds: In two of them, thermally treated cereals were applied and in the other one, untreated cereal grains were applied. The efficiency of these feeds was compared with the results from the control pond, where fish stock was not supplementary fed.

The results showed that bioturbation had a bigger effect on water quality than the input of nutrients from feeds, since water transparency parameters were statistically different ($P < 0.05$; in the control treatment compared to the ponds that were supplementary fed (higher value of turbidity and suspended solids, lower water transparency). No significant differences were observed in zoobenthos abundance, although the lowest density was in the control pond. However, no differences in zooplankton density between the control ponds and the supplementary fed ponds were found. On the other hand, differences in productive efficiency (SGR) of both types of feeds were found, which was highest in thermally treated ponds. The fact that the amount of phosphorus depends on the age of fish and bioavailability of phosphorus in feed was confirmed. Thermally treated cereals are economically inexpensive and the use of thermally treated cereals may provide a framework for the sustainable management of carp ponds, resulting in improved phosphorus budget over the entire pond system.

Key words: phosphorus, supplementary feeding, water quality, thermally treated cereals, common carp