

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Ústav akvakultury a ochrany vod

Diplomová práce

Možnosti zachycení a recyklace živin při vypouštění rybníků

Autor: Bc. Jan Dofek

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ján Regenda, Ph.D

Konzultant bakalářské práce: M.Sc. Marcellin Rutegwa

Studijní program a obor: Zemědělská specializace, Rybářství a ochrana vod

Forma studia: Kombinovaná

Ročník: 2.

České Budějovice, 2020

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že tuto diplomovou 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.

Datum:

Podpis studenta:

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Jánovi Regendovi, Ph.D i konzultantovi M.Sc. Marcellin Rutegwa za metodické vedení, odbornou pomoc, poskytnuté rady, trpělivost a cenné připomínky při práci v terénu a k vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl neméně poděkovat kolegům Ing. Pavlu Hartmanovi, CSc., doc. RNDr. Zdeňku Adámkovi, CSc., Štěpánce Borčové za pomoc při odběrech vzorků vody, stavění bariér a získávání dat. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům. Za oporu v nejtěžších chvílích děkuji svému synovi Ondřeji Dofkovi.

Vlastní experimentální práce byla podpořena projektem OP Rybářství: Zachycení a recyklace živiny při vypouštění rybníků. Registrační číslo projektu: CZ.10.2.101/2.1/0.0/15\_001/0000028. Projekt byl realizován ve spolupráci s firmou Blatenská ryba, s.r.o.

# JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta rybářství a ochrany vod

Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Jan DOFEK  
Osobní číslo: V18N001K  
Studijní program: N4106 Zemědělská specializace  
Studijní obor: Rybářství a ochrana vod  
Téma práce: Možnosti zachycení a recyklace živin při vypouštění rybníků  
Zadávací katedra: Ústav akvakultury a ochrany vod

### Zásady pro vypracování

Cílem diplomové práce je ověřit v provozních podmínkách možnosti a efektivitu zachytávání sedimentů a živin z vody odtékající při výloveh rybníků. Student vyhledá v dostupných pramenech informace o kvalitě vody v rybnících v obecné rovině. Následně se zaměří na kvalitu vody odtékající z rybníků při výloveh. Z dostupné literatury popíše rovněž proces zabahnování rybníků s důrazem na vodní erozi. Samostatnou kapitolu v literárním přehledu budou představovat bilance živin, zejména fosforu a dusíku s ohledem na technologii chovu ryb. Bude pojednáno o organickém a anorganickém hnojení rybníků, přikrmování a vápnění. Dalším pilířem přehledu budou technologie používané k odbahnování rybníků a možnosti nakládání se sedimentem s ohledem na právní prostředí ČR. Student popíše v práci dostupné technologie odbahnování rybníků společně s legislativou, která se k problematice nakládání se sedimenty vztahuje.

V experimentální části práce se student aktivně zapojí do provozního sledování účinnosti zachytávání sedimentů nesených vodou při výloveh rybníků. V rámci řešeného projektu z OP Rybářství s Blatenskou rybou, s.r.o. se bude podílet na budování hrázek pod rybníkem z balíku slámy/sena. Pomocí těchto hrázek bude docházet ke vzdouvání vody ve stokách pod rybníkem a sedimentaci unášených partikulí. V terénu budou měřeny průtoky a kvalita vody v základních parametrech (teplota, pH, kyslík, konduktivita apod.). V průběhu procesu přípravy a výlovu rybníku budou rovněž odebrány vzorky vody pro laboratorní analýzu (nerozpuštěné látky 105 a 550, celkový a rozpuštěný fosfor, celkový dusík, celkový a celkový organický uhlík, BSK5, CHSK, vápník apod.). Kvalita vody bude sledována na dvou profilech – pod hrází rybníka a pod hrázkami z balíku slámy/sena. Na základě naměřených dat provede student statistické porovnání účinnosti zachytávání sedimentu neseného vodou při výloveh rybníků. V závěru zhodnotí tuto technologii a doplní případná doporučení pro zavedení do rybářské praxe.

Rozsah pracovní zprávy: 50-70 stran  
Rozsah grafických prací: dle potřeby (10-20 tabulek a grafů)  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

### Seznam doporučené literatury:

- Duras, J., Potužák, J., 2012. Látkové bilance fosforu v produkčních a rekreačních rybnících, *Vodní Hospodářství*, č. 6, st. 210-216.
- Duras, J., Potužák, J., Marcel, M., 2015. Rybníky – producenti či příjemci znečištění? In: M. Urbánek (Editor), *Sborník referátů 3. ročníku odborné konference*. 19. a 20. 2. 2015. České Budějovice, Rybářské sdružení, České Budějovice: st. 67-72.
- Fiala, D., Rosendorf, P., 2010. Plošné zdroje fosforu v povodí VN Orlík. *Vodní hospodářství*, č. 7, s. 199-202.
- Knösche, R., Schreckenbach, K., Pfeifer, M., Weissenbach, H., 1998. Phosphor und Stickstoffbilanzen von Karpfenteichen. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 7, p 181-189.
- Krejčí, F., 2015. Vliv intenzity rybářského hospodaření na kvalitu vody v rybnících, *Bakalářská práce*, FROV JU, 89 s.
- Máchová, J., Faina, R., Mráz, J., Picková, J., Valentová, O., Beránková, P., Sudová, E., Svobodová, Z., 2010. Vliv intenzity rybářského hospodaření na kvalitu vody v rybnících a kvalitu masa ryb. *Bulletin VÚRH Vodňany* 46: 19-30.
- Mikšíková, K., Dostál, T., Vrána, K., Rosendorf, P., 2012. Transport sedimentu a fosforu při výlovu malých vodních nádrží. *Vodní Hospodářství*, č. 6, s. 203-208
- Pechar, L., 2015. Století eutrofizace rybníků – synergický efekt zvyšování zátěže živinami (fosforem a dusíkem) a nárůstu rybích obsádek *Vodní hospodářství*

č. 7. str. 1 – 6.

Pechar, L., Bastl, J., Hais, M., Kröpfelová, L., Pokorný, J., Štichová, J., Sulcová, J., 2005. Nutrient management in agricultural watersheds: a wetlands solution. 1. publ. Wageningen: Wageningen Academic Publ, 2005. ISBN 90-769-9861-2.

Potužák, J., Duras, J., 2015. Rybníční sediment – kam s ním? In: M. Urbánek (Editor), Sborník referátů 3. ročníku odborné konference. 19. a. 20. 2. 2015. České Budějovice, Rybářské sdružení, České Budějovice: st. 59-66.

Potužák, J., Duras, J., Kröpfelová, L., Šulcová, J., Baxová Chmelová I., Benedová, Z., Svoboda, T., Novotný, O., Pokorný, J., 2016. Rybníční sedimenty a nové možnosti recyklace živin a organických látek v zemědělské krajině – příkladová studie rybník Horusický, In: V. David a T. Davidová (editoři), Rybníky 2016 – Sborník příspěvků odborné konference konané 23. a 24. 6. 2015, ČZU Praha, st. 174-183.

Teodorowicz, M., 2013. Surface water quality and intensive fish culture, Arch. Pol. Fish. 21, str. 65-111.

Szumiec, M., A., Augustyn, D., Kolasa-Jamińska, B., 2006. Quality of waters discharged from fishponds during the fall carp (Cyprinus carpio L.) harvest, Arch. Pol. Fish. 14, str. 257-270.

Šálek, J., Míka, Z., Tresová, A., 1989. Rybníky a účelové nádrže. 1. Vydání. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 267 s. ISBN 80-03-00092-0.

Valentová, O., Máchová, J., Faina, R., 2012. Vliv intenzity rybářského hospodaření na kvalitu vody v rybnících. Bulletin VÚRH 48, Vodňany, s. 21 – 30.

Wojda, R. Zygmund, G., 2012. Wpływ stawów karpiovych na jakość, retencje i bilans wody zlewni. Komunikanty rybackie, č. 3 (128), st. 1-8.

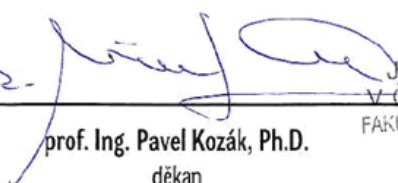
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ján Regenda, Ph.D.**  
Ústav akvakultury a ochrany vod

Konzultant diplomové práce: **MSc. Marcellin Rutegwa**  
Ústav akvakultury a ochrany vod

Datum zadání diplomové práce: **11. ledna 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **4. května 2020**

V Českých Budějovicích dne 25. února 2019

  
**prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.**  
děkan

  
**doc. Ing. Jan Mráz, Ph.D.**  
ředitel

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD  
Zátiší 728/II  
309 25 Vodňany (2)

## Obsah

1	Úvod.....	8
2	Literární přehled.....	10
1.	Historie a význam rybníků.....	10
2.	Kvalita vody v rybnících.....	10
3.	Koloběh živin v rybníce .....	13
3.1	Co jsou to živiny .....	14
3.1.1	Dusík.....	15
3.1.2	Fosfor.....	17
3.1.3	Křemík .....	19
3.1.4	Hořčík a tvrdost vody.....	19
3.1.5	Železo.....	20
3.1.6	Vápník a vápnění Uhlík .....	20
3.1.7	Uhlík .....	22
3.1.8	Živiny ze znečištění .....	23
3.1.9	Nerozpuštěné látky .....	24
3.1.10	Eutrofizace .....	24
4.	Zdroj sedimentu a živin v rybnících.....	25
4.1	Původ sedimentů a bahna.....	25
4.2	Vodní eroze.....	27
4.3	Anorganické a organické hnojení rybníků.....	28
4.4	Příkrmování ryb.....	28
5.	Typy výlovů .....	32
6.	Obsah živin v rybniční vodě a sedimentu .....	33
6.1	Odbahnění a následné využití bahna, sedimentů a živin z rybníků .....	42
6.2	Současná legislativní problematika s využitím bahna z rybníka.....	43
6.3	Možnosti recyklace a využití sedimentů.....	43
6.3.1	Přípravné práce pro vlastní odbahňování.....	43
6.3.2	Odbahňování.....	44
6.3.2.1	Suchá metoda odbahňování.....	45
6.3.2.2	Mokrý metoda odbahňování.....	46
6.3.2.3.	Využití vytěženého sedimentu z rybníků.....	47

3. Materiál a metodika.....	51
3.1 Charakteristika rybníků.....	51
3.2 Odběr vzorků vody a sedimentu in situ.....	53
3.3 Základní fyzikálně chemické parametry vody a jejich měření.....	55
3.4 Analýza vzorků bahna a vody.....	56
3.5 Budování a odstraňování barier.....	58
3.6 Výpočet objemu hrázek, průtoku vody, doby zdržení a bilance živin.....	59
3.7. Zpracování dat.....	62
4. Výsledky.....	63
4.1 Jenšovský 2016.....	63
4.2. Podsilničný 2016.....	69
4.3. Novokoželský 2016.....	74
4.4 Ouhlín 2016.....	79
4.5 Brdský 2017.....	85
4.6 Vrbice 2017.....	90
4.7 Pláňavy 2017.....	97
4.8 Novokoželský 2017.....	105
4.9 Mokrý 2017.....	112
4.10 Celkové zhodnocení.....	121
4.11 Složení zachyceného sedimentu.....	127
5. Diskuse.....	131
6. Závěr.....	142
7. Seznam použité literatury.....	144
8. Abstrakt.....	154
9. Abstract.....	156

## 1. Úvod

Živiny jsou nezbytnou součástí vodních ekosystémů při podpoře rostlin, řas a ostatního vodního života (Danner, 2011). Rybníky mají obrovský význam v zemědělské krajině primárně v interakci živin mezi krajinou a povrchovými vodami (Marval a kol., 2019). Produkce akvakultury posledních několik desetiletí celosvětově roste. Tento trend je pozorován, jak u intenzivních, tak také u extenzivních chovů ryb. Se zvyšující se produkcí, je možné očekávat v sedimentech rybníků vyšší podíl zbytků z krmiv, výkalů a dalších odpadních produktů z chovu ryb. To v konečném důsledku může přispět k navýšení sedimentů v rybnících. Je nutné, aby byly možnosti jak sediment z rybníků pravidelně odstraňovat a tím udržovat vhodné podmínky akvakultury k chovu ryb (Drózdž a kol., 2020). Pokud je ve vodě příliš mnoho živin, tak mohou způsobit celou řadu problémů s obhospodařováním rybníků (Danner, 2011). Rybářství v této době musí řešit mimo problémů s chovem a zdravotním stavem ryb, také marketing a na svém významu narůstají také problémy ekologické, jelikož se legislativně stále zpřísňují požadavky na kvalitu vody v rybnících, a to zejména na kvalitu vody odtékající z rybníků. Z pohledu udržení kvality vody jsou na hospodařící rybáře velmi často kladeny požadavky, jež jsou v praxi velmi obtížně splnitelné (Máchová a kol., 2010). Voda v rybnících je nejčastěji zásobena živinami z hospodaření, jež souvisí s používáním intenzifikačních prostředků, kterými jsou hnojení, příkrmování popř. další tzv. meliorační zásahy. Snížení koncentrace živin ve vodách, je již poměrnou dobu jedním z nejvíce řešených témat pro studie a výzkumy v oblastech akvakultury (Jahan a kol., 2000; Cho a Bureau, 2001). Odstraňováním sedimentu z rybníků se může půda navrátit zpět do krajiny a být opětovně využita. Rybníční sediment obsahuje sloučeniny, které podléhají rychlé degradaci a vytváří nepříjemný zápach. Nesprávná manipulace a likvidace rybníčního bahna může vést ke kontaminaci podzemních vod dusičnany, stejně tak přispět k eutrofizaci povrchových vod (Mizanur a kol., 2004). Systematicky je důležité se věnovat nejenom minimalizaci většinou masového úniku fosforu, dusíku a organickými látkami bohatých částic sedimentu při výlovu rybníků. V tomhle ohledu je důležité dosáhnout záležitosti až do uzavření cyklu v návratu sedimentu zpět na ornou půdu. Současně s tím je nezbytné optimalizovat stávající legislativy, jelikož i ve víceméně neznečištěných rybnících může složení rybníčních usazenin v některých parametrech (obvykle kovy) překračovat hodnoty pro možnost aplikace na zemědělskou půdu (Potužák a Duras, 2018).



Budoucí výzkumné práce by se měly zaměřit na analýzu rybníčních sedimentů, jejich složení, hygienické bezpečnosti a se stanovením množství produkce sedimentů z rybníčních akvakultur. Bylo by v budoucnu velice příhodné učiniti další studie týkající se účinné tzv. biokonverze rybníčních sedimentů jako produkt pro využití v zemědělství. Na danou biokonverzi by bylo možné navázat integrovaný systém hospodaření mezi rybářstvím a zemědělstvím s následným využitím rybníčních sedimentů a dalších organických zbytků z akvakultury (Drózd a kol., 2020).

Intenzivní dotace živin do rybníků jak přímá, jež je do značné míry nutnou součástí rybníčního hospodaření, tak nepřímá, což je přísun živin do rybníků z povodí, trvá více než 50 let. Tím změnit situaci, v jaké se většina rybníků nachází nebude rychlé ani snadné. To co v rybářství není možné ovlivnit, je nekontrolovatelný přísun živin a organických látek z povodí. Jestliže si mají rybníky udržet potenciál pro produkci kvalitních ryb a souvisle s tím plnit roli významných krajinných prvků, tak postupné snižování živinové zátěže rybníků bude v příštím období velmi aktuálním úkolem. Pro zmírnění eutrofizace rybníků musí být snížený přísun živin do rybníků z jejich povodí (Pechar, 2015).

## 2. Literární přehled

### 1. Historie a význam rybníků

Nejstarší rybníky byly na území našeho státu založeny před 800–1 000 lety, jsou to uměle vybudované nádrže. Je zcela na místě rybníky považovat za lokality s velkou mírou přirozených ekologických vlastností a s velkým přírodním potenciálem (Pechar, 2015). Rybníkářství je v podstatě jednou z forem zemědělství. Při tomto hospodářství je voda zadržována na pozemku za účelem chovu ryb. Rybníkem je nazývána taková vodní nádrž, u které je možné libovolně manipulovat s vodní hladinou a řídit především odtok vody. (Dyk, 1947)

### 2. Kvalita vody v rybnících – obecná rovina

Základním prostředím pro život ryb a organismů v rybnících je voda (Dyk a Dyk, 1947; Štěrba, 1986; Čítek a kol., 1998; Hartman a kol., 2005). Teplota vody je jeden z nejvýznamnějších fyzikálních faktorů ovlivňujících životní děje ve vodním prostředí (Dyk a Dyk, 1947; Kostomarov, 1958; Hartman a kol., 2005). U rybníků závisí teplota vody na počasí, slunečním záření, charakteru rybníka, hloubce, pohybu a míchání vody, průhlednosti, barvě, průtoku vody nádrží a dalších činitelích. Zdrojem tepla ve vodě je sluneční energie: absorpcí paprsků, dále předávání tepla ze vzduchu a malým podílem také dnem nádrže popř. vodoteče (Hartman a kol., 2005).

Parametry určující životní podmínky v rybnících mimo vody jsou také kyslík a potrava (Dyk a Dyk, 1947). Půda je dá se říci nedílnou součástí životního prostředí ryb, neboť vlastnosti vody jsou vždy značnou měrou dány fyzikálním, chemickým a biologickým složením půdy na dně rybníka (Egert a Štědranský, 1969). Jakost vody je brána jako základní činitel rybníčního hospodářství. Na intenzitu biologického koloběhu látek v rybníce působí více činitelů, mimo výše vyjmenované to je také obsah oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), světlo apod. (Kostomarov, 1958). U produkčních rybníků, jež jsou určeny k chovu kapra jsou podstatnější teplotní změny v průběhu roku do určité míry v podstatě žádoucí (Hartman a kol., 2005). Voda v rybnících by měla obsahovat optimální množství biogenních prvků. Současně s tím splňovat příslušné fyzikální a chemické vlastnosti a legislativně dané limity.

Rozmanitým složením s účastí dalších rozličných činitelů je rybníční voda velmi nestálým prostředím, ve kterém se velmi často dějí změny (Čítek a kol., 1998). Dle Říhy

(1987) složení přirozené povrchové vody závisí na geologickém a pedologickém prostředí, se kterým průsaky ovlivňuje složení určitých iontů. Dodává abiotické neboli fyzikogeografické složky plné konzervativní funkci ve formování akvatických ekosystémů. V mírném klimatickém pásmu mění sezónní režimy cirkulace vody atd. Kvalita vody v rybnících je často výrazně ovlivněna historií hospodaření, oproti současnému hospodaření. Pro co nejvyšší produkci ryb byly rybníky (a některé dodnes jsou) hnojeny, k tomu jsou ryby přikrmovány (obilovinami). Velice často rybníky sloužily (mnohdy slouží dosud) pro biologické dočišťování odpadních vod (Máchová a kol., 2010).

Z obecného hlediska má sledování kvality vody celospolečenský význam, jelikož ryby jsou indikátory života ve vodě a jsou také aktivními spolučiniteli samočisticích procesů ve vodě, čímž se plní úloha ochrana životního prostředí (Egert a kol., 1984).

Život v rybnících je závislý především na množství kyslíku ( $O_2$ ). Ve sladké vodě je při teplotě  $10\text{ }^\circ\text{C}$  rozpuštěno v 1 litru vody  $11,79\text{ mg.l}^{-1}$   $O_2$ , zatímco ve vzduchu je ho obsaženo přibližně  $30\times$  více ( $353,7\text{ mg.l}^{-1}$ ). To znamená, že obsah kyslíku ve vodě je zlomkem obsahu kyslíku ve vzduchu. Ryby a vodní živočichové žijí tedy v prostředí, které je z hlediska obsahu kyslíku méně příznivé. Charakteristické je také značné kolísání množství kyslíku při střídání dne a noci (fotosyntéza řas a rostlin), změna teplot vody, množství organických látek, spotřeba kyslíku rybami a ostatními živočichy (Egert a kol., 1969; Čítek a kol., 1998).

Organické látky ve vodě působí příznivě i nepříznivě. Příznivě působí obohacováním vody o živiny a zvyšují také přirozenou úrodnost vody. Nepříznivě působí jen při nadměrném výskytu, popřípadě při rychlém rozkladu, kdy se spotřebovává kyslík a mimo to vznikají jedovaté plyny amoniak a sirovodík. Tvoří se také methan, který sice není pro ryby prudce jedovatý, avšak z vody vytěsňuje kyslík. Vody s nízkou teplotou hodící se pro chov lososovitých ryb, obsahují povětšinou nízkou koncentraci organických látek. Oproti tomu teplejší vody, obsahují větší množství organických látek a hodí se k chovu nedravých kaprovitých ryb (Egert a Štědronský, 1969).

Kapr obecný (*Cyprinus carpio*), jež je nejčastěji chovaným druhem v rybnících v ČR potřebuje ke svému normálnímu životu  $5\text{ mg.l}^{-1}$  a více  $O_2$ , při koncentraci  $O_2$  ve vodě pod  $3,5\text{ mg.l}^{-1}$  dochází k narušení jeho metabolismu. Při pokračujícím poklesu obsahu kyslíku pod  $3\text{ mg.l}^{-1}$ , tak u kapra nastávají příznaky dušení a započne nouzové dýchání. To platí také pro ostatní vodní živočichy (Egert a kol., 1969). Pro rybníkářství a rybníky eutrofního charakteru je podstatné, aby voda měla vlastnosti, které umožní v

rybníce vytvoření vhodných podmínek vzhledem k budoucímu účelu rybníka. (Kostomarov, 1958).

Zápach vody nasvědčuje tomu, že ve vodě dochází k rozkladu organických látek při nedostatku kyslíku, nebo je voda znečištěna odpadními vodami (Egert a kol., 1984). Zákal vody je další vlastností vody, jež je na rozdíl od barvy dána pouze přítomností mikroskopických organismů ve vodě. Zdroje těchto látek jsou prakticky nespočetné, vedle planktonu ho mohou také tvořit jemně rozptýlené látky organického původu, naplaveniny a jiné (Štěpánek a kol., 1979).

V povrchové vodě probíhá nepřetržitě a současně velké množství biochemických pochodů. Při těchto procesech se na jedné straně rozkládá organická hmota a na straně druhé se zajišťuje tvorba nové živé organické hmoty. Organická hmota je rozkládána, zejména působením bakterií, které zpřístupňují živiny ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  a další) řasám a vodním rostlinám (Egert a kol., 1984).

Zjednodušeně lze konstatovat, že voda v rybnících je v celém svém vodním sloupci velmi silně oživena ve srovnání s jezery (Šterba, 1986).

K přežití a růstu ryb v rybnících je nezbytný dobrý stav vody, jelikož celý životní proces ryb je přímo závislý na kvalitě vody v rybníce. Biologické, fyzikální a chemické vlastnosti vody by měli být nejvíce blízké přirozenému prostředí pro určitý druh ryby. Úspěšný chov ryb v rybníce závisí do značné míry na kvalitě vody v rybníce. Jakost vody bývá definována jako vhodnost vody pro přežití a optimální růst chovaných ryb. Čím vyšší je stupeň intenzifikace chovu, tak tím lze očekávat větší problémy s kvalitou vody. Z hlediska managementu kvality vody se regulují podmínky prostředí tak, aby byly pokud možno v optimálním rozmezí hodnot pro chované organismy a ryby. Většina problémů s kvalitou vody, se kterými se potýkají rybí farmy lze kategorizovat jako fyzikální a chemické (Senesie, 2015).

Téměř všechna organická hmota ve vodě vzniká fotosyntetickou asimilací rostlin. V rybnících je snaha produkovat převážnou část organické hmoty rostlinným planktonem – fytoplanktonem, nikoli prostřednictvím vyšších vodních rostlin. Fytoplankton je majoritním zdrojem výživy zooplanktonu, např. filtrujících perlooček rodu *Daphnia*. Rozvoj zooplanktonu z pohledu množství a kvality je napřímo úměrný zastoupení drobných zelených řas, které jsou potravou planktonu a zajišťují okysličování vody. Na produkci zooplanktonu a bentosu navazuje produkce biomasy ryb (Egert a kol., 1984). V rybnících dochází ke kolísání hodnoty pH, a to z velké míry působením světla a tmy (den a noc). Ve dne fotosyntetizující organismy produkují kyslík, vstřebávají oxid

uhličitý, čímž zvyšují pH. Naopak je tomu v noci, kdy při dýchání spotřebovávají z vody kyslík a produkují oxid uhličitý (Lellák a Kubíček, 1991). Typické hodnoty chemismu vody jsou uvedeny v Tab.č. 1 Hartman a kol. (2005).

**Tabulka 1** Typické hodnoty chemismu vody v rybnících (Hartman a kol., 2005).

Parametr	Jednotka	Rozeptí	Střed
pH		5,5–9,5	7,7
KNK <sub>4,5</sub>	mmol.l <sup>-1</sup>	0,25–6	2
BSK <sub>5</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	1–30	6
CHSK <sub>mn</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	4–30	12
NH <sub>3</sub> – N	mg.l <sup>-1</sup>	0,01–1,2	0,15
N – NO <sub>3</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	0,05–3	0,24
N – NO <sub>2</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	0,001–0,08	0,005
N organický	mg.l <sup>-1</sup>	0,6–4	1,5
P celkový	mg.l <sup>-1</sup>	0,025–1,4	0,2
Na <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	4–85	11
K <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	1–35	5
Ca <sup>2+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	10–100	45
Mg <sup>2+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	1–60	6
Cl <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	5–90	20
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	30–250	60
Fe	mg.l <sup>-1</sup>	0,05–0,6	0,15
Mn	mg.l <sup>-1</sup>	0–0,2	0,03
rozpuštěné látky	mg.l <sup>-1</sup>	100–700	300
nerozpuštěné látky	mg.l <sup>-1</sup>	1–60	10

### 3. Koloběh živin v rybníce

Koloběh živin je jedním ze základních znaků ekosystému. Neustále probíhají přeměny látek, jež jsou vzájemně propojeny ve více či méně uzavřených kruzích. Jedná se především o koloběhy biogenních prvků. Biogenní prvky jsou složeny z anorganických sloučenin. Tyto látky jsou komponenty pro organické sloučeniny, pro součást tzv. protoplazmy (aktivní metabolismus živé buňky v organismech) (Hartman a kol., 2005). Vlivem rybnického dna, změnou teploty, působením světla, hospodařením a dalšími činnostmi ve vodě nastávají rozličné biochemické pochody (Kostomarov, 1958). Potravní řetězce nejsou od sebe ve vodách izolovány. Tvoří potravní síť společenstev organismů (Hartman a kol., 2005). Rybnická půda a přítok vody do rybníka dodávají přirozené

živiny (Dyk, 1947). Rybníční dno významně ovlivňuje výsledky hospodaření na rybnících. Povrchové vrstvy tzv. aktivního bahna poutají živiny přivedené do rybníka hnojivými splachy i dodávané hnojením a tím tyto vrstvy bahna ovlivňují koloběh živin. Vrstvy aktivního bahna živin nejen poutají, ale také je zpětně uvolňují do vody a jsou osídleny značným množstvím mikroorganismů. Ty jsou velmi důležité pro koloběh živin v rybníce. Jsou také stanovištěm tzv. půdní zvířeny, která je podstatnou přirozenou složkou potravy ryb (Čítek a kol., 1998).

Látkové bilance v rybnících prezentují velice užitečný pohled na situaci v rybníce, zejména u rybníků, u kterých je nutné posoudit velikost (podílovou přijatelnost) vstupujícího, např. znečištění odpadními vodami. Látkové bilance totiž pozitivně korelují se skutečnými živinovými poměry v daném rybníku a mohou tak výsledky napovědět i o možnostech, jak řešit a zlepšit jejich případnou hodnotu (Potužák a Duras, 2018). Rybníky jsou podstatnými přírodě blízkými regulátory látkových toků v povodí. Tento význam mají rybníky díky přirozené retenci živin – účinnému zadržování např. fosforu a odstranění sloučenin dusíku z vody, jež se do rybníků dostávají z různých zdrojů znečištění či rybářského hospodaření (Knösche a kol., 2000; Duras a kol., 2015; Potužák a Duras, 2015).

### **3.1 Co jsou to živiny**

Živiny jsou anorganické prvky, nebo jejich deriváty. Přirozeně se vyskytují v životním prostředí v rozličných formách, které jsou využívány živými organismy (rostliny, zvířata, mikroby). Organismy je potřebují pro svůj růst, tvorbu biomasy (tkáň, buňky) a reprodukci. Skládají se z nich organické produkty jako jsou hormony a enzymy. Jsou surovinami pro anabolické procesy a současně jsou produkty z katabolických procesů (Koushik a Chakraborty, 2014). Vodní i bažinné rostliny vytváří z minerálních látek a živin současně za fotosyntézy s oxidem uhličitým organickou hmotu, která v čerstvém stavu nebo ve formě odumřelých částí (detritu) slouží jako živiny (potrava) pro drobné vodní společenstvo (Egert a kol., 1984). Živiny v rybníce jsou zdrojem, který využívají prvotně sinice a poté až jiné organismy.

Živinové anorganické látky se do sladké vody dostávají jednak rozpouštěním nerostného podloží a dále z atmosférických srážek, které do vody přinášejí vzduch a také kyseliny (uhličitou, dusičnou a jiné). Dále z povodí přivádějí anorganické živiny, buď rozpuštěné, nebo splachované. Srážkové vody tím přinášejí další organické živiny. Proto

čím větší, úživnější a úrodnější je povodí, tím koncentrovanější je obsah živin ve vodě (Dyk a Dyk, 1947).

Vypouštění rybníků při výloveh, stejně tak dříve praktikované letnění rybníků, různá velikost rybí obsádky, včetně její absence a různý přísun živin, tak to jsou klíčové faktory udávající stav biocenóz rybníků. Působením zmiňovaných faktorů na stav rybníční biocenózy má podobné účinky, které mají přirozené procesy odpovídající zaplavované nivě řeky (Pechar, 2015).

Rozbor vody pro obsah živin se provádí nejčastěji z důvodu regulace rostlin a řas. Majitelé rybníků se nejčastěji zajímají o obsah fosforu a dusíku, někdy také křemíku. Tyto prvky jsou limitujícími živinami pro výskyt a rozvoj řasového zákalu či povlaku. V koloběhu živin hraje roli také skupina důležitých mikroživin, jimiž jsou mangan a zinek (Danner, 2011). Zvýšený obsah živin podpoří nejprve bohatý rozvoj bakterií, prvoků a poté jednobuněčných vodních rostlin (řasy, sinice). Živiny z řas, prvoků, bakterií jsou potravní základnou pro živočišný plankton, které je potravní základnou ryb v rybnících (Štěrbá, 1986).

Mezi rozpuštěné látky minerální povahy se v rybníčních vodách zařazují především makroelementy (N, P, Ca) a také další prvky potřebné pro odpovídající funkci prostředí v rybníce. Celkový obsah rozpuštěných látek by neměl překračovat  $800 \text{ mg.l}^{-1}$  (Hartman a Regenda, 2014). O koncentraci živin, především fosforu, se opírá většina tabulek a metod hodnocení stupňů trofie (Adámek a kol., 2008).

### 3.1.1 Dusík

Dusík se ve vodě vyskytuje ve formě amoniaku ( $\text{NH}_3^-$ ), amonných iontů ( $\text{NH}_4^+$ ), dusitanových iontů ( $\text{NO}_2^-$ ), dusičnanových iontů ( $\text{NO}_3^-$ ) (Pitter, 2009). Dusík je čtvrtou nejvíce obsaženou živinou živé hmoty (po uhlíku, kyslíku a vodíku) (Šafaříková a Kouřil, 2006). Dále je dusík navázaný v organických sloučeninách, jsou to aminokyseliny, bílkoviny, močovina a další (Horáková, 2003). Požadavky ryb na příjem proteinů jsou obecně vyšší, ve srovnání s ostatními živočichy, jež jsou zdrojem potravy pro člověka (Fournier a kol., 2002). Obecně je popisováno, že bílkoviny obsahují kolem 16 % dusíku (Przybyl, 1999). Štěpením (trávením) bílkovin v zažívacím traktu ryb vznikají dusíkaté metabolity, které se vylučováním dostávají do vody. Množství vyloučených dusíkatých látek se pohybuje v rozmezí 64–89 % z celkového množství přijatého dusíku (Hargraves, 1998). Největším a nejpodstatnějším výsledným produktem při katabolismu (rozkladu) bílkovin u ryb je amoniak (Kaushik, 1995)., Některé druhy ryb však vylučují dusíkaté

látky ve formě močoviny (Wood, 1993). Jako další dusíkaté „odpadní“ produkty metabolismu ryb uvádějí Kajimura a kol. (2004) kreatin, kreatinin, trimethylamin-N-oxid. Amoniak sladkovodní ryby vylučují nejčastěji přes žaberní dýchací aparát. Nesprávné dávkování krmiv rybám, sebou přináší problémy s trávením a využitím živin z krmiva (Kaushik, 1995). Efektivita využití živin rybami je spjata se schopností rybníků redukovat zastoupení dusíku přeměnou (asimilací) dusíkatých látek (Hargreaves, 1998). V rybničním ekosystému může být koncentrace amoniaku, dusičnanů a dalších dusíkatých sloučenin ovlivněna rozličnými biologickými pochody, které nelze do detailu předvídat a nasimulovat (Thomas a Piedrahita, 1998). Podstatným procesem koloběhu dusíku ve vodě je děj nitrifikace, jež je anaerobním procesem a probíhá zejména v blízkosti dna rybníků (Hargreaves, 1998). Ačkoliv k denitrifikaci dochází za anoxických podmínek, tak je z poměrné části závislá na koncentraci kyslíku, který je potřebný a limitující při nitrifikaci, při které přeměnou (oxidací) amoniaku vznikají dusičnany (Rysgaard a kol., 1994). Dusičnany, jež jsou vstupní látkou pro denitrifikaci, jsou při ní proměněny přes dusitany na elementární dusík, který se dostává přes vodní hladinu pomocí samovolné difuze do ovzduší (Pitter, 1999). Efektivní využití živin rybami je spjata se schopností rybníků redukovat zastoupení dusíku přeměnou dusíkatých látek (Hargreaves, 1998). V rybníkářství Čítek a kol. (1998) doporučují hnojením doplňovat obsah dusíku v rybniční vodě na koncentraci  $1,5 \text{ mg.l}^{-1}$  (vyjádřeno jako TN?).

Studii na VN Němčice byl doložen fakt o tom, že u některých vodních děl nedostatek dusičnanových iontů může eutrofizační projevy ve vodě dokonce podstatně zhoršovat. Vysvětlováno je to v kontextu, kdy v době letní anoxie (nedostatku kyslíku ve vodě) jsou dusičnany jediným zdrojem kyslíku v hypolimniu (vrstva vody nade dnem rybníka), a do chvíle kdy je voda nade dnem alespoň nepatrně okysličená, tak nedochází k uvolňování fosforu ze sedimentu na dně. Naprosto dominantním zdrojem dusíku v povodí VN (vodních nádrží) je zemědělská půda. Bodové zdroje dusíku mají význam zcela okrajový pro eutrofizaci (Kvítek a kol., 2018).



### 3.1.2 Fosfor

Fosfor je esenciální minerál v buněčných membránách a nukleových kyselinách. Dále je hlavní strukturální složkou kosterních tkání a je napřímo zapojený do energetických procesů (Lellák a Kubíček, 1991; NRC, 1993). Makronutriční fosfor nejvíce exponenciálně podporuje rozvoj řas, jelikož je nejčastěji limitující živinou sladkých vod. Pokud řasy rostou tak spotřebují veškerý dostupný fosfor. Fosfor je živinou, nad níž může rybářský management převzít významnou kontrolu. Pokud je identifikovaný zdroj fosforu, tak je možné provést adekvátní účinná opatření k jeho eliminaci (Danner, 2011).

Z pohledu eutrofizace je fosfor považovaný za nejrizikovější živinu. Komplikujícím faktorem fosforu je, že celá naše krajina je dnes zásobena fosforem podstatně více, než bývalo běžné (Duras a Potužák, 2016). Velkým problémem se stává reaktivní forma fosforu ve vodě. Ta je hlavní formou P jako živiny pro růst fytoplanktonu. Výskyt fosforu ve vodě pochází z bodových, ale také z plošných zemědělských zdrojů. Mezi jeden z hlavních zdrojů fosforu v povodí vodních nádrží a rybníků jsou považovány komunální a průmyslové odpadní vody (Kvítek a kol., 2018). Obecně je velmi obtížné zabránit nadměrnému vstupu fosforu do rybníků (Duras a Potužák, 2016). Přesun fosforu z půdy či sedimentu rybníka je závislé na zrnitosti půdy či sedimentu. Rozdílná velikost půdních částic určuje diferenciaci jednotlivých částic v odolnosti vůči povětrnostním vlivům, erozi a přesunu v krajině. Obsah P v rybníční půdě (na dně, okrajích rybníků) je nejvyšší v jemných částicích sedimentu/půdy. Nejméně fosforu obsahují hrubé písčité okraje rybníků (Kvítek a kol., 2018; Kopp a kol., 2019).

Dle propočtů Valentové a kol. (2012) po odumření a následném rozkladu organismu se fosfor uvolňuje zpět do vodního prostředí, a to jako asimilovaný fosfát, jež je částečně navázaný ve dnových sedimentech jako  $\text{FePO}_4$  (fosforečnan železitý). V letních a zimních měsících, kdy dochází u dna ke kyslíkovým deficitům, dochází k redukci trojmocné formy železa (nerozpustné) na dvojmocnou, jež je rozpustná. Tím dochází k uvolňování vázaného fosforu ze sedimentů ve využitelné formě. Tím se v sedimentu blokované fosforečnany částečně dostávají do vody nad sedimentem a během následně jarní a nebo podzimní cirkulaci vody se dostanou do celého vodního sloupce. Z pohledu celkové bilance koloběhu fosforu, ale převládá transformace do sedimentů a ne naopak do vody. Obecně největší podíl na koloběhu této živiny ve vodě má látkový metabolismus organismů, jelikož svojí exkrecí dodávají fosfor do vodního prostředí ve formě, kterou přijímají rostliny. V době vysoké míry fotosyntézy může docházet k vyčerpání reaktivní

formy fosforu, až téměř k nulovým hodnotám (období jarního maxima rozvoje fytoplanktonu). Naopak, v průběhu období deprese fytoplanktonu může koncentrace celkového fosforu dosahovat velmi vysokých hodnot. K tomu Lellák a Kubiček (1991) dodávají, že obsah fosforu vázaného v biomase je v zrcadlovém poměru s reaktivním fosforem. Ryby jsou v rybnících jakýmsi dynamem vodních ekosystémů. Urychlují koloběh fosforu a zvyšují tak úživnost rybníka. Tím tedy působí pro-eutrofizačně (ichtyoeutrofizace vody). Ryby při trávení, totiž uvolní fosfor z potravy a vyloučí ho zpět do vody. Následně je využitý řasami a samozřejmě také sinicemi (Duras a Potužák, 2016).

Fosfor jako živinu dokáží ryby absorbovat do svého těla z vody (Jelínek a kol., 2003). V neznečištěném vodním prostředí je koncentrace fosforu ve vodě nízká, proto je podstatné fosfor dodávat ve formě krmiv (Lazzari a Baldisserotto, 2008). Fosfor je limitující živinou pro rozvoj řas a má velký význam ve spojitosti s eutrofizací vod (Pechar, 2006). Ve vstřebávání fosforu má svoji podstatnou roli také přítomnost vápníku. Nízká koncentrace vápníku ve vodě může u ryb negativně ovlivňovat využitelnost, množství a vhodné formy fosforu (Lall, 1991). Obsah fosforu v rybnících by se dle rybářského managementu měl doplňovat hnojením na 0,2–0,3 mg.l<sup>-1</sup> (Čítek a kol., 1998). Ovšem tato koncentrace je již v rozporu s nařízením vlády č. 401/2015 Sb.

Vzhledem ke hnojení, příkrmování, způsobu hospodaření a využití rybníků i jako deponie předčištěné odpadní vody, je zřejmé zatížení živinami. Zejména se do vody dostává více fosforu, nežli rybník dokáže v produkci předat do přírůstku ryb.

V dnešní době je obsah celkového fosforu v rybnících jedním z hlavních limitních faktorů omezující rybníční hospodaření. Imisní standard dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. udává maximální hodnotu celkového fosforu (P<sub>celk.</sub>) 0,15 mg.l<sup>-1</sup>. V rybnících, ve kterých ryby mají pouze přirozenou potravu, tak k překračování tohoto limitu příliš nedochází. Zatímco v rybnících s příkrmováním během vegetační sezony. Jsou známy případy s překročením limitní hodnoty (Valentová a kol., 2012).

Janah a kol. (2000) ve své studii testovali obilná krmiva (kukuřice, žito, ječmen, pšenici, oves) a zjistili, že při chovu kapra obecného (*Cyprinus carpio*) se do vody uvolní mezi 9,1–18,8 kg celkového fosforu (TP) na 1 tunu produkce. Při porovnání se pstruhem duhovým (*Oncorhynchus mykiss*) je to několikanásobně vyšší hodnota TP, jelikož u pstruha se udává uvolněné množství TP do 3 kg na 1 tunu produkce ryb (Cho a Bureau, 1997; Jahan a kol., 2000).

### 3.1.3 Křemík

Křemík se nikdy ve vodním prostředí nevyskytuje ve formě volného prvku (Lellák a Kubíček, 1991), ale v koloidní formě a nebo jako křemičitan. Přírodním zdrojem křemíku jsou zvětrávající sedimenty dna tvořené živcem (Říhová–Ambrožová, 2007). Tento prvek je nejvíce obsažený ve zkřemenělých membránách rozsivek *Bacillariophyceae* (Lellák a Kubíček, 1991). Dále je křemík potřebný pro buněčné stěny cyst řas zlativek *Chrysoptera* a je základem pro stavbu křemičitých jehlic sladkovodních živočišných hub, a také planktonních a nárostových řas (Říhová–Ambrožová, 2007). Buněčné blány rozsivek jsou tvořeny z 25–60 % křemitou složkou. Křemité schránky řas, zejména rozsivek jsou neustále ukládány do sedimentu vodních nádrží (Lellák a Kubíček, 1991). Vzhledem k nízké rozpustnosti tohoto prvku ve vodě je koloběh křemíku mezi abiotickým a biotickým prostředím velice ztížený. Průměrná koncentrace oxidu křemičitého v řekách je  $13 \text{ mg.l}^{-1}$ , v jezerech a vodních nádržích  $0,5\text{--}60 \text{ mg.l}^{-1}$  (Říhová–Ambrožová, 2007).

### 3.1.4 Hořčík a tvrdost vody

Za velice důležitou vlastnost vody uvádějí Hartman a kol. (1998) celkovou sumu vápníku a hořčíku, dříve označovanou jako tvrdost vody. Je významná při posuzování využití vody pro chov ryb a nebo k technickým účelům. Zdrojem vody pro stojaté povrchové vody (mezi něž patří rybníky) jsou především atmosférické srážky. Voda z atmosférických srážek má převážně nízkou koncentraci vápníku a hořčíku, proto jsou srážkové vody označovány jako „měkké“ vody. Obdobné je to také u tekoucích vod, jež jsou přítokem pro většinu rybníků. Obecně je publikováno tvrzení, že chovu ryb nevyhovuje ani příliš měkká ani tvrdá voda. Kopp (2015) popisuje se obvyklý obsah vápníku a hořčíku v rybnících na úrovni  $20\text{--}60 \text{ mg.l}^{-1}$ . Pro ryby je v tomto ohledu vhodná voda s obsahem  $0,5\text{--}1,5 \text{ mmol.l}^{-1}$  sumy vápníku a hořčíku. To odpovídá přibližně  $3\text{--}9 \text{ }^{\circ}\text{N}$  tvrdosti. (Hartman a kol., 1998)

Hořčík je limitujícím prvkem pro růst planktonních řas, ale pouze ve vodách s vysokým obsahem živiny sodíku, jelikož sodík nahrazuje hořčík v chemických vazbách buněk. Hořčík je nezbytným prvkem pro všechny buňky a podílí se na přenosu fosforu v energetickém systému ATP na ADP (buněčné dýchání) (Lellák a Kubíček, 1991).

### 3.1.5 Železo

Železo se účastní mnoha enzymatických a oxidačně metabolických procesů v tělech organismů. Je podstatnou součástí asimilačních a krevních barviv, proto je nepostradatelným prvkem pro rostliny a živočichy (Lellák a Kubíček, 1991). Železo je nezbytný biogenní prvek pro vodní organismy (Lellák a Kubíček, 1991; Hartman a kol., 2005) Železo se ve vodách vyskytuje převážně jen v malém množství (nanejvýš několik  $\text{mg.l}^{-1}$ ) ve formě železnatých uhličitanů, které se však v alkalických a kyslíkatých vodách oxidují na nerozpustný, rezavě zbarvený hydroxid  $\text{Fe(OH)}_3$  – tzv. bahenní ruda (Hušek, 1946). Vyšší koncentrace železa  $10\text{--}100 \text{ mg.l}^{-1}$  v aerobním prostředí povrchových vod se oxidují na nerozpustné tzv. „koloidní“ sraženiny. Tyto sloučeniny Fe ohrožují ryby a další vodní živočichy zadušením, a to v důsledku vytvoření železitého povlaku na žábrech a těle ryb. K usazování na rybách napomáhá mírně alkalická reakce povrchu jejich těl (Hartman a kol., 2005).

### 3.1.6 Vápník a vápnění

Vápník jako živina se v povrchových vodách vyskytuje převážně ve formě hydrogenuhličitanů a uhličitanů, v menší míře než fosforečnanů, síranů apod. V kombinaci s oxidem uhličitým ovlivňuje základní vlastnosti vody, pH, neutralizační kapacitu, tvrdost vody atd. (Hartman a kol., 2005). Vápník je v rybničním prostředí nepostradatelnou živinou. Plní několik důležitých úkolů, podílí se na stavbě těla organismů a ovlivňuje produkci rybníka. Pro dosažení přírůstku ryb o 1 tunu je ve vodě nutný obsah zhruba 12,5 kg čistého vápníku  $\text{Ca}^{2+}$  (Vinberg a Ljachnovič, 1976; Hartman, 2004). Vápník je stavebním materiálem pro buňky rostlin, schránky korýšů, dalších bezobratlých organismů a pro těla ryb. U povrchových vod se vápníku přisuzuje funkce tzv. „biokatalyzátoru, který urychluje mineralizační procesy neživých organických látek k ozdravení vodního prostředí (Hartman a kol., 2005). Množství  $\text{CaO}$  (oxidu vápenatého) má pro většinu organismů pouze nepřímý vliv, jako činitel ovlivňující pH. Měkkýši a jiné organismy, jež si zhotovují vápenité skořápky, tak dovedou svou potřebu vápníku velice dobře krýt i ve vodách chudých na vápník, jak je viděno např. u perlorodky říční (*Margaritifera margaritifera*), která obývá zejména kyselé vody s malým obsahem alkalických látek (Šrámek a Hušek, 1946). Ionty vápníku jsou

antagonisté iontů draslíku, sodíku a hořčíku. Tyto prvky jsou toxické, pokud jsou ve velmi vysoké koncentraci v poměru k ostatním prvkům ve vodě.(Čížek a kol., 1998). Z těchto důvodů se v rybníkářství plánovaně vápní „na vodu“ nebo „na sucho“ tzn. na dno rybníků bez vody s cílem optimalizovat podmínky chovu ryb. Koncentrace vápníku se ve vodách kontroluje a hodnoty se pohybují v rozmezí 20–60 mg.l<sup>-1</sup> (Hartman a kol., 2005). Rozklad celulózy ve vodním prostředí probíhá s větší intenzitou až při obsahu 20–30 mg.l<sup>-1</sup> vápníku (Čížek a kol., 1998). Vápnění je jedním ze základních melioračních prostředků, jelikož ovlivňuje podmínky prostředí a produkci rybníků. Též je předpokladem pro intenzifikaci rybářské výroby, jelikož po vápnění rybníků dochází ke zrychlení koloběhu látek v rybníku. Mimo tyto produkční faktory se vápněním do vody dodá podstatný biogenní prvek, také pro prevenci onemocnění a desinfekci rybníka (Čížek a kol., 1998). Vápník je nepostradatelný biogenní prvek, protože má velký význam pro koloběh další podstatné živiny – uhlíku. Uhlík se totiž váže jak v CaCO<sub>3</sub> (uhličitanu vápenatém), tak se také váže v Ca(HCO<sub>3</sub>) (hydrogen uhličitanu vápenatém). Tím se při vyšší alkalitě vytváří dostatečné zásoby podstatných živin pro intenzivní asimilaci (fotosyntézu) (Egert a kol., 1986). Další funkcí vápníku je vazba s oxidem uhličitým (CO<sub>2</sub>), čímž je nedílnou součástí tzv. uhličitanového systému pro transport potřebného uhlíku pro asimilaci. Jen oxid uhličitý a hydrogenuhličitan jsou dostupné formy uhlíku pro autotrofní organismy (Stegman, 1973; Hartman, 2004). Vápnění rybníků se provádí aplikací vápence nebo páleného vápna s účelem úpravy alkality vody (1–2 mmol.l<sup>-1</sup>) a udržení pufrční kapacity pro ustálení pH (Adámek a kol., 2010).

Vápník se také hromadí v rybníční půdě v úměrném množství k dostupnému CO<sub>2</sub>, ale také jiných aniontů. Z toho důvodu se vápní vypuštěné rybníky na dno současně s předchozím organickým hnojivem. Vápnění zvyšuje pH sedimentů a tím se zvyšuje dostupnost fosforu, který je obsažený v hnojivu (Boyd a Scarsbrook, 1974; Boyd a Trucker, 1998).

### 3.1.7 Uhlík

Uhlík je nejrozšířenější složkou živé hmoty a současně s tím má jeden z nejjednodušších, avšak dokonalých cyklů v přírodě. Základem koloběhu uhlíku ve vodě, je rezervoár v atmosféře. Plynný oxid uhličitý přeměňují na svoji biomasu producenti. Vzniklá biomasa slouží jako potrava konzumentům. Touto trofickou cestou, přes články potravního řetězce se transponuje uhlík až k rozkladačům (destruentům). Poté se navrácí zpět do atmosféry (Lellák a Kubíček, 1991). Z forem uhlíku, jež se ve vodě vyskytují převažují látky organického charakteru. Tyto látky se dají stručně charakterizovat jako rostlinné a živočišné zbytky a odpady. Jedním z nejčastějších organických zbytků ve vodě je celulóza, která se do vod dostává většinou ve formě naplavenin a smyvů ze zemědělských a lesních ploch. Velice podobného původu je také lignin a do určité míry také škrob a některé jednodušší cukry (Štěpánek a kol., 1979). Podle dalších autorů (Kuzněcov, 1952; Pochon a Barjac, 1960) jsou rostlinné zbytky a z nich celulóza nejčastějším zdrojem uhlíku ve vodě. Dle Kuzněcova (1952) se pod pojmem koloběh uhlíku rozumí veškerý proces tvorby, přeměny a rozkladu organické hmoty. Koloběh uhlíku ve vodním prostředí je neoddelitelně spjatý s koloběhem ostatních biogenních prvků a je mimořádně složitý. Oxid uhličitý je produkován dýcháním vodních bakterií, rostlin, živočichů a při rozkladu organických látek (Šrámek a Hušek, 1946; Lellák a Kubíček, 1991; Čítek a kol., 1998;). Za normálních okolností se ve vodě oxid uhličitý rozpouští na kyselinu uhličitou  $H_2CO_3$ , která je ihned částečně štěpena na ionty  $H^+$  a  $HCO_3^-$ , ale také je částečně navázaný vápníkem, hořčíkem a železem v dikarbonáty, nebo je využíván rostlinami a řasami ke stavbě uhlovodíků (během asimilace). Při větším „hnutí“ zůstává podstatná část  $CO_2$  ve vodě volná a působí otravným účinkem pro většinu organismů (Šrámek a Hušek, 1946). Plynný oxid uhličitý je ve vodním prostředí asi 200x rozpustnější než  $O_2$ , tím pádem jeho množství je ve vodě v poměru k ostatním plynům vyšší, než je tomu v ovzduší. Na dalším zvýšení obsahu volného  $CO_2$  ve vodě se rovněž podílí voda prosakující půdními horizonty, jež je obohacována  $CO_2$  z půdního vzduchu (Lellák a Kubíček, 1991).

### 3.1.8 Živiny ze znečištění

Problematika znečištění povrchových vod živinami je závažným problémem vyspělých států. V roce 1966 byl problém se zatížením vod živinami pojmenován na pařížské konferenci, kde se jednalo o problémech eutrofizace toků a nádrží (Adámek a kol., 2014). Účinek odpadních vod nebo vodohospodářsky významných látek v povrchových vodách závisí na objemu a rozšíření. Z pohledu znečištění se rozeznává znečištění bodové a plošné. Bodové znečištění působí pouze v určitém místě a lze ho poměrně účinně omezit (normými stěnami, biologickými stěnami apod.) Mnohem závažnější je plošné znečištění, které způsobují rozptýlené odpadní vody, popř. další závadné látky ve velkém úseku vodoteče, nebo v celém prostoru vodní nádrže či rybníka. Škodlivost na stojatých vodách se projevuje změnami fyzikálně chemických vlastností vod jako jsou: zákal, barva, kyslíkový deficit, změny pH apod. Ve vodách také dochází ke změnám biologických vlastností vod a diferenciaci společenstev organismů. Oproti původnímu oživení, tyto vody osidlují organismy odbourávající znečištění. Také může docházet k destrukci a toxicitě prostředí pro veškeré živé složky ve vodách. Podstatný je také negativní vliv zanášením koryt a vodních nádrží (Hartman a kol., 2005). Značný přísun organických látek může mít původ také v managementu intenzifikace rybářské výroby (hnojení, exkrementy ryb při vysokém dávkování krmiv, kaprokachní hospodaření). Překročení míry znečištění (samočisticí schopnosti vody) ve svém důsledku způsobuje úhyn živočichů a tím i další znečištění životního prostředí (Čítek a kol., 1998). Organické látky přinášené znečištěním působí příznivě, ale i nepříznivě. Příznivě působí obohacováním vody o živiny a zvyšují přirozenou úrodnost vod. Nepříznivě působí zejména při nadměrné koncentraci nebo rychlém rozkladu, kdy se ve vodě podstatně spotřebovává kyslík a vznikají jedovaté plyny – čpavek ( $\text{NH}_3$ ) a sirovodík ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Tvoří se také methan ( $\text{CH}_4$ ), který sice není jedovatý, ale vytlačuje z vody kyslík  $\text{O}_2$  (Egert a kol., 1969). Rizikem na některých malých vodních nádržích (MVN) patří znečištění odpadními vodami. Zatěžování odpadními vodami bývá trvalé (např. z ČOV), nebo se vyskytuje čas od času nebezpečné bodové znečištění. Bodové znečištění je považováno za lokální havárii menšího či většího rozsahu. Odpadní vody (OV) pocházejí z rozličných zdrojů. OV jsou průmyslové, zemědělské, zdravotnické a z jiných zařízení, včetně znečištění z ČOV a z tzv. kořenových čistíren odpadních vod (Pokorný, 2009). Dle sledování Fialy a Rosendorfa (2010) je velice významné, pokud

jsou odpadní vody dočištěny v soustavě rybníků. Rybníky totiž dokáží dotaci fosforu z odpadních vod využít k tvorbě biomasy.

### **3.1.9 Nerozpuštěné látky**

Za nerozpuštěné látky jsou považovány veškeré tuhé látky, které je možné z vody oddělit filtrací, nebo odstředěním v určitých podmínkách. Pro stanovení obsahu nerozpuštěných látek ve vodě se používá gravimetrická metoda, jež patří mezi tzv. skupinová stanovení. Imisní standard je dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. pro nerozpuštěné látky 20 mg.l<sup>-1</sup> (Valentová a kol., 2012).

### **3.1.10 Eutrofizace**

Termín „eutrofizace“ je popisován jako projev procesů, jež jsou charakteristické pro znečištění vody makronutrienty dusíkem a fosforem (Adámek a kol., 2014). Trofie, neboli úživnost je charakteristikou určitého hydrochemického režimu ve spojitosti s biologií vodních ekosystémů. Je determinována množstvím základních živin, které jsou udržovány v koloběhu. Míra úživnosti byla v hydrobiologii užitá nejprve ve spojitosti s jezery, kdy se krajní přirozené stupně trofie – oligotrofie a eutrofie – projevují výrazně odlišným obsahem rozpuštěného kyslíku v letním období. To má velice limitující vliv pro složení vodní biocenózy. Pro podrobnější hodnocení byly nalezeny další ukazatele trofie vod, jež umožňují snažší stanovení, než-li pouze sledování dynamiky kyslíku v celém souvislém profilu (Hartman a kol., 2005). Rybářství má možnost ovlivnit hydrologický režim většiny rybníků, přísun živin z krmení ryb a z hnojení a především velikost a složení rybí obsádky. Tyto faktory do značné míry determinují, jak se daný rybníční ekosystém jako celek bude chovat. Jen částečně lze způsobem managementu chovu ryb ovlivnit rozsah uvolňování fosforu ze sedimentů, který vznikal v rybnících po desítky let (Pechar, 2015).

Většina případů zjištěné eutrofizace povrchových (sladkých) vod je způsobena fosforem a nikoliv dusíkem (Reynolds a Davies, 2001). V obecné rovině eutrofizace představuje v našich podmínkách největší hrozbu (z pohledu živin) pro stojaté vody a současně s tím se jedná o jeden z nejdůležitějších parametrů, poněvadž negativně brání



nádržím v dosažení ekologického stavu a potenciálu vodních děl dle Rámcové směrnice EU o vodách (WFD, 2000 ; Foller, 2012 ; Krása a kol., 2015 ; Rocha a Kočí, 2015).

Praktické zkušenosti poukazují na fakt, že když má voda na přítoku do nádrže např. koncentraci 50  $\mu\text{g.l}^{-1}$  biodostupného fosforu a více, tak to ještě zdaleka neznamena, že v nádrži bude docházet k masivnímu rozvoji primárních producentů (řas, sinic). Do výsledné biomasy totiž vstupuje kromě koncentrací živin nemálo dalších faktorů, např. přítomnost toxických látek, které omezují růst primárních producentů, nevhodné světelné podmínky (zastíněné tůně), nevhodné tepelné podmínky (plochou malou, ale hlubokou nádrže), biotické interakce (produkce toxinů, predace atd.). Ačkoliv zvýšená nabídka živin – zejména fosforu, zůstává hlavním měřítkem trofie, je zřejmé, že pro odpovídající hodnocení se musí trofie vodního ekosystému kombinovat s dalšími metodami. Legislativně je tato metoda řešena v normě „Jakost vod – Stanovení fosforu – Spektrofotometrická metoda s molybdenanem amonným“ (ČSN EN ISO 6878, 2005; Adámek a kol., 2008).

Většina problémů eutrofních až hypertrofních vodních nádrží je zapříčiněná enormním rozvojem fytoplanktonu a jeho životními projevy. Fotosyntéza řas a sinic zásadním způsobem ovlivňuje nejdůležitější faktory určující stabilitu fytoplanktonu jako klíčového společenstva rybníční biocenózy, jimiž jsou pH a koncentrace rozpuštěného kyslíku (Pechar, 2015). Dle Huška (1946) eutrofizace vede v noci (při dýchání všech vodních organismů) k nedostatku kyslíku ve vodním prostředí a u dna rybníka se vytváří velké množství sirovodíku ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

## **4. Zdroje sedimentu a živin v rybníku**

### **4.1 Původ sedimentů a bahna**

Rybníční bahno není definováno samostatně v zákoně o vodách ani v zákoně o odpadech. Bahnem je zmiňována hmota, která je uložena na rybníčním dně. Bahno je složeno z různých látek a materiálu. Složky bahna jsou do rybníka přivedeny přítokem a také jsou to zbylé produkty organismů, jež žijí ve vodě (Barchánek, 2009). Takto je vznik bahna podpořený metabolickými produkty a odumřelými tkáněmi. V podstatě produkty životních pochodů rostlin a živočichů (Babuška a Mužík, 1981). Bahno v nádržích je materiál složený zejména z jílovitých a jílovitohlinitých substrátů (Heise, 2007). Z fyzikálního pohledu je bahno popisováno jako vodná směs složená z rozličných minerálních a organických látek s rozdílnou měrnou hmotností. Při vypouštění rybníka je

odstraňována zejména povrchová voda a bahno je hmota, která po výlovu zůstane na dně (Barchánek, 2009). Westrich a Förstner (2007) sediment popisují jako usazeninu složenou z nerozpuštěných anorganických a organických látek, které se vlivem gravitace usazují na dně vodních prostorů (jezer, nádrží, rybníků).

Dostupná data naznačují, že rybníční sediment může obsahovat vysoký obsah organické hmoty, organického uhlíku, dusíku a také fosforu a draslíku. Velmi málo je však známo o hygienických aspektech rybníčního sedimentu a přítomnosti kontaminantů jakými jsou těžké kovy popř. léčiva. Všechny tyto vlastnosti ovlivňuje mnoho faktorů mezi něž patří: systém chovu ryb, kvalita vody, druh a věk ryb, typ krmiva a režim krmení, stavebně-technický stav daného rybníka (Drózdž a kol., 2020).

Rybníční sediment je velice bohatý na organické látky a živiny a dle Potužáka a kol. (2017) hraje klíčovou roli v kumulaci látek ve vodě. Je velice důležité zaměřit se na možnosti navrácení živin a sedimentu zpátky na pole. Je to možnost jak přispět k zúrodnění zemědělské krajiny. Tímto hospodářským opatřením je možné uzavřít cyklus dosud otevřených látkových toků v krajině.

Při nesprávném hospodaření mohou sedimenty rybníka podléhat rychlé degradaci vedoucí k emisím pachů a plynů představujících potenciální hrozbu pro životní prostředí (Drózdž a kol., 2020). V rybníku sediment vzniká samovolným usazováním pevných částic, které jsou nesené vodou. Přírozené usazování probíhá při snížení rychlosti pohybu vody, k němuž dochází například při vtoku přítokové vody do rybníka, snížení spádu stoky v rybníce a zvýšení hloubky v rybníce oproti přítoku. Přírozený děj přínosu sedimentů do nádrží a jejich usazování je zrychlováno činností člověka v krajině. Surový sediment je tvořen až do 80 % zvodněnou částí, zbylých 20 % sedimentu tvoří cizorodé látky, které závisí na typu zemědělství a průmyslu v okolí rybníka či jeho povodí (Heise, 2007). Podstatným původcem hromadění sedimentů a tím zanášení dna v rybníce jsou splachy ornice z okolí rybníků. Trvajícím nešetrným zemědělským hospodařením vůči krajině je příčinou zvýšené půdní eroze, a to má za následek vnik a následné usazování rizikových částic a látek včetně výskytu toxických prvků na dnech těchto nádrží. Třetina rybníků v ČR je postižena nadměrným sedimentačním zatížením. Vnos sedimentů do rybníků ovlivňuje charakter krajiny, potoků, řek a lidské činnosti v povodí a značnými objemy je zapříčiněno rychlé zanášení stojatých vod. V důsledku tohoto zanášení pokračuje degradace vodohospodářských a ekologických funkcí nádrží. Během prvního desetiletí tohoto století se objem sedimentů ve vodních nádržích odhadoval na 197 milionů m<sup>3</sup>. Tak obrovské množství sedimentů může následně podstatně zmenšit akumulací objem vody

v nádržích a rybnících (Kubík, 2009). Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje a zanášejí akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin (Kapička a kol., 2018). Pohyb a přesun sedimentu v rybníce je dle Adámka a Maršálka (2013) možný rovněž tzv. bioturbací. Rybí obsádka při hledání bentické potravy (organismy žijící v sedimentech) svými ústy „ryje“ v sedimentu a víří její. Zvířený sediment ode dna se tak postupně přesouvá vlivem větru (vln) a pohybem vody od přítoku k výpusti rybníka, do nejhlubšího místa v rybníce – loviště.

#### **4.2. Vodní eroze**

Vodní eroze a její intenzita jsou závislé na působení povětrnostních činitelů (povětrnostní vlivy, srážky). Podstatnou roli hraje také pevnost – tzv. erodovatelnost půdy (Janeček, 2008). Tento jev se projevuje nežádoucím vodním splachem půdy a jejím ukládáním níže v povodí (na dně toků či rybníků). Nejčastější příčinou vodní eroze jsou přívalové srážky, tání sněhu popř. stálý (kolísavý) tok vody v korytech vodních toků (Sklenička, 2003). Výskyt vodní eroze je závislý zejména na svažitosti daného území (Pasák, 1984). Současné obhospodařování zemědělských pozemků podporuje rozsáhlou vodní erozi půd. Následně je půda srážkami smývána do vodních toků a nádrží, kde sedimentuje. Důsledkem rozsáhlé zemědělské činnosti jsou zvýšené zejména koncentrace dusičnanů a pesticidních látek v porchových i podzemních vodách. Spolu se živinami v odtékajících sedimentech se do vod dostávají další cizorodé látky, herbicidy, antikorozyva, mořidla obilnin apod. (Kvítek a kol., 2018). Dalším zdrojem živin i organické hmoty jsou nešetrné zásahy prováděné v povodí rybníků (splachy živin a ornice), které se, bohužel, dějí i v dnešní době. Část takto přiváděných živin se průběžně, nebo při výlovech, dostává do recipientů, část živin se deponuje v sedimentech a přináší další problémy v podobě zvyšování trofické i saprobní úrovně vodního prostředí v rybnících i v níže ležícím povodí. V důsledku výše uvedeného má v současné době cca 80 % rybníční plochy v ČR hypertrofní charakter a je zřejmé, že způsob hospodaření na rybnících v minulém období může zásadním způsobem ovlivňovat současnou i budoucí kvalitu vody. To je velmi zásadní moment, zvláště v dnešní době, kdy kvalita vody má ambici být legislativně nadřazena požadavkům rybářské praxe (Máchová a kol., 2010). Výsledkem erozních procesů na zemědělských plochách je velký odnos jemných částic bohatých na živiny. To zvyšuje skeletovitost orné půdy. V konečném důsledku výše

uvedených negativních dopadů, může na těchto pozemcích docházet k celkovému snížení úživnosti půdy (VÚMOP, 2011).

### **4.3. Organické a anorganické hnojení rybníků**

Produktivita vodních ekosystémů je závislá primárně na dostupnosti fosforu. Pokud je v rybníce fosforu málo, tak bude i malá produkce ryb. Rybářství čelí nízké přirozené produkci rybníků hnojením vod – dotací živin (Duras a Potužák, 2016). Jde o dobře známý zákrok. Vhodně provedeným hnojením lze kladně ovlivnit úživnost průměrných či na živiny chudých (lesních) rybníků. Rybníky se hnojí organickými hnojivy – chlévskou mrvou, močůvkou (Hartman a Regenda, 2014). Jsou také používána anorganická (průmyslově vyráběná) hnojiva. Používá se průmyslové dusíkaté (močovina) a nebo kombinované (N,P,K) hnojivo (Čítek a kol., 1998; Hartman a Regenda, 2014; Potužák a Duras, 2016). Do vhodných rybníků je možné připouštět rozumné množství městských splašků (Štěrba, 1986). Jedná se zejména o komunální odpadní vody, ale také odpadní vody z potravinářských průmyslů a zemědělské výroby (Máchová a kol., 2010).

Hnojení je v dnešní době využíváno primárně k úpravě poměru živin. Pro podporu optimálního rozvoje přirozené produkce rybníků (Adámek a kol., 2010). V oblasti rybářství (respektive rybníkářství) bylo a nadále je na prvním místě zvyšování produkce ryb v rybnících pomocí melioračních zásahů. Pro tento účel se začaly používat různé druhy hnojiv, jako zdroje důležitých biogenních prvků, zejména fosfor (P), dusík (N) a uhlík (C). Pro zvýšení úživnosti rybníků není ovšem konečnou fází vytvoření fytoplanktonu, jako představitele primární produkce. Fytoplankton je pouze základním patrem potravního řetězce, který předává energii dalším článkům potravní pyramidy (Čítek a kol., 1998). Na tomto místě je třeba vzít v úvahu, že vysoká intenzifikace zemědělské výroby, realizovaná zejména v minulosti, zasáhla i rybářství. Do vodního prostředí se tak dostává podstatně více živin, než může být efektivně transformováno v přírůstek ryb (Máchová a kol., 2010). Z průzkumu živinových bilancí Durase a Potužáka (2016) vyplývá, že kde do rybníků nepřitéká odpovídající množství fosforu (přirozeně málo úživný rybník), tak tam rybářský management dotuje rybníční prostředí fosforem (hnojením) pro navýšení produkce.

### **4.4 Příkrmování ryb**

Tradice rybníkářství a znalosti oblasti výživy a koloběh živin při chovu ryb v rybnících jsou stále považovány za nedostatečné, ačkoliv aplikace krmiv do rybníků

může mít velice zásadní vliv na kvalitu vody (Hardy a Gatlin, 2002; Jiménez – Montealegre a kol., 2005; Hartman a kol., 2012; Hlaváč a kol., 2014). S příkrmováním v českých zemích se dle Pechara (2000) začalo na konci 19. století. S tím se komparativně zvýšila také produkce ryb.

Pro polointenzivní rybářské hospodaření v rybnících v ČR je typickou majoritní složkou výživy ryb zooplankton a makrozoobentos, doplněné krmivy (příkrmování obilninami), které tvoří obvykle 30–50 % celkově přijaté potravy za chovný cyklus. Základní snahou by z těchto výše uvedených důvodů měl být kvalitativní i kvantitativní rozvoj přirozené potravy, která je zpětně ovlivňována vyžíráním tlakem ryb (Všetičková a kol., 2013; Hlaváč a kol., 2014). Dle Mlejnkové a Horákové (2009) je pro přírůstek tuny kapra potřeba 6 t zooplanktonu, jež spotřebuje 21 t fytoplanktonu. Na vylučované metabolity ryb a produkci odpadních látek z nespotřebovaného krmiva má vliv druh, složení a způsob podávání krmiv (Hardy a Gatlin, 2002). Sumární součet těchto odpadních látek následně ovlivňují kvalitu retenční vody (krátkodobě zadržené vody), akumulace (dlouhodobě zadržené vody) a stejně tak je ovlivněna kvalita vypouštěné rybníční vody. Ačkoli obsádka ryb obvykle zkonsumuje a stráví veškeré krmivo, tak bylo zjištěno, že části rostlinných bílkovin jsou nevstřebatelné a odchází do vody (Hardy a Gatlin, 2002; Hlaváč a kol., 2013; Hlaváč a kol., 2014). Strávení a efektivita využití dusíku a fosforu z krmiv ovlivňuje množství živin, jež jsou rybami vylučovány do vodního prostředí (Rodehutsford a kol., 1994). Ryby totiž, jak uvádí Koushik a kol. (2019) dokáží z obilovných krmiv strávit 70,9–93 % dusíku a 25–57 % fosforu. Dle Malého a kol. (2019) se stravitelnost fosforu z obilovin pohybuje na úrovni 8–35 %. Pokud se ryby krmí olejninami, tak dokáží strávit více dusíku 82,4–91,3 % (oproti obilovinám), avšak méně fosforu 16,4–26,7 %. (Koushik a kol., 2019). Významně lze snížit produkci odpadu z krmiv za použití lépe stravitelných krmiv, za použití správné krmné technologie a vyváženosti podávaných krmiv (Hardy a Gatlin, 2002; Hlaváč a kol., 2013; Hlaváč a kol., 2014). Ovšem jak Hlaváč a kol. (2014) uvádí, tak i při sebelepší krmné technologii ryby 5–15 % krmiva nijak nezkonsumují.

Nejčastěji se k příkrmování u nás využívá ozimá pšenice, triticales (žitovec), ozimé žito a ječmen. Vzhledem k vysokému obsahu polysacharidů jsou používány jako majoritní zdroj energie pro hospodářsky cenné kaprovité druhy ryb. Ty ovšem mají ve střevech alkalické prostředí a enzymatické zažívání s vysokou aktivitou amylázy a maltázy. V obilovinách se obsah proteinů pohybuje mezi 7–15 %. Tyto proteiny jsou však velmi chudé na esenciální aminokyseliny. Z tohoto důvodu je jejich biologická

hodnota velmi nízká. Zdroj proteinů by proto měl být zabezpečený přirozenou potravou (Hartman, 2012; Hlaváč a kol., 2014).

Obilniny jako krmiva jsou ve vztahu s kvalitou vody považovány za krmiva s nejvíce negativním dopadem pro kvalitu vody. Je tomu tak z důvodu navázaného fosforu, jež je na rozdíl od přirozené potravy stravitelný kaprem pouze z 25–28 % (ve střevech kapra chybí enzym fytáza). Takto je každoročně rybami vylučováno až 75 % celkového fosforu, který byl do vody dodán v obilovinách, jimiž se přikrmuje (Hartman, 2012; Jirásek, 2015). Stanovení výše konkrétního podílu fosforu, který využije rybí obsádka není jednoduché. Stravitelnost celkového fosforu z rostlinných krmiv je ovlivňováno řadou faktorů: teplota a nasycení vody kyslíkem, podíl přirozené potravy, obsah tuků a fáze růstu kapra (Jiménez – Montealegre a kol., 2005). Průměrný obsah fosforu v předkládaných obilných krmivech je 3–3,5 g.kg<sup>-1</sup> (Čermák a Kadlec, 1999).

Vylučované metabolické produkty z ryb, jsou proto v intenzivní akvakultuře považovány za jeden z největších zdrojů rozpuštěného fosforu ve vodě a zlepšení vyváženosti krmiv může velice signifikantně přispět k poklesu této živiny ve vodě (Hartman, 2002; Hlaváč a kol., 2014). V případě retence dusíku z rostlinných krmiv, je jeho využití na úrovni pouhých 30 %. Průměrný obsah dusíku v obilovinách je 23 g.kg<sup>-1</sup> (Jiménez – Montealegre a kol., 2005).

Jeden ze způsobů jak lze zvýšit stravitelnost obilovin u kapra, a tím i možné snížení zatížení vodního prostředí odpadem, je mechanická a tepelná úprava krmiv, zejména extruze a peletování (Hartman, 2002 ; Hlaváč a kol., 2013 ; Hlaváč a kol., 2014).

Přikrmování ryb představuje z hydrobiologického hlediska živinovou zátěž pro rybniční ekosystém. Týká se to fosforu, jež je v obilovinách v nadbytku s ohledem na potřebu rybího organismu (Adámek a kol., 1997; Adámek a kol., 2010). Téměř ve všech ingrediencích krmiv rostlinného a živočišného původu je přítomný fosfor. V rostlinných krmivech se nachází fosfor ve formě tzv. „fytátu“, jehož využitelnost u ryb je velmi nízká (Baruah a kol., 2004). Nestrávené a poté vyloučené sloučeniny fytátu mohou významně podpořit eutrofizaci a masivní rozvoj fytoplanktonu (Lall, 1991).

Malý a kol. (2019) prezentují, že obiloviny ukládají do semen (do obalu obilek) téměř 80 % fosforu ve formě kyseliny fytové, jež je pro kaprovité ryby špatně stravitelná. Fosfor v ní obsažený je pro ryby nevyužitelný a je vylučovaný do vodního prostředí. Tím zvyšuje ekologickou zátěž přispěním k eutrofizaci vod. Ryby totiž nemají v trávicím ústrojí enzym fytázu, jež by kys. fytovou rozložila. Dodáním enzymu fytázy do krmné směsi je však dle autorů možné zvýšit využitelnost fytátového fosforu z obilovin.

Testování probíhalo na kaprech o hmotnosti 85 g. Připravili krmivo s enzymem fytázou a pro funkčnost enzymu okyselili krmivo kyselinou citronovou (rybí střevo zásadité pH). Po vyhodnocení autoři zjistili, že u krmiva s přidavkem enzymu fytázy byly významně ovlivněny produkční parametry. Přidáním enzymu fytázy do krmiva byla dosažena o více než 25 % lepší stravitelnost fosforu z obilovin (z kyseliny fytové). Mimo to byl o téměř 20 % snížen krmný koeficient (ušetření 20 % hmotnosti krmiva potřebného pro přírůstek 1 kg ryb). Úprava krmných směsí enzymem fytázou dle propočtů není velký zásah do ekonomiky chovu.

Hlaváč a kol. (2013) zkoumali ve své studii vliv mechanické a tepelné úpravy pšenice na efektivitu konverze obilného krmiva v potravním řetězci ve vztahu k přírůstku ryb. Nejlepší výsledky z pohledu retence fosforu zaznamenali v biomase ryb u mačkané tepelně upravené pšenice. Oproti tomu Dulic a kol. (2010) a Ćirić a kol. (2015) nezjistili rozdíl mezi fyzikálně – chemickými parametry vody po aplikaci rozdílně upravených krmiv, ale kvalita krmiv měla významný vliv na snížení výskytu sinic ve vodě, dostupnost zooplanktonu a makrozoobentosu a tím pádem na růst kapra. Výsledky těchto studií tak poukazují na to, že mechanicky a tepelně upravená krmiva mohou sloužit jako efektivnější zdroj potravy pro ryby, ale současně také mohou nepřímo působit jako nástroj k udržení ekologické stability a kontroly vodního květu sinic v rybnících (Ćirić a kol., 2015).

Při chovu ryb v rybnících se v České republice přikrmuje zejména z důvodu chovu kapra obecného (*Cyprinus carpio*), jež z hospodářského hlediska patří mezi nejčastěji chované ryby ve střední Evropě (Stibranyjová a Adámek, 1998). Kapr je hospodářsky velmi významnou rybou, z důvodu způsobu výživy a tolerance ke kvalitě vody společně s dobrými růstovými schopnostmi (Hartman a Regenda, 2014). V chovu kapra se k přikrmování používají nejčastěji jadrna krmiva (obilniny) s vysokým obsahem glycidů (Čítek a kol., 1998; Jankovic a kol., 2011).

Vliv přikrmování na kvalitu vody byl také posuzovaný ve studii, jež publikuje Wezel a kol. (2013), kdy autoři dospěli k závěru, že se obsah živin ve vodě zvýšil pouze bezprostředně po podání krmiv, ale dlouhodobé průměry koncentrací živin nebyly signifikantně ovlivněny. Krmení v této studii nemělo průkazný vliv ani na koncentrace chloforylu *a*, tím je možné usuzovat, že dodané živiny nepřispěly k nárůstu fytoplanktonu.

Produkce živin v sedimentu, jež vzniká na rybích farmách s chovem pstruha je také velice významným zdrojem živin, jež jsou vypouštěny do vodního prostředí.

Produkce celkového dusíku (TN) a celkového fosforu (TP) na vyprodukovanou tunu ryb při farmovém chovu pstruhů je dle různých autorů odlišná. Podle Axlera a kol. (1997) generuje tuna přírůstků ryb 47–87 kg.rok<sup>-1</sup> (TN), resp. 4,8–18,7 kg.rok<sup>-1</sup> (TP). Bureau a kol. (2003) však uvádějí, že jedna tuna produkce pstruha ročně vyprodukuje 47–71 kg TN a 4,5–15,2 kg TP. Poněkud nižší hodnoty pak uvádějí d'Orbcastel a kol. (2008), podle kterých 1 tuna produkce pstruha vyprodukuje jen 40,8 kg TN a 8,7 kg TP.

## 5. Typy výlovu rybníků

Výlov rybníku je prováděn pro fyzickou kontrolu výsledků chovu ryb za dané časové období (Hartman a Regenda, 2014). Zákon č. 99/2004 Sb. o rybářství definuje výlov z pohledu legislativy jako snížení objemu vody v rybníce s účelem koncentrace ryb pro možné vylovení. Dle ročního období, jsou výlovy rozděleny na jarní a podzimní. V jarním období jsou loveny komorové rybníky (obvykle plůdkové výtažníky a výtažníky). Na podzim jsou výlovy především hlavních rybníků s tržními rybami, popřípadě výtažníky s násadovými rybami.

Výlovy rybníků je také možno rozdělit dle způsobu lovení ryb. Ryby se v lovišti loví pomocí záťahových sítí. Na samotný výlov rybníka se rybník vypouští „strojí“ (Dyk, 1947; Čítek a kol., 1998). Vypouštění rybníka se provádí dle doby nutné k vypuštění na loviště. Doba pro vypuštění rybníka je většinou prověřena dlouholetou praxí, a také je uvedena v manipulačním řádu rybníka. Po zátahu sítí v loviště, dochází k jádření. Tím jsou ryby koncentrovány do menšího prostoru. Po vydání ryb ze sítě se zátahy opakují, dokud se nesloví většina ryb (Dyk, 1947; Čítek a kol., 1998; Hartman a Regenda, 2014).

Pro pasivní výlov ryb slouží podložní síť. Síťe mají obvykle obdelníkový nebo čtvercový tvar. Pokládají do loviště s časovým předstihem před výlovem. Ryby nad položenou síť připlavou sami, případně jsou nahnány (plašením) při výlovu. Podložní síť se hodí pro rybníky s pravidelně udržovaným lovištěm, s dobrými spádovými poměry (Čítek a kol., 1998; Hartman a Regenda, 2014).

Možný je také výlov pod hrází rybníka. Lovění ryb probíhá na vzdušné straně hráze. Podstatné je, aby výpustní otvor z rybníka byl hladký a měl dostatečný průměr (nad 30 cm). V místě pod hrází je umístěno odlovné zařízení, do něhož se loví (splavují) ryby (Čítek a kol., 1998).

Dostí odlišným typem odlovu (výlovu) je letní odlov ryb na plné vodě. Provádí se zejména pro účel odchytu tržní ryby. K odlovu se používá tzv. prubní ploty (dlouhá tažná



sít'). Popřípadě se takto loví při mimořádných událostech. Ryby se odlovují ovykle v místech krmení (Čítek a kol., 1998). Závěrečnou fází každého výlovu rybníků je dolovka pomocí keserů. Rybáři v lovišti loví ručně za pomoci keserů zbylé ryby, jež odchytávají do lodí s vodou, kádí, vaniček. Při dolovku dochází k poměrně silnému zakalení vody (Dyk, 1947; Čítek a kol., 1998).

## 6. Obsah živin v rybníční vodě a sedimentu

Pechar (2015) sumarizoval výsledky hospodaření s vyšší dotací živin melioračními zásahy, jež intenzifikovaly rybníkářství od konce 19. století až do současnosti

**Tabulka 2** Koncentrace živin ve sledovaných rybnících (Pechar, 2015)

Sledování 43 rybníků, rozbor vody (Třeboňsko 2001)

Parametr	Jednotky	Ø hodnota	min. hodnota	max. hodnota
NH <sub>4</sub> - N	mg.l <sup>-1</sup>	0,12	0	2,69
NO <sub>3</sub> -N	mg.l <sup>-1</sup>	0,11	0	2,22
PO <sub>4</sub> -P	mg.l <sup>-1</sup>	0,04	0	0,71
TN	mg.l <sup>-1</sup>	2,47	0,47	7,5
TP	mg.l <sup>-1</sup>	0,9	0,02	1,79

Sledování 76 rybníků, rozbor vody (Třeboňsko 2010 - 11)

Parametr	Jednotky	Množství
K <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	5,2
Na <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	7,8
Mg <sup>2+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	4,6
Ca <sup>2+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	21,1

Sledování 40 rybníků (Blatensko - Lnářská oblast 2004 - 2005)

Parametr	Jednotky	Množství
TN	mg.l <sup>-1</sup>	2,21–2,70
TP	mg.l <sup>-1</sup>	0,17–0,27
K <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	3,7
Na <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	8,6
Mg <sup>2+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	9,4
Ca <sup>2+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	25,7

V závěru své studie dodává, že je možné z rybníčního ekosystému odebírat významné množství fosforu. Průměrná produkce rybníka  $500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  živé váhy (tržních) ryb ve vztahu k bilanci představuje odnoš  $3,5 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$  za rok. Z toho lze dle autora usuzovat, že pokud bude rybářská praxe dodržovat pozitivní tzv. „saldo“ fosforové bilance, tak bude postupně docházet k podstatnému snížení obsahu fosforu v rybnících.

Boyd a Schwartz (1994) provedli studii na třech rybnících (1 ha) s chovem sumecků tečkovaných (*Ictalurus punctatus*) v Alabamě. Vzorky vody byly odebírány 2× denně (během výlovu), v místě pod hrází a v rybníku. Biomasa ryb při výlovu rybníků se pohybovala od  $3\,356$  do  $4\,767 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Většina dusíku a fosforu byla navázána v rozpustné organické hmotě, nebo v nerozpuštěných látkách. Hlavní unášené pevné látky byly částice ze sedimentu dna. Bylo vypočteno, že 1 tuna sumecků vyprodukuje  $19,6 \text{ kg}$  všech forem dusíku;  $0,78 \text{ kg}$  všech forem fosforu a  $39,3 \text{ kg BSK}_5$ . Z rybníků bylo celkem odplaveno  $2\,302 \text{ kg}$  nerozpuštěných látek a sedimentu.

Autoři dospěli k závěru 50 % dusíku, fosforu a  $\text{BSK}_5$  bylo vypuštěno během posledních 15–20 % objemu vody z rybníka. 50 % usaditelných pevných látek bylo vypuštěno v poslední 5% objemu vody z rybníka. Koncentrace  $\text{NH}_3$  zůstala pod hodnotou koncentrace  $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  během prvních 48 hodin vypouštění vody z rybníků a množství  $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  celkového amoniaku nebylo překročeno pokud rybník byl vypouštěný delší dobu (přes 120 hodin). Koncentrace celkového dusíku byla pod hodnotou koncentrace  $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  do 72 hodin vypouštění vody. Po 72 hodinách koncentrace dusíku v povrchové vodě dosáhla vrcholné hodnoty  $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , zatímco koncentrace TN ve spodní odtokové vodě dosáhla vrcholné hodnoty  $137 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Koncentrace dusitanového dusíku během prvních 120 hodin byly zanedbatelné. Po 120 hodinách se zvýšila koncentrace v povrchové vodě rybníka z  $0,002 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  na  $0,006 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a koncentrace ve spodní odtokové vodě vzrostla z  $0,002 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  až na maximum  $0,007 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  po 144 hodinách. Koncentrace dusičnanového dusíku se zvýšila z hodnoty  $0,36 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  na začátku vypouštění na hodnotu  $0,64 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  na konci vypouštění.

Koncentrace rozpuštěného (reaktivního biogenního) fosforu zůstaly stabilní při  $0,001 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  po dobu prvních 48 hodin vypouštění rybníka a postupně se hodnota zvyšovala na  $0,02 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  během následujícího času sledování (48 – 96 hodin). Po 96 hodinách koncentrace prudce vzrostla na vrcholnou koncentraci  $0,12 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  v povrchové vodě a  $0,16 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  v odtokové vodě z rybníka. Koncentrace celkového fosforu byly

zjištěny 0,15 mg.l<sup>-1</sup> po 72 hodinách. Po 72 hodinách se koncentrace celkového fosforu zvýšily na hodnotu 1 mg.l<sup>-1</sup> u povrchové vody a 1,3 mg.l<sup>-1</sup> v odtoku z rybníka.

Biochemická spotřeba kyslíku (BSK<sub>5</sub>) byla v povrchové vodě rybníka asi 10 mg.l<sup>-1</sup> prvních 48 hodin a poté se postupně zvyšovala až na 18 mg.l<sup>-1</sup>. BSK<sub>5</sub> odtokové vody byla po celou dobu poměrně konstatní, avšak poté po 120 hodinách popisují autoři prudký růst až na hodnotu 296 mg.l<sup>-1</sup>. Koncentrace celkových nerozpuštěných látek se ostře zvýšila po 120 hod. výlovu na 60 mg.l<sup>-1</sup>.

Hodnota pH kolísala v odtokové vodě během vypouštění rybníka. Na počátku vypouštění rybníka byla zjištěna hodnota pH 7,6 a na konci výlovu hodnota klesla na hodnotu pH 6,4. Dramatické zvýšení hodnot živin a sedimentu v odtokové vodě z rybníka nastalo během fáze zátahu rybníka sítí a výlovu ryb. Odtoková znečištěná voda by se měla vypouštět do usazovací nádrže nebo retenčního rybníka. Tím je možné razantně eliminovat znečišťování povodí pod rybníkem.

Potužák a Duras (2018) shrnuli ve své studii data látkových bilancí a obsahu živin v rybnících na třeboňsku a hlubocku. Autoři odebírali po celý produkční cyklus vzorky vody ve čtrnáctidenních intervalech. Spolu s odběrem vzorků byly měřeny parametry vody na přítoku a odtoku z rybníků. Klíčovou živinou pro pozornost z hlediska eutrofizace vod byl fosfor (P). Sledování bilance živin bylo také v období výlovu rybníků, kdy dochází k unikání živin a sedimentu z rybníků. Významnou složkou látkové bilance je popisován rybářský management. U málo průtočných či neprůtočných rybníků může zdroj fosforu z chovu ryb podstatně převyšovat zdroje fosforu, jež by přišly do rybníka přítokem z povodí. V tomto ohledu má i management chovu ryb rozhodující vliv na výsledek látkové bilance. Látkové bilance ukázaly značné rozdíly (jednotky tun) mezi možným a skutečným zadržením fosforu v rybnících. U rybníků s organickým hnojením (Dehtář, Horusický) bylo zjištěno, že z rybníka odteče právě tolik fosforu, kolik je dodáno hnojením. Výsledky naznačují, že pokud krmný koeficient (RKK) není vyšší než 2, tak P dodaný v krmivu je shodný s fosforem transformovaným v rybí biomase. Toto platí pouze u rybníků bez přihnojování. Pokud se při vypouštění rybníků odpouští především povrchová voda, tak se zlepšuje látková bilance fosforu. Zadrží se třetina fosforu, oproti vypouštění spodní vody. Hlavním zdrojem přítoku rozpuštěného fosforu do rybníků jsou odpadní vody v povodí. Výlov rybníků je klíčový pro látkovou bilanci rybníků. Veškerý P odtékající z rybníků je pevně navázaný na nerozpuštěné látky sedimentu. Po odtečení splavenin bohatých na fosfor, může nastat níže v povodí riziko

zvýšení trojice mineralizací P ze sedimentu. Rybniční sediment byl vyhodnocen jako velmi bohatý materiál s obsahem P, N a organických látek. S výraznou výhodou to lze aplikovat na ornou zemědělskou půdu. Aplikací sedimentu (bahna) o výšce 6 cm z Horusického rybníka se do orné půdy dostalo více živin (P, N, K) než při běžném hnojení. Mimo dané živiny se do půdy dostaly i aktuálně nedostatkové organické látky (Cox – oxidovatelná forma uhlíku). Nejlépe se aplikuje sediment získávaný v době před výlovem z oblasti loviště. Je to jemnozrný a na živiny velmi bohatý materiál. Odtěžením před výlovem se eliminují zdravotní rizika pro výlov ryb (zanášení žaber a následné dušení). U Horusického rybníka o vodní ploše 415 ha byl během výlovu spočtený únik 1,22 t P a to je bilančně pro rybník i pro níže položené povodí významné množství. (Baxa a kol., 2017; Potužák a kol., 2017).

Marval a kol. (2019) popisují ve svém příspěvku interakci systému „půda – voda – sediment. V povodí Jickovického potoka (přítok do UN Orlík) se nachází několik obcí, kravín a vepřín. Studie posuzovala vliv jakosti povrchových vod na kvalitu sedimentů v rybnících. Celkem bylo hodnoceno devatenáct rybníků. Vzorky sedimentu z rybníků byly odebírány jádrovým sběračem. Celkový vzorek sedimentu byl směsný z 10 podvzorků a popisuje 20 cm usazeného sedimentu v rybníce.

Výsledky monitoringu v povodí Jickovického potoka identifikovaly hlavní riziko přísunu živin (fosforu) do povodí, a to bodovými zdroji znečištění z OV. Významný zdroj přísunu dusíku je také ve vysokém podílu odvodnění zemědělských pozemků. Analýzy sedimentu doložily až několika násobně vyšší obsah látek, jež jsou podmiňující pro úrodnost půdy v polním hospodářství. Sediment monitorovaných rybníků představuje velmi vysoký úživný potenciál pro zemědělské půdy. Průměrně bylo v zemědělské půdě zjištěno o 63% méně živin, nežli v rybničním sedimentu. Aplikace sedimentu z rybníků na zemědělské pozemky by bezesporu zlepšilo obsah živin v zemědělských půdách. Složení sedimentu musí vyhovovat vyhlášce č. 257/2009 Sb. s ohledem na rizikové prvky a cizorodé látky. Z tohto důvodu by rybníky přesycené živinami měli být upřednostňovány pro odbahnění a mohli by hnojit zemědělskou krajinu. Výsledky autorů prokázaly velice kladný potenciál pro zlepšení hnojivých vlastností v půdě. Složení a koncentrace živin (N, P) jsou v sedimentu určeny managementem hospodaření na zemědělských pozemcích, managementu rybářské výroby a nakládání s OV.

Kopp a kol. (2019) ve svém příspěvku „Rybniční sediment – odpad nebo hnojivo?“ hledali hlavní faktory ovlivňující stabilitu rybničního ekosystému ve spojitosti s výskytem deficitů kyslíku během roku. Definují, že znalost složení a biodostupnosti hlavních živin rybničních sedimentů je tak důležitou součástí pro jejich komplexní zhodnocení. U vzorků sedimentu byl provedený rozbor sušiny pro analýzu využitelných/přístupných forem P, Mg, Ca, Fe. Autoři ve výsledcích zaznamenali výrazné rozdíly ve sledovaných parametrech a to nejen mezi jednotlivými rybníky, ale také v rozdílných částech rybníka. Nejvyšší koncentrace živin byly zjištěny u většiny rybníků v oblasti loviště rybníků. Obsah sušiny zjištěn v rozmezí 25–45% (ø hodnota sušiny u všech sledovaných rybníků byla 37,2 %). Nejvyšší hodnota 74,6 % sušiny byla u rybníků s převážně písčítým dnem, nejnižší hodnota 12,6 % byla zjištěna u rybníků s vyšším podílem organické hmoty.

Fosfor byl stěžejním sledovaným prvkem pro posouzení obsahu živin a vlivu na eutrofizaci. Dosažené hodnoty fosforu ve vodném výluhu sedimentů kolísaly ve velice širokém rozmezí s průměrnou koncentrací 5,63 mg.kg<sup>-1</sup>. Obsah celkového fosforu v rozmezí od 2,2 do 104,3 mg.kg<sup>-1</sup> s ø hodnotou 25,1 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny. Hodnota celkového fosforu v sedimentech rybníků byla zjištěna o koncentraci 7,2 mg.kg<sup>-1</sup>. Hodnoty rozpuštěného fosforu byly zjištěny v rozmezí od 30,9 do 46 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny sedimentu. Nejvyšší hodnotu celkového fosforu v sedimentu 303,9 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny, zjistili Potužák a Duras (2015) na rybníce Posměch o výměře 38,3 ha.

Skerman a kol. (2006) ve své studii „Složení živin v odtokové vodě z rybníků“ odebírali vzorky odtokové vody na dvaceti rybnících. Obsah živin analyzovali pro možnost využití závlahy zemědělských polí či pastvin. Všechny vzorky vody byly odebírány těsně pod hladinou rybníků z důvodu zamezení znečištění vzorku plovoucím materiálem na hladině. Zpočátku byly vzorky odebírány z pěti míst. Po chemické analýze byla spočtena ekonomická náhrada za anorganické hnojivo pro pohnojení pastvin pro dobytek. Byly hodnoceny parametry: salinita, koncentrace chloridů a sodíku pro určení pravděpodobného negativního působení na růst rostlin a zemědělskou půdu. Voda odtékající z rybníků byla použita k závlaze na nejběžnější letní a zimní píceiny, a také pro pastviny. Obsah TN byl zaznamenaný s ø hodnotou 167 mg.l<sup>-1</sup> (min. 22 mg.l<sup>-1</sup>; max. 459 mg.l<sup>-1</sup>). Hodnota ø množství TP byla 36 mg.l<sup>-1</sup> (min. 10 mg.l<sup>-1</sup>; max. 85 mg.l<sup>-1</sup>). Obsah celkového draslíku vykazoval průměrnou hodnotu 274 mg.l<sup>-1</sup> (min. 3 mg.l<sup>-1</sup>; max. 1020 mg.l<sup>-1</sup>). Obsah vápníku ø hodnota 98 mg.l<sup>-1</sup> (min. 36 mg.l<sup>-1</sup>;

max. 187 mg.l<sup>-1</sup>). Koncentrace hořčíku  $\sigma$  hodnota 103 mg.l<sup>-1</sup> (min. 34 mg.l<sup>-1</sup>; max. 254 mg.l<sup>-1</sup>). Hodnota pH byla minimální 7,2 a maximální 9,0;  $\sigma$  hodnota pH byla 7,9.

U všech sledovaných rybníků byly velice proměnlivé hodnoty sledovaných živin. Rozdílné hodnoty koncentrace živin autoři přisuzují rozdílnému zatížení daného rybníka.

Coldebella a kol. (2018) ve své studii „Odtoková voda z rybích farem: Z pohledu perspektivy hlavních komponentů“ vybrali a hodnotili dvanáct rybníků s chovem tilapie nilské (*Oreochromis niloticus*). Obsádka ryb měla vždy stejnou hustotou 5 ks.m<sup>2</sup> s průměrnou hmotností 0,9 kg.ks<sup>-1</sup> na konci experimentu. Celková produkce byla 45 000 kg.ha<sup>-1</sup> (200 dní odchovu). Vzorke vody byly odebírány v několika fázích: C1 – plný rybník, C2 – středně vypuštěný rybník (60% rybníka), C3 – síť (stav po prvním zátahu síti) a C4 - konečná fáze (vypouštění, kdy z rybníka odtéká přibližně posledních 5 % vody). Z výsledku studie plyne, že zvířením sedimentu se zastaví rozklad organických látek v sedimentu a dojde ke změnám složení a fyzikálních a chemických parametrů vody. Průměrné hodnoty živin během jednotlivých fází výlovu prezentuje níže uvedená tabulka č. 3.

Tabulka č. 3 Průměrné koncentrace živin během fází výlovů rybníků s chovem tilápie nilské (Coldebella a kol., 2018)

Parametr	Jednotky	C1	C2	C3	C4
TP	mg.l <sup>-1</sup>	0,47	0,76	1,776	4,51
TN	mg.l <sup>-1</sup>	3,95	4,61	6,836	13,63
PO <sub>4</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	0,02	0,04	0,013	0,02

Poštulková a kol. (2013) popisují změny kvality vody při vypouštění dvou rybníků. Vzorke vody byly odebírány ze dvou rybníků o rozloze 28,47 ha a 188,7 ha, s polointenzivním hospodařením. K odběru vody docházelo 10–20 cm pod hladinou, přímo pod hrází rybníka. Odběr vzorků byl prováděn jednou denně v ranních hodinách. Na prvním rybníce v průběhu vypouštění byla průměrná koncentrace TP 22 mg.l<sup>-1</sup>. Minimální hodnota TP byla 13,40 mg.l<sup>-1</sup>. K razantnímu zvýšení koncentrace TP na hodnotu 45,40 mg.l<sup>-1</sup> došlo v průběhu výlovu a ke konci vypouštění vody z rybníka. Z rybníka (188,7 ha) během celé doby vypouštění odteklo celkem 0,405 t TP, 4,415 t TN a 37,517 t celkového organického uhlíku (TOC). Z druhého rybníka 28,47 ha odteklo během vypouštění vody celkem 0,169 t TP; 2,054 t TN a 18,350 t TOC. Na závěr autoři zmiňují, že ke zvýšení koncentrace (často několikanásobně) rozpuštěných i

nerozpuštěných látek dochází během vypouštění rybníků. Tím se do níže položených povrchových vod dostává významný podíl látek z rybníků. Průběžná data chemické analýzy poukazují na nízkou koncentraci P, N, TOC během vypouštění, kdy k výraznému nárůstu koncentrace dojde většinou až při samotném výlovu ryb, resp. v jeho závěru.

Krejčí (2015) ve své práci hodnotil údaje ze studií VÚRH Vodňany, které vznikly ze vzorků vody odebíraných v letech 1994–2004. Sledované rybníky byly využívány rozdílným rybářským managementem a tím také měly rozdílnou historii.

Rybník „Trampalovský“ s rozlohou 2,68 ha nebyl během sledovaného období hnojený ani přikrmovaný a dosahoval následujících hodnot (řazeno: nejmenší – nejvyšší hodnota); pH 6,1–9,2, BSK<sub>5</sub> 4,5–38 mg.l<sup>-1</sup>, CHSK<sub>Mn</sub> 11,5–42,4 mg.l<sup>-1</sup>, N–NH<sub>4</sub> 0,08–0,87 mg.l<sup>-1</sup>, TP 0,07–1,13 mg.l<sup>-1</sup>, N–NO<sub>3</sub>–1,80 mg.l<sup>-1</sup>.

Rybník „Schwarzenberg“ s rozlohou 6,71 ha byl každoročně během sledovaného období přihnojovaný chlévskou mrvou v dávce 70–230 q a pro úpravu hydrochemických poměrů bylo přidáváno vápno či vápenec v dávce 20 q. Fyzikálně chemické parametry dosahovaly v letech 1999–2003 následujících hodnot; pH 6,8–9,7 mg.l<sup>-1</sup>, BSK<sub>5</sub> 1,2–21,5 mg.l<sup>-1</sup>, CHSK<sub>Mn</sub> 12,7–45,5 mg.l<sup>-1</sup>, N–NH<sub>4</sub> 0,04–0,74 mg.l<sup>-1</sup>, TP 0,10–3,45 mg.l<sup>-1</sup>.

Dále byla hodnocena data ze šesti pokusných rybníčků o ploše 0,16 ha. V těchto rybníčcích byly ryby přikrmovány pouze rostlinnými krmivy (pšenice, řepka, len), bez hnojení. Ryby měly k dispozici povětšinou pouze přirozenou potravu. Byla nasazována násada kaprů K<sub>2</sub> a na podzim lovena. Na počátku tohoto experimentu byly ve všech rybníčcích odebrány vzorky sedimentu ze dna rybníka. U vzorků sušiny sedimentů byly zjištěny tyto hodnoty (nejnižší – nejvyšší hodnota) N<sub>celk.</sub> 2 912–4 246 mg.kg<sup>-1</sup>, P<sub>celk.</sub> 980–1 150 mg.kg<sup>-1</sup>, obsah sušiny 48,71–56,55 %. Během výlovu se průměrná biomasa na těchto rybníčcích pohybovala v rozmezí 481–1 838 kg.ha<sup>-1</sup>.

Strouhal (2015) ve své práci zjišťoval jak přikrmování kaprů může ovlivnit kvalitu vody. Sádky byly nasazeny kapry o průměrné hmotnosti 1 220±157 g, v počtu 363 ks.ha<sup>-1</sup> K<sub>3</sub>. V této studii byly hodnoceny parametry vody, a to; teplota, pH, obsah O<sub>2</sub>, TP, P–PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, TN, N–NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N–NO<sub>3</sub>, BSK<sub>5</sub> a CHSK<sub>Cr</sub>.

Hodnoty BSK<sub>5</sub> byly u všech rybníků sledovaných rybníků během léta vcelku shodné okolo 7,4±4 mg.l<sup>-1</sup>. Nejnižší hodnoty CHSK<sub>Cr</sub> (56,36±22,86 mg.l<sup>-1</sup>) byly zjištěny v sádkách s kontrolní obsádkou ryb jež nebyly přikrmovány rostlinnými krmivy. Naproti tomu byla zjištěna popisována nejvyšší hodnota 58,4±23 mg.l<sup>-1</sup> v sádkách

s příkrmováním pšenicí. Hodnoty obsahu nerozpuštěných látek se výrazně nelišily mezi jednotlivými sádkami a skupinami ryb s rozdílnými krmivy. Nejnižší hodnota TP byla naměřena v kontrolní skupině  $0,18 \pm 0,08 \text{ mg.l}^{-1}$ . V sádkách s příkrmováním upravenou pšenicí, tepelně zpracovanou i mačkanou pšenicí byly zjištěny shodné koncentrace  $0,19 \pm 0,09 \text{ mg.l}^{-1}$ , sádky s příkrmováním celou pšenicí vykazoval hodnoty TP  $0,19 \pm 0,08 \text{ mg.l}^{-1}$ . Průměrné koncentrace  $\text{P-PO}_4^{3-}$  byly shodné u kontrolních sádek bez příkrmování, sádky s příkrmováním tepelně upravenou a mačkanou pšenicí na hodnotě  $0,008 \pm 0,006 \text{ mg.l}^{-1}$  a hodnoty v sádkách s příkrmováním celým zrnem pšenice byly  $0,007 \pm 0,007 \text{ mg.l}^{-1}$ .

Knösche a kol. (1998) ve své studii sledovali poměr fosforu a dusíku v rybnících s hlavní obsádkou kapra – tzv. kaprové rybníky. Jejich data pocházejí z měření na 38 rybnících (rozloha 0,25–122 ha) ze spolkových zemí Brandebursko, Sasko, Bavorsko a několika rybníků také z Maďarska. Autoři vypočítali bilanci živin jako rozdíl mezi kvalitou vody na přítokové a odtokové vodě. Jimi publikované výsledky ukazují, že průměrný odtok z rybníků představuje:  $0,51 \text{ kg P.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ . To znamená, že každý hektar vodní plochy rybníka uvolnil o 510 g P méně, nežli se přítokem do něho dostalo. Tento výsledek byl nezávislý na množství vylovených ryb ( $\leq 1\,500 \text{ ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ ). Průměrná retence (zachycení) fosforu P (P – zůstatek) bylo  $5,71 \text{ kg P.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ . Retence fosforu se zvyšovala se zvyšujícím hospodařením (intenzitou chovu). Retence dusíku se navyšovala s navyšováním intenzity chovu od  $78,5 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$  v Německých zemích, do  $>290 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$  v rybnících v Maďarsku (kombinace chovu ryb s využitím hnojiv od vepřů). Dle zjištění těchto autorů je převážně během výlovu uvolněno 1 % retenční kapacity rybníka ve formě suspenzní mineralizované složky bahna. Při klasickém managementu chovu ryb v rybnících je během výlovu rybníka uvolněno  $50\text{--}200 \text{ l.ha}^{-1}$  sedimentu (bahna);  $0,3\text{--}0,9 \text{ g sušiny.ha}^{-1}$  bahna. Ačkoliv je dle autorů živinová zátěž v odtokové vodě nízká v porovnání s retenční schopností rybníka, doporučují vynaložit co nejvyšší úsilí pro snížení znečištění potoků a stok pod rybníky během výlovů a po nich. Proto doporučují pomalé vypouštění vody z rybníka a využít stoky pod rybníkem pro chytání sedimentu. Do stoky pod rybníkem by bylo ideální vložit zařízení ke zdržení vody a sedimentaci.

Mikšíková a kol. (2011) sledovali vypouštění a výlov 2 rybníků s výměrou 10 a 14 ha. Produkce ryb v nich byla na úrovni  $500\text{--}600 \text{ kg.ha}^{-1}$  a probíhala obvyklým polointenzivním způsobem. Jeden z rybníků měl loviště a kádiště pod vzdušnou stranou



hráze. Během vypouštění vody z rybníka dosahovala úroveň nerozpuštěných látek ( $NL_{105}$ ) desítky miligramů na litr a postupně narůstala až ke  $100 \text{ mg.l}^{-1}$ . Obsah TP byl během vypouštění v rozmezí  $0,15\text{--}0,0252 \text{ mg.l}^{-1}$  (rybníka 10 ha);  $0,081\text{--}0,259 \text{ mg.l}^{-1}$  (rybník 14 ha). V den před výlovem, kdy bylo v rybnících již podstatně méně vody, dosahovala koncentrace  $NL_{105}$  již řádově stovky  $\text{mg.l}^{-1}$ . Koncentrace TP se také poměrně zvýšila na  $0,446\text{--}1,160 \text{ mg.l}^{-1}$ . Ráno, při samotném zahájení výlovu rybníka, se však koncentrace  $NL_{105}$  velmi výrazně zvýšila na  $3\,720\text{--}11\,000 \text{ mg.l}^{-1}$  u rybníka s obvyklým lovištěm a  $9\,440\text{--}139\,000 \text{ mg.l}^{-1}$   $NL_{105}$  dosáhla hodnota u rybníka s výlovem pod hrází. S podobným trendem postupovala také koncentrace TP, jež se v průběhu výlovu pohybovala na úrovni  $5\text{--}17,4 \text{ mg.l}^{-1}$  (rybník 10 ha) ;  $11,4\text{--}127 \text{ mg.l}^{-1}$  (14 ha) . Vyšší hodnota TP byla zaznamenána u výlovu pod hrází. To je dá se říci překvapivé zjištění, jelikož výlov ryb pod hrází je popisovaný za nejšetrnější způsob výlovu, jak z pohledu ryb, tak z hlediska odnosu sedimentu z vypouštěného rybníka. Při sečtení odnosu  $NL_{105}$  a TP za celý průběh vypouštění vody z rybníka bylo zaznamenáno, že v průběhu samotného výlovu odchází  $15,6\text{ ; }12,4\%$   $NL_{105}$  (rybník 10 ha) a  $27\text{ ; }17,6\%$  (rybník 14 ha) TP. Během samotného výlovu oteklo z rybníka  $42,3\text{ ; }85,5\%$   $NL_{105}$  a  $37,5\text{ ; }80,6\%$  TP. Po ukončení výlovu rybníka byl spočtený odtok z prvního ze sledovaných rybníků:  $42,1\%$   $NL_{105}$  a  $35,5\%$  TP, zatímco po ukončení výlovu u druhého rybníka jen  $2,1\%$   $NL_{105}$  a  $1,8\%$  TP (brzy byla uzavřena výpusť vody z rybníka). Celkově z rybníků oteklo spolu s vodou pouze  $0,2\text{--}0,5\%$  objemu sedimentu uloženého v rybníce, a to je vcelku zanedbatelné množství. Autoři také potvrdili pozitivní závislost mezi množstvím nerozpuštěných látek a celkovým obsahem fosforu.

Teodorowicz (2013) ve svém článku zkoumal změny parametrů (TN, TP,  $BSK_5$ ), které povrchová voda prodělala po průchodu rybími farmami. Přítok do těchto farem je z řeky Drwęca v Polsku. Autor naměřil tyto hodnoty v řece (na přítoku do rybích farem) a činily  $P_{\text{rozp.}} 0,09\text{--}0,15 \text{ mg.l}^{-1}$ ,  $BSK_5 1,6\text{--}2,9 \text{ mg.l}^{-1}$ ,  $0,12\text{--}0,20 \text{ mg.l}^{-1}$  TP,  $1\text{--}1,36 \text{ mg.l}^{-1}$ . Na odtoku z rybích farem zjistil následující průměrné hodnoty parametrů  $P_{\text{rozp.}} 0,06\text{--}0,14 \text{ mg.l}^{-1}$ ,  $BSK_5 2,4\text{--}4,7$  ,  $0,11\text{--}0,27 \text{ mg.l}^{-1}$  TP a  $0,87\text{--}1,51 \text{ mg.l}^{-1}$  TN. Pravidelný monitoring odtokové vody z rybích farem po celý rok ukázal následující vyprodukované zatížení řeky:  $518,14 \text{ kg TP.rok}^{-1}$ ;  $3\,097,85 \text{ kg TN.rok}^{-1}$ ;  $6\,030,07 \text{ kg.rok}^{-1}$   $BSK_5$ . Při přepočtu živin, které se měly do odtokové vody dostat z krmiva došel autor k následujícím hodnotám:  $336,27 \text{ kg TP.rok}^{-1}$ ;  $2\,920,55 \text{ kg TN. rok}^{-1}$  a  $9\,143,91 \text{ kg.BSK}_5 \text{ rok}^{-1}$ . Na základě teoreticky propočteného uvolnění živin a reálných hodnot přiznává autor rozdíl a to: u TP na úrovni  $30\%$ , u TN  $14\%$  a  $BSK_5 48\%$ .

Fiala a Rosendorf (2010) popisují výsledky z rozsáhlé studie, jež se týkala hodnocení eutrofizačního potenciálu zdrojů fosforu v povodí vodních nádrží (VN Orlík). Tato studie je považována za velice nutnou k identifikaci zdrojů P a možnost omezení eutrofizace vod. Koncept metodiky této studie byl založený na jednoduchém předpokladu, že pokud se dovede převést informace o emisích fosforu z jednotlivých zdrojů na vhodný společný zdroj, tak se bude moci provnávat, přímo jejich význam z pohledu hodnoceného vodního útvaru, v tomto případě vodní nádrže. Tím je možnost docílit objektivnější posouzení významu zdrojů a návrh efektivního nápravného opatření. Dle geologických podmínek stanovili, že zdrojem fosforu v lesních potocích jsou žulové podklady, které vody potoků obohacují v koncentraci 0,03–0,04 mg.l<sup>-1</sup> a na tercierních vulkanických horninách dokonce 0,06–0,09 mg.l<sup>-1</sup>, kdy hraniční stav pro velmi dobrý stav povodí autoři uvádějí 0,025 mg.l<sup>-1</sup> TP. Na dalších lesních potocích však zjistili poněkud vyšší hodnoty TP v koncentraci 0,015–0,025 mg.l<sup>-1</sup>. Dle těchto zjištění je zcela zřejmé, že bude muset být navýšen limit pro posuzování eutrofní charakteru přibližně na úroveň 0,035–0,045 mg.l<sup>-1</sup>. Z těchto zjištění rovněž vyplývá, že významným potenciálním zdrojem fosforu v lesních povodích jsou především některé obce situované v povodí a rozdílně využívané zemědělské pozemky. Odpadní vody z obcí se podíleli na obsahu fosforu ve vodách z 80 %. Pro odhad eutrofního potenciálu však, ale nehraje roli množství fosforu v odtoku do recipientu. Roli hraje také vzdálenost zdroje od nádrže a případná retence, a také transformace fosforu v tocích a nádržích.

### **6.1 Odbahnění a následné využití bahna, sedimentů a živin z rybníků**

Pokud je rybník silně zanesený v celé své ploše bahnem, je nezbytné bahno vytěžit a odvést nejlépe na pole. U bahna je podobné složení živin, které je podobné složení u kompostu. Dno rybníka se nesmí nikdy úplně zbavit bahna, neboť to je nezbytným prostředím pro život a vývin rybníčních organismů (Dyk , 1947). U vyšší vrstvy bahna nad 30 cm nastává anoxie (neprokysličení) a bahno se degraduje okyselením. Následné nežádoucí rozkladné procesy vytvářejí škodlivé plyny - sirovodík, methan aj. (Hušek, 1946). Proto je nutno vyšší vrstvy odstraňovat. Odtěžení přebytečného bahna se provádí po v době vypouštění rybníků za pomoci těžké techniky (rýpadlem, buldozerem, skrejprem, vlečnou lopatou) a vyvezením bahna z rybníku na skládky Vytěžené bahno se po rozkladu a odkyselení používá ke zúrodnování písčítých částí rybníčního dna, dále k výrobě kompostů, popřípadě ke kultivaci lehkých písčítých půd. Z bahna zejména návesních a podvesních rybníků je získáváno značně hodnotné hnojivo

s obsahem humusu 4–11 %, obsah dusíku až 0,3 %, kyselina fosforečná až 0,27 % a draslíku až 0,57 %. Tím lze získat hodnotnou hmotu pro komposty zejména v oblastech, kde je nedostatek chlévské mrvy. Jelikož se na jílovité frakce bahna snadno váží závadné zbytky aplikovaných chemických ochranných prostředků – pesticidů, tak je nutné zjistit zbytkový obsah těchto látek před využitím bahna pro organické hnojivo (Jůva kol., 1980).

V praxi odstraňování sedimentu z rybníků znamená z velké části přemísťování zeminy a to může přispět k degradaci životního prostředí. Rybníční sediment obsahuje sloučeniny, které podléhají rychlé degradaci a vytváří nepříjemný zápach. Nesprávná manipulace a likvidace rybníčního bahna může vést ke kontaminaci podzemních vod dusičnany a stejně tak přispět k eutrofizaci povrchových vod (Mizanur a kol., 2004). Proti přílišnému zabahňování rybníků Čítek a kol. (1998) doporučují vápnění, jelikož toto meliorační opatření urychluje rozklad organického bahna.

## **6.2. Současná legislativní problematika s využitím bahna z rybníka**

Dle zákona č. 238/1991 Sb. „O odpadech“ jsou vytěžené sedimenty z vodní nádrže považovány za odpad, i přes nezavádňivé složení. To umožňuje využití sedimentů jako druhotnou surovinu k např. hnojení polí, zemní úpravy terénu (Slavík, 2000).

Rybníční bahno bylo vždy považováno ze velice kvalitní hnojivo s bohatým obsahem živin (Morý, 1937). Dokonce bývalo deputátem zaměstnanců v rybářství. Využití bahna v zemědělství zkomplikovalo časté kontaminování sedimentů cizorodými látkami. To vedlo k poklesu zájmu o tento zdroj živin a navíc se začalo nahlížet rybníční bahno jako na odpad s nutností se ho co nejrychleji zbavit (Potužák a kol., 2017).

## **6.3 Možnosti recyklace a využití sedimentů (bahna)**

### **6.3.1 Přípravné práce pro vlastní odbahňování**

Vlastní odbahnění rybníka je možné pouze na povolení a jsou nutné podniknout přípravy tohoto melioračního zásahu. Jednotlivé fáze přípravy odbahnění je možné řešit postupně, popřípadě z důvodu urychlení je možné přípravy sloučit. Pro tento meliorační zásah je nutné prověřit možnosti finančního zajištění z vlastních zdrojů, úvěrů, podklady pro získání dotací, půjčky bez úroků ze státních fondů, finanční příspěvky od jiných investorů. Dále je potřeba vybrat vhodného projektanta k zajištění projektové

dokumentace odbahnění a vymezení složitosti provádění. V neposlední řadě je podstatné zajistit odvoz vytěžené hmoty a případně vyřešit dotčení cizích zájmů – ochrana přírody, okolní pozemky. Je nutné zajistit předběžné prověření místních podmínek pro připravované odbahňování rybníka za použití mechanizace (kapacita dna rybníka po odbahnění – odtěžení vrstvy bahna) a zjištění možností provedení dalších úprav jako je zpevnění sjezdů do rybníka a úprava provizorních cest (Kronika, 1995).

K odbahnění se zajišťují podklady od investora nebo projektanta, popřípadě jiného kompetentního pracovníka. Základními podklady jsou popis vodního díla, normace -manipulační řád, bezpečnostní posudek rybníka, povolení nakládání s vodami, snímek katastrální mapy s výpisem z katastru nemovitostí včetně vyjádření vlastníků dotčených pozemků, stanovisko o následném způsobu využití nebo uložení vytěženého sedimentu, povolení k nakládání s vodami, usnesené dohody o využití vodního díla (biologické dočišťování, odběry vody, rekreace, vyjádření), povolení a vyjádření o práci stavebních zemních strojů v blízkosti objektů dálkového elektrického kabelového vedení, kanalizace, vodovodu, plynovodu, ropovodu, vyjádření vodohospodářského orgánu. Dle výsledků rozborů o složení bahna je potřeba nalézt vhodnou lokalitu a zhodnotit vzdálenost lokality ke skládkování nebo odpovídající pozemky pro uložení vytěženého bahna, popřípadě místa k založení kompostárny a dojednat možnosti a podmínky uložení a zpracování vytěženého bahna na těchto lokalitách. Pro dopravu zemní techniky je nutné zajistit přístupové cesty s dostupností ke komunikaci. Pro servisní potřeby zemní techniky je vhodná rezerva elektrické energie z motorového agregátu. A souhlas vlastníků okolních a dotčených pozemků (Vojtěch, 1997).

### **6.3.2 Odbahňování**

Pro zachování jedné ze základních podmínek dobré funkce vodní nádrže považuje Gergel (1986) pravidelné těžení sedimentu. Těžba sedimentu je možné při plném stavu vodní hladiny, popř. po výlovu rybníka na tzv. odvodněném dně (Gergel a kol., 1986). Tvorba a ukládání sedimentu není stejnoměrné ve všech částech nádrže, z tohoto důvodu je postatné vzít v úvahu prostorové rozvrstvení a skladbu (Gergel, 1986).

Při podrobnějším popisu horizontální skladby sedimentů se rozlišuje dle (Gergela a kol., 1995) litorální pás, jež zahrnuje okraje nádrže a pásmo vysokých makrofyt (rákos, ale také např. kopřivu). Sedimenty v litorálním pásmu obsahují značný podíl tzv. surového humusu a rostlinných zbytků o různém stupni rozkladu. Na popisovaný litorální pás se

plynule napojuje sedimentární zóna, jež pokrývá také nejhlubší části nádrže kolem výtoků z nádrže (loviště) a erozní zóna, která vzniká za účasti celé řady faktorů (Gergel, 1986).

Jeden z podstatných faktorů je převládající směr větru, jelikož je příčinou neustálého výmývání a navětrávání břehové části nádrže, kdy se jemné částice dna odplavují a zůstávají poté jen hrubší frakce (Gergel a kol., 1995).

V typické sedimentární zóně je možné kvalitu sedimentu rybníka rozdělit vertikálně a to na: Svrchní část do hloubky 10–20 cm s bohatým obsahem organických látek, a také obsahuje největší podíly fosforu a dusíku. Nejspodnější část sedimentu je v důsledku tzv. kolmatace (utužení) těžko rozlišitelná od podlaží (Gergel, 1986).

Pokud je rybník silně zanesený v celé své ploše bahnem, je nezbytné bahno vytěžit a odvést nejlépe na pole, jelikož jsou u něj známy podobné hnojivé vlastnosti jako má kompost (Štěrba, 1986).

### **6.3.2.1. Suchá metoda odbahňování**

Tato metoda se provádí po vypuštění a oschnutí dna rybníka pomocí bagrů a buldozerů. Odtěžený sediment je následně odvážen pomocí nákladních vozidel. Poté je svážen na tzv. deponii, a nebo je rozprostřený na předem domluveném pozemku, popř. je přímo v daném rybníce vytvořena deponie, což ale není nejvhodnější metoda (opětovné zazemnění nádrže) (Vojtěch, 1995).

Výhodou suché metody odbahňování je osvědčenost a dlouhá doba používání, kdy materiál je těžen v suché a utuženější formě (Vojtěch, 1995; Vojtěch, 1997). Je však bohužel skutečností, že transport odtěženého sedimentu se prováděl obvykle jen v minimální vzdálenosti od těženého rybníku (ostrůvky, rozvrstvování krajních partií nádrží) a vytěžený materiál se již dále nezužitkoval (Vojtěch, 1997).

Nevýhodou této metody je kontroverze charakteru melioračního zásahu, jelikož je spíše stavbařského, nežli biotechnologického charakteru. To v praxi zpravidla znamená odstranění veškerého bahna i s vrstvičkou aktivního bahna, které je nutné pro vyváženost rybníčního ekosystému a významně ovlivňuje primární produkci rybníka (Vojtěch, 1997). Dále je negativním aspektem dlouhá doba rybníka bez vody – tzv. na suchu. Po vypuštění a odbahňování je povodí pod rybníkem zatěžováno nerozpuštěnými látkami a tím dochází k další sedimentaci, kdy daná práce je přímo závislá na průběhu počasí a vytěžený sediment je pomíchaný s nekvalitními spodními vrstvami. Jde o poměrně razantní zásah do dna rybníku a obnova daného rybníčního ekosystému může trvat několik let (Vojtěch, 1995). Vypuštěný rybník je v době těžby vyřazený ze své

hospodářské i krajinné funkce, což má nejen pro majitele negativní efekt, a obzvláště u průtočných rybníků v kaskádě pod sebou s jinými rybníky to ovlivňuje celé povodí. Těžká strojní technika a transportní vozidla devastují okraje rybníka, porosty, cesty kolem rybníka včetně cest k místu skládky či aplikace sedimentů (Vojtěch, 1997).

### 6.3.2.2 Mokrý metoda odbahňování

Mokrý metoda je prováděna pomocí sacího bagru. Těžba sedimentu je prováděna na napuštěném rybníku a odvod těžného sedimentu je prováděný buď vodní cestou do předem připravené „laguny“, a nebo je možné provést aplikaci rozstřík na zemědělský či lesní pozemek (Vojtěch, 1995; Potužák 2017).

Výhoda je možnost těžby na napuštěném rybníce, kdy nevadí přítomnost rybí obsádky a bahno je možné odtěžit na základě předem zmapovaného dna a připraveného projektu. Tím je možné separovat a těžít bahno dle složení a kvality (Vojtěch, 1995). Voda odtékající z rybníka není znečištěna. Těžbu je možné provést prakticky ve všech klimatických podmínkách s výjimkou velkých mrazů. To je velmi významné z hlediska různých agrotechnických termínů pro hnojení zemědělských pozemků. Nevýhodou je poměrná novost metody a těžkosti s jejím prosazením sedimentu přímo na pole (Vojtěch, 1997).



Obr. č. 1. Sací bagr při práci na rybníce – Dlouhý u Čakovce (foto: J. Dofek)

### 6.3.2.3. Využití vytěženého sedimentu z rybníků

Využití odtěženého sedimentu je závislé na výsledcích provedeného průzkumu analýz vzorků (Šálek, 1996; Potužák a kol., 2017; Baxa a kol., 2017). V případě, že výsledky rozborů jsou v souladu s požadavky ČSN 46 5735 Průmyslové komposty, tak lze bahno dle Šálka (1996) využít takto: Zúrodňovací, rekultivační prvek v zemědělství; Přírodní ekologické hnojivo; Kompost či jeho součást; Zúrodňující prvek pro těžený rybník nebo jiný rybník; Pro výrobu travních a střešních biokoberců; Hrubší frakce ve stavebnictví.

Jak popisují Vojtěch (1995) nebo Potužák a kol. (2016) tak rybníční bahno nesesedimentuje rovnoměrně. Často lze zjistit, že kolem loviště, hlavní stoky, přítoku je bahna až masivní škodlivé množství. Kolem některých oblastí břehů i dále je tvrdé dno a nebo písek. Pomocí vytvořených nízkých ponořených hrázek (vyrobených buď z přírodního materiálu – dřevo, proutí, popř. z jiného materiálu), které se zabudují do dna, je možné připravit úložiště pro vrstvu sedimentu, jež zvětší dnovou produkční plochu. Je možné takto část odtěženého bahna v rybníce pouze přemístiti a zvýšit tak produkci rybníku.

Čašek (2016) jako přirozený proces popisuje postupné zazemňování (zanášení) vodních nádrží. Je to jev, který je třeba očekávat a počítat s ním. Ovšem intenzita je z druhého pohledu výrazně ovlivněna antropogenní aktivitou v povodí. K nejpodstatnějším zdrojům sedimentů v nádržích řadí: erozní procesy v povodí, erozní procesy břehů a dna nádrže, ukládání splavenin, rozklad těl odumřelých organismů ve vodním prostředí, ukládání listového opadu z břehových porostů, exkrementy ryb a dalších vodních živočichů.

Zhou a kol. (2011) ve své studii zkoumali kolik živin zachytí rýžové pole, na které byla odpouštěna voda z rybníka. Výsledky experimentu ukázaly, že zaplavením rýžového pole bylo možné odstranit z vody některé sloučeniny, zejména  $\text{NO}_3\text{-N}$  a TP. Pokud se voda z rybníka zachytí na rýžovém poli více než 8 hodin, tak je rýžové pole schopné zadržet zachytit 65,23 % TN, 71,97 % pro TP, 87,28 %  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 66,84 % pro  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  a 51,06 % pro  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ . Při rozlivu vody z rybníka na pole, došlo ke kontaktu s půdou a rostlinami tak se různé formy dusíku zachytily více, nežli TP a  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ . A to následovně  $\text{NH}_4\text{-N}$  49,92 % a  $\text{NO}_3\text{-N}$  41,78 %. Když odtoková voda z rybníka proniká do půdy pak absorpce je 45,51 % pro TP a 35,63 % pro  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  a 37,36 % pro  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Při využití odtékající vody z rybníka, je možné navýšit produkci rýže až na hodnotu

9 000 kg.ha<sup>-1</sup>, a to za použití dávky 80 % konvenčního hnojiva. V praxi je možné takto ušetřit 20 % konvenčního hnojiva. Bez závlahy obohacenou vodou z rybníka, s použitím konvenčního hnojiva byla dosažena produkce rýže 7 950 kg.ha<sup>-1</sup>. Pro životní prostředí je to podstatně úspornější a šetrnější hospodaření.

Podle Potužáka a kol. (2015); Drózd a kol. (2020) je velice důležité soustředit se na možnosti navrácení živin z rybničního sedimentu (bohatého na živiny) zpět na pole a tím obnovit cyklus živin v krajině. Právě z těchto uvedených důvodů byly testovány v provozních podmínkách technologie pro separaci rybničního bahna pro odbahňování loviště rybníků. Využívaná byla technologie sacího bagru, jež jímá zvodnělý sediment a následně byl uložen v geotextilních vacích za použití flokulantů (Vaníček, 2014; Potužák a kol., 2017). Snahu o zachycení a opětovné využití živin uložených v rybničním sedimentu je proto nutno vnímat jako vysoce aktuální téma jak v zemědělství, tak také v akvakultuře (Regenda a Hartman., 2017). Pokud je rybník silně zanesený v celé své ploše bahnem, je nezbytné bahno vytěžit a odvést nejlépe na pole, jelikož jsou u něj známy podobné hnojivé vlastnosti jako má kompost (Štěrbá, 1986). Dno rybníka se nesmí nikdy úplně zbavit bahna, jelikož bahno je nezbytné prostředí pro život a vývin rybničních organismů (Dyk, 1947). Odtěžené bahno z rybníka je možné použít ke hnojení polí (zejména lehkých půd), luk a zejména je vhodné bahno popovézt na neúrodné a obnažené rybniční mělčiny. Bahno je nutné vyvézt na hromady o výšce 40–50 cm (vyschnutí, okysličení). Bahno se poté smíchává s kompostem, současně se přidává vápno. Kompost je nutné dobře ošetřovat a 2–3 × převrstvit během letního období pro dokonalé uzrání. K přihnojování vody v rybníce je možné kompost použít, když je hmota kompostu kyprá, drobtovitá. To bývá po roce. Použije-li se kompost ke zúrodnění mělčin a obnažených ploch, tak je kompost na mělčiny rozhazován (Dyk a kol., 1956). Typický postup jak naložit se sedimenty z rybníků je rozmetání na pole, přímá aplikace na půdu a nebo namíchání s kompostem před zapravením do půdy. Avšak vzhledem ke svému složení roste zájem o další metody využití sedimentů z rybníků. Je to cesta k regeneraci živin a energie přírodními procesy k získání produktů pro zemědělské využití (Drozd a kol., 2020).

Složením, kvalitou sedimentu a možností využití v zemědělství se zabýval Potužák a kol. (2015). Z jejich studie plyne, že obsah biogenních makroprvků (živin) je v rybničním bahně ve srovnání se zemědělskou půdou podstatně vyšší, ale obsah dostupného (biogenního) fosforu je v průměru nižší, ale je možné postupného uvolňování během zvětrávání sedimentů na polích. Obsah živin dle rozboru bahna u rybníků se



pohyboval v rozsahu N celkový: 6 400–13 000 mg.kg<sup>-1</sup> ,  
P celkový: 1000–3200 mg.kg<sup>-1</sup>, K celkový: 4 200 – 7 200 mg.kg<sup>-1</sup>.

Přebytečné vrstvy bahna musí být vyvezeny. Vyvezené bahno obsahuje mnoho cenných organických sloučenin a další cenné živiny (dusík, draslík) a po zkompostování se hodí pro hnojení polí na lehčích půdách. Velmi značné zvýšení výnosu dosahují louky po pohnojení komposty z rybničního bahna. Autor popisuje, že tuto hnojivou hodnotu znali lidé pouze v některých krajích, kde bývala po bahně značná poptávka a také se za něj platilo (Říha J., 1943)

Baxa a kol. (2017) realizovali komplexní pokus zaměřený na recyklaci živin z rybničního sedimentu. Na této studii se také podíleli Potužák a kol. (2017) a poté publikovali článek s názvem „Rybniční sedimenty a nové možnosti recyklace živin a organických látek v malých povodích – příkladová studie rybník Horusický“

Pro tento pokus byl zvolený Horusický rybník (415 ha) u Veselí nad Lužnicí. Na tomto rybníce je před samotným výlovem – každým druhým rokem prováděno odbahnění loviště za použití sacího bagru. V blízkosti Horusického rybníka se podařilo nalézt vhodné pole pro agrotechnický pokus. Pro tento projekt byla uskutečněna těžba sedimentu z loviště rybníka sacím bagrem, který čerpal sediment plastovým potrubím do homogenizační nádrže. Dle navržené metodiky byl do této nádrže dávkovaný práškový dolomitický vápenec (úprava pH). Kal z homogenizační nádrže byl poté čerpán k odvodnění. Při přečerpávání byl kal z rybníka smícháván s flokulantem k vysrážení sedimentu. K odvodnění kalu byly užity geotextilní vaky o velikosti 5 × 10 m. Jednotlivé vaky byly odděleny přepážkami k oddělení odtoků vody. To bylo podstatné pro následný odběr vzorků vody. Poté byl sediment přečerpán potrubím geotextilních vaků k odvodnění. Byl proveden rozbor fyzikálně chemických parametrů odtékající vody a také sedimentu po odvodnění. Byl také proveden rozbor fyz. chem. parametrů vody z Horusického rybníka, jednalo se o směsný vzorek z hloubky 0–1 m vodního sloupce. Výsledky výstižně prezentuje Tab . č. 4.

**Tabulka 4.** Výsledky sledovaných hydrochemických parametrů zjištěných v průběhu čerpání sedimentu do geotextilních vaků (Baxa a kol., 2017)

Měřené parametry	Jednotky	Ø hodnota sediment (4% sušiny)	Ø hodnota odtokové vody z vaků	Horusický rybník
NL <sub>105</sub>	mg.l <sup>-1</sup>			59
NL <sub>550</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	23 000	39,25	30
TC	mg.l <sup>-1</sup>	8 600	110,25	59
TOC	mg.l <sup>-1</sup>	8 100	46,375	31
TIC	mg.l <sup>-1</sup>	500	63,875	28
TP	mg.l <sup>-1</sup>	80	0,35	0,25
P <sub>rozp.</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	0,32	0,093	0,032
PO <sub>4</sub>	mg.l <sup>-1</sup>			0,017
TN	mg.l <sup>-1</sup>	530	32,625	2,5
Ca	mg.l <sup>-1</sup>	570		
Mg	mg.l <sup>-1</sup>	140	99,5	
K	mg.l <sup>-1</sup>	94	14	
Fe	mg.l <sup>-1</sup>	1 700	16	1,8

### **3. Materiál a metodika**

#### **3.1. Charakteristika rybníků**

Terénní práce na této studii probíhala na osmi rybnících, na kterých hospodaří Blatenská ryba, s.r.o

##### **Rybník Jenšovský**

Prvním sledovaným rybníkem byl rybník „Jenšovský“ o výměře 3,93 ha. Rybník se nachází u obce Oldřichov u Písku. Při plném stavu vody v rybníce byl objem vody odhadnut na 50 355 m<sup>3</sup>. Jednalo se o tzv. plůdkový výtažník a obsádka tohoto rybníka byla K<sub>0</sub>–K<sub>1</sub>. To znamená na jaře nasazený váčkový plůdek kapra a na podzim lovený kapří plůdek. Výlov rybníka se konal dne 27. 10. 2016. Biomasa kapra byla v době výlovu 84 kg ryb na hektar vodní plochy.

##### **Rybník Podsilniční**

Druhým sledovaným rybníkem byl rybník „Podsilniční“ o výměře 1,80 ha. Rybník se nachází u obce Šamonice. Objem vody byl při plném stavu rybníka odhadnut na 15 000 m<sup>3</sup>. Obsádka rybníka byla K<sub>1</sub>–K<sub>2</sub> dvouletá násada kapra. Výlov rybníka se konal 11. 11. 2016. Biomasa ryb v době výlovu byla 667 kg ryb na hektar vodní plochy.

##### **Rybník Novokoželský 2016**

Třetím sledovaným rybníkem v roce 2016 byl rybník „Novokoželský“ o výměře 5,00 ha. Rybník se nachází poblíž obce Kožlí u Čížové. Objem vody napuštěného rybníka byl odhadnut na 50 000 m<sup>3</sup> vody. Obsádka rybníka byla dvouletá násada kapra. Výlov rybníka se konal 14. 11. 2017. Biomasa ryb při výlovu byla 1 340 kg ryb.ha<sup>-1</sup> vodní plochy.

##### **Rybník Ouhlín**

Čtvrtým rybníkem pro vzorkování byl rybník „Ouhlín“ o výměře 6,20 ha. Rybník se nachází poblíž vesnice Rojice. Objem vody napuštěného rybníka byl odhadnut na 50 000 m<sup>3</sup> vody. Obsádka rybníka byla K<sub>0</sub>–K<sub>1</sub> plůdek kapra. Výlov rybníka se konal 23.11.2016. Biomasa ryb při výlovu byla 239 kg.ha<sup>-1</sup> vodní plochy.

### **Rybník Brdský**

Pátým sledovaným rybníkem byl rybník „Brdský“ o výměře 0,91 ha. Rybník se nachází u obce Chobot. Objem vody v rybníce byl odhadnut na 9 090 m<sup>3</sup>. Obsádka rybníka byla 3 letá násada kapra (K<sub>2</sub>–K<sub>3</sub>). Výlov rybníka se konal 10. 3. 2017. Biomasa ryb při výlovu byla 2 915 kg.ha<sup>-1</sup> vodní plochy. Rybník soužil jako komora do které byla na podzim přisazena obsádka dalšího rybníka.

### **Rybník Vrbice**

Šestým sledovaným rybníkem byl rybník „Vrbice“ o výměře 0,80 ha. Rybník se nachází u obce Láz u Radomyšle. Objem vody v rybníce byl odhadnut na 7 000 m<sup>3</sup>. Obsádka rybníka byla 3 letá násada (K<sub>2</sub>–K<sub>3</sub>). Výlov rybníka se konal 26. 9. 2017. Biomasa ryb při výlovu rybníka byla 844 kg.ha<sup>-1</sup> vodní plochy.

### **Rybník Pláňava**

Sedmým sledovaným rybníkem byl rybník „Pláňava“ o výměře 7,70 ha. Rybník se nachází u obce Sedlice u Blatné. Objem vody v rybníce byl odhadnut na 54 198 m<sup>3</sup>. Obsádka rybníka byla dvouletá násada kapra (K<sub>1</sub>–K<sub>2</sub>). Výlov rybníka se konal 13. 11. 2017. Biomasa ryb při výlovu rybníka byla 636 kg.ha<sup>-1</sup> vodní plochy.

### **Novokoželský 2017**

Osmým sledovaným rybníkem byl rybník „Novokoželský“, jehož podrobnější popis je výše (Novokoželský 2016). Obsádku tvořila tříletá násada kapra (K<sub>2</sub> – K<sub>3</sub>). Výlov rybníka se konal dne 14. 11. 2017. Biomasa při výlovu byla 1 340 kg.ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>.

### **Rybník Mokřý**

Devátým sledovaným rybníkem byl rybník „Mokřý“ o výměře 20,00 ha vodní plochy. Rybník se nachází u obce Sedlice u Blatné. Objem vody byl odhadnut na 11 9260 m<sup>3</sup>. Obsádka rybníku byla dvouletá násada kapra (K<sub>1</sub>–K<sub>2</sub>). Výlov rybníka se konal 20. 11. 2017. Biomasa ryb při výlovu rybníka byla 590 kg.ha<sup>-1</sup> vodní plochy.

## 3.2. Odběr vzorků vody a sedimentu in situ

### Odběr vzorků vody

Odebírání vzorků vody bylo vždy na dvou odběrových profilech, profil „A“ pod hrází rybníka (v tzv. vývařišti) a profil „B“ pod druhou bariérou vždy tak, aby bylo možné odebrat reprezentativní vzorky vody. U některých rybníků (Novokoželský 2016 a 2017, Brdský 2017) bylo nutno odebrat vzorky vody níže po stoce oproti ostatním rybníkům pod druhou bariérou tak, aby odebíraný vzorek vody obsahoval také část vody, která se rozlila na břehové části. Tato voda se rozlila po pobřežní části kolem bariéry a opětovně ústila níže do koryta. Rybník Vrbice v roce 2017 představoval výjimku oproti ostatním sledovaným rybníkům a vzorky vody byly odebírány na přídatných profilech „C“ a „D“. Profil „C“ označoval proud vody, jež se oddělil z koryta a stékal se do jednoho místa na louce. Tato voda se již kapacitně nevešla do koryta stoky a přetékala po svahu dolů přes boční stěny hrázek (profilu „A“ i „B“). Voda stoku obtékala v úseku o velikosti přibližně 170 m<sup>2</sup>. Profilem „D“ bylo označeno vyústění stoky za profilem „B“ na louku po průtoku přes silně zarostlý úsek (křoviny a vysoký bylinný porost) v délce přibližně 18 m.

Na rybníce Mokřý v roce 2017 byly odebírány vzorky na třech profilech s označením „A“, „B“, „C“ z důvodu nestandardní situace na dané lokalitě, jež byla zjištěna v den vzorkování. Tuto situaci způsobil po proudu níže položený rybník Starý Čekanický, jelikož měl být v době výlovu rybníka Mokřý již po výlovu a bez vody. Plný vodní stav rybníka Starého Čekanického vzdouval svojí výtopou vodu ve stoce pod rybníkem Mokřý až do vývařiště pod hrází. Rybník Starý Čekanický má jiného vlastníka a uživatele, než je Blatenská ryba s.r.o. Díky tomu nebylo možné postavení zcela dokonalých hrázek tak, jako se budovalo u předchozích rybníků. Na vhodném místě ve stoce pod rybníkem byla postavena jen jedna bariéra, která vzhledem ke vzduť vody netěsnila celý profil stoky a vodu ve stoce nijak zásadně nevzdouvala (ve stoce již byl plný kapacitní stav vody vzduť od níže položeného rybníka). Balíky slámy plavaly a díky tomu nebylo možné zdárně překonat vztlak 2 a více balíků pro zafixování ocelovými pruty, jež byly v dané chvíli k dispozici. Hloubky vody u této jediné bariéry byla kolem 1 m, a to i po úplném zastavení vody při vypouštění rybníka Mokřý. Průtok odtékající vody z rybníka byl částečně brzděn vystavěnou hrázkou. To bylo příčinou rozdílu ve výšce hladin přibližně 2–10 cm nad a pod hrázkou (v závislosti na aktuální velikosti průtoku vody z rybníka).

Pod touto hrázkou byl stanoven profil „B“. Po stoce níže po proudu v místě, kde byla původně plánována druhá hrázka byl zvolený profil „C“ pro vzorkování. Stoka byla naplněna vodou vystavené v naplněné stoce jinak, než budováním hrázek, čímž proces sedimentace nerozpuštěných částic mohl probíhat velice podobně. Z výše uvedeného důvodu byl dále hodnocený srovnávací profil „C“ rybníku Mokřý oproti profilu „B“ ve srovnání s ostatními rybníky. Po výlovu byl také odebrán jeden kontrolní vzorek vody v rybníku Starý Čekanický, do kterého během výlovu odtékala voda z loveného rybníku (označení vzorku vody – „rybník pod“).

Vlastní odběry vzorků vody ze stok pod rybníky byly provedeny za pomoci teleskopické tyče s na konci uchycenou kádinkou 1 000 ml. Vzorky vody byly u jednotlivých bariér odebírány jako dílčí vzorky, které byly slévány do větší plastové nádoby o objemu 20 l. U prvních čtyřech rybníků: Jenšovský, Podsilničný, Novokoželský a Ouhlín v roce 2016 byly dílčí vzorky odebírány po dobu 2–3 minut, v pořadí nejdříve byly odebrány vzorky vody na profilu „A“ a poté směrem po proudu na profilu „B“. U ostatních sledovaných rybníků v roce 2017 (Brdský, Novokoželský, Pláňavy, Vrbice a Mokřý) byl interval prodloužen na 15 minut pro zamezení náhodného zachycení kvalitativně odlišného typu vody. Vzorkování na profilech „A“ a „B“ probíhalo současně. Směsný vzorek ve velké plastové nádobě byl vždy intenzivním proléváním a mícháním homogenizovaný za pomoci kuchyňské odměrky. Takto shomogenizovaný vzorek byl kuchyňskou odměrkou naléván do plastových vzorkovnic o objemu 1–2 litry pro následující stanovení: NL<sub>105</sub> (nerozpuštěné látky sušené), NL<sub>550</sub> (nerozpuštěné látky žíhané), TC (celkový uhlík), TIC (celkový anorganický uhlík), TOC (celkový organický uhlík), CHSK<sub>Mn</sub> (chemická spotřeba kyslíku), BSK<sub>5</sub> (biologická spotřeba kyslíku), TN (celkový dusík). Pro stanovení TP (celkový fosfor), Fe<sub>celk.</sub> (celkové železo), Ca (vápník) se odebíral směsný vzorek do vzorkovnic o objemu 50 ml, pro centrifugaci. Vzorky vody se také filtrovaly přes jednorázový nylonový filtr s velikostí ok 0,45 μm a přelily do plastových lahvíček 25 ml se odebíral vzorek vody pro P<sub>rozp.</sub> (rozpuštěný fosfor), Fe<sub>rozp.</sub>.

Odběry vzorků vody byly naplánovány na pět fází: **1.fáze** – Noc před lovem; **2.fáze** – Ráno před výlovem; **3.fáze** – Těsně před výlovem; **4.fáze** – Výlov; **5.fáze** – Hodinu po ukončení výlovu

Vlastní odběry vzorků v jednotlivých fázích se prováděly vždy co nejpozději. Toto opatření bylo metodicky zvoleno proto, aby došlo k obměně vzduché a akumulované vody. V ohledu dynamiky strojení a velikosti některých rybníků nebyl večer (noc před

výlovem) před výlovem odebrán vzorek na rybnících Ouhlín 2016 a Vrbice 2017, jelikož byly tyto rybníky v tomto čase zastaveny a netekla voda. Na rybníce Jenšovský 2016 nebyl odebraný vzorek vody ve fázi „těsně před výlovem“. Jednalo se o první rybník, na kterém se odebíraly vzorky. Malá biomasa ryb v lovišti rybníka (letní úhyn) způsobila velice rychlý závěr vypouštění rybníka a celého výlovu. Plánovaný odběr „těsně před výlovem neproběhl“ a odebral se tak hned vzorek „výlov“.

### **Odběr vzorků sedimentu ve stoce**

Odběry vzorků sedimentu byly odebírány vždy několik dní po výlovu rybníka v době, kdy došlo alespoň k částečnému zaschnutí zachyceného sedimentu (bahna) ve stoce. Vzorky sedimentu byly odebírány pomocí zednické, popř. polévkové lžice. Jednotlivé dílčí vzorky byly odebrány z několika míst mezi bariérami a v různých hloubkách sedimentu. Následně byly tyto vzorky umístěny do cca 3 l plastových nádob a prvotněpromíchán. Takto nachystaný vzorek sedimentu byl odvezen do laboratoře Povodí Vltavy, s.p. v Českých Budějovicích k dalšímu zpracování (Laboratorní analýza vzorku a bahna). Celkem bylo z finančních důvodů odebráno pouze 7 vzorků sedimentu – plaveného bahna ze stok pod čtyřmi rybníky, a to: Novokoželský 2016 – 1 směsný vzorek, Vrbice – 2 směsné vzorky (odběr sedimentu nad první a nad druhou hrázkou) Pláňavy – 2 směsné vzorky (odběr sedimentu nad první a nad druhou hrázkou) Novokoželský 2017 – 2 směsné vzorky (odběr sedimentu nad první a nad druhou hrázkou)

### **3.3. Základní fyzikálně chemické parametry vody a jejich měření**

Během sledování vypouštění rybníků a v průběhu výlovu rybníků byly měřeny základní fyzikálně chemické parametry vody za pomoci multiparametrální sondy YSI EXO 2. Podrobnější popis sondy včetně popisu sond na přístroji k měření dalších parametrů vody je uvedeno v technické zprávě „Možnosti zachycení recyklace živiny při vypouštění rybníku“ (Hartman a Regenda, 2018).

### 3.4. Analýza vzorků bahna a vody

#### Stanovení organických a nerozpuštěných látek ze vzorků vody

Stanovení a chemická analýza odebíraných vzorků vody byla zaměřena na stanovení a koncentrace vybraných organických a nerozpuštěných látek včetně hlavních živin a kovů. Parametry byly vyhodnocovány na přístroji Analytik Jena multi N/C 2100 byly stanoveny následující chemické analýzy dle ČSN EN 1484. Analyzovány byly výše popisované parametry: **TOC; TC; TIC; TN; BSK<sub>s</sub>; CHSK<sub>Cr</sub>** dle ČSN EN 1899-1, ČSN EN 1899-2, ČSN ISO 15705; **NL<sub>105</sub>** – Stanovení koncentrace nerozpuštěných látek sušených při 105°C dle postupu ČSN EN 872; **NL<sub>550</sub>** – Stanovení nerozpuštěných látek žíhaných při 550°C dle postupu ČSN EN 872; **Alkalita KNK<sub>4,5</sub>** – Stanovení kyselinové neutralizační kapacity bylo stanovováno dle standardního postupu uvedeného v ČSN EN ISO 9963 – 1. Koncentrace mikronutrientů **TP; Fe; Ca; P<sub>rozp.</sub>; Fe<sub>rozp.</sub>** byla stanovována po předúpravě mikrovlnným rozkladem odebraných vzorků metodou ICP – MS a ICP – MS/MS na přístroji Agilent 7500ce a Agilent 8800 QQQ dle ČSN EN ISO 17294 – 2. Rozsah prováděných analýz u jednotlivých rybníků byl různý u rybníků lovených v roce 2016 a 2017 z ekonomických důvodů (omezený rozpočet). Přehled prováděných analýz na jednotlivých rybnících ukazuje tabulka č. 5.



**Tabulka 5** Přehled odebraných vzorků vody a rozsah provedených analýz (Hartman a Regenda, 2018).

Parametr	Jednotky	Jenšovský	Podsilničný	Novokoželský 2016	Ouhřín	Brdský	Vrbice	Pláňavy	Novokoželský 2017	Mokry
		Odebrané vzorky podle fáze výlovu								
Noc před výlovem		*	*	*		*		*	*	*
Ráno před výlovem		*	*	*	*	*	*	*	*	*
Těsně před výlovem			*	*	*	*	*	*	*	*
Výlov		*	*	*	*	*	*	*	*	*
Hodinu po výlovu		*	*	*	*	*	*	*	*	*
Analyzované parametry										
<b>BSK<sub>5</sub></b>	mg.l <sup>-1</sup>						*	*	*	*
<b>CHSK<sub>Cr</sub></b>	mg.l <sup>-1</sup>						*	*	*	*
<b>NL<sub>105</sub></b>	mg.l <sup>-1</sup>	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<b>NL<sub>550</sub></b>	mg.l <sup>-1</sup>	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<b>TN</b>	mg.l <sup>-1</sup>	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<b>TP</b>	mg.l <sup>-1</sup>	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<b>P<sub>rozp.</sub></b>	mg.l <sup>-1</sup>	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<b>TOC</b>	mg.l <sup>-1</sup>	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<b>TIC</b>	mg.l <sup>-1</sup>						*	*	*	*
<b>TC</b>	mg.l <sup>-1</sup>						*	*	*	*
<b>KNK<sub>4,5</sub></b>	mmol.l <sup>-1</sup>						*	*	*	*
<b>Ca</b>	mg.l <sup>-1</sup>						*	*	*	*
<b>Fe</b>	mg.l <sup>-1</sup>						*	*	*	*
<b>Fe<sub>rozp.</sub></b>	mg.l <sup>-1</sup>						*	*	*	*

### Stanovení a analýzy provedené u vzorků sedimentu

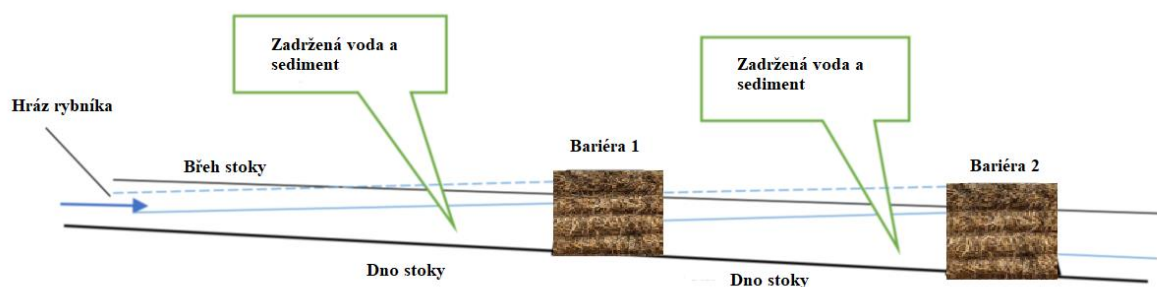
Po odebrání vzorků bahna a doručením do laboratoře se provedly analýzy sedimentu. Vzorky před analýzou byly zcezeny přes síta a homogenizovány dokonalým promícháním. Bližší popis provedených analytických metod je uveden v technické zprávě (Hartman a Regenda, 2018). U sedimentu se analyzovaly parametry: TP; Ca; Mg; K; TN; TC; TOC a množství využitelných živin P, Ca, Mg, K.

### 3.5. Budování a odstraňování bariér

Hrázky „bariéry“ byly postaveny ve stokách pod rybníky v dostatečném odstupu od samotné hráze rybníka – od vývařiště s ohledem, aby nedocházelo k brždění vody odtékající stokou z rybníka při „strojení“ a samotném výlovu rybníka. Na budování bariér – hrázek bylo ve stokách použito balíků slámy/sena ( $0,4 \times 0,4 \times 0,75$  m) z místních zdrojů o hmotnosti kolem 10 kg. Hrázky byly povětšinou stavěny ze dvou řad balíků nad sebou. Balíky byly umístovány těsně vedle sebe, aby došlo k co nejtěsnějšímu překrytí mezer mezi nimi.

Jako příklad upraveného rozestupu mezi bariérami lze uvést výše uvedený rybník Ouhlín, jelikož na tomto rybníce byla druhá hrázka postavena poměrně blízko první hrázky s ohledem na měkké podloží kolem stoky níže po směru odtoku ve stoce. Při budování hrázek se po ohledání terénu přihlíželo a využívalo míst s co nejmenším spádem stoky, a to z důvodu vytvoření maximálního akumulčního objemu vody v prostoru nad hrázkami. Během vypouštění vody z rybníka – strojení byly přibližně 24 hodin před začátkem vlastního výlovu rybníka instalovány do odtokové stoky vždy dvě bariéry ze slaměných či senných balíků za účelem zadržení sedimentů ve stoce. Bariéry byly postaveny ve vzdálenostech od 20–45 m (1. hrázka) do 30–85 m (2. hrázka) od hráze rybníka. Výška bariér byla zvolena dle hloubky stoky na daném profilu (max. výška 3 řady balíků ve stoce), ale na některých rybnících – Brdský, Pláňavy, Podsilniční, Vrbice byla navíc budována „postranní křídla“ o výšce jedné řady balíků, a to pro zajištění maximalizace zdržení co největší množství vody a tím co nejvyšší sedimentace. Princip a schéma instalace bariér pod rybníkem je znázorněna na obr. č.1.

Na Jenšovském rybníku byly bariéry postaveny jen z jedné řady balíků slámy, což se při výšce tří vrstev balíků nad sebou ukázalo jako velice nestabilní. Na rybníku Podsilničním byly proto použity dvě řady balíků za sebou pro vyšší stabilitu a byla tím zajištěna odpovídající pevnost a stabilita hrázek po celou dobu výlovu rybníka a odběru vzorků. Na stoce rybníka Novokoželský v roce 2016 (v pořadí třetí rybník) byla hrázka postavena až ze 3 řad balíků. Dočasné hrázky ve stoce pod rybníkem ze dvou řad balíků slámy se tak ukázali jako optimální a dostatečné řešení.



**Obrázek 1** Nákres stoky s vybudovanými bariérami pro zadržení vody a sedimentů (Regenda a Hartman, 2018)

Hrázky byly po výlovu zanechány na místě ve stoce. Odstraňování hrázek probíhalo s ohledem na provozní možnosti podniku a zejména únosnost terénu kolem stoky pro mechanizaci. Z těchto limitujících důvodů bylo přistoupeno k odstranění hrázek rybníků lovených na podzim 2016 a jaře 2017 v letním období 2017. V létě 2017 díky déletrvajícím suchému období byly cesty ke stokám velmi dobře přístupné pro příjezd těžké kolové mechanizace. Hrázky ve stokách rybníků lovených na podzim roku 2017 byly odstraněny po výloveh – na konci listopadu 2017. Pro čištění stok pod rybníkem byla využita tato těžká technika: bagr TATRA 815 UDS, nákladní vozy TATRA 148 (2×) a PRAGA V3S , miny – rypadlo TAKEUCHI, krácející kolové rypadlo SCHAEFF 41. Odpovídající technika byla volena s ohledem na místní podmínky kolem stoky daných rybníků.

### 3.6. Výpočet objemu hrázek, průtoku vody a bilance živin

#### Výpočet objemu hrázek

Potom co byly postaveny a zafixovány hrázky, tak byl v terénu zakreslen nákres lokality a pomocí pásma byly změřeny jednotlivé délky – tzn. vzdálenosti mezi jednotlivými hrázkami, šířka a hloubka stoky. Hloubka stoky byla podstatný rozměr pro orientační výpočet objemu vzduché vody a doby zdržení. Z těchto rozměrů byl následně vypočtený orientační objem akumulované vody ( $V_b$ ) nad první a druhou hrázkou v metrech krychlových. Skutečný objem akumulované vody se však v čase mohl lišit. Při vyšším vypouštění vody během výlovu rybníků docházelo ke zvyšování vodní hladiny ve stoce a tím docházelo ke zvyšování objemu zadržené vody. Oproti tomu při snížení

vypouštění vody z rybníka tzv. „přistavení“ a v závěru výlovu (loviště bez vody) docházelo k poklesu průtoku vody ve stoce. Díky netěsnostem hrázek u dna přicházel pokles hladiny ve stoce a tím se snižoval objem akumulované vody.

### **Výpočet průtoku vody, objemu barrier a doby zdržení vody**

Průtok vody přes hrázky byl sledovaný od doby vystavění hrázek do do stoky až do ukončení vlastního výlovu rybníka tzn. do vypoštění vody z loviště v rybníku. Se zřetelem na velkou dynamiku průtoků vody při vypouštění vody z rybníků a technické možnosti byl objem odtečené vody z rybníka přes hrázky ( $m^3$ ) vypočítaný měřením rozdílů plochy vody v lovišti a poklesu výšky vodní hladiny během jednotlivých fází vypouštění dle vzorce:

$$V = \frac{S_z - S_k}{h} (m^2)$$

V – objem

$S_z$  – plocha vody v lovišti na začátku sledování ( $m^2$ )

$S_k$  – plocha vody v lovišti na konci sledování ( $m^2$ )

h – výška poklesu vodní hladiny mezi  $S_z$  a  $S_k$  (m)

V každé sledované fázi výlovu byl následně spočtený průměrný průtok vody ( $m^3 \cdot \text{min.}^{-1}$ ) za čas dle vzorce:  $Q = V * t$

Q – průměrný průtok vody ( $m^3 \cdot \text{min.}^{-1}$ )

V – objem odtečené vody ( $m^3$ )

t – čas (min.)

Z důvodu přístrojení rybníka na čas docházelo dle obsluhy rybníka a probíhajícího výlovu ke změnám průtoku vody.

Teoretické zdržení vody v čase mezi bariérami byla vypočtena dle celkového teoretického objemu mezi oběma bariérami a průměrného průtoku vody v dané fázi dle vzorce:

- Teoretická doba zdržení (min.)
- $V_b$  – teoretický objem akumulované vody nad bariérami ( $m^3$ )
- $Q$  – průměrný průtok vody ( $m^3 \cdot \text{min.}^{-1}$ )

Skutečný čas zdržení vody byl určen aktuální výškou vody mezi bariérami a tím aktuálním objemem akumulované vody. Objem zadržené vody byl negativně ovlivňovaný netěsnostmi hrázek a průtokem vody.

### **Výpočet bilance živin**

Výpočet množství protékajících živin bylo stanoveno zvlášť pro profil A (pod rybníkem) a profil B (pod 2 bariérou). Množství vlastních zachycených a uvolněných živin v kg bylo vypočteno z objemu proteklé vody a koncentrace konkrétní živiny v dané fázi vypouštění a vlastního výlovu rybníku. Po odečtení obou hodnot byla spočtena retence živiny v kg a tento údaj byl následně vztažen k množství na profilu A v %. V jednotlivých fázích vypouštění rybníka a výlovu rybníka byly bilance živin počítány samostatně. Dílčí hodnoty bilancí živin byly následně sečteny ve sledovaném časovém období.

$$Zž (\text{zadržené živiny}) = \sum/A (V \text{ vody} \times g \text{ látek}/m^3) - B (V \text{ vody} \times g \text{ látek}/m^3)$$

$V$  – objem proteklé vody v  $m^3$  v určité fázi výlovu

$\sum$  - součet zadržovaných látek v jednotlivých fázích výlovu rybníka

### **Výpočet objemu zachycených sedimentů**

Zachycený objem sedimentu byl vypočten z dat měření hloubky – mocnosti sedimentu usazeného ve stoce a měření plochy stoky. Hloubka sedimentu byla změřena několika vpichy (sondami), dle kterých bylo možné poznati výšku (hloubku) čerstvě usazeného sedimentu ve stoce mezi bariérami v celém profilu podélného vzduť. Vlastní měření objemu sedimentu probíhalo před jeho odstraněním ze stoky.

### 3.7 Zpracování dat

Zpracování veškerých dat bylo provedeno v programu Excell, MS Windows. Spočteny byly průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (SD). Dále byl mezi bariérami a naměřenými hodnotami – pod rybníkem a pod bariérami spočítán rozdíl hodnot v %. Následně bylo pro každý rybník a odpovídající fázi výlovu vypočítán průměr rozdílů měřených látek včetně směrodatné odchylky. Statistické zpracování veškerých dat, kromě základních fyzikálně-chemických parametrů vody bylo vyhodnoceno pomocí programu „R“ pomocí Wilcoxonova testu (neparametrický test) s hladinou významnosti  $p < 0,05$ . Porovnávala se data u jednotlivých rybníků samostatně a také společně, stejně tak i pro jednotlivé fáze výlovu. Zjištěné statistické rozdíly mezi hodnotami jsou v tabulkách označeny pomocí písmen „a“ „b“ v horním indexu na pravé straně daného čísla. U neprokázaného rozdílu mezi hodnotami nejsou tato písmena uvedena.

## 4. Výsledky

### 4.1. Rybník Jenšovský 2016

Na Jenšovském rybníku byla první hrázka postavena 35 m pod hrází rybníka (30 m pod vývařišťem). Druhá hrázka byla postavena o 20 m níže po proudu stoky, tedy celkově 55 m pod hrází rybníka. Objem vodní masy vzduť nad první hrázkou byl 21 m<sup>3</sup>, resp. 8,8 m<sup>3</sup> nad druhou hrázkou. Teoreticky odhadnutý celkový objem vody tedy byl 29,8 m<sup>3</sup>. Doba zdržení vody byla v první fázi strojení rybníka (v noci před samotným výlovem) poměrně krátká, teoreticky odhadnuta na 5–10 minut. Důvodem takto krátkého zdržení byl silný průtok vody při vypouštění rybníka, odhadnuto až na 5,4 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>. V pozdějších fázích vypouštění rybníka a výlovu došlo k prodloužení zdržení vody na 20–55 minut. Hrázky byly postaveny z jedné řady balíků slámy, a k zapření hrázky a stability byla použita ocelová klec.

Teplota vody se odvíjela od relativně teplého počasí a dosahovala 9 °C, během výlovu teplota lehce poklesla na hodnotu 8,3 °C.

Parametr pH průtokem přes bariéry vykazoval klesající tendenci ze 7,49 na pH 7,38. Ráno před výlovem došlo se pH navýšilo na 7,55.

Obsah kyslíku se nejvýrazněji snížil v průběhu strojení a výlovu. Při měření O<sub>2</sub> v „noci před výlovem“ bylo zjištěno pod rybníkem a pod druhou barierou okolo 11 mg.l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>. Strmě se koncentrace snížila během výlovu na hodnotu 5,9 mg.l<sup>-1</sup> pod rybníkem a pod druhou barierou. Nejvýraznější pokles byl zaznamenán při fázi hodinu po výlovu, kdy poklesl až na hodnotu 1 – 2 mg.l<sup>-1</sup>.

Parametr ORP v čase klesal. Ve fázi noc před výlovem bylo naměřeno 120 mV (pod rybníkem) a lehce hodnota poklesla na 110 mV pod druhou barierou. Dramatické snížení bylo zaznamenáno při fázi „výlov“. Na profilu pod rybníkem byla zjištěna hodnota ORP: 60 mV a pod druhou barierou 38 mV. Ve fázi „po výlovu“ ORP pokleslo až na výrazně záporné hodnoty ( - 60mV, pod rybníkem) ; (- 20mV, pod druhou barierou). Během sledování bylo ORP pod rybníkem: 56,60 mV a pod druhou barierou 54,60 mV.

## Laboratorní analýza vzorků vody

Z níže uvedené tabulky č. 6 jsou patrné výrazné změny v kvalitě vody v průběhu strojení a výlovu rybníka. Při vypouštění rybníka dochází k několika násobnému zhoršování kvality vody u všech sledovaných parametrů mimo  $P_{rozp.}$ , který se měnil v minimálních hodnotách. V noci před výlovem rybníka byla voda poměrně čistá z hlediska zatížení vody, které dosahovalo hodnot v řádech desítek  $mg.l^{-1}$   $NL_{105}$ ,  $NL_{550}$ , TOC v jednotkách TN 2,6  $mg.l^{-1}$  a TP 0,29  $mg.l^{-1}$  TP. S největší pravděpodobností bylo těchto hodnot dosaženo velkým objemem vody, jež byla ještě v rybníce společně s poměrně vysokou teplotou vody (9,64 °C) a ta mohla naopak zvýšit pohybovou aktivitu ryb v celkové velmi malé biomase ryb (84  $kg.ha^{-1}$ ) a kusovou hmotností ( $K_1$ ). Obsádka v rybníce neměla sílu vodu zakalit. Ráno v den výlovu rybníka při velmi intenzivním vypouštění vody došlo k zvýšení obsahu u hodnot  $NL_{105} - 500 mg.l^{-1}$  a  $NL_{550} - 410 mg.l^{-1}$ . Téměř dvojnásobných hodnot dosáhl TOC a TN. Obsah TP se zvýšil téměř 5 krát. Účinnost zachycení živin hrázkami byla během těchto dvou fází dá se říci nižší, a to zejména z důvodu obecně nízké koncentraci těchto živin a krátké doby zdržení (při vysoké intenzitě vypouštění vody). TOC a TN vykazovaly jednotky procent, oproti  $NL_{105}$  a  $NL_{550}$  byly nižší hodnoty v desítkách procent. Velice rozkolísané hodnoty byly zjištěny u zadržení celkového a rozpuštěného fosforu.

Fáze „Výlov rybníka“ byla poměrně krátká díky nízké biomase obsádky, ale zaznamenal se velmi zřetelný nárůst všech hodnot. Ve srovnání s brzkou ranní fází došlo k následnému dá se říci desetinasobnému zvýšení koncentrací. Hodnoty  $NL_{105}$  dosahovaly 4 400  $mg.l^{-1}$ ,  $NL_{550}$  3 700  $mg.l^{-1}$ , TOC 250  $mg.l^{-1}$  a TN 39  $mg.l^{-1}$ . U celkového fosforu došlo ke dvacetinasobnému zvýšení hodnoty na 28  $mg.l^{-1}$ . Oproti tomu došlo k poklesu  $P_{rozp.}$ . Tyto výsledky lze odůvodnit intenzivním odtokem vody z loviště rybníka spolu s pohybem rybářů v lovišti. Malá biomasa ryb byla lovena ručně na kesery. Během této fáze sledování bylo dosaženo výrazné retence. U všech sledovaných živin byla vyhodnocena retence přes 80 % s výjimkou  $P_{rozp.}$  s retencí jen 22 %.

Zajímavým výsledkem je skutečnost dosažení nejvyšších hodnot prakticky u všech sledovaných parametrů ve fázi „hodina po výlovu“. Tyto výsledky jsou dány pravděpodobně tím, že rybník byl již bez vody a voda, která povrchově odtékala z bahna způsobovala erozi částic. Shodně s tím však nedocházelo k téměř žádné sedimentaci částic, tak jak tomu bylo alespoň při výlovu rybníka. Ve fázi „po výlovu“ byl zjištěný výrazný pokles účinnosti zachycení živin oproti srovnání s vlastním výlovem rybníka.



V obecné rovině retence živin dosahovala desítky procent. Shodně s rostoucí koncentrací živin ve vodě došlo ke snížení jejich zachycení během poklesu průtoku vody. Přes hrázky v tuto chvíli tekla zbytková voda z vypuštěného rybníka a nedokázala z tohto důvodu doplňovat plnou měrou vodu, jež unikala pod bariery. Tím pokles objem zadržené vody mezi bariery. Tím se zkrátila doba zdržení pro vlastní proces sedimentace.

### **Bilance živin**

Z objemu odečtené vody a koncentrací byly spočteny jednotlivé bilance živin, které jsou přehledně uvedeny v obrázku č. 5. Bariery zadržely okolo 60 % nerozpuštěných látek a 75,8 % TP. Celkově nižší účinnost bariér byla pro TOC 46,6 % a TN 43,4 %. Minimální retence byla zjištěna pro rozpuštěné formy fosforu 8,9 % a vápníku 5,7 %.



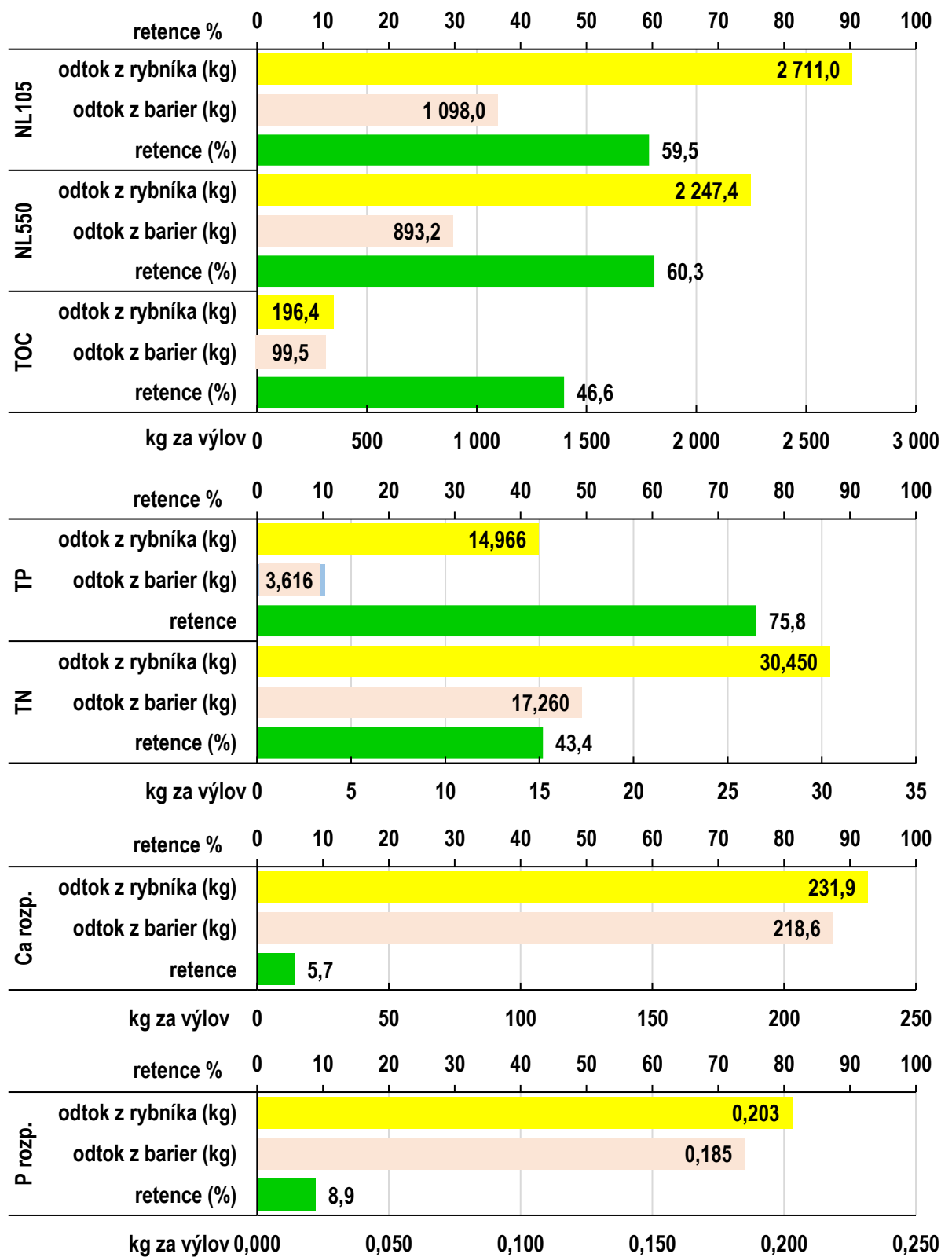
**Obrázek 3** Profil B na rybníce Jenšovský podepřený ocelovou klecí. (foto: Ján Regenda)



**Obrázek 4** Plevelné ryby zachyceny barierou při sledování – rybník Jenšovský. (foto: Ján Regenda)

**Tabulka 6** Laboratorní výsledky kvality vody rybník Jenšovský 2016

Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl (%)
NL <sub>105</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	39	31	-20,51
	ráno před výlovem	500	420	-16,00
	těsně před výlovem			
	výlov	4400	620	-85,91
	hodina po výlovu	4700	3500	-25,53
	průměr SD	<b>2409,75±2149,07</b>	<b>1142,75±1377,34</b>	<b>-52,58±28,44</b>
NL <sub>550</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	23	14	-39,13
	ráno před výlovem	410	350	-14,63
	těsně před výlovem			
	výlov	3700	520	-85,95
	hodina po výlovu	4000	2900	-27,5
	průměr±SD	<b>2033,25±1824,98</b>	<b>946,00±1142,74</b>	<b>-53,47±26,92</b>
TOC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	19	18	-5,26
	ráno před výlovem	27	26	-3,70
	těsně před výlovem			
	výlov	250	33	-86,80
	hodina po výlovu	300	260	-13,33
	průměr±SD	<b>149,00±127,27</b>	<b>84,25±101,61</b>	<b>-43,46±34,56</b>
TN (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	2,6	2,5	-3,85
	ráno před výlovem	5,6	5,3	-5,36
	těsně před výlovem			
	výlov	39	7	-82,05
	hodina po výlovu	47	36	-23,40
	průměr±SD	<b>23,55±19,68</b>	<b>12,70±13,55</b>	<b>-46,07±31,77</b>
TP (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,29	0,29	0,00
	ráno před výlovem	1,4	1	-28,57
	těsně před výlovem			
	výlov	28	1,6	-94,29
	hodina po výlovu	36	19	-47,22
	průměr±SD	<b>16,42±15,84</b>	<b>5,47±7,82</b>	<b>-66,68±34,29</b>
P <sub>rozpu.</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,04	0,04	0,00
	ráno před výlovem	0,069	0,06	-13,04
	těsně před výlovem			
	výlov	0,05	0,039	-22,00
	hodina po výlovu	0,042	0,042	0,00
	průměr±SD	<b>0,05±0,01</b>	<b>0,05±0,01</b>	<b>-9,95±9,32</b>



Obrázek 5 Retence živin rybník Jenšovský 2016.

## 4.2 Podsilniční rybník 2016

Na Podsilničním rybníce bylo budování hrázek složitější. Z vývařiště pod rybníkem byla odtékající voda odváděna cca 25 m potrubím do otevřeného koryta stoky pod rybníkem. Dále tekla voda zhruba 25 m vydlážděným korytem s vyšším spádem a nedocházelo ke vzdouvání vody. Hrázka první byla postavena 75 m pod hrází (50 m pod vyústěním potrubí z vývařiště). Hrázka druhá byla postavena níže o dalších 30 m (105 m pod hrází rybníka). Objem první hrázky byl 19,3 m<sup>3</sup> a druhé hrázky 14,7 m<sup>3</sup>. Teoretický objem celkově vzduté vody byl 34,0 m<sup>3</sup>. Teoreticky spočtená doba zdržení byla během první fáze strojení (v noci před výlovem) poměrně dlouhou dobu 55 minut. Důvodem této dlouhé doby byl malý průtok vody při vypouštění rybníku jen 0,61 m<sup>3</sup>. min.<sup>-1</sup>. Během následných fází výlovu došlo ke zkrácení doby zdržené vody mezi hrázkami na 36–20 minut. To bylo zapříčiněno malou rozlohou rybníka, který byl během noci vypouštěný s pomalejší intenzitou jelikož výlov byl plánovaný až v dalším dnu před polednem. Obsluha rybníka „strojič“ proto rybník vypouštěl nejdříve pozvolna a její odtok urychlil až po upřesnění času samotného začátku výlovu. Na tomto rybníce byly hrázky postaveny ve dvou řadách balíků slámy za sebou. U níže položené (druhé hrázky) byla z balíků postavena „postranní křídla“.

Teplota vody byla při tomto sledování poměrně nízká o hodnota kolem 3 °C a v nočním období teplota vody klesala až ke 2 °C.

Parametr pH se průtokem přes bariéry v průměru mírně zvyšoval z pH 7,30 na pH 7,37.

Průtokem vody přes bariéry se zvyšoval obsah kyslíku, což bylo nejvýrazněji poznat během samotného výlovu rybníka. Hodnota během výlovu pod rybníkem byla 2,6 mg.l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>. Po průchodu přes první bariéru se obsah kyslíku navýšil na 4 mg.l<sup>-1</sup> a při prostupu přes druhou bariéru se obsah kyslíku navýšil na 6 mg.l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>. Při fázi „hodina po výlovu“ obsah O<sub>2</sub> klesal až na nulové hodnoty pod rybníkem a lehce se koncentrace zvýšila průtokem přes bariéry na hodnotu 2mg.l<sup>-1</sup>.

Velice podobný trend byl zaznamenán při sledování parametru ORP. Úroveň ORP během sledování výrazně klesala, jelikož během fáze „ráno před výlovem“ dosahovala v průměru 120 mV na všech měrných profilech. Pokles hodnot nastal při výlovu rybníka na 5 mV (pod rybníkem) a po průchdu přes hrázky se hodnota navýšila na 45 mV pod druhou hrázkou. V průměru docházelo při průchodu přes bariéry k navyšování ORP – pod rybníkem v průměru 46,28 ORP a pod druhou bariérou 63,40

mV. Ovšem při fázi „po výlovu“ dosahovala nejzápornějších hodnot a to: (-60 mV, pod rybníkem) a (- 25 mV, pod druhou barierou).

### **Laboratorní analýza vzorku vody**

V tabulce č. 7 jsou zřejmé výrazné změny kvality vody v průběhu strojení a výlovu rybníka. Během času při vypouštění rybníka docházelo k několikanásobnému zhoršování všech parametrů kvality vody. V noci před výlovem rybníka byla poměrně čistá odtékající voda, jelikož hodnoty zatížení vody dosahovaly pouze desítky mg na litr  $NL_{105}$ ,  $NL_{550}$ , TOC a jednotky mg na litr pro TN 2,5  $mg.l^{-1}$  a pro TP 0,28  $mg.l^{-1}$ . Tyto hodnoty byly nejspíše dány zejména aktuálním objemem vody v rybníku. Rybník byl o malé výměře 1,80 ha a v noc před samotným výlovem byl rybníka nechán na tzv. „větší vodě“ (více zůstatkové vody v rybníku). Nízkým hodnotám také nejspíše napomohla teplota kolem 3,3 °C, díky které obsádka rybníka  $K_2$  o celkové biomase 667  $kg.ha^{-1}$  byla udržena v klidu bez větší pohybové aktivity. V ranních hodinách těsně před samotným výlovem rybníka bylo zintenzivněno vypouštění rybníka a u obsahu  $NL_{105}$  a  $NL_{550}$  v odtékající vodě došlo k překvapivému poklesu na hodnoty 36 a 25  $mg.l^{-1}$ . Na stejné úrovni zůstaly hodnoty TOC a TP, ale u hodnoty TN došlo k mírnému zvýšení na 2,8  $mg.l^{-1}$ , podobně jako tomu bylo u  $P_{rozp.}$ . Zachycení živin bylo v těchto dvou fázích sledování méně účinné, a to nejspíše z důvodu nízké koncentrace živin při malém odtoku vody z rybníka a tím nebyla nahrazena voda ve stoce, která podtékala hrázky. Tím byl skutečný objem zadržené mezi hrázkami reálně menší ve srovnání s ostatními fázemi sledování. Zachycení živin TOC a TN dosahovalo kolem 10 %. Hodnoty  $NL_{105}$  a  $NL_{550}$  byly do deseti procent. Retence fosforu byla negativní to znamená, že po průtoku vody hrázkami došlo ke zvýšení hodnot  $P_{rozp.}$  a také TP.

Při fázi těsně před výlovem při intenzivním vypouštění (neklid v okolí loviště, kádiště, stavění náčiní k výlovu) došlo v podstatném zvýšení obsahu  $NL_{105}$  – 1300  $mg.l^{-1}$  a  $NL_{550}$  – 1100  $mg.l^{-1}$  a také se zvýšila retence na téměř 74 %. Oproti tomu hodnoty koncentrace TOC a TN se zvýšily trojnásobně a koncentrace TP téměř sedminásobně. Retence těchto živin byla ve srovnání s předchozími fázemi podstatně vyšší TOC – 44 %, TN – 33 %, TP – 63 %. Paradoxem bylo množství  $P_{rozp.}$ , neboť poklesla koncentrace společně s negativní retencí (-16,36 %).

Samotný výlov byl poměrně krátký s ohledem na malou rozlohu rybníka. Při výlovu došlo v odtékající vodě k následnému nárůstu všech hodnot.  $NL_{105}$  hodnota byla 4 600  $mg.l^{-1}$  a  $NL_{550}$  4 000  $mg.l^{-1}$ , TOC 160  $mg.l^{-1}$  a TN 20  $mg.l^{-1}$ . U celkového fosforu

došlo k více než desetinásobnému zvýšení hodnoty na 20 mg.l<sup>-1</sup>. Oproti tomu hodnota P<sub>rozp.</sub> znovu lehce poklesla. Takovýto nárůst hodnot lze vysvětlit intenzivním odtokem vody z rybníka a pohyb osob v lovišti rybníka. Během této fáze sledování se výrazně zvýšilo zadržení dá se říci všech sledovaných živin na hodnotách přes 88 % nerozpuštěných látek, TOC a TN kolem 70 % a TP přes 95 %. Hodnota koncentrace P<sub>rozp.</sub> znovu lehce poklesla s vykazáním negativní retence na úrovni -5,77 %. Při vyhodnocení vzorků z fáze „hodina po výlovu“ byl zaznamenaný pokles hodnot koncentrace nerozpuštěných látek – sušených i žíhaných na dá se říci poloviční koncentraci a retence poklesla na úroveň 36 %, v porovnání s předešlými fázemi tohto výlovu. Mírný nárůst hodnot koncentrace a poměrně vysoká úroveň retence byla zaznamenána u TOC (57 %), TN (50%), TP (92 %). U koncentrace P<sub>rozp.</sub> bylo zaznamenáno maximum na hodnotě 0,33 mg.l<sup>-1</sup>. Ačkoliv byla stále vysoká koncentrace živin v odtékající vodě, tak poklesla úroveň zachycení živin tím, že došlo ke ztrátě objemu vody mezi bariérami. Přes jednotlivé bariery totiž odtékala pouze „zbytková“ voda z vypuštěného rybníka a tím se nedokázal doplnit objem vody, jež unikal pod bariérami. Tohle vedlo k prokrácení doby zadržení a času na vlastní sedimentaci. Při porovnání s ostatními sledovanými rybníky napomáhaly vyššímu zadržení živin při závěrečné fázi lovení nejspíše bujně rostlinné porosty, které se nacházely v zatopené části mezi první a druhou bariérou.

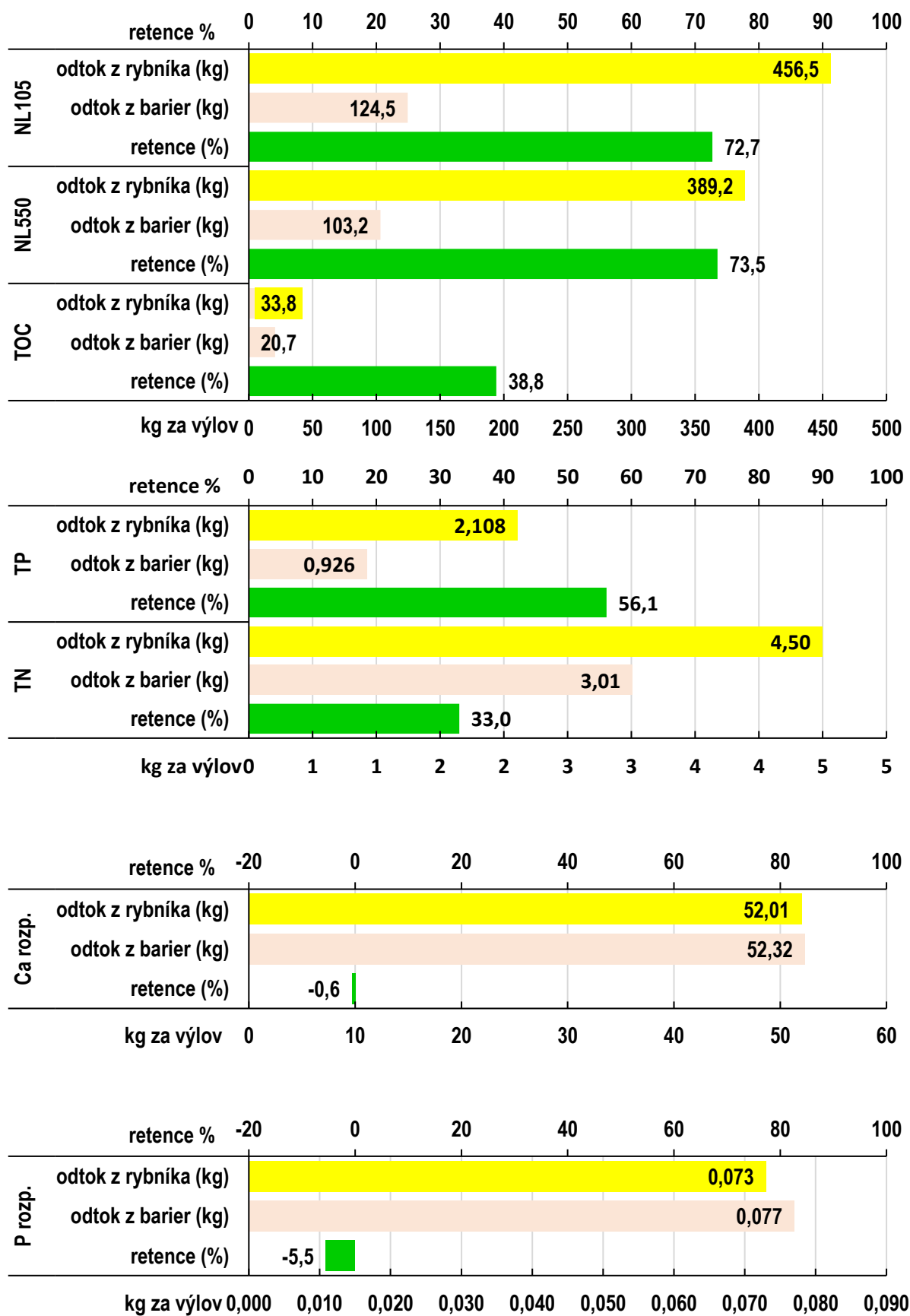
### **Bilance živin**

Z objemu proteklé vody a hodnot koncentrace živin byly spočteny bilance, jež přehledně prezentuje obr. č. 6. Bariery při tomto sledování zachytily kolem 73 % nerozpuštěných látek a 56 % TP. Poměrně nižší byla účinnost bariér pro zachycení TOC 38,8 % a TN 33 %. Záporné hodnoty retence tedy uvolnění živin bylo zjištěno u rozpuštěných forem fosforu (- 5,5 %) a vápníku (- 0,6 %).

**Tabulka 7** Laboratorní výsledky kvality vody rybník Podsilniční 2016

Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl %
TOC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	19	17	-10,53
	ráno před výlovem	19	19	0,00
	těsně před výlovem	64	36	-43,75
	výlov	160	43	-73,13
	hodina po výlovu	200	85	-57,50
	průměr±SD	<b>92,40±74,47</b>	<b>40,00±24,58</b>	<b>-56,71±27,72</b>
NL <sub>105</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	46	34	-26,09
	ráno před výlovem	36	24	-33,33
	těsně před výlovem	1 300	340	-73,85
	výlov	4 600	530	-88,48
	hodina po výlovu	2 200	1 400	-36,36
	průměr±SD	<b>1636,4±1691,41<sup>a</sup></b>	<b>465,60±504,84<sup>b</sup></b>	<b>-71,55±24,79</b>
NL <sub>550</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	34	24	-29,41
	ráno před výlovem	25	15	-40,00
	těsně před výlovem	1 100	290	-73,64
	výlov	4 000	460	-88,50
	hodina po výlovu	1 900	1 200	-36,84
	průměr±SD	<b>1411,80±1473,49<sup>a</sup></b>	<b>397,8±434,80<sup>b</sup></b>	<b>-71,82±23,11</b>
TN (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	2,5	2,3	-8,00
	ráno před výlovem	2,8	2,8	0,00
	těsně před výlovem	8,3	5,6	-32,53
	výlov	20,0	6,2	-69,00
	hodina po výlovu	28,0	14,0	-50,00
	průměr±SD	<b>12,32±10,08</b>	<b>6,16±4,19</b>	<b>-49,84±25,66</b>
TP (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,28	0,31	10,71
	ráno před výlovem	0,28	0,27	-3,57
	těsně před výlovem	1,9	0,7	-63,16
	výlov	20	0,9	-95,50
	hodina po výlovu	24	2,0	-91,67
	průměr±SD	<b>9,29±10,47</b>	<b>0,84±0,63</b>	<b>-91,00±44,30</b>
P <sub>rozp.</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,076	0,13	71,05
	ráno před výlovem	0,078	0,1	28,21
	těsně před výlovem	0,055	0,064	16,36
	výlov	0,052	0,055	5,77
	hodina po výlovu	0,33	kontaminace	—
	průměr±SD	<b>0,12±0,11</b>	<b>0,09±0,03</b>	—





Obrázek 6 Retence živin rybník Podsilniční 2016

### 4.3. Rybník Novokoželský 2016

Na rybníce Novokoželský 2016 byla hrázka první postavena 50 m pod hrází (vývařiště tvořilo cca 5 m délky). Hrázka druhá byla postavena o 20 m níže po proudu stoky, což bylo 70 m pod hrází rybníka. Objem vody, jež zadržela první bariéra byl 26,7 m<sup>3</sup> a druhá bariéra 16,6 m<sup>3</sup>. Celkově se tedy teoreticky mezi bariérami vzdulo 43,3 m<sup>3</sup>. Doba zdržení byla odhadnuta během první fáze strojení (noc před výlovem) na 13–15 min, poměrně krátká doba. Důvodem této krátké doby zdržení bylo intenzivní vypouštění vody z rybníka během noci (3,2 m<sup>3</sup>.min.<sup>-1</sup>). Během následných fází vypouštění byla výrazně prodloužena teoretická doba zdržení vody na 31–68 min. Na stoce pod tímto rybníky byly hrázky postaveny ze třech balíků slámy za sebou a to proto, aby bylo co nejvíce zamezeno podtékání bariér odtékající vodou a také k posílení stability hrázky ve stoce, která byla dosti hluboká (1 m). První hrázce velký průtok vody narušil stabilitu během testování a dvakrát došlo k úplnému prolomení bariéry. Teprve při třetím přestavění hrázka bezpečně vydržela.

Při fázi hodinu po výlovu nebylo možné změřit základní fyzikálně chemické parametry pod rybníkem, jelikož z rybníka v tuto fázi odtékalo tekuté bahno.

Teplota vody při sledování tohto výlovu byla extrémně nízká v průměru okolo 0,63 °C. Během nočního a ranního odběru vzorků klesla až na 0,04 °C a při výlovu rybníka byla naměřena teplota (-0,06 °C). Důvodem takto nízké teploty byl silný mráz. Před zahájením výlovu bylo loviště zbavováno ledu, který poté jako tříšť odtékal z rybníka stokou a ovlivňoval sledování a odběr vzorků.

Hodnota pH se průtokem přes bariéry v průměru mírně snižovala z hodnoty pH 7,65 (pod rybníkem) na hodnotu pH 7,39 (pod druhou bariérou).

Průtokem vody přes hrázky se v průměru snižoval obsah kyslíku, ale změny v obsahu byly velmi malé. Pod rybníkem bylo v průměru 7,69 mg.l<sup>-1</sup> a pod druhou hrázkou 6,11 mg.l<sup>-1</sup>. Propad v obsahu kyslíku nastal při výlovu na hodnotu 3 mg.l<sup>-1</sup> (pod rybníkem) a 0,5 mg.l<sup>-1</sup> (pod druhou hrázkou). Ve fázi hodinu po výlovu byly naměřeny nulové hodnoty kyslíku.

ORP parametr obecně vykazoval zvyšování hodnot během při průtoku přes bariéry, např. při výlovu bylo zjištěno 42 mV (pod rybníkem) a téměř 60 mV (pod druhou bariérou). Záporné hodnoty ORP vykazoval měření ve fázi hodinu po výlovu na úroveň (-50 mV) pod první i druhou bariérou.

## Laboratorní analýza vzorků vody

Z tabulky č. 8 jsou patrné výrazné změny kvality vody během vypouštění rybníka. V průběhu noci před samotným výlovem byla odtékající voda dá se říci čistá. Zatížení vody dosahovalo desítky  $\text{mg.l}^{-1}$  pro  $\text{NL}_{105}$ ,  $\text{NL}_{550}$ , TOC a jednotky  $5,5 \text{ mg.l}^{-1}$  TN a  $0,36 \text{ mg.l}^{-1}$  TP. Takovéto výsledky byly dány velkým objemem vody v rybníce a také nízkou teplotou vody, jež udržovala obsádku  $\text{K}_2$  o biomase  $1\,360 \text{ kg.ha}^{-1}$  v klidu. Ráno těsně před výlovem s intenzivnějším vypouštěním rybníku vzrostl obsah  $\text{NL}_{105}$ : na  $310 \text{ mg.l}^{-1}$  a  $\text{NL}_{550}$  na  $210 \text{ mg.l}^{-1}$ . Koncentrace TOC, TN, TP se téměř zdvojnásobily. Oproti tomu koncentrace  $\text{P}_{\text{rozp.}}$  mírně poklesla. Zachycení živin během těchto dvou fází sledování bylo spíše méně účinné. Retence pro TOC a TP byla do 10 % a minimální pro TN. Vyšší retence byla zjištěna pro  $\text{NL}_{105}$  a  $\text{NL}_{550}$  kolem 38 %. Oproti tomu negativní retence byla zjištěna u rozpuštěného fosforu, jelikož po průtoku vody přes bariéry došlo ke zvýšení koncentrace  $\text{P}_{\text{rozp.}}$ .

Při fázi „těsně před výlovem“ se mírně zvýšily hodnoty všech sledovaných parametrů. Souběžně s tím došlo také ke zvýšení retence těchto látek. Koncentrace  $\text{P}_{\text{rozp.}}$  opět paradoxně poklesla, ačkoliv retence byla negativní (+48,8 %).

Sledování během samotného výlovu rybníka bylo ztíženo klimatickými podmínkami, jelikož se na počátku výlovu rybníka odstraňoval led z loviště rybníka. Do odtokové stoky pod rybníkem se dostávaly kusy ledu společně s unikajícími rybami. Vlastní vzorkování „výlov“ se provedlo až při druhé zátahu sítí. Při vzorkování bylo zjištěno opět výrazné zvýšení ukazatelů kvality vody s výjimkou TN, jež pokleslo o více než poloviční hodnotu. Při sledování v této fázi se zjistila zajímavá skutečnost, a to že naměřené hodnoty pod hrázkami byly vyšší oproti hodnotám naměřeným pod rybníkem. Díky této skutečnosti byla zjištěna velice negativní retence nerozpuštěných látek na úrovni přes (-210 % TOC) a dokonce (-1 539,4 % TN). Oproti tomu kladná retence byla zjištěna u fosforu TP 11,8 % a 28,9 % u  $\text{P}_{\text{rozp.}}$ . Tato skutečnost je velice obtížně vysvětlitelná. Podíl na tomto může mít na jedné straně vliv ledové tříště v odtokové vodě z rybníka, která zamezovala sedimentaci, tak i výrazné proměny kvality vody, ke kterým docházelo během výlovu rybníka. Vzorky vody pod rybníkem byly odebírány až při druhém zátahu sítí, kdy v rybníce byla již menší biomasa ryb a pod bariérami díky určitému zdržení mohla protékat ještě stále voda z prvního zátahu. Negativní roli mohla sehrát rovněž erozivní činnost ledových ker postupujících s vodou ve stoce, resp. snížení objemu tekoucí vody ve vzduší nad hrázkami na úkor pevného ledu.

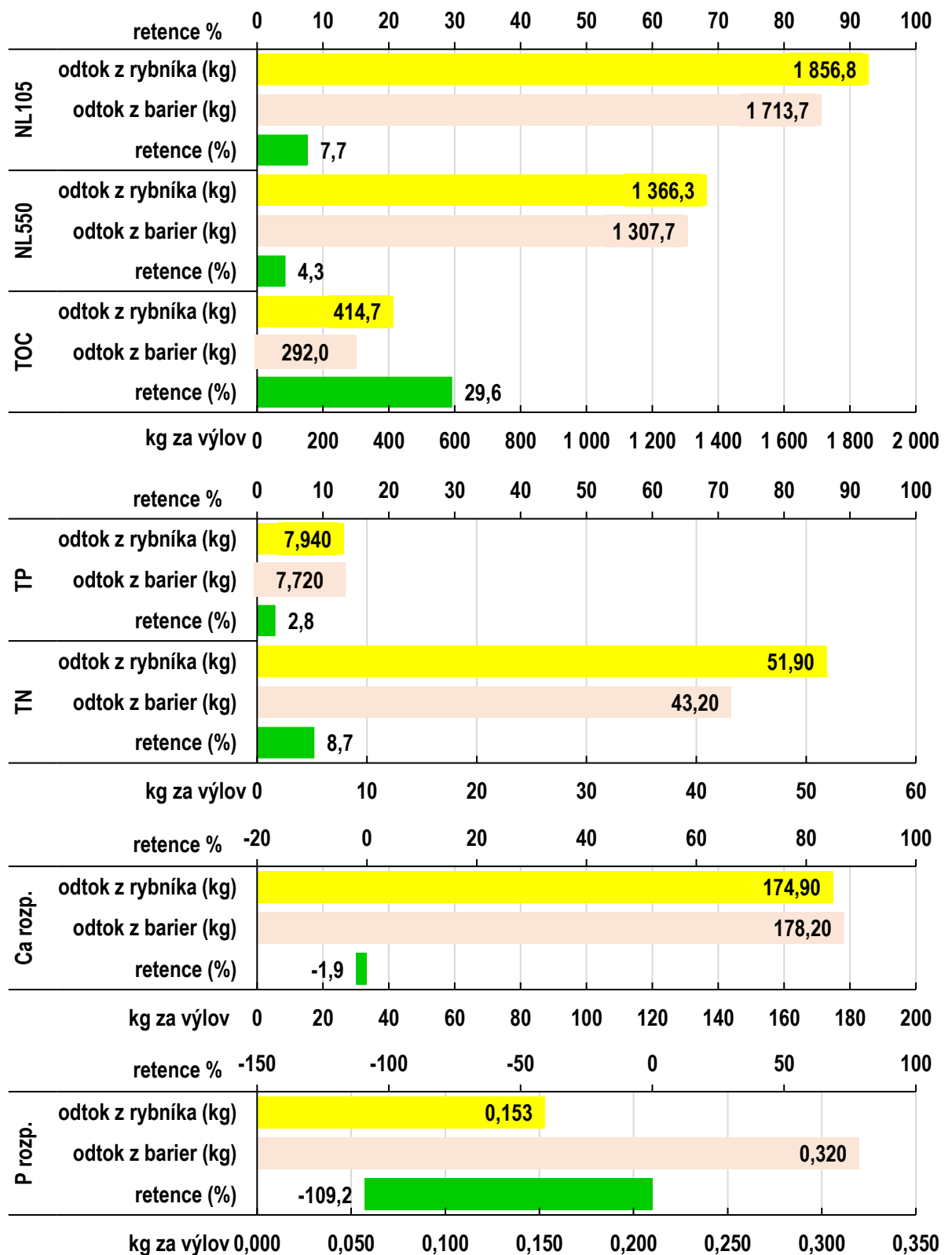
Při vzorkování ve fázi „hodina po výlovu“ bylo zaznamenáno extrémní zvýšení hodnot u všech sledovaných parametrů s výjimkou poklesu u  $P_{rozp.}$ . Hodnoty nerozpuštěných látek vzrostly přibližně 15krát.  $NL_{105}$  dosahovaly 28 000  $mg.l^{-1}$  a  $NL_{550}$  (žíhané) dosahovaly 22 000  $mg.l^{-1}$ . Retence těchto látek však byla celkově nízká 20 %, protože mezi bariérami byl plný sloupec vody s ledovou tříští (zmenšování objemu vody na úkor ledu). U TOC a TN došlo opět k navýšení a to desetinásobnému na hodnotu 5 300  $mg.l^{-1}$  (TOC) a 620  $mg.l^{-1}$  s příznivou retencí přes 53 %. U koncentrace TP došlo ke 6,5krát navýšení hodnoty na 110  $mg.l^{-1}$  s nulovou retencí. Oproti tomu u hodnoty koncentrace  $P_{rozp.}$  nastal pokles dá se říci 2,6 krát, ovšem s negativní retencí (-62,5 %). Z pohledu velikosti rybníka a povodí odtékalo po výlovu z loviště rybníka velké množství bahna, to postupně zaplnilo celý objem mezi barierami ve stoce pod rybníkem.

#### 4.3.2 Bilance živin

Vypočtené bilance živin pro vybrané parametry ukazuje obrázek č. 7. S ohledem na náročné klimatické podmínky během vzorkování se podařilo zachytit celkově jen 7,7 %  $NL_{105}$  a 4,3 %  $NL_{550}$ . Velice nízké byly hodnoty retence pro TP (2,8 %) a TN (8,7 %). Záporná retence a s tím naopak uvolnění živin bylo zjištěno pro rozpuštěné formy fosforu (-109,2 %) a vápníku Ca (- 1,9 %).

**Tabulka 8** Laboratorní výsledky kvality vody Novokoželský 2016

Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl %
TOC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	33	30	-9,09
	ráno před výlovem	55	51	-7,27
	těsně před výlovem	77	52	-32,47
	výlov	520	810	55,77
	hodina po výlovu	5 300	2 400	-54,72
	průměr±SD	<b>1197,00±2059,44</b>	<b>668,6±915,11</b>	<b>-44,14±36,98</b>
NL <sub>105</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	70	47	-32,86
	ráno před výlovem	310	190	-38,71
	těsně před výlovem	390	170	-56,41
	výlov	1 900	5 900	210,53
	hodina po výlovu	28 000	22 000	-21,43
	průměr±SD	<b>6 134,00±10 952,02</b>	<b>5 661,40±8 469,00</b>	<b>-7,70±99,79</b>
NL <sub>550</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	34	21	-38,24
	ráno před výlovem	210	130	-38,10
	těsně před výlovem	260	100	-61,54
	výlov	1 400	4 500	221,43
	hodina po výlovu	22 000	18 000	-18,18
	průměr±SD	<b>4 780,80±8 623,14</b>	<b>4 550,20±6 939,10</b>	<b>-4,82±105,08</b>
TN (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	5,5	5,3	-3,64
	ráno před výlovem	9,9	10	1,01
	těsně před výlovem	14	11	-21,43
	výlov	6,1	100	1 539,34
	hodina po výlovu	620	290	-53,23
	průměr±SD	<b>131,10±244,47</b>	<b>83,26±109,26</b>	<b>-36,49±623,76</b>
TP (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,36	0,38	5,56
	ráno před výlovem	0,85	0,75	-11,76
	těsně před výlovem	1,2	0,78	-35,00
	výlov	17	15	-11,76
	hodina po výlovu	110	110	0,00
	průměr±SD	<b>25,88±42,53</b>	<b>25,38±42,67</b>	<b>-1,93±13,94</b>
P <sub>rozp.</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,042	0,096	128,57
	ráno před výlovem	0,04	0,067	67,5
	těsně před výlovem	0,041	0,061	48,78
	výlov	0,083	0,059	-28,92
	hodina po výlovu	0,032	0,052	62,50
	průměr±SD	<b>0,05±0,02</b>	<b>0,07±0,02</b>	<b>40,76±50,41</b>



Obrázek 7 Retence živin rybník Novokoželský 2016

#### 4.4. Ouhlín 2016

Na rybníce Ouhlín byla postavena první hrázka 30 m pod hrází rybníka a druhá hrázka byla postavena o 10 m níže, tedy 40 m pod hrází rybníka. Objem vody zadržené první bariérou byl 51 m<sup>3</sup> a objem vody mezi první a druhou bariérou byl 15,1 m<sup>3</sup>. Celkový teoreticky vypočtený objem vzduché vody byl 66,1 m<sup>3</sup>. Doba zdržení vody mezi bariérami byla teoreticky odhadnuta během prvních tří fází strojení (odpoledne před výlovem, ráno před výlovem a těsně před výlovem) poměrně dlouhá 73–79 min. Během následných fází sledování se doba zdržení ještě prodloužila na 220 až 330 minut. Příčinou tohoto bylo relativně pomalé vypouštění rybníka z důvodu později naplánované doby (poledne) samotného výlovu. Při této dlouhé době zdržení větší část vody unikala pod bariérou a snižoval se tak aktuální akumulovaný objem vody. Stoka pod rybníkem byla mělká usazená v rovinatém terénu s mírným spádem, velice měkkým dnem a tím si vzduchá voda snadno našla cestu pod vystavěnými bariérami. Problémem bylo okolí stoky pod první bariérou, jelikož bylo velice měkké a tím bylo znemožněno vystavění druhé bariéry dále níže po proudu stoky. Omezením byl také neúnosný terén pro přístup mechanizace pro následné vyčištění stoky. Proto byla druhá bariéra postavena dosti blízko pod první bariérou. Na tomto rybníce byly hrázky postaveny ze dvou řad balíků slámy za sebou. Vystavěna byla také tzv. postranní křídla, zejména u druhé bariéry.

Teplota vody při tomto výlovu byla nízká s hodnotami 5,9 – 6,8 °C. Hodnota pH byla při průtoku přes bariéry mírně snižována z pH 7,67 na 7,60.

Obsah kyslíku byl u dvou fází sledování (ráno před výlovem a těsně před lovem) mírně zvyšován při průtoku přes bariéry z hodnot okolo 4,7 mg.l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> na téměř 6 mg.l<sup>-1</sup>. Při výlovu byl obsah kyslíku naopak snižován z 4,5 mg.l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> (pod rybníkem) na 3,5 mg.l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> (pod druhou bariérou). Při fázi hodina po výlovu se obsah kyslíku propadl při průchodu bariérami z hodnoty 6 mg.l<sup>-1</sup> (pod rybníkem) na 2,2 mg.l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> po druhou bariérou.

ORP při fázi „ráno před výlovem“ vykazovalo hodnotu okolo 120 mV (pod rybníkem) a průtokem přes bariéry došlo k poklesu na takřka 80 mV. Těsně před výlovem se ORP snížilo na hodnotu 65 mV a průchodem přes bariéry došlo k navýšení na téměř 90 mV. Na počátku fáze „výlov“ ORP vykazovalo hodnotu 30 mV a průchodem přes bariéry se navýšilo na 60 mV. Při fázi „hodina po výlovu“ nebyly zaznamenány záporné hodnoty

(oproti předešlým rybníkům) a hodnoty ORP se strmě propadaly ze 97 mV (pod rybníkem) na hodnotu okolo 30 mV (pod druhou barierou).

### **Laboratorní analýza vzorků vody**

V tabulce č. 9 jsou patrné výrazné změny kvality vody během výlovu rybníka. V noci před výlovem (cca v 21:00 hod.) nebyl odebraný vzorek vody, protože stokou již netekla voda z rybníka.

Ráno před výlovem byl odebraný vzorek vody v 8:00 hodin. Odtékající voda byla vizuálně poměrně čistá s hodnotami  $NL_{105}$  15  $mg.l^{-1}$  a  $NL_{550}$  8,6  $mg.l^{-1}$ . Obsah TOC ve vodě byla poměrně nízká hodnota 20  $mg.l^{-1}$ , nízké hodnoty byly zaznamenány také u TN 1,6  $mg.l^{-1}$  a TP 0,28  $mg.l^{-1}$ . Oproti tomu hodnota koncentrace  $P_{rozp.}$  byla v této fázi nejvyšší ze všech sledovaných rybníků a to 0,13  $mg.l^{-1}$ . Negativním zjištěním bylo pod druhou barierou zjištění vyšší hodnot u všech sledovaných parametrů. Retence bariér byla tedy negativní. Při vyloučení (selhání) lidského faktoru při manipulaci s odebranými vzorky, je možné nalézt vysvětlení zcela jinde, a to ve skutečnosti, když byl obnovený průtok vody ve stoce, který zvednul předtím usazený sediment. Změny v objemu průtoku vody stokou byly dosti výrazné (voda neteče / voda teče téměř naplno).

Kvalita vody byla v obecné rovině na tomto rybníce velmi dobrá v porovnání s ostatními rybníky. Nahrála tomu souhra několika okolností. V první řadě se jednalo o rybník s malou biomasou lehkých ryb ( $K_1 - 239 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) v lovišti. Za druhé tento výlov probíhal v poslední dekádě listopadu při velice nízkých teplotách vody a vzduchu (5,9 a 6,8 °C) a během samotného výlovu došlo ještě k výraznějšímu ochlazení a to omezilo biologické pochody v rybníce. Za třetí, během vegetační sezony tento rybník výrazně zarostl imerzními makrofyty a vláknitými řasami, jež ve svých tělech zadržely větší množství živin.

V průběhu fáze „těsně před výlovem“ došlo k navýšení koncentrací všech sledovaných parametrů. Souběžně s tím došlo také k zachycení části živin. Nerozpuštěné látky se snížili přibližně o 40 %, pokles o 20 % byl zaznamenán u TOC a TN, u TP došlo ke snížení až o 30 %. Zvýšení bylo zaznamenáno také u obsahu  $P_{rozp.}$ , ačkoliv retence byla lehce negativní (-5,9 %).

Při samotném výlovu, který byl zahájen až ve 13:00 hodin se opět navýšil obsah  $NL_{105}$  na hodnotu 1 300  $mg.l^{-1}$  a  $NL_{550}$  na hodnotu 980  $mg.l^{-1}$ . Retence těchto látek byla v této fázi vysoká, přes 82 %. Navýšení nastalo také u hodnot ostatních sledovaných



parametrů, a to u TOC  $140 \text{ mg.l}^{-1}$ , TN  $10 \text{ mg.l}^{-1}$ , TP  $3,0 \text{ mg.l}^{-1}$  a také se poměrně vysoko zvýšila retence těchto látek 65,8 % pro TOC, 60 % pro TN a 70 % u TP. U  $P_{\text{rozp.}}$  došlo k o více než polovičnímu poklesu koncentrace, ale s negativní retencí (-23,5 %).

Při fázi „hodina po výlovu“ byl zaznamenán nárůst hodnot všech sledovaných parametrů s výjimkou  $P_{\text{rozp.}}$ , u kterého došlo k poklesu. Hodnota nerozpuštěných sušených látek vzrostla přibližně o 30 % a hodnota nerozpuštěných žíhaných látek vzrostla o 42 %. Retence těchto látek byla opět vysoká s hodnotou přes 80 %. Hodnota retence pro TOC a TP byla 35 % a pro TN 50 %. Retence NL dosáhla 60–77 %. Oproti tomu opět poklesla koncentrace  $P_{\text{rozp.}}$  s negativní retencí (-38,78 %).

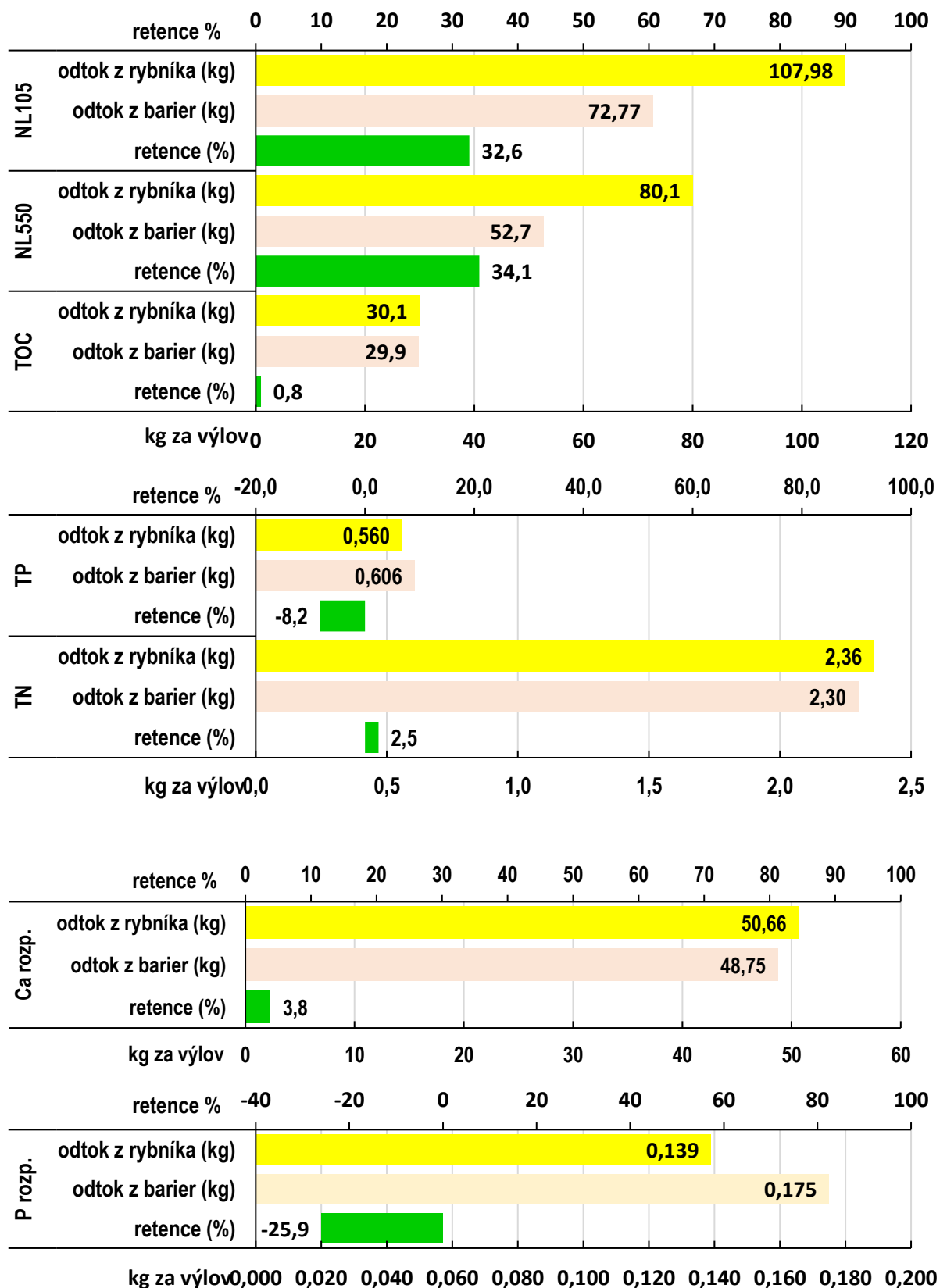
Vypočtené bilance živin pro vybrané parametry ukazuje obrázek č. 8. Vzhledem ke zhoršené kvalitě vody při fázi „ráno před výlovem“ bylo zachyceno méně živin, než tomu bylo u ostatních rybníků, a to 32,6 % nerozpuštěných sušených látek a 34,1 % žíhaných nerozpuštěných látek. Velmi nízké hodnoty retence byly zjištěny u TOC 0,8 %, TN 2,5 % a  $Ca_{\text{rozp.}}$  3,8 %. Hodnota záporné retence a s tím naopak spojené uvolnění živin bylo zjištěno opět u TP (-8,2 %) a  $P_{\text{rozp.}}$  (-25,9 %).

**Obrázek 8** Bariera zatížena ocelovou klecí pro zpevnění – rybník Ouhlín. Pod barierou je patrná sedimentace plavení v důsledku podtekání hrázky (Foto – Ján Regenda)



**Tabulka 9** Laboratorní výsledky kvality vody Ouhlín 2016

Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl (%)
TOC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem			
	ráno před výlovem	20	28	40,00
	těsně před výlovem	33	27	-18,18
	výlov	140	36	-74,29
	hodina po výlovu	190	65	-65,79
	průměr±SD	<b>98,75±71,62</b>	<b>39,00±15,41</b>	<b>-59,27±45,50</b>
NL <sub>105</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem			
	ráno před výlovem	15	56	273,33
	těsně před výlovem	130	80	-38,46
	výlov	1300	230	-82,31
	hodina po výlovu	1700	310	-81,76
	průměr±SD	<b>786,25±728,76</b>	<b>169,00±105,23</b>	<b>-78,51±148,66</b>
NL <sub>550</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem			
	ráno před výlovem	8,6	41	376,74
	těsně před výlovem	93	55	-40,86
	výlov	980	170	-82,65
	hodina po výlovu	1400	230	-83,57
	průměr±SD	<b>620,40±589,39</b>	<b>124,00±79,06</b>	<b>-80,71±193,79</b>
TN (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem			
	ráno před výlovem	1,6	2,1	31,25
	těsně před výlovem	2,6	2,1	-19,23
	výlov	10	3,6	-64,00
	hodina po výlovu	15	6	-60,00
	průměr±SD	<b>7,30±5,50</b>	<b>3,45±1,59</b>	<b>-54,74±38,43</b>
TP (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem			
	ráno před výlovem	0,28	0,55	96,43
	těsně před výlovem	0,9	0,63	-30,00
	výlov	3	0,9	-70,00
	hodina po výlovu	4,1	0,94	-77,07
	průměr±SD	<b>2,07±1,55</b>	<b>0,76±0,17</b>	<b>-63,53±69,67</b>
P <sub>rozpuštěný</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem			
	ráno před výlovem	0,13	0,17	30,77
	těsně před výlovem	0,17	0,18	5,88
	výlov	0,068	0,084	23,53
	hodina po výlovu	0,049	0,068	38,78
	průměr±SD	<b>0,10±0,05</b>	<b>0,13±0,05</b>	<b>20,38±12,15</b>



Obrázek 9 Retence živin rybník Ouhlín 2016

## 4.5. Brdský 2017

Brdský rybník se vizuálně jevil jako ideální lokalita pro budování a testování hrázek. Pod hrází tohoto rybníka se nalézá rozsáhlý zatravněný pozemek s mírným spádem s ideální přístupností pro mechanizační techniku. Ihned pod rybníkem se na pravé straně stoky nachází mokrá „olšina“, kde by nebylo vhodné zřizovat bariery s ohledem na problematickou dostupnost pro následné čištění stoky mechanizací. Hrázky byly z tohoto důvodu postaveny níže po proudu stoky na dobře přístupném a otevřeném místě. Přibližně 20 m pod hrází se do stoky pod rybníkem z levé strany připojuje vodoteč, jež vede od bezpečnostního přelivu a po následných 20 m vystupuje stoka z pravostranného porostu olší. První hrázka byla postavena přibližně 60 m pod hrází rybníka, objem vzduší mezi rybníkem a první hrázkou byl teoreticky spočtený na 47,25 m<sup>3</sup>. Hrázka druhá byla postavena o 22 m níže po proudu (82 m od hráze rybníka), objem vzduší druhou hrázkou byl 40,22 m<sup>3</sup>. Celkový teoretický objem vzduší vody tedy byl spočtený na 87,47 m<sup>3</sup>. Teoretická doba zdržení vody mezi bariérami přes noc byla spočtena na 265 minut. Později doba zdržení výrazně poklesla na 65 minut (ráno před výlovem), přesněji 80 těsně před výlovem a 92 minut během výlovu. Skutečná doba zdržení však byla kratší. Při vzorkování na tomto rybníce se jako problém projevil levostranný přítok, který vedl od bezpečnostního přelivu a vedle něho tekla také obvodová stoka. Během noci z 9. na 10.3. 2017 dorazila jedna z prvních jarních bouřek s doprovodem intenzivního deště. Díky této bouři se naplnila boční vodoteč vodou a tato voda následně zředovala vodu, která protékala přes bariéry od fáze „ráno před výlovem“ až do konce vzorkování tohoto rybníka viz. Tab č. 10. To mohlo mít za následek určité zkreslení naměřených hodnot a výsledků. Toto případné zkreslení považuji za korektní uvést ihned v úvodu popisu výsledků.

Teplota vody se pohybovala okolo 4 °C v noci před výlovem a pouze 2 °C v den výlovu. Hodnota pH se v průměru mírně snižovala při průtoku přes bariery z hodnoty pH 7,41 na 7,31.

Obsah kyslíku byl konstantní při průchodu přes bariery při fázích „ráno před výlovem a těsně před lovem“ a obsah kyslíku se pohyboval okolo 10 – 11 mg.l<sup>-1</sup>. Při výlovu byl obsah kyslíku navýšený při průchodu přes bariery z hodnoty 5,5 mg.l<sup>-1</sup> (pod rybníkem) na hodnotu takřka 9 mg.l<sup>-1</sup> (pod druhou barierou).

U ORP bylo zaznamenáno zvyšování hodnot při průtoku přes hrázky u všech měření. Během výlovu rybníka byla hodnota ORP navýšena při průchodu první barierou z hodnoty 135 mV, na hodnotu nepatrně nad 150 mV. Poté průtokem přes druhou barieru snížena na dá se říci obdobnou hodnotu okolo 135 mV, jako byla zjištěna pod rybníkem.

Výjimkou bylo měření v „noci před výlovem“, kdy z hodnoty 150 mV (pod rybníkem) po průchodu přes první barieru, došlo k propadu ORP na takřka 15 mV. Při následném průchodu přes druhou barieru se hodnota navýšila na téměř 90 mV. Při fázi „hodina po výlovu“ opět nebyly zaznamenány záporné hodnoty a ORP se navyšovalo při průtoku barierami z 15 mV (pod rybníkem) na hodnotu takřka 75 mV (pod druhou barierou).

### **Laboratorní analýza vzorku vody**

Z tabulky č. 10 jsou patrné výrazné změny kvality vody během sledování.

Během „noci před výlovem“ byl zjištěný poměrně vysoký obsah nerozpuštěných sušených látek  $110 \text{ mg.l}^{-1}$  a shodně s tím také vysoký obsah nerozpuštěných žíhaných látek  $85 \text{ mg.l}^{-1}$ . Hodnoty této koncentrace byly u ostatních sledovaných rybníků typické spíše pro následné fáze výlovu. Příčinou tohoto jevu mohla být vysoká biomasa relativně „těžké“ ryby ( $K_3 - 2\,915 \text{ kg.ha}^{-1} = \text{vlastní obsádka} + \text{svoz}$ ) komorované přes zimu do jara v tomto rybníku. Ovšem retence látek byla poměrně vysoká a to přes 35 %. Mírně zvýšená byla také hodnota TN  $6 \text{ mg.l}^{-1}$ , ale s vykázaním negativní retencí tedy uvolnění živiny (- 13 %). Oproti tomu tento rybník vykazoval nižší hodnoty TOC  $16 \text{ mg.l}^{-1}$  a TP  $0,24 \text{ mg.l}^{-1}$  s retencí těchto látek přes 12,5 %. Při tomto sledování odtékající voda ještě nebyla naředěna srážkami.

K naředění vody levostranným přítokem došlo až v průběhu noci, takže naředěním byly ovlivněny vzorky odebrané ve fázi „ráno před výlovem“ a následné fáze. Výsledky ze sledování tohoto rybníka je proto nutné interpretovat velice opatrně, Množství odtékající vody z obou těchto zdrojů a jejich poměr namíchání nebylo možné z technických důvodů stanovit, jelikož to byla velice neočekávaná situace (březen) a chybělo technické vybavení v terénu.

V „ráno před výlovem“ došlo k následnému mírnému zvýšení koncentrací všech sledovaných látek a parametrů s výjimkou TN a  $P_{\text{rozp.}}$ , jelikož naopak jejich koncentrace poklesly. Vypočtená retence živin (TOC, TP,  $NL_{105}$ ,  $NL_{550}$ ) byla znovu o trochu vyšší.

Při fázi „těsně před výlovem“ došlo k téměř zdvojnásobení koncentrace všech měřených hodnot s výjimkou TN (20 %) a  $P_{\text{rozp.}}$  (15 %). Retence těchto látek byla velice podobná předchozí fázi.

Vlastní výlov rybníka byl prováděný podložní sítí a vedl znovu k navýšení obsahu  $NL_{105}$  na 2 100  $\text{mg.l}^{-1}$  a  $NL_{550}$  na 1 600  $\text{mg.l}^{-1}$ . Retence těchto látek byla během této fáze vysoká a to přes 76 %. Ke zvýšení došlo také u ostatních sledovaných parametrů: TOC 120  $\text{mg.l}^{-1}$ , TN 16  $\text{mg.l}^{-1}$ , TP 3,8  $\text{mg.l}^{-1}$ . Souběžně se zvýšením koncentrací se také poměrně vysoko navýšila retence těchto látek a to: 70,8 % (TOC), 41,3 % (TN), 82,9 % (TP). Koncentrace  $P_{\text{rozp.}}$  se mírně zvýšila v odtékající vodě, ale s negativní retencí (-12,5%).

Ve fázi „hodina po výlovu“ byl zaznamenaný další nárůst u hodnot všech sledovaných parametrů. Hodnota koncentrace nerozpuštěných sušených látek vzrostla na hodnotu 4 400  $\text{mg.l}^{-1}$  a nerozpuštěné žíhané látky na hodnotu 3 800  $\text{mg.l}^{-1}$  s retencí pouze 9 % ( $NL_{105}$ ) a 47 % ( $NL_{550}$ ). U TOC došlo také k navýšení koncentrace na hodnotu 220  $\text{mg.l}^{-1}$  a zvýšení TN na hodnotu 26  $\text{mg.l}^{-1}$ , ovšem u obou parametrů s negativní retencí a to: TOC (-13,6 %) a TN (-11,5 %). Toto navýšení mohlo být způsobeno „zvedáním a unášením“ lehčích již usazených sedimentů zvýšeným průtokem srážkové vody přes bariéry (z vlastního loviště již teklo pouze malé množství vody). Oproti tomu koncentrace hodnoty TP se velmi výrazně zvýšila na hodnotu 63  $\text{mg.l}^{-1}$  se spočtenou retencí na úrovni 80,9 %. Se zajímavou hodnotou vyšla změna koncentrace u  $P_{\text{rozp.}}$ , jež se na odtoku z rybníka opět navýšila (0,058  $\text{mg.l}^{-1}$ ) s pozitivní retencí 53,5 %.

### **Bilance živin**

Vypočtené bilance pro vybrané parametry ukazuje obrázek č. 11. Nerozpuštěné sušené látky dosáhly 56 % a žíhané nerozpuštěné látky dosáhly hodnoty 63 %. Nízká byla retence TOC (40 %) a TN (10,9 %). Negativní retence tedy uvolnění živin bylo zjištěno znovu u  $P_{\text{rozp.}}$  (-38,5 %), oproti tomu pozitivní retence byla zjištěna pro TP 76,4 %.

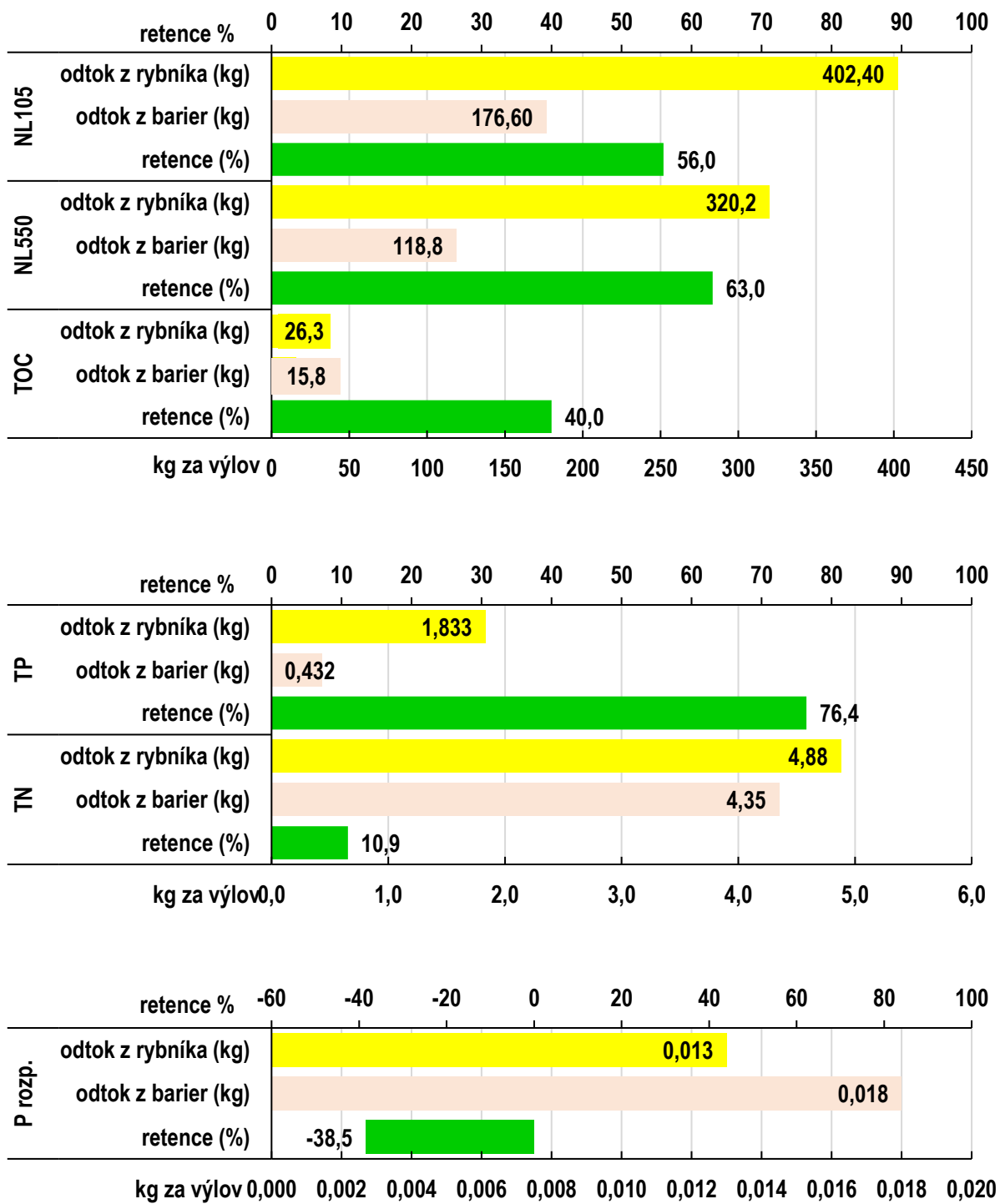


**Obrázek 10** První bariera a vystavěná „křídla“ po stranách bariery pro usměrnění proudu a zvýšení objemu mezi bariery – Brdský rybník (Foto – Ján Regenda)

**Tabulka 10** Laboratorní výsledky kvality vody Brdský 2017

Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl %	Potok Brdský
TOC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	16	14	-12,50	7,6
	ráno před výlovem	17	12	-29,41	
	těsně před výlovem	31	24	-22,58	
	výlov	120	35	-70,83	
	hodina po výlovu	220	250	13,64	
	průměr±SD	<b>80,80±79,58</b>	<b>67,00±91,87</b>	<b>-17,08±27,47</b>	
NL <sub>105</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	110	71	-35,45	5,6
	ráno před výlovem	160	85	-46,88	
	těsně před výlovem	390	220	-43,59	
	výlov	2100	440	-79,05	
	hodina po výlovu	4400	4000	-9,09	
	průměr±SD	<b>1432,00±1655,70</b>	<b>963,20±1524,17</b>	<b>-32,74±22,46</b>	
NL <sub>550</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	85	53	-37,65	4,2
	ráno před výlovem	130	68	-47,69	
	těsně před výlovem	330	180	-45,45	
	výlov	1600	370	-76,88	
	hodina po výlovu	3800	2000	-47,37	
	průměr±SD	<b>1189,00±1418,76</b>	<b>536,20±741,60</b>	<b>-55,07±13,44</b>	
TN (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	6	6,8	13,33	13
	ráno před výlovem	5,3	5,4	1,89	
	těsně před výlovem	6,6	6,5	-1,52	
	výlov	16	9,4	-41,25	
	hodina po výlovu	26	29	11,54	
	průměr±SD	<b>11,98±8,03</b>	<b>11,42±8,89</b>	<b>-4,67±19,83</b>	
TP (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,24	0,21	-12,50	0,076
	ráno před výlovem	0,31	0,24	-22,58	
	těsně před výlovem	0,62	0,45	-27,42	
	výlov	3,8	0,65	-82,89	
	hodina po výlovu	63	12	-80,95	
	průměr±SD	<b>13,59±24,74</b>	<b>2,71±4,65</b>	<b>-80,06±30,32</b>	
P <sub>rozp.</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,024	0,036	50	0,028
	ráno před výlovem	0,017	0,031	82,35	
	těsně před výlovem	0,02	0,039	45	
	výlov	0,024	0,037	12,5	
	hodina po výlovu	0,058	0,027	-53,45	
	průměr±SD	<b>0,03±0,01</b>	<b>0,03±0,00</b>	<b>4,90±46,04</b>	





**Obrázek 11** Retence živin na rybníce Brdský 2017

## 4.6 Vrbice 2017

Budování hrázek na rybníce Vrbice bylo komplikovanější s ohledem na místní podmínky (pastviny s dobyt看em a mostek přes stoku) a tím pádem byly hrázkы postaveny podstatně níže po proudu stoky. Hrázka první byla postavena přibližně 55 m pod hrázi rybníka, druhá hrázka byla postavena o 30 m dále po stoce, tedy 75 m od vlastní hráze rybníka. Teoreticky spočtený celkový objem barrier byl 15,4 m<sup>3</sup>, první bariera zadržovalo 7,6 m<sup>3</sup> vody a druhá bariera zadržovala 7,8 m<sup>3</sup>. Teoreticky spočtená doba zdržení vody mezi barrierami byla ve fázi „ráno před výlovem“ poměrně krátká 10 minut, a to z důvodu intenzivního vypouštění vody z rybníka. Ovšem v následujících fázích vzorkování došlo k prodloužení doby zdržení vody na 41 minut (těsně před výlovem) a 90 minut (při výlovu). Vcelku malý objem vody mezi barrierami byl daný faktem toho, že odtoková stoka z rybníka je vedena dá se říci po vrstevnici s velmi mírným spádem. Na levé straně stoky se terén zvyšoval a byl velice silně zarostlý křovisky, pravá strana podél stoky nopak klesala do zatravněného „úžlabí“. Díky tomuto tvaru stoky byly proto postaveny dvouřadé relativně krátké bariéry. Vzhledem k poměrně malému a úzkému profilu stoky pod rybníkem byla akumulací kapacita barrier malá. Pro zvýšení akumulací kapacity byly u obou hrázek postaveny z pravé strany podél stoky a kolmo k hrázce křídla, jaká umožnila podstatně zvýšit objem zadržované vody. Avšak z obou hrázek byla část vody vyběžena díky netěsnostem a docházelo k úniku vody po travnatém „úžlabí“ (pastvině) po terénu dolů, kde se voda následně napojila s vodou ze stoky ležící níže. U horní barriery se jednalo o vodní plochu cca 96 m<sup>2</sup> a pro druhou hrázku vodní plocha cca 70 m<sup>2</sup>. Po „soutoku“ těchto vod byly odebrány vzorky vody s označením jako „profil C“. Pod druhou hrázkou protékala voda ještě velmi hustým a vzrostlejším porostem lučních bylin a křovin a teprve po 20 metrech stékala samovolně údolím pastviny. V tomto místě byla voda měřena jako profil D. Díky této ojedinělé situace se podařilo alespoň z části nastínit, jak efektivně může travní porost plnit funkci zachytávání sedimentu.

Teplota vody byla poměrně vysoká 12 °C a byla dá se říci stálá po celou dobu sledování. Parametr pH byl mírně snižovaný při průchodu přes bariéry z pH 7,44 (pod rybníkem) na pH 7,17 (pod druhou barrierou).

Obsah kyslíku byl průchodem přes bariéry navyšován. Při sledování fází před výlovem se obsah kyslíku pohyboval na úrovni 4 mg.l<sup>-1</sup> (pod rybníkem) a během průchodu přes bariéry byl navýšen na takřka 5 mg.l<sup>-1</sup>. Během výlovu se obsah kyslíku snížil na necelý 1 mg.l<sup>-1</sup> (pod rybníkem) a po průchodu

barierami se obsah kyslíku navýšil na takřka 2 mg.l<sup>-1</sup>. Při měření „hodinu po výlovu“ byl zjištěný opačný trend v obsahu kyslíku, jelikož během průchodu barierami došlo ke snížení obsahu kyslíku z hodnoty okolo 3,5 mg.l<sup>-1</sup> (pod rybníkem) na hodnotu okolo 0,5 mg.l<sup>-1</sup> (pod druhou barierou).

Parametr ORP vykazoval zvyšování hodnot při průtoku přes hrázky během všech fází sledování. Při fázi těsně před lovem se hodnota ORP pohybovala nepatrně pod 60 mV a po průchodu přes bariery došlo k navýšení ORP nepatrně nad 60 mV. Při fázi „ráno před lovem“ došlo k výraznému navýšení ORP z měření okolo 0 mV (pod rybníkem) na takřka 60 mV pod druhou barierou. Během výlovu byly vykazovány jen záporné hodnoty na úrovni takřka (-120 mV) pod rybníkem a při průtoku přes bariery navýšení hodnoty na stále záporné (-20 mV). Také při fázi „hodina po výlovu“ byly naměřeny jen záporné hodnoty (-10 mV) pod rybníkem a okolo 0 mV pod druhou barierou.

### **Laboratorní analýza vzorků vody**

Z tabulky č. 11 a 12 je patrné, jak se kvalita vody v průběhu strojení a výlovu rybníka podstatně měnila. Odběr prvního vzorku vody proběhl až „ráno před výlovem“ při intenzivním vypouštění vody z rybníka. Se vzorkováním na tomto rybníce došlo k rozšíření okruhu prováděných analýz vody. BSK<sub>5</sub> dosahovalo hodnoty 21 mg.l<sup>-1</sup> a při průtoku přes hrázky byla snížena na 19 mg.l<sup>-1</sup> (-9,5 %). U hodnoty CHSK<sub>Cr</sub> ovšem došlo při průtoku přes bariery k navýšení hodnoty ze 100 mg.l<sup>-1</sup> na 110 mg.l<sup>-1</sup>. Hodnoty obsahu NL<sub>105</sub> a NL<sub>550</sub> byly mírně zvýšeny a dosahovaly koncentrací 170 a 120 mg.l<sup>-1</sup> s retencí na úrovni přes 35 %. Při srovnání s ostatními rybníky byla mírně zvýšená také hodnota TN (7,6 mg.l<sup>-1</sup>) a TP (0,67 mg.l<sup>-1</sup>) s retencí po průchodu barierami (1,3 %) a (-6 %). Výrazněji byla také ovlivněna koncentrace P<sub>rozp.</sub> (-141 %) po průchodu bariérami. Tyto hodnoty mohly být způsobené vyšší pohybovou aktivitou obsádkou ryb v rybníce (K<sub>3</sub> – 844 kg.ha<sup>-1</sup>) a vyplavením P z koryta stoky. Další sledované látky přešli přes bariéry s minimálními změnami.

Při fázi „těsně před výlovem“ nastal další výraznější nárůst koncentrace dá se říci všech parametrů s výjimkou Fe<sub>rozp.</sub>, u kterého koncentrace poklesla. Mírnější nárůst koncentrace byl zaznamenán pouze u TIC, KNK<sub>4,5</sub> a Ca. Nejvyšší hodnota retence na úrovni přes 64 % byla stanovena u nerozpuštěných látek a vápníku. Vysoká retence (nad 40 %) průtoku vody přes hrázky byla zjištěna u TP a BSK<sub>5</sub>, oproti TOC, TN a CHSK<sub>Cr</sub> jež byly na úrovni 20–30 %. Nižší retence pak byla zjištěna ještě u vápníku (11,4 %). Ostatní sledované parametry dosahovaly velmi nízké retence

(KNK<sub>4,5</sub> – 4,4 %; TIC 0,0 %) a nebo záporné retence u parametrů: TC (-1,19 %), P<sub>rozp.</sub> (-16,7 %), Fe<sub>rozp.</sub> (-60,5 %). V tomto bodě je vhodné a zajímavé poukázat jak travní porost disponuje purifikačními schopnostmi, ať už je zhodnocována pastvina (profil C) nebo silně zarostlá stoka (profil D). S výjimkami u rozpuštěných forem P a Fe dochází k podstatnému zvýšení zachycení živin. Tímto zjištěním je možné artikulovat, že ke zlepšení hodnot kvality vody odtékající z rybníka může být efektivně využito řízeného rozlivu na travní porosty (mokřady) pod rybníkem.

Výlov tohoto rybníka byl s ohledem na malou velikost rybníku prováděn ručně tzv. „na kesery“. Během této fáze dosáhly extrémních hodnot koncentrace NL<sub>105</sub> (47 000 mg.l<sup>-1</sup>) a NL<sub>550</sub> (40 000 mg.l<sup>-1</sup>), což bylo nejspíš způsobeno biomasou obsádky K<sub>3</sub>, pohybem osob v lovišti rybníka současně s vyšší teplotou vody. Retence těchto látek byla vysoká na úrovni 62 %, ovšem v porovnání s ostatními rybníky nižší. Výrazně zvýšené byly také hodnoty koncentrace ostatních sledovaných parametrů, jejichž retence zůstala také kladná: BSK<sub>5</sub> (210 mg.l<sup>-1</sup> s retencí 42,8 %), Ca (240 mg.l<sup>-1</sup> s retencí 33,3 %), Fe (1 200 mg.l<sup>-1</sup> s retencí 24,2 %), KNK<sub>4,5</sub> (3,7 mmol.l<sup>-1</sup> s retencí 21,64 %), TN (53 mg.l<sup>-1</sup> s retencí 13,2 %). Oproti tomu u některých sledovaných parametrů došlo také k jejich navýšení, ale retence těchto látek po průchodu přes bariéry byla negativní: CHSK<sub>Cr</sub> (530 mg.l<sup>-1</sup> s retencí (-45,3 %)), TOC (200 mg.l<sup>-1</sup> s retencí (-70 %)), TIC (73 mg.l<sup>-1</sup> s retencí (-1,4 %), TC (280 mg.l<sup>-1</sup> s retencí (50 %)). Překvapivě také působí výsledky z analýzy rozpuštěných forem P a Fe. Koncentrace P<sub>rozp.</sub> poklesla na hodnotu 0,043 mg.l<sup>-1</sup> a byla tím pádem nejnižší ze všech vzorků odebraných na rybníce Vrbice, souběžně s tím bylo docíleno kladné retence 20,9 % na jediném ze čtyř odebraných vzorků. U Fe<sub>rozp.</sub> naopak došlo k 8násobnému navýšení hodnoty na 3,1 mg.l<sup>-1</sup> s kladnou retencí přes 94 %.

U vzorků z fáze „hodina po výlovu“ byly vyhodnoceny dá se říci překvapující výsledky, jelikož očekávané a obvyklé nárůsty koncentrací nerozpuštěných látek a ostatních živin nenastaly. Výrazný pokles byl zaznamenán u množství NL<sub>105</sub> (1 400 mg.l<sup>-1</sup>) a NL<sub>550</sub> (1 200 mg.l<sup>-1</sup>), s navýšením retence na 72,8 % (NL<sub>105</sub>) a 76,7 % u (NL<sub>550</sub>). U parametrů BSK<sub>5</sub>, TN, TIC, KNK<sub>4,5</sub>, Ca, Fe<sub>rozp.</sub> byl zaznamenán pokles koncentrací na úroveň srovnatelnou s fází „těsně před výlovem“ a retence těchto parametrů byla i přes přirozený pokles objemu vody mezi hrázkami celkem značná. Koncentrace ostatních látek poklesly poněkud méně s poměrně značnou retencí: CHSK<sub>Cr</sub> 37 %, TC 47,5 %, TOC 53,9 %, Fe 75 %. Důvodem tohoto poklesu koncentrací látek ve

vodě byl fakt, že obsluha rybníka „strojič“ sice ponechal volně protékat vodu požerákem rybníka pro požadované vzorkování „hodinu po výlovu“, ale současně s tím byly navraceny do požeráku dvě dlužé, jež zadržovaly určitý objem vody v lovišti rybníka. Za povšimnutí zde stojí podstatné zlepšení kvality vody na profilu D ve srovnání s profilem B.

### **Bilance živin**

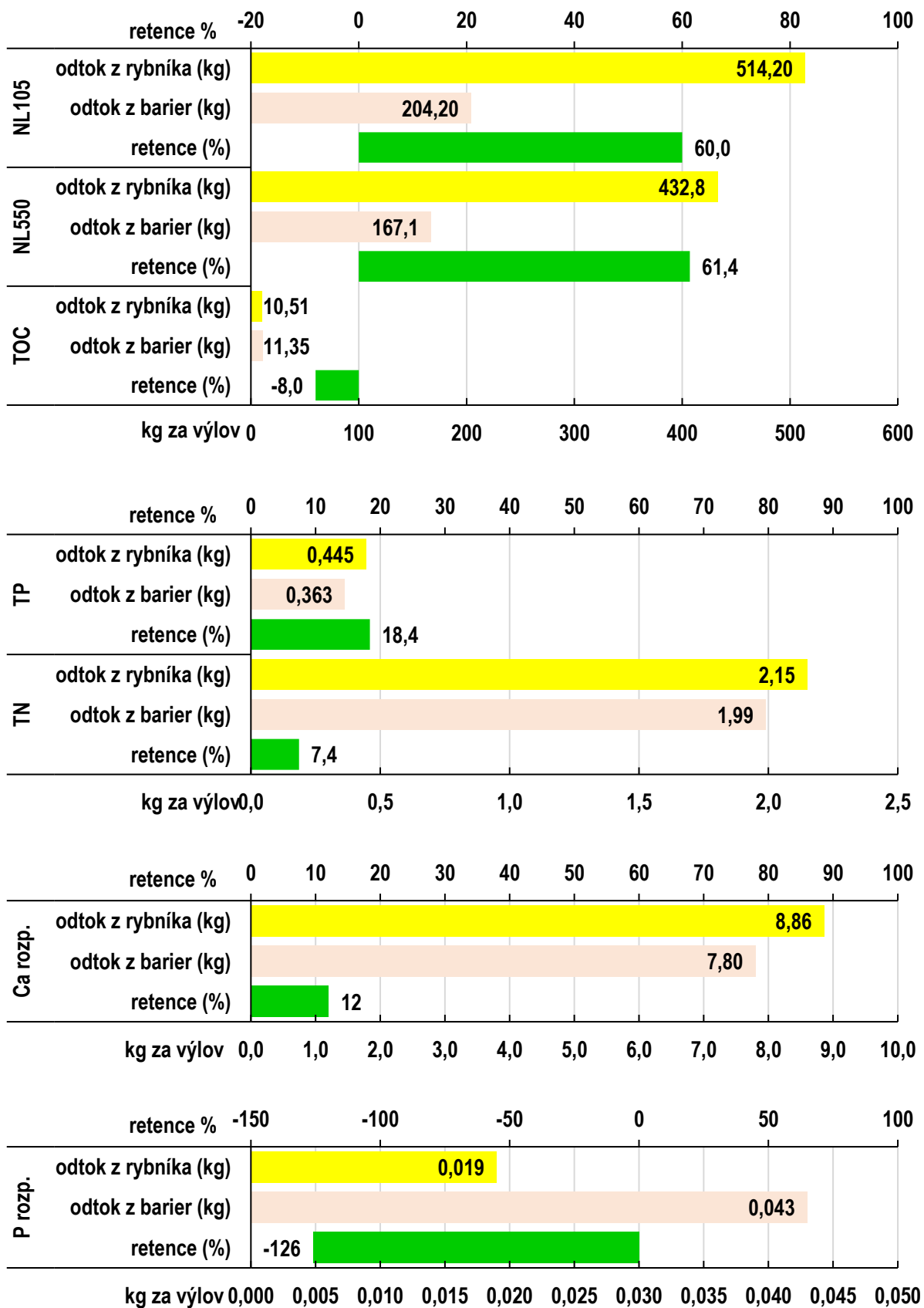
Spočtené bilance pro vybrané živiny obr. č. 12. Nerozpuštěné sušené látky dosáhly retence 60 % a žíhané nerozpuštěné látky 61,4 %. Záporná byla retence TOC (-8 %). Poměrně nízké retence bylo dosaženo u TN (7,4 %) a TP (18,4 %). Hodnota záporné retence, tedy uvolnění živin bylo zjištěno u rozpuštěných forem fosforu (-126 %). Oproti tomu byla zjištěna pozitivní retence u  $Ca_{rozp.}$  12 %. Retence ostatních sledovaných parametrů prezentuje tabulka č. 11.

**Tabulka 11** Laboratorní výsledky kvality vody rybník Vrbice 2017

Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl (%)	Profil C "tráva"
BSK <sub>5</sub>	noc před výlovem				
	ráno před výlovem	21	19	-9,52	
	těsně před výlovem	31	17	-45,16	15
	výlov	210	120	-42,86	
	hodina po výlovu	27	17	-37,04	
	průměr±SD	<b>72,25±79,61</b>	<b>43,25±44,32</b>	<b>-40,14±14,24</b>	
CHSK <sub>Cr</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem				
	ráno před výlovem	100	110	10,00	
	těsně před výlovem	150	110	-26,67	100
	výlov	530	770	45,28	
	hodina po výlovu	280	140	-50,00	
	průměr±SD	<b>265,00±166,51</b>	<b>282,50±281,72</b>	<b>6,60±36,22</b>	
NL <sub>105</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem				
	ráno před výlovem	170	110	-35,29	
	těsně před výlovem	540	190	-64,81	130
	výlov	47000	18000	-61,7	
	hodina po výlovu	1400	380	-72,86	
	průměr±SD	<b>12277,5±20052,01</b>	<b>4670±7696,7</b>	<b>-61,96±14,09</b>	
NL <sub>550</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem				
	ráno před výlovem	120	77	-35,83	
	těsně před výlovem	430	140	-67,44	90
	výlov	40000	15000	-62,5	
	hodina po výlovu	1200	280	-76,67	
	průměr±SD	<b>10437,50±17072,45</b>	<b>3874,25±6423,87</b>	<b>-62,88±15,18</b>	
TN (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem				
	ráno před výlovem	7,6	7,5	-1,32	
	těsně před výlovem	11	8,1	-26,36	7,3
	výlov	53	46	-13,21	
	hodina po výlovu	19	12	-36,84	
	průměr±SD	<b>22,65±18,00</b>	<b>18,40±16,03</b>	<b>-18,76±13,40</b>	
TP (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem				
	ráno před výlovem	0,67	0,71	5,97	
	těsně před výlovem	1,4	0,79	-43,57	0,63
	výlov	30	22	-26,67	
	hodina po výlovu	1,8	0,082	-54,44	
	průměr±SD	<b>8,47±12,44</b>	<b>6,08±9,19</b>	<b>-28,20±22,84</b>	
P <sub>rozp.</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem				
	ráno před výlovem	0,087	0,21	141,38	
	těsně před výlovem	0,12	0,14	16,67	
	výlov	0,043	0,034	-20,93	
	hodina po výlovu	0,073	0,086	17,81	
	průměr±SD	<b>0,08±0,03</b>	<b>0,12±0,07</b>	<b>45,51±61,28</b>	

**Tabulka 12** Laboratorní výsledky kvality vody rybník Vrbice 2017

Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl %	Profil C "tráva"	Profil D "stoka"
TOC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem					
	ráno před výlovem	39	39	0,00		
	těsně před výlovem	62	43	-30,65	39	37
	výlov	200	340	70,00		
	hodina po výlovu	130	60	-53,85		34
	průměr±SD	<b>107,75±62,90</b>	<b>120,50±126,97</b>	<b>11,83±46,60</b>		
TIC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem					
	ráno před výlovem	21	20	-4,76		
	těsně před výlovem	22	22	0,00	20	21
	výlov	73	74	1,37		
	hodina po výlovu	26	24	-7,69		25
	průměr±SD	<b>35,50±21,73</b>	<b>35,00±22,56</b>	<b>-1,41±3,64</b>		
TC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem					
	ráno před výlovem	60	59	-1,67		
	těsně před výlovem	84	85	1,19	59	58
	výlov	280	420	50		
	hodina po výlovu	160	84	-17,5		59
	průměr±SD	<b>146,00±85,72</b>	<b>162,00±149,32</b>	<b>10,96±34,49</b>		
KNK <sub>4,5</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem					
	ráno před výlovem	2,1	2,1	0,00		
	těsně před výlovem	2,3	2,2	-4,35	2,1	2,2
	výlov	3,7	2,9	-21,62		
	hodina po výlovu	2,8	2,7	-3,57		2,6
	průměr±SD	<b>2,73±0,62</b>	<b>2,48±0,33</b>	<b>-9,17±8,38</b>		
Ca (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem					
	ráno před výlovem	32	31	-3,13		
	těsně před výlovem	35	31	-11,43	32	31
	výlov	240	160	-33,33		
	hodina po výlovu	37	32	-13,51		31
	průměr±SD	<b>86,00±0,62</b>	<b>63,50±0,33</b>	<b>-26,16±8,38</b>		
Fe (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem					
	ráno před výlovem	7,8	5,7	-26,92		
	těsně před výlovem	27	9,5	-64,81	5,9	6,1
	výlov	1200	910	-24,17		
	hodina po výlovu	64	16	-75,00		13
	průměr±SD	<b>324,70±505,76</b>	<b>235,30±389,56</b>	<b>-27,53±22,49</b>		
Fe <sub>rozpuštěný</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem					
	ráno před výlovem	0,58	0,65	12,07		
	těsně před výlovem	0,38	0,61	60,53	0,57	0,65
	výlov	3,1	0,18	-94,19		
	hodina po výlovu	0,45	0,34	-24,44		0,29
	průměr±SD	<b>1,13±1,14</b>	<b>0,45±0,19</b>	<b>60,53±56,46</b>		



Obrázek 12 Bilance živin rybník Vrbice 2017



#### 4.7. Pláňavy 2017

Na rybníce Pláňavy byla první hrázka postavena 32,5 m pod hrází rybníka. Hrázka druhá byla postavena o dalších 14 m níže, tedy od hráze 46,5 m. Více prostoru níže po stoce bohužel nebylo k dispozici, jelikož po dalších 30 metrech stoka ústila do výtopy rybníka Milavy (prostor zarostlý stromy). Objem akumulované vody byl nad první bariérou teoreticky spočtený na 19,4 m<sup>3</sup> a nad druhou bariérou 9,4 m<sup>3</sup>. Celkový objem akumulované vody byl tedy 28,4 m<sup>3</sup>. Teoretická doba zdržení byla v prvních 2 fázích sledování (noc před výlovem – ráno před výlovem – těsně před výlovem 31 až 37 minut. Následně došlo k prodloužení doby zdržení vody na 50 minut (těsně před výlovem – výlov). V průběhu samotného výlovu došlo k prodloužení doby zdržení vody až na 189 minut. Vlastní hrázky byly postaveny ze dvou řad balíků slámy se vzájemným překrytím styčných míst. Na tomto rybníce byla poprvé instalována jutová tkanina jako výstelka dna zdrže těsně před hrázkami z důvodu potlačení podtékání hrázek. Podstatné je dodat, že se toto opatření náležitě osvědčilo. Postupně došlo průtokem vody k kolmataci dna zdrže, které následně dokázalo udržet zbytky zachycené vody včetně přeživších ryb.

Teplota vody byla měřena v noci před výlovem na úrovni 5,3 °C a do výlovu poklesla na 3,5 °C. Hodnota pH byla v průměru při průtoku přes bariery mírně snižována z hodnoty 7,61 (pod rybníkem) na hodnotu 7,44 (pod druhou barierou).

Obsah kyslíku byl bez výraznější změny po průchodu přes bariery při fázích „noc před výlovem“; ráno před výlovem; těsně před výlovem a jeho obsah se při průchodu přes bariery pohyboval na úrovni 6 – 7 mg.l<sup>-1</sup>, bez výrazných výkyvů. Naopak tomu bylo při výlovu, kdy průtokem přes hrázky došlo k navýšení obsahu kyslíku z 0,5 mg.l<sup>-1</sup> (pod rybníkem) na 3,5 mg.l<sup>-1</sup> (pod druhou barierou). Stejný trend vykazovala také fáze „hodina po výlovu“, jelikož pod rybníkem bylo naměřeno 0,5 mg.l<sup>-1</sup> a průtokem přes hrázky došlo k navýšení obsahu kyslíku na 2 mg.l<sup>-1</sup>.

Sledování ORP vykazovalo při průtoku barierami zvyšování hodnot, s výjimkou fáze „noc před výlovem“. Při noci před výlovem došlo ke snížení hodnoty ORP z úrovně 50 mV (pod rybníkem) na úroveň 30 mV. Během fází „výlov“ a „hodina po výlovu“ byly zjištěny velice podobné hodnoty. Pod rybníkem se hodnota ORP pohybovala na záporné úrovni nad (-60 mV) a po průchodu barierami vzrostla na úroveň takřka 10 mV.

## Laboratorní analýza vzorků vody

Z tabulek č. 13 a 14 jsou patrné výrazné změny kvality vody v průběhu strojení a výlovu rybníka. Kvalita vody v noci před výlovem a ráno před samotným výlovem byla u všech parametrů vody velmi podobná s výjimkou  $P_{\text{rozp.}}$ , který poklesl téměř o polovinu. Hodnota  $BSK_5$  dosahovala 22–25  $\text{mg.l}^{-1}$  a průtokem přes hrázky byla snížena velmi málo (0 – 9,1 %). U  $CHSK_{\text{Cr}}$  byly zaznamenány hodnoty 100–140  $\text{mg.l}^{-1}$  a po průchodu přes hrázky došlo k dá se říci vyšší retenci (5–21,4 %). Hodnota koncentrace nerozpuštěných látek byla ve srovnání s ostatními rybníky dá se říci na podprůměrné úrovni, a to výrazněji zejména ve fázi „ráno před výlovem“. Pod rybníkem dosahovaly nerozpuštěné látky hodnot 46–49  $\text{mg.l}^{-1}$  u  $NL_{105}$ , 19–20  $\text{mg.l}^{-1}$  u  $NL_{550}$ . Jejich retence byla velmi podobná na úrovni 10 % s výjimkou  $NL_{550}$  ráno před výlovem, kdy bylo po průtoku vody přes hrázky docíleno zadržení 20 % NL. Relativně malé zachycení živin bylo v těchto prvních dvou fázích zaznamenáno také pro: TN, TC, TOC, TIC,  $KNK_{4,5}$ , Ca a  $Fe_{\text{rozp.}}$ . Rozpuštěná forma železa ( $Fe_{\text{rozp.}}$ ) procházela bariérami beze změny koncentrace, avšak u Fe došlo k určitému snížení koncentrace pod barierami o 22–38,1 %.

Těsně před samotným výlovem došlo k překvapivě mírnému poklesu  $BSK_5$  na 17  $\text{mg.l}^{-1}$ , zatímco jeho retence byla negativní (-23,5 %). U  $CHSK_{\text{Cr}}$  došlo k určitému zvýšení hodnoty na 140  $\text{mg.l}^{-1}$  a s tím se také zvýšila retence na 28,6 %. Nerozpuštěné sušené látky se zvýšily až 4 násobně na hodnotu 200  $\text{mg.l}^{-1}$ , zatímco žíhané nerozpuštěné látky se zvýšily až 7 krát na hodnotu 140  $\text{mg.l}^{-1}$ . Retence obou parametrů byla vysoká, a to  $NL_{150}$  68 % a 75 % pro  $NL_{550}$ . Podobné výsledky byly zjištěny také u Fe, jehož obsah vzrostl takřka sedminásobně na hodnotu 6,9  $\text{mg.l}^{-1}$  s retencí 69,6 %. Poněkud nižší snížení koncentrací bylo pod barierami u TP – 34,3 %; TIC – 33,3 %; TC; 25,4 %; TOC – 19,4 %; TN 15,9 %, jejichž obsah se v porovnání s předchozími fázemi ve vodě pod rybníkem zvýšil méně výrazně. Oproti tomu velmi malá retence – změna těsně nad 4 %, byla zjištěna u Ca a koncentrace se výtoku z rybníka nepatrně zvýšila. U rozpuštěných forem železa a fosforu byly změny v koncentraci malé, ale retence těchto látek byla negativní -18,2 % u  $Fe_{\text{rozp.}}$  a - 88,4 % u  $P_{\text{rozp.}}$ .

Výlov rybníku byl proveden za pomoci tažné sítě „vatky“ a byly provedeny dva zátahy. Zbytek ryb byl dolovený na kesery. V rybníce byl masový výskyt podetřelých plevelných ryb, které svými těly ucpávaly mřížku ve výpusti z rybníka. Mříž musela být

neustále „baštýřem“ čištěna. Kvalita vody vytékající z rybníka se v průběhu výlovu výrazně zhoršila. Koncentrace nerozpuštěných látek a TP vzrostla přibližně 60 × na 11 000 mg.l<sup>-1</sup> NL<sub>105</sub>, 8 800 mg.l<sup>-1</sup> NL<sub>550</sub> a 48 mg.l<sup>-1</sup> TP. Na druhou stranu byla poté pod bariery zjištěna retence na úrovni 99 %. Téměř 20× zvýšení došlo u BSK<sub>5</sub> na 330 mg.l<sup>-1</sup>, zatímco u CHSK<sub>Cr</sub> bylo až 39× zvýšení na hodnotu 5 500 mg.l<sup>-1</sup>. Podobně vysoký nárůst 35× byl zaznamenán také u TOC 1 100 mg.l<sup>-1</sup> při retenci 93,6 %, 27× nárůst na hodnotu 120 mg.l<sup>-1</sup> při retenci 97,4 % u TN. Koncentrace celkového uhlíku se zvýšila šestnáctinásobně na hodnotu 1 100 mg.l<sup>-1</sup> s retencí 95 % a koncentrace vápníku 9,5× (410 mg.l<sup>-1</sup>) s retencí 90 %. Nejvyšší nárůst koncentrace více než 100× bylo zjištěno u Fe: 750 mg.l<sup>-1</sup>. Jeho retence byla téměř absolutní s hodnotou 99,72 %. Naopak k nejmenšímu zvýšení koncentrace došlo u TIC (o 9 %), s retencí 26,5 % a KNK<sub>4,5</sub> (o 39 %), s retencí (-31,3 %). Znovu byl velmi specifický výsledek průtoku nerozpuštěných forem fosforu a dusíku bariery. Ačkoliv se koncentrace P<sub>rozp.</sub> prakticky nezměnila, tak retence zůstala i nadále negativní, ale s o polovinu nižší hodnotou (- 42,9 %) ve srovnání s předchozí fází vzorkování. Naproti tomu koncentrace Fe<sub>rozp.</sub> poklesla o více než polovinu na hodnotu 0,05 mg.l<sup>-1</sup>, ale s mnohem výraznější negativní retencí (- 100%).

Poslední fáze „hodina po výlovu“ (obrázek č. 13) opět přinesla překvapení v podobě poklesu koncentrací všech sledovaných parametrů s výjimkou TIC a KNK<sub>4,5</sub>, u kterých nastalo naopak jejich zvýšení o 347 % u TIC a 15,6 % u KNK<sub>4,5</sub>. Důvodem byl malý objem vody vytékající z rybníka, která fakticky mohla zčásti sedimentovat a sedimentovala již v místě vývařiště pod rybníkem, kde byl nabírán vzorek A. Z toho důvodu se vývařiště rybníka chovalo podobně jako loviště na rybníku Vrbice. Naměřené koncentrace zůstávaly stále velmi vysoké BSK<sub>5</sub> 94 mg.l<sup>-1</sup>, CHSK<sub>Cr</sub> 4 900 mg.l<sup>-1</sup>, NL<sub>105</sub> 9 800 mg.l<sup>-1</sup>, TN 99 mg.l<sup>-1</sup>, TP 31 mg.l<sup>-1</sup>, TOC 830 mg.l<sup>-1</sup>, TC 1 000 mg.l<sup>-1</sup> a Fe 520 mg.l<sup>-1</sup> s retencí po průtoku přes bariéry na úrovni 75,5–99,3 %.

### **Bilance živin**

Vypočtené bilance živin pro vybrané parametry ukazuje obrázek 14. Nerozpuštěné sušené látky dosáhly vysoké úrovně zachytu 77 % a žíhané nerozpuštěné látky 85 %. Na vyšší úrovni 61 % byla zjištěna retence TP. Nižší retence byla vypočtena u TOC (32,8 %) a TN (28,3 %). Překvapivě pozitivní retence byla zjištěna také u Ca<sub>rozp.</sub> (10,3 %) a P<sub>rozp.</sub> (4 %). Retence dalších parametrů prezentuje tabulka č. 15.



**Obrázek 13** Zachycený sediment vyplňující stoku před první barierou při fázi „po výlovu“ rybník Pláňavy (foto: Ján Regenda)

**Tabulka 13** Laboratorní výsledky kvality vody rybník Pláňavy 2017

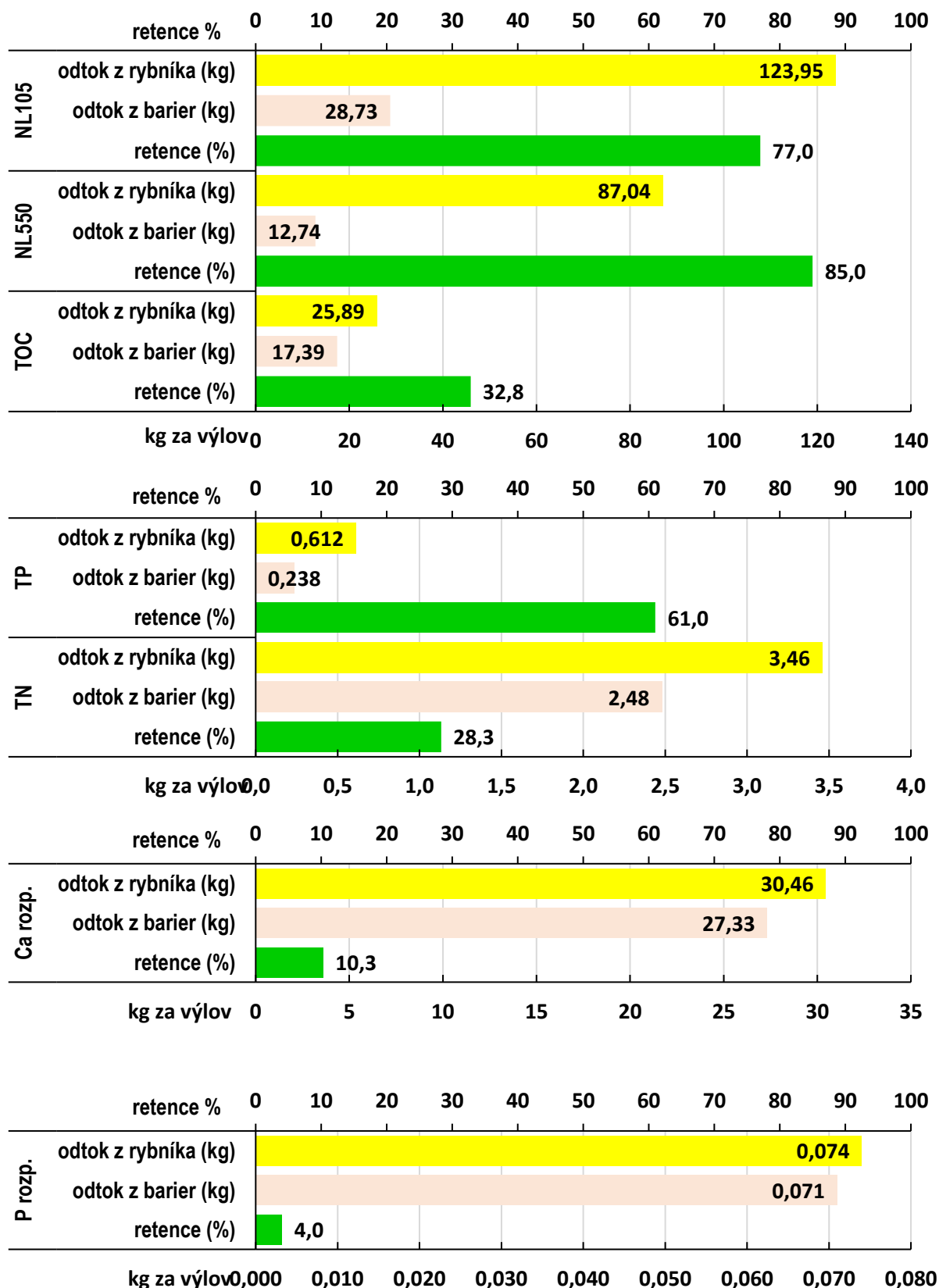
Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl (%)
<b>BSK<sub>5</sub></b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	25	25	0,00
	ráno před výlovem	22	20	-9,09
	těsně před výlovem	17	21	23,53
	výlov	330	21	-93,64
	hodina po výlovu	94	23	-75,53
	průměr±SD	<b>97,60±119,59</b>	<b>22,00±1,79</b>	<b>-77,46±45,43</b>
<b>CHSK<sub>Cr</sub></b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	140	110	-21,43
	ráno před výlovem	100	95	-5,00
	těsně před výlovem	140	100	,28,57
	výlov	5500	140	-97,45
	hodina po výlovu	4900	130	-97,35
	průměr±SD	<b>2156,00±2492,60</b>	<b>115,00±17,32</b>	<b>-94,67±39,48</b>
<b>NL<sub>105</sub></b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	49	45	-8,16
	ráno před výlovem	46	41	-10,87
	těsně před výlovem	200	64	-68,00
	výlov	11000	78	-99,29
	hodina po výlovu	9800	110	-98,88
	průměr±SD	<b>4219,00±5061,32</b>	<b>67,60±25,05</b>	<b>-98,40±40,44</b>
<b>NL<sub>550</sub></b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	19	17	-10,53
	ráno před výlovem	20	16	-20,00
	těsně před výlovem	140	35	-75,00
	výlov	8800	41	-99,53
	hodina po výlovu	8000	57	-99,29
	průměr±SD	<b>3395,80±4093,97</b>	<b>33,20±15,42</b>	<b>-99,02±38,41</b>
<b>TN</b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	4,1	4,1	0,00
	ráno před výlovem	3,7	3,4	-8,11
	těsně před výlovem	4,4	3,7	-15,91
	výlov	120	4,7	-96,08
	hodina po výlovu	99	7,1	-92,83
	průměr±SD	<b>46,24±52,08</b>	<b>4,60±1,32</b>	<b>-90,05±42,66</b>
<b>TP</b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,34	0,37	8,82
	ráno před výlovem	0,37	0,39	5,41
	těsně před výlovem	0,73	0,48	-34,25
	výlov	48	0,52	-98,92
	hodina po výlovu	31	0,82	-97,35
	průměr±SD	<b>16,09±19,86</b>	<b>0,52±0,16</b>	<b>-96,79±47,30</b>
<b>P<sub>rozp.</sub></b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,13	0,11	-15,38
	ráno před výlovem	0,08	0,13	62,50
	těsně před výlovem	0,069	0,13	88,41
	výlov	0,07	0,1	42,86
	hodina po výlovu	0,054	0,15	177,78
	průměr±SD	<b>0,08±0,03</b>	<b>0,12±0,02</b>	<b>53,85±63,29</b>

**Tabulka 14** Laboratorní výsledky kvality vody rybník Pláňavy 2017

Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl %
TOC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	28	29	3,57
	ráno před výlovem	25	23	-8,00
	těsně před výlovem	31	25	-19,35
	výlov	1100	29	-97,36
	hodina po výlovu	830	28	-96,63
	průměr±SD	<b>402,80±466,91</b>	<b>26,80±2,40</b>	<b>-93,35±44,23</b>
TIC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	28	28	0,00
	ráno před výlovem	32	30	-6,25
	těsně před výlovem	45	30	-33,33
	výlov	49	36	-26,53
	hodina po výlovu	170	50	-70,59
	průměr±SD	<b>64,80±53,18</b>	<b>34,80±8,06</b>	<b>-46,30±24,90</b>
TC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	55	54	-1,82
	ráno před výlovem	52	51	-1,92
	těsně před výlovem	67	50	-25,37
	výlov	1100	55	-95,00
	hodina po výlovu	1000	72	-92,80
	průměr±SD	<b>451,80±487,03</b>	<b>56,40±8,01</b>	<b>-87,60±42,14</b>
KNK <sub>4,5</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	2,3	2,2	-4,35
	ráno před výlovem	2,2	2,2	0,00
	těsně před výlovem	2,3	2,2	-4,35
	výlov	3,2	2,2	-31,25
	hodina po výlovu	3,7	2,9	-21,62
	průměr±SD	<b>2,74±0,60</b>	<b>2,34±0,28</b>	<b>-14,60±12,03</b>
Ca (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	45	45	0,00
	ráno před výlovem	40	39	-2,50
	těsně před výlovem	43	41	-4,65
	výlov	410	40	-90,24
	hodina po výlovu	280	47	-83,21
	průměr±SD	<b>163,60±153,72</b>	<b>42,40±3,07</b>	<b>-74,08±41,41</b>
Fe (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	1,1	0,68	-38,18
	ráno před výlovem	1,2	0,93	-22,50
	těsně před výlovem	6,9	2,1	-69,57
	výlov	750	2,1	-99,72
	hodina po výlovu	520	3,4	-99,35
	průměr±SD	<b>255,84±318,02</b>	<b>1,84±0,97</b>	<b>-99,28±31,39</b>
Fe <sub>rozp.</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,13	0,13	0,00
	ráno před výlovem	0,11	0,11	0,00
	těsně před výlovem	0,11	0,13	18,18
	výlov	0,05	0,10	100,00
	hodina po výlovu	0,06	0,09	50,00
	průměr±SD	<b>0,09±0,03</b>	<b>0,11±0,02</b>	<b>21,74±37,88</b>

**Tabulka 15** Přehled bilance vybraných parametrů kvality vody a živin na rybníku Pláňavy 2017

<b>Parametr</b>	<b>BSK<sub>5</sub></b>	<b>CHSK<sub>Cr</sub></b>	<b>TC</b>	<b>TIC</b>	<b>Fe</b>
Přítok z rybníku (kg)	17,44	126,60	42,88	18,68	6,92
Odtok pod 2 bariérou (kg)	14,72	67,10	33,28	17,80	0,52
Retence (kg)	2,72	59,50	9,60	0,88	6,40
Retence (%)	15,60	47,00	22,40	4,70	92,50



Obrázek 14 Bilance živin na rybníce Pláňavy 2017



#### 4.8. Novokoželský 2017

Na rybníce Novokoželský 2017 byla stoka po předchozím testování kompletně vyčištěna. První hrázka byla postavena 51 m pod hrází a druhá hrázka byla postavena o 16,5 m níže, to znamená 67,5 m. Objem první bariéry byl 42,3 m<sup>3</sup> a objem druhé bariéry 18,7 m<sup>3</sup>. Celkový objem obou barier byl tedy 70 m<sup>3</sup>. Teoretická doba zdržení byla mezi fázemi noc před výlovem a ráno před výlovem teoreticky spočtena na 65 minut. Při následujících fázích vody 3,86 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup> tato doba zdržení poklesla na 18 minut. V průběhu výlovu, však došlo opět k nárůstu doby zdržení vody mezi hrázkami na 78 minut při průtoku 0,9 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>. Vlastní hrázky byly postaveny ze dvou řad balíků slámy se vzájemným překryvem styčných míst. Na tomto stejně jako na předchozím rybníce byla použita jutová tkanina (obrázek č. 15) k vystlání dna stoky (zdrže) těsně nad hrázkami z důvodu potlačení podtékání hrázek.

Teplota vody byla během sledování nízká a pohybovala se v noci před výlovem na úrovni 3,5 °C a do rána poklesla pod 2 °C. Při fázi „hodina po výlovu“ teplota opět vzrostla na 3,8 °C. Parametr pH byl při průtoku přes hrázky mírně snižován a dosahoval průměrné hodnoty 7,71 (pod rybníkem) a 7,43 (pod druhou hrázkou).

Obsah kyslíku byl při prvních třech fázích sledování na velice podobné úrovni okolo 12 mg.l<sup>-1</sup> a neměnil se průtokem přes bariery. Při výlovu obsah kyslíku poklesl na úroveň takřka 5 mg.l<sup>-1</sup> a průtokem přes bariery vzrostl na téměř 8 mg.l<sup>-1</sup>. Při fázi „hodina po výlovu“ se obsah kyslíku při průchodu barierami téměř nezměnil a vykazoval hodnotu pouze 0,9 mg.l<sup>-1</sup>.

Při sledování dynamiky ORP bylo zjištěno zvyšování hodnot po průtoku přes hrázky. Při fázi „těsně před lovem“ však došlo ke snížení ORP z úrovně takřka 120 mV (pod rybníkem) na hodnotu okolo 90 mV (pod druhou hrázkou). Fáze „hodina po výlovu“ vykazovala záporné hodnoty na úrovni (-57,9 mV) pod rybníkem a poté při průtoku přes hrázky došlo ke zmírnění na úroveň (-28,8 mV) pod druhou hrázkou.

#### Laboratorní analýza vzorku vody

Z tabulek č. 16 a 17 je patrné, že se kvalita vody v průběhu strojení a výlovu rybníka výrazně měnila. Kvalita vody byla v noci před výlovem a ráno před výlovem opět u všech parametrů velice podobná, jen s velmi malými rozdíly mezi fázemi, s výjimkou TIC a KNK<sub>4,5</sub>, u kterých byl zaznamenaný pokles. Z tohoto důvodu budou obě fáze okomentovány společně. Většina sledovaných ukazatelů byla ve srovnání s ostatními rybníky relativně nízká a to i přes poměrně vysokou biomasu ryb (K<sub>2</sub> – 1 340 kg. ha<sup>-1</sup>).

Důvodem mohla být nízká teplota vody, která výrazně omezila pohybovou aktivitu ryb. Hodnota BSK<sub>5</sub> dosahovala jen 9,2 mg.l<sup>-1</sup> (noc před výlovem) a 11 mg.l<sup>-1</sup> (ráno před výlovem) a po průtoku přes hrázka byla zjištěna retence jak kladná tak záporná, a to + 19,6 % a poté - 9,1 %. Velice podobně na tom byla hodnota CHSK<sub>Cr</sub> s hodnotou 82, resp. 93 mg.l<sup>-1</sup> a retencí 12,2, resp. 5,38 %. Koncentrace nerozpuštěných látek byla ve srovnání s ostatními rybníky podprůměrná. Pod rybníkem dosahovaly hodnoty NL<sub>105</sub> 58, resp. 63 mg.l<sup>-1</sup> a pro NL<sub>550</sub> 23, resp. 31 mg.l<sup>-1</sup>. Průchodem vody přes hrázky však paradoxně došlo ke zvýšení měřených hodnot. Minimální, a také dokonce zvýšené zachycení živin bylo zjištěno pro obě fáze vzorkování u: TN (+25,9 % a -2,9 %), TP (+2,8 % a +10,3 %), TC (-1,8 % a 0,0 %), TOC (+17,4 % a 0,0 %), TIC (+5,9 % a 0,0 %), KNK<sub>4,5</sub> (-3,1 % a +3,3 %), Ca (+2,2 % a -4,17 %), Fe (0,0 % a +56 %). Hodnota koncentrace rozpuštěných forem železa nepatrně vzrostla (z 0,05 na 0,06 mg.l<sup>-1</sup>), současně s tím se změnila jeho retence Fe<sub>rozp.</sub> (40,0 % a -16,7%). Oproti tomu P<sub>rozp.</sub> nevykazoval tak výrazné rozdíly, jako u hodnot své koncentrace (z 0,025 na 0,026 mg.l<sup>-1</sup>), tak také u zjištěné negativní retence (-64,0 %, resp. -57,7 %).

Těsně před samotným výlovem došlo k dalšímu mírnému zvýšení BSK<sub>5</sub> na 13 mg.l<sup>-1</sup>, zatímco jeho retence byla pozitivní 24,6 %. U CHSK<sub>Cr</sub> již došlo k výraznějšímu zvýšení hodnoty na 130 mg.l<sup>-1</sup> se současným zvýšením retence na 29,3 %. Hodnota nerozpuštěných sušených látek se zvýšila čtyřnásobně na 250 mg.l<sup>-1</sup>, žíhané sušené látky se zvýšily až 5,5× na hodnotu 170 mg.l<sup>-1</sup>. Retence sušených a žíhaných nerozpuštěných látek byla vysoká a to 62 % a 65,9 %. Velmi podobné výsledky byly zjištěny také u Fe, které čtyřnásobně vzrostlo na hodnotu 10,0 mg.l<sup>-1</sup> s retencí 54,0 %. Více, než dvojnásobné navýšení koncentrace v této fázi bylo zjištěno u TP (0,88 mg.l<sup>-1</sup>), a to při značné retenci 51,1 %. Malé zvýšení koncentrací na úrovni 30 až 60 % v porovnání s ránem před výlovem, bylo zjištěno u TN, TOC, TIC a TC. Pokles koncentrací těchto parametrů po průchodu vody barierami byl spíše menší, a to na úrovni 20,0 % až 35,9 %. Naproti tomu koncentrace Ca, KNK<sub>4,5</sub> se rovněž nepatrně zvýšily, ale s velmi malou retencí 6,0 % a 0,0 %. Koncentrace odtékajícího P<sub>rozp.</sub> z rybníku opět nepatrně vzrostlo (z 0,026 na 0,029 mg.l<sup>-1</sup>), ale s poklesem negativní retence (-27,6 %). Hodnota koncentrace Fe<sub>rozp.</sub> se nijak nezměnil s nulovou retencí.

Kvalita odtékající vody z rybníka se v průběhu výlovu opět výrazně zhoršila. Koncentrace nerozpuštěných látek vzrostla přibližně 25× ; TP až 35× s hodnotami 5 900 mg.l<sup>-1</sup> u NL<sub>105</sub>, 4 400 mg.l<sup>-1</sup> u NL<sub>550</sub> a 31 mg.l<sup>-1</sup> u TP. Z druhého pohledu však byla zjištěna retence těchto látek pod barierami na úrovni 95 %.

K více než desetinásobnému zvýšení koncentrací došlo ve srovnání s fází „těsně před výlovem“ při samotném výlovu rybníka u BSK<sub>5</sub> (180 mg.l<sup>-1</sup>), CHSK<sub>Cr</sub> (2 000 mg.l<sup>-1</sup>), TOC (630 mg.l<sup>-1</sup>). Výrazně se však také zvýšila jejich retence při průchodu bariérami a to na úroveň 90,0 %, 86,5 % a 91,3 %. Nejvyšší růst koncentrace a to 47× byl zaznamenaný u Fe (470 mg.l<sup>-1</sup>), a to včetně velmi vysoké retence 97,02 %. Několikanásobně také došlo ke zvýšení koncentrací u TC (8,9× ; 750 mg.l<sup>-1</sup>), Ca (4,6×; 230 mg.l<sup>-1</sup>), TIC (4,3× ; 230 mg.l<sup>-1</sup>), a to vše při retenci nad 77 %. Poměrně malý nárůst zvýšení koncentrací při výlovu na úrovni 20 a 40 % ve srovnání s výše uvedenými parametry bylo naopak zaznamenáno u KNK<sub>4,5</sub> a TN, avšak jejich retence byla odlišná (10,8 % ; -27,9 %). Velice specifický byl výsledek nerozpuštěných forem fosforu a dusíku po průtoku bariérami. Koncentrace P<sub>rozp.</sub> se mírně zvýšila v kombinaci s jeho negativní retencí (-29,0 %) ve srovnání s předchozí fází. Naproti tomu koncentrace Fe<sub>rozp.</sub> poklesla o třetinu na hodnotu 0,04 mg.l<sup>-1</sup>, s pozitivní retencí 25 %. Závěrečná fáze „hodina po výlovu“, kdy výpusť rybníka zůstala zcela otevřena, přinesla standardní zvýšení koncentrace všech sledovaných parametrů s výjimkou P<sub>rozp.</sub> a Fe<sub>rozp.</sub>, u kterých byl zaznamenaný pokles. Většina parametrů (NL<sub>105</sub> – 17 000 mg.l<sup>-1</sup>, NL<sub>550</sub> – 13 000 mg.l<sup>-1</sup>, TP – 83 mg.l<sup>-1</sup>, TOC – 2 200 mg.l<sup>-1</sup>, TIC – 550 mg.l<sup>-1</sup>, TC – 2 500 mg.l<sup>-1</sup>, Ca – 550 mg.l<sup>-1</sup>, Fe – 1 300 mg.l<sup>-1</sup>, BSK<sub>5</sub> – 430 mg.l<sup>-1</sup> a CHSK<sub>Cr</sub> – 7 600 mg.l<sup>-1</sup>) se zvýšila zhruba trojnásobně, tak u KNK<sub>4,5</sub> to bylo o 60 %. Nicméně retence všech výše uvedených látek byla velmi vysoká (67–84 %). Opět byl překvapivý výsledek P<sub>rozp.</sub>, jehož koncentrace poklesla a retence byla pozitivní (5,3 %). Oproti tomu koncentrace Fe<sub>rozp.</sub> také poklesla a jeho koncentrace byla průtokem vody extrémně zvýšená na (-11 233 %).

### **Bilance živin**

Spočtené bilance pro vybrané parametry prezentuje obrázek č. 16. Retence nerozpuštěných sušených látek dosáhla vysoké úrovně 85 %, a u žíhaných nerozp. látek až 87,1 %. Velmi vysoká retence 88,2 % byla zaznamenána u TP, zatímco u TOC byla retence poněkud nižší (72,6 %). Výrazně nižší však byla retence TN, a to 25,5 %. Překvapivě pozitivní u rozpustné formy Ca byla zjištěna podstatně vysoká hodnota (38,5 %). Oproti tomu P<sub>rozp.</sub> vykázal (-29,7 %) uvolnění živiny. Velmi vysoké retence dalších parametrů uvádí tabulka č. 17.

**Tabulka 15** Laboratorní výsledky kvality vody Novokoželský 2017

Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl %
BSK <sub>5</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	9,2	11	19,57
	ráno před výlovem	11	10	-9,09
	těsně před výlovem	13	9,8	-24,62
	výlov	180	18	-90,00
	hodina po výlovu	430	79	-81,63
	průměr±SD	<b>128,64±164,28</b>	<b>25,56±26,89</b>	<b>-80,13±42,27</b>
CHSK <sub>Cr</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	82	92	12,20
	ráno před výlovem	93	88	-5,38
	těsně před výlovem	130	92	-29,23
	výlov	2000	270	-86,50
	hodina po výlovu	7600	2300	-69,74
	průměr±SD	<b>1981,00±2904,15</b>	<b>568,40±868,58</b>	<b>-71,31±37,40</b>
NL <sub>105</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	58	61	5,17
	ráno před výlovem	63	84	33,33
	těsně před výlovem	250	95	-62,00
	výlov	5900	300	-94,92
	hodina po výlovu	17000	4800	-71,76
	průměr±SD	<b>4654,20±6566,15</b>	<b>1068,0±1867,98</b>	<b>-77,05±48,80</b>
NL <sub>550</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	23	24	4,35
	ráno před výlovem	31	48	54,84
	těsně před výlovem	170	58	-65,88
	výlov	4400	190	-95,68
	hodina po výlovu	13000	3600	-72,31
	průměr±SD	<b>3524,80±5025,32</b>	<b>784,00±1409,19</b>	<b>-77,76±55,94</b>
TN (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	2,7	3,4	25,93
	ráno před výlovem	3,4	3,3	-2,94
	těsně před výlovem	4,5	3,6	-20,00
	výlov	6,1	7,8	27,87
	hodina po výlovu	230	76	-66,96
	průměr±SD	<b>49,34±90,34</b>	<b>18,82±28,64</b>	<b>-61,86±34,87</b>
TP (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,36	0,37	2,78
	ráno před výlovem	0,39	0,43	10,26
	těsně před výlovem	0,88	0,43	-51,14
	výlov	31	1,2	-96,13
	hodina po výlovu	83	13	-84,34
	průměr±SD	<b>23,13±32,18</b>	<b>3,09±4,97</b>	<b>-86,66±43,65</b>
P <sub>rozp.</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,025	0,041	64,00
	ráno před výlovem	0,026	0,041	57,69
	těsně před výlovem	0,029	0,037	27,59
	výlov	0,031	0,040	29,03
	hodina po výlovu	0,019	0,018	-5,26
	průměr±SD	<b>0,03±0,00</b>	<b>0,04±0,01</b>	<b>36,15±24,77</b>

**Tabulka 16** Laboratorní výsledky kvality vody Novokoželský 2017

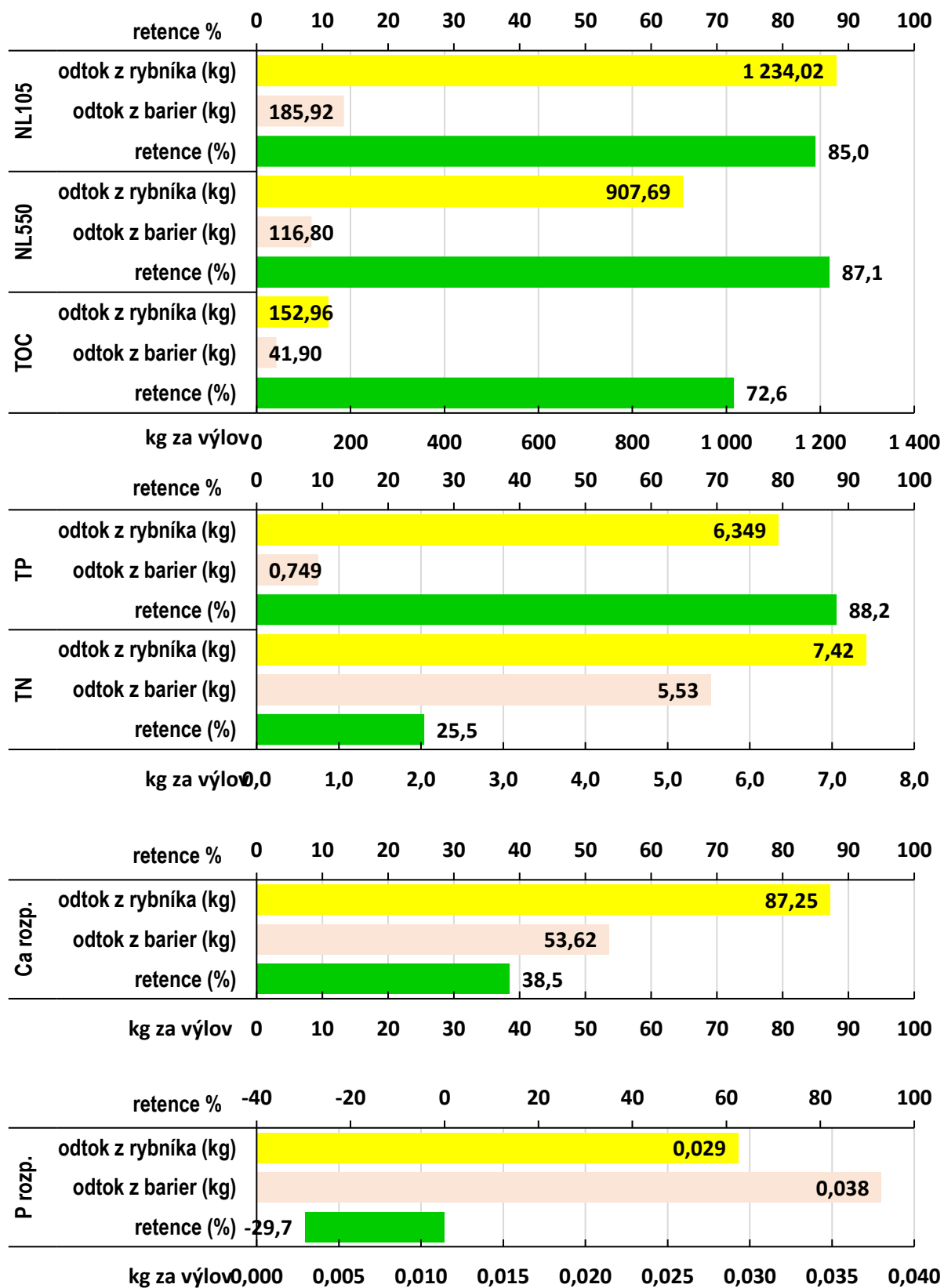
Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl %
TOC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	23	27	17,39
	ráno před výlovem	26	26	0,00
	těsně před výlovem	39	28	-28,21
	výlov	630	55	-91,27
	hodina po výlovu	2200	550	-75,00
	průměr±SD	<b>583,60±841,03</b>	<b>137,20±206,69</b>	<b>-76,49±41,91</b>
TIC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	34	36	5,88
	ráno před výlovem	33	33	0,00
	těsně před výlovem	53	34	-35,85
	výlov	230	52	-77,39
	hodina po výlovu	550	120	-78,18
	průměr±SD	<b>180,00±199,23</b>	<b>55,00±33,23</b>	<b>-69,44±36,16</b>
TC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	57	56	-1,75
	ráno před výlovem	59	59	0,00
	těsně před výlovem	84	63	-25,00
	výlov	750	100	-86,67
	hodina po výlovu	2500	590	-76,40
	průměr±SD	<b>690,00±942,95</b>	<b>173,60±208,81</b>	<b>-74,84±36,80</b>
KNK <sub>4,5</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	3,2	3,1	-3,13
	ráno před výlovem	3,0	3,1	3,33
	těsně před výlovem	3,1	3,1	0,00
	výlov	3,7	3,3	-10,81
	hodina po výlovu	5,9	5,1	-13,56
	průměr±SD	<b>3,78±1,09</b>	<b>3,54±0,78</b>	<b>-6,35±6,40</b>
Ca (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	46	47	2,17
	ráno před výlovem	48	46	-4,17
	těsně před výlovem	50	47	-6,00
	výlov	230	52	-77,39
	hodina po výlovu	550	120	-78,18
	průměr±SD	<b>184,80±195,74</b>	<b>62,40±28,88</b>	<b>-66,23±36,90</b>
Fe (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	2	2	0,00
	ráno před výlovem	2,5	3,9	56,00
	těsně před výlovem	10	4,6	-54,00
	výlov	470	14	-97,02
	hodina po výlovu	1300	210	-83,85
	průměr±SD	<b>356,90±504,80</b>	<b>46,90±81,66</b>	<b>-86,86±56,74</b>
Fe <sub>rozp.</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,05	0,07	40,00
	ráno před výlovem	0,06	0,05	-16,67
	těsně před výlovem	0,06	0,06	0,00
	výlov	0,04	0,03	-25,00
	hodina po výlovu	0,03	3,4	11233,33
	průměr±SD	<b>0,05±0,01</b>	<b>0,72±1,34</b>	<b>1404,17±4493,56</b>

**Tabulka 17** Přehled bilance vybraných parametrů kvality vody a živin na rybníku Novokoželský 2017

Parametr	BSK <sub>5</sub>	CHSK <sub>Cr</sub>	TC	TIC	Fe
Přítok z rybníku (kg)	43,24	503,00	209,45	78,34	93,58
Odtok pod 2 bariérou (kg)	13,18	160,70	78,55	42,47	8,04
Retence (kg)	29,44	342,30	130,90	35,87	85,54
Retence (%)	68,1	68,1	62,5	45,8	91,4



**Obrázek 15** Detail první bariéry vystlané jutovou tkaninou proti podtékání bariéry (foto: Ján Regenda).



Obrázek 16 Bilance živin na rybníce Novokoželský 2017

## 4.9 Mokrý 2017

Rybník Mokrý, jež byl posledním sledovaným rybníkem přinesl zcela mimořádnou a neočekávanou situaci. Přibližně 150 m pod hrází tohto rybníka začíná tzv. „výtopa“ níže položeného rybníka (Starý Čekanický) a je v užívání odlišné soukromé osoby. Stoka mezi těmito rybníky je poměrně široká, hluboká a vyznačuje se velmi malým spádem. Na podzim 2016 byla stoka pod rybníkem kompletně vyčištěna. Pokud je níže položený rybník na tzv. „plné vodě“, tak jeho „výtopa“ zasahuje až do vývařiště rybníka Mokrý. Proto bylo předem se soukromou osobou dotčeného rybníka domluveno, že rybník bude prázdný a stoka pod rybníkem bude bez vody. Tato dohoda, ale bohužel dodržena nebyla. Starý Čekanický rybník byl sice upouštěn, ale nedokázal odvést velké množství vody přitékající z Mokrého rybníka. Při této situaci se ukázalo nemožné postavit plnohodnotné hrázka tak, jak tomu bylo u předešlých sledovaných rybníků. Hlubokou odtokovou stoku bylo možné překonat pouze v jediném místě, kde byla lávka přes stoku ve vzdálenost 47 m od hráze. Před touto lávkou bylo zkoušeno vybudovat první bariéru. To se zcela nezdařilo, neboť fixační prostředky, jež byly k dispozici se podařilo překonati vztlak pouze dvou řad balíků slámy nad sebou. K zahrazení celého sloupce stoky však byly nutny 3 řady balíků slámy. S tímto omezením byla přesto stoka přehrazena dvěma řadami balíků slámy, které plovaly u hladiny, takže nade dnem stoky nebylo koryto stoky zcela uzravěno. Při této situaci nebylo technicky možné ani použití jutové tkaniny. Nicméně i tato nedokonale postavená hrázka částečně plnila svoji funkci, neboť dokázala navýšit výšku vody nad bariérou při větším průtoku o 5–10 cm. Druhou hrázku nebylo technicky možné s ohledem na šířku a hloubku stoky postavit vůbec. Při těchto nestandardních podmínkách bylo i přes problémy přistoupeno ke vzorkování, jelikož přece jen ke vzdutí a akumulaci vody ve stoce došlo, ačkoliv ne zcela díky bariérám z balíku slámy. Možnost sedimentace byla vytvořena jinak. Pod první bariérou byly odebírány vzorky vody s označením „profil B“, zatímco o dalších 51,5 m níže, kde měla být postavena druhá bariéra byly odebírány vzorky „profil C“. Výsledky jsou poté srovnávány podobným způsobem jako profily B u ostatních rybníků. Pro následnou kontrolu byl po výlovu rybníka Mokrý odebraný také ověřovací vzorek vody z rybníku Starý Čekanický, který je označený jako „profil D“. Objem akumulované vody nad první bariérou byl 34,6 m<sup>3</sup> a mezi profilem B a C dalších 72,6 m<sup>3</sup>. Celkově spočtený objem akumulované vody mezi hrázemi a profilem C byl tedy 107,2 m<sup>3</sup>. Teoreticky spočtená doba zdržení vody byla vypočtena v noci před výlovem na 12 minut, při odtoku 8,95



$\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . Ve fázi „těsně před výlovem“ došlo k prodloužení doby zdržení na 46 minut, při odtoku  $2,33 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a v průběhu samotného výlovu dokonce 325 minut, při odtoku  $0,33 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .

Teplota vody byla nízká, v noci před výlovem byly naměřeny pouze  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  a do rána poklesla na  $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Hodinu po výlovu došlo k nárůstu teploty na  $4,17 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Hodnota pH během sledování tohoto rybníka průtokem přes bariéry klesala z úrovně 8,15 (pod rybníkem) na 7,71 (na konci stoky "C").

Obsah kyslíku byl během prvních tří fází na poměrně blízké úrovni  $11,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a průtokem přes bariery se téměř neměnil. Během fáze výlovu rybníka došlo k dramatickému snížení obsahu kyslíku na  $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a průtokem přes hrázku došlo k navýšení obsahu kyslíku „na konci stoky "C"“ na úroveň  $6,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Zcela opačný trend měla fáze „hodina po výlovu“, jelikož obsah kyslíku se snížil z úrovně  $7,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (pod rybníkem) na úroveň  $2,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  zjištěnou na profilu „na konci stoky "C"“.

Sledování parametru ORP vykazovalo spíše zvyšování hodnot a během celé dynamiky ORP nebyly zaznamenány záporné hodnoty. Opačný trend vykazovala fáze „ráno před lovem“, jelikož došlo k výraznému snížení hodnoty ORP u úrovně okolo 80 mV (pod rybníkem) na úroveň takřka 50 mV (na konci stoky "C"). Pokles byl zaznamenaný také při fázi „těsně před lovem“ z úrovně 110 mV (pod rybníkem) na hodnotu okolo 80 mV (na konci stoky "C"). Během výlovu došlo k nepatrnému navýšení ORP z úrovně 105 mV (pod rybníkem) na úroveň 111 mV po průchodu přes jednu bariéru na konec stoky "C".

### **Laboratorní analýza vzorku vody**

Z tabulek č. 18 a 19 je patrné, jak výrazně se kvalita vody v průběhu strojení a výlovu měnila. U tohoto rybníku bude veškeré hodnocení kvality vody vztahováno na změnu koncentrací mezi profily A (pod hrází rybníka Mokrý) a profilu C (konec stoky). Získaná data z profilu B (pod první hrázkou) nebudou blíže popisována a jsou k nalezení ve výše uvedených tabulkách č. 18. a 19. Kvalita vody při fázi „noc před výlovem“ vykazovala u řady parametrů podstatně nadprůměrné hodnoty oproti ostatním sledovaným rybníkům. Navýšení parametrů nejspíše nezpůsobila obsádka ryb, jež nebyla velká ( $K_2 - 590 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Vše bylo způsobeno spíše silným větrem, který rozvlnil masu vody na mělké ploše cca 5 ha (rybniční výměra je 20 ha). Tato plocha k ránu odpuštěním vody z rybníka zanikla a obsádka rybníka se koncentrovala pouze do prostoru „většího

loviště“. Pro nízkou teplotu nebyla zvýšená pohybová aktivita ryb v rybníce. Hodnota BSK<sub>5</sub> dosahovala 18 mg.l<sup>-1</sup> a po průtoku stokou rybníka byla snížena na profilu C o 27,8 %. U CHSK<sub>Cr</sub>, jehož hodnota dosáhla 110 mg.l<sup>-1</sup> však došlo k poměrně nižší retenci (9,1 %). Koncentrace nerozpuštěných látek byla v porovnání s ostatními rybníky výrazně zvýšená, a hodnoty jejich zjištěných koncentrací dosahovaly 120 mg.l<sup>-1</sup> pro NL<sub>105</sub> a 73 mg.l<sup>-1</sup> pro NL<sub>550</sub>. Retence nerozpuštěných látek však byla v této fázi všech sledovaných rybníků nejvyšší, a to 36,7 % (NL<sub>105</sub>); 41,1 % (NL<sub>550</sub>). Shodně nadprůměrná byla také koncentrace Fe 3,5 mg.l<sup>-1</sup> s retencí 37,1 % a TP 0,47 mg.l<sup>-1</sup>, při retenci 21,3 %. Podobně nadprůměrné hodnoty byly zaznamenány také u TN 4,5 mg.l<sup>-1</sup> a TOC 38 mg.l<sup>-1</sup> s velmi malou retencí 6,7 % pro TN a 5,3 % u TOC. Žádné zvýšení oproti porovnání s ostatními rybníky nenastalo u této fáze pro parametry: TIC (21 mg.l<sup>-1</sup>), TC (59 mg.l<sup>-1</sup>), KNK<sub>4,5</sub> (2,3 mg.l<sup>-1</sup>), Ca (41 mg.l<sup>-1</sup>). Změny v koncentracích těchto parametrů však po průtoku stokou byly minimální. Ovšem překvapivé je však zjištění snížení koncentrací rozpuštěných forem P (o 2,9 %) a Fe (o 16,7 %) na odběrovém profilu C, jejichž absolutní hodnoty byly podprůměrné. Ráno před samotným výlovem rybníka došlo k dalšímu mírnému nárůstu koncentrací (o 4 až 32 %) téměř u všech sledovaných parametrů s výjimkou BSK<sub>5</sub> a Fe<sub>rozp.</sub>, jež naopak poklesly o 40 a 20 %. Nejvýraznější navýšení, a to o 43 % bylo pozorováno u Fe, se zápornou retencí (-4%). Jako zajímavost lze uvést výraznější zhoršení kvality vody na konci stoky u BSK<sub>5</sub> (o 30,8 %), NL<sub>105</sub> (o 15,4 %), NL<sub>550</sub> (o 17,72 %). Zbývající parametry vykazovaly na konci stoky jen velmi malou retenci na úrovni 0–7,7 %. Při svítání byl nad loviště rybníka natažený tzv. „prubní plot“ a poté byla do loviště položena podložní síť k odlovu ryb. Tato zvýšená pohybová aktivita osob a také ryb v lovišti vedla k nárůstu parametrů nad průměr ve fázi „těsně před výlovem“. Koncentrace nerozpuštěných látek se zvýšila více, než 6× až 8× (NL<sub>105</sub> na 810 mg.l<sup>-1</sup> a NL<sub>550</sub> 640 mg.l<sup>-1</sup>). Současně s tím se však také zvýšila retence těchto látek v korytě stoky na 82,7 % a 85 %. Výrazné navýšení koncentrace ve fázi těsně před výlovem bylo zaznamenáno také u Fe na 24 mg.l<sup>-1</sup> (až 4,8×). Retence Fe byla také velmi vysoká (79,2 %). Oproti tomu parametry BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Cr</sub>, TP vzrostly pouze 2,5–2,9×, ale se stále vysokou retencí (48,5 % ; 51,4 % ; 64,4 %). Podstatně vyšší nárůst obsahu, a to o 45– 60 % byl zaznamenán u TIC (32 mg.l<sup>-1</sup>), TN (8,3 mg.l<sup>-1</sup>), TOC (73 mg.l<sup>-1</sup>), TC (110 mg.l<sup>-1</sup>). Retence těchto živin byla však menší (18,8 % ; 24,1 % ; 37,0 % ; 34,6 %). V podstatě žádná popř. velmi malá změna koncentrace v porovnání s fází „ráno před výlovem“ byla zjištěna u KNK<sub>4,5</sub> a Ca, stejné zanedbatelné úrovně dosáhla také jejich retence (0,0 % a 14,0 %). U rozpuštěných forem

železa a fosforu byly změny v koncentracích spíše menší, představovaly zvýšení o 80 a 32 % ( $Fe_{rozp.}$ ;  $P_{rozp.}$ ). Jejich retence byla však pozitivní (44,4 % a 25,9 %).

Výlov rybníka byl proveden podložní sítí, která byla natažena do loviště 2×. Zbylé ryby byly doloženy na kesery. V rybníce byl masový výskyt podetřelých plevelných ryb, zejména střevličky východní. Tyto rybky unikaly s vodou zejména v závěru výlovu a kvůli nízkému obsahu kyslíku ve vodě a vysokému zákalu se držely u hladiny a „troubily“. Svým masovým výskytem také ve stoce pod rybníkem plevelné ryby velmi komplikovaly odběr samotných vzorků vody. V průběhu výlovu se opět kvalita odtékající vody výrazně zhoršila. V porovnání s ostatními sledovanými rybníky to však nebylo tak extrémní navýšení koncentrací, jelikož v předchozích fázích výlovu tohoto rybníka měly měřené parametry nadprůměrnou úroveň. Koncentrace nerozpuštěných látek proto narostla přibližně 9× na 7 200  $mg.l^{-1}$  u  $NL_{105}$  a 6 000  $mg.l^{-1}$  u  $NL_{550}$ , zatímco u Fe se koncentrace zvýšila jen 6,7× na 160  $mg.l^{-1}$ , u TP jen 5,6× 10  $mg.l^{-1}$ . Při průtoku vody stokou však byl zjištěný velmi výrazný pokles jejich koncentrace o 92,4 až 97,5 %. Podstatně menší nárůst koncentrací na úrovni 1,5–2,2× násobku koncentrace v porovnání s fází „těsně před výlovem“ byl zaznamenán u TC (160  $mg.l^{-1}$ ),  $BSK_5$  (61  $mg.l^{-1}$ ),  $CHSK_{Cr}$  (590  $mg.l^{-1}$ ), TOC (140  $mg.l^{-1}$ ), Ca (100  $mg.l^{-1}$ ) a TN (18  $mg.l^{-1}$ ). Na konci odtokové stoky z rybníka – profil C byla u těchto parametrů zjištěna stále výborné, ale nižší zachycení v porovnání s předchozími parametry (52,5–69,1 %). Velmi malá změna hodnoty a také retence byla zjištěna u  $KNK_{4,5}$ . Oproti tomu u TIC byl zjištěný pokles úrovně o 12,5 %, souvisle se snížením jeho koncentrace na konci stoky bylo poměrně malé (17,9 %). Rovněž poklesla také koncentrace rozpuštěných forem Fe a P (o 50 a 4 %). Jejich retence ve stoce však byla negativní (-25 %) až nulová ( $P_{rozp.}$ ).

Ve fázi „hodina po výlovu“ bylo zaznamenáno další navýšení koncentrací, ale pouze u některých parametrů. Jednalo se o  $BSK_5$  64  $mg.l^{-1}$ , TP 16  $mg.l^{-1}$ , TIC 32  $mg.l^{-1}$ ,  $KNK_{4,5}$  2,7  $mg.l^{-1}$ , Ca 160  $mg.l^{-1}$ , Fe 260  $mg.l^{-1}$  a  $Fe_{rozp.}$  0,06  $mg.l^{-1}$ . Jejich retence ve stoce však byla velmi odlišná. Zatímco hodnota  $BSK_5$  se průchodem stokou snížila o 62,5 %, u vápníku o 72,5 %, u TP a Fe to bylo nad 94,6 %. Naopak u TIC a  $KNK_{4,5}$  byl pokles jejich koncentrací malý (9,4 a 3,7 %). Oproti tomu byl zjištěný pokles obsahu nerozpuštěných látek o 80 %. Snížení jejich koncentrace na profilu C však bylo velmi vysoké (93,9 a 97,5 %). Po samotném výlovu došlo také k poklesu hodnoty  $CHSK_{Cr}$  o 15 % na hodnotu 590  $mg.l^{-1}$ , při docílení 61 % snížení na konci stoky. Poměrně velmi málo klesla při porovnání s výlovem koncentrace TN a TC, a to 6 až 7 %. Průtokem stokou u nich také došlo k citelnému snížení koncentrace nad 41 %. Poněkud výrazněji

o 27 % poklesla koncentrace TOC ( $110 \text{ mg.l}^{-1}$ ), její retence na profilu C však byla poloviční. Rozpuštěné formy P a Fe měly na konci stoky zvýšenou koncentraci a to o 74,3 % (P) a 50 % (Fe).

Hodnoty, které byly naměřeny na rybníce Starý Čekanický (profil D), byly prakticky ve všech parametrech nižší, ve srovnání s parametry naměřenými ve stoce pod rybníkem Mokrý.

### **Bilance živin**

Vypočtené bilance pro vybrané parametry ukazuje obr. č. 17. Zachycení nerozpuštěných sušených látek dosáhly vysoké úrovně 59,3 % a žíhaných 66,2 %. U základních živin však překvapivě bylo zjištěno dá se říci nižší zachycení TP (37,5 %), TOC (10,4 %), TN (9,2 %). Překvapivě pozitivní a pro rozpuštěnou formu P byla zjištěna vysoká retence (9,2 %), zatímco  $\text{Ca}_{\text{rozp.}}$  vykázal retenci pouze 2,6 %. Retence následujících parametrů uvádí tabulka č. 20.

**Tabulka 18** Laboratorní výsledky kvality vody Mokřý 2017

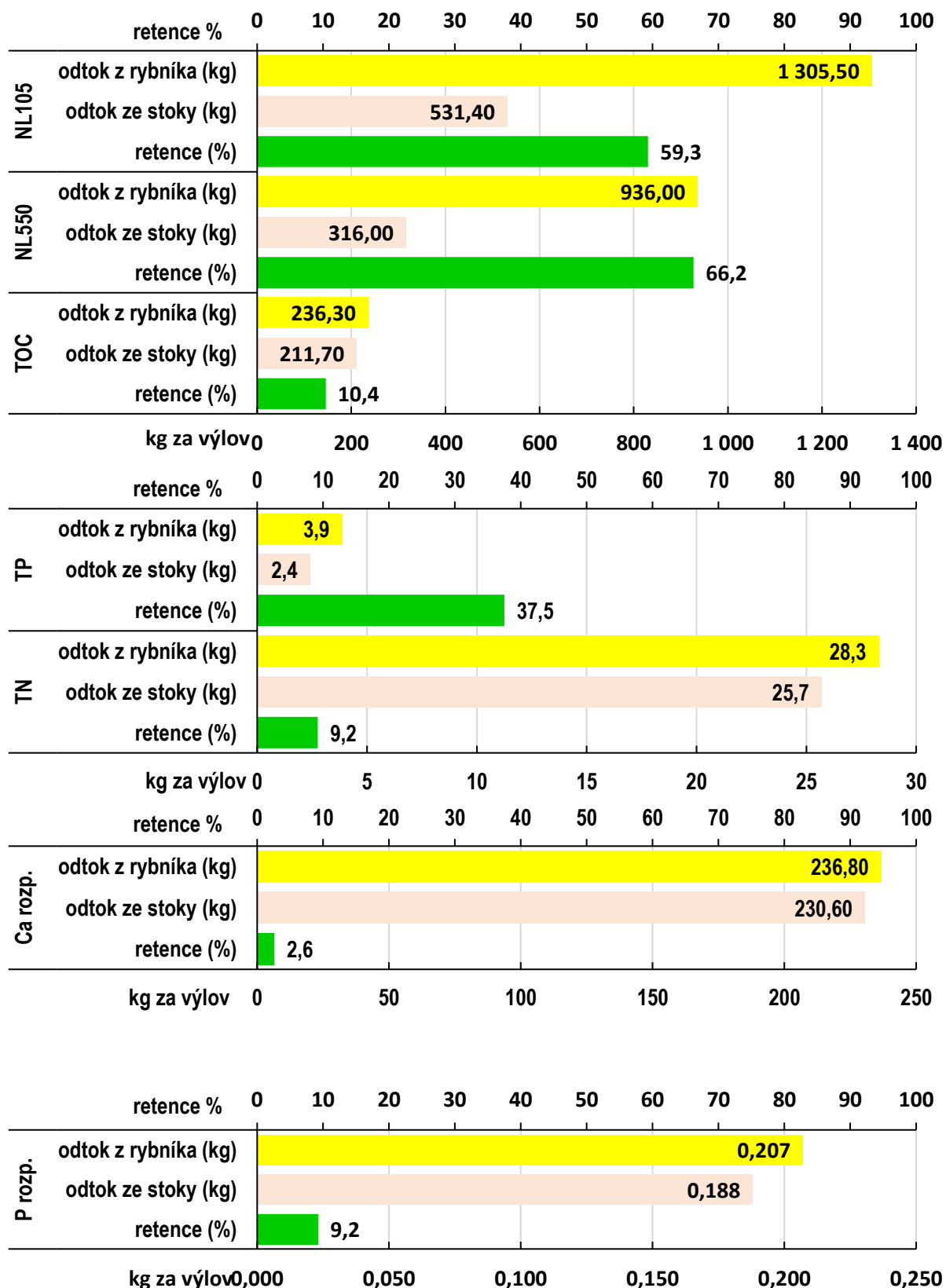
Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 1 bariérou	Rozdíl A-B (%)	Profil C konec stoky	Rozdíl A-C (%)	Profil D rybník pod
BSK <sub>5</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	18	15	-16,67	13	-27,78	10
	ráno před výlovem	13	16	23,08	17	30,77	
	těsně před výlovem	33	22	-33,33	17	-48,48	
	výlov	61	54	-11,48	24	-60,66	
	hodina po výlovu	64	35	-45,31	24	-62,50	
	průměr±SD	<b>37,80±21,24</b>	<b>28,40±14,65</b>	<b>-16,74±23,26</b>	<b>19,00±4,34</b>	<b>-33,73±34,54</b>	
CHSK <sub>Cr</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	110	110	0,00	100	-9,09	85
	ráno před výlovem	130	130	0,00	120	-7,69	
	těsně před výlovem	370	270	-27,03	180	-51,35	
	výlov	680	770	13,24	210	-69,12	
	hodina po výlovu	590	420	-28,81	230	-61,02	
	průměr±SD	<b>376,00±232,17</b>	<b>340±242,16</b>	<b>-8,52±16,57</b>	<b>168,0±50,36</b>	<b>-39,65±26,14</b>	
NL <sub>105</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	120	100	-16,67	76	-36,67	29
	ráno před výlovem	130	140	7,69	150	15,38	
	těsně před výlovem	810	400	-50,62	140	-82,72	
	výlov	7200	1500	-79,17	220	-96,94	
	hodina po výlovu	3900	790	-79,74	240	-93,85	
	průměr±SD	<b>2432±2762,76</b>	<b>586±518,98</b>	<b>-43,70±34,57</b>	<b>165,2±59,03</b>	<b>-58,96±43,01</b>	
NL <sub>550</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	73	63	-13,70	43	-41,10	10
	ráno před výlovem	79	93	17,72	93	17,72	
	těsně před výlovem	640	300	-53,13	93	-85,47	
	výlov	6000	1200	-80,00	150	-97,50	
	hodina po výlovu	3300	640	-80,61	160	-95,15	
	průměr±SD	<b>2018,4±2321,27</b>	<b>459,2±423,77</b>	<b>-41,94±38,54</b>	<b>107,8±42,76</b>	<b>-60,30±44,02</b>	
TN (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	4,5	4,6	2,22	4,2	-6,67	3,3
	ráno před výlovem	5,7	6,1	7,02	5,6	-1,75	
	těsně před výlovem	8,3	7,8	-6,02	6,3	-24,10	
	výlov	18	20	11,11	7,4	-58,89	
	hodina po výlovu	17	13	-23,53	10	-41,18	
	průměr±SD	<b>10,70±5,70</b>	<b>10,30±5,62</b>	<b>-1,84±12,25</b>	<b>6,70±1,95</b>	<b>-26,52±21,34</b>	
TP (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,47	0,44	-6,38	0,37	-21,28	0,24
	ráno před výlovem	0,62	0,66	6,45	0,61	-1,61	
	těsně před výlovem	1,8	1,2	-33,33	0,64	-64,44	
	výlov	10	3,3	-67,00	0,76	-92,40	
	hodina po výlovu	16	2	-87,50	0,87	-94,56	
	průměr±SD	<b>5,78±6,21</b>	<b>1,52±1,04</b>	<b>-33,55±35,46</b>	<b>0,65±0,17</b>	<b>-54,86±37,52</b>	
P <sub>rozp.</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,034	0,034	0,00	0,033	-2,94	0,05
	ráno před výlovem	0,041	0,038	-7,32	0,04	-2,44	
	těsně před výlovem	0,054	0,042	-22,22	0,04	-25,93	
	výlov	0,052	0,11	111,54	0,052	0,00	
	hodina po výlovu	0,035	0,048	37,14	0,061	74,29	
	průměr±SD	<b>0,04±0,01</b>	<b>0,05±0,03</b>	<b>23,83±48,02</b>	<b>0,05±0,01</b>	<b>8,60±34,16</b>	

Tabulka 19 Laboratorní výsledky kvality vody Mokřý 2017

Parametr	Vzorek	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Rozdíl A-B %	Profil C konec stoky	Rozdíl A-C (%)
TOC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	38	39	2,63	36	-5,26
	ráno před výlovem	46	50	8,70	44	-4,35
	těsně před výlovem	73	65	-10,96	46	-36,99
	výlov	140	160	14,29	53	-62,14
	hodina po výlovu	110	74	-32,73	54	-50,91
	průměr±SD	<b>81,40±38,62</b>	<b>77,60±42,93</b>	<b>-4,67±16,81</b>	<b>46,60±6,56</b>	<b>-31,93±23,54</b>
TIC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	21	21	0,00	21	0,00
	ráno před výlovem	22	20	-9,09	21	-4,55
	těsně před výlovem	32	31	-3,13	26	-18,75
	výlov	28	26	-7,14	23	-17,86
	hodina po výlovu	32	39	21,88	29	-9,38
	průměr±SD	<b>27,00±4,73</b>	<b>27,40±7,00</b>	<b>0,50±11,14</b>	<b>24,00±3,10</b>	<b>-10,11±7,33</b>
TC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	59	60	1,69	57	-3,39
	ráno před výlovem	68	70	2,94	65	-4,41
	těsně před výlovem	110	96	-12,73	72	-34,55
	výlov	160	180	12,50	76	-52,50
	hodina po výlovu	150	110	-26,67	83	-44,67
	průměr±SD	<b>109,40±41,14</b>	<b>103,20±42,34</b>	<b>-4,45±13,72</b>	<b>70,60±8,96</b>	<b>-27,90±20,41</b>
KNK <sub>4,5</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	2,3	2,3	0,00	2,3	0,00
	ráno před výlovem	2,4	2,4	0,00	2,3	-4,17
	těsně před výlovem	2,4	2,4	0,00	2,4	0,00
	výlov	2,5	2,4	-4,00	2,4	-4,00
	hodina po výlovu	2,7	2,8	3,70	2,6	-3,70
	průměr±SD	<b>2,46±0,14</b>	<b>2,46±0,17</b>	<b>-0,06±2,44</b>	<b>2,40±0,11</b>	<b>-2,37±1,94</b>
Ca (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	41	40	-2,44	42	2,44
	ráno před výlovem	45	44	-2,22	41	-8,89
	těsně před výlovem	50	46	-8,00	43	-14,00
	výlov	100	56	-44,00	42	-58,00
	hodina po výlovu	160	53	-66,88	44	-72,50
	průměr±SD	<b>79,20±45,70<sup>a</sup></b>	<b>47,80±5,88<sup>b</sup></b>	<b>-24,71±26,20</b>	<b>42,40±1,02<sup>b</sup></b>	<b>-30,19±29,48</b>
Fe (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	3,5	2,9	-17,14	2,2	-37,14
	ráno před výlovem	5,00	6,4	28,00	5,2	4,00
	těsně před výlovem	24	13	-45,83	5,0	-79,17
	výlov	160	47	-70,63	6,3	-96,06
	hodina po výlovu	260	33	-87,31	8,2	-96,85
	průměr±SD	<b>90,50±102,82</b>	<b>20,46±16,87</b>	<b>-38,58±40,86</b>	<b>5,38±1,95</b>	<b>-61,04±39,09</b>
Fe <sub>rozp.</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	0,06	0,05	-16,67	0,05	-16,67
	ráno před výlovem	0,05	0,07	40,00	0,05	0,00
	těsně před výlovem	0,09	0,05	-44,44	0,05	-44,44
	výlov	0,04	0,04	0,00	0,05	-25,00
	hodina po výlovu	0,06	0,09	50,00	0,09	-50,00
	průměr±SD	<b>0,06±0,02</b>	<b>0,06±0,02</b>	<b>5,78±35,17</b>	<b>0,06±0,02</b>	<b>2,78±32,68</b>

**Tabulka 20** Přehled bilance vybraných parametrů kvality vody a živin na rybníku Mokrý 2017

<b>Parametr</b>	<b>BSK<sub>5</sub></b>	<b>CHSK<sub>Cr</sub></b>	<b>TC</b>	<b>TIC</b>	<b>Fe</b>
Přítok z rybníku (kg)	101,54	752,40	358,80	121,12	38,50
Odtok pod 2 bariérou (kg)	78,09	607,80	329,30	117,64	25,87
Retence (kg)	23,45	144,60	29,47	3,48	12,63
Retence (%)	23,10	19,22	8,21	2,90	32,80



Obrázek 16 Bilance živin na rybníce Mokrý 2017



## 4.10. Celkové zhodnocení

### Budování hrázek

Po získání pozitivních a negativních zkušeností testování na devíti rybnících je možné říci, že dočasné hrázky (bariéry) z malých balíků slámy (sena) je neoptimálnější vystavět ze dvou řad balíků, jež se navzájem překrývají v místech dotyku. Výška hrázky by neměla být vyšší, než-li 1 m (max. 3 řady balíků nad sebou). K fixaci (uchycení) hrázek do dna stoky je velmi vhodné použít ocelové trny ve tvaru T o délce 1,6 m. Na samé dno stoky může být umístěno několik předem namočených balíků slámy, a to jako základ hrázky. U hlubších a širších stok je poté vhodné vzdušnou stranu hrázek zapřít o přiměřeně masivnější konstrukci. Po stranách vlastní hrázky je vhodné vybudovat křídla z jedné řady balíků a tuto řadu balíků také přichytit ocelovými trny. Problémové podtékání hrázek na měkkém dně stok pod rybníky se podařilo zmírnit pomocí vystlání návodní strany hrázky a přibližně 2–3 m před hrázkou jutovou tkaninou. K zatížení tkaniny jsou vhodné jutové pytle, které se v ideálním případě naplní max. do 1/3 přírodním materiálem ze dna rybníka či stoky. Po skončení výlovu rybníka je nutno odstranit fixační trny, popřípadě další fixační prvky. Zachycené sedimenty ve spojení s nasáklými slaměnými balíky již udrží hrázku po hromadě až do odstranění a vyčištění stoky.

Klíčovým faktorem určujícím efektivitu zachytávání látek nesených vodou je doba zdržení. Za požadované minimum je možné určit čas pro sedimentaci na úrovni 20–30 minut. Negativně může působit při nízkém průtoku ztráta akumulovaného objemu vody z důvodu podtékání hrázek, tak také velký proud společně s velkou dynamikou průtoku vody při vypouštění rybníka.

### Laboratorní analýzy vzorků vody

Z tabulek č. 21 a 22 jsou patrné výrazné změny kvality vody v průběhu strojení a vypouštění rybníků. Při celkovém zhodnocení naměřených hodnot byl statisticky potvrzený rozdíl mezi kvalitou vody na profilu A (pod rybníkem) a profilu B (pod druhou hrázkou) u všech měřených parametrů s výjimkou rozpuštěných forem P a Fe. Ačkoliv  $P_{\text{rozp.}}$  průchodem vody přes hrázky prokazatelně zvyšoval svojí koncentraci, tak u  $Fe_{\text{rozp.}}$  nebyl potvrzen statistický rozdíl mezi hodnotami profilů A a B.

Většina sledovaných parametrů (CHSK<sub>Cr</sub>, TN, TP, TOC, TIC, TC, KNK<sub>4,5</sub> a Ca) vykazovala nejvyšší hodnoty koncentrace při fázi „hodina po výlovu“, kdy z loviště rybníka odtéká zbytková voda po povrchu bahna. Tato zbytková voda eroduje (odnáší) měkké bahno, a tím z něho uvolňuje do vody další živiny. Oproti tomu nejvyšší hodnoty koncentrací během výlovu rybníků byly zjištěny u BSK<sub>5</sub>, NL<sub>105</sub>, NL<sub>550</sub>, Fe a Fe<sub>rozp.</sub>. To naznačuje, že malé částice, na něž jsou vázány tyto parametry mohou v lovišti popř. ve vývařišti při slabém průtoku vody částečně sedimentovat a tím se mohou snižovat naměřené hodnoty. U P<sub>rozp.</sub> byla nejvyšší hodnota koncentrace zjištěna ve fázi „těsně před výlovem“.

Míra snížení koncentrace hodnot mezi profilem A a B byla rozdílná a byla závislá především na objemu aktuálně vypouštěné vody, objemu vzduché vody (těsnost hrázek) a z toho odvíjející se doby zdržení. Určitý vliv na dané koncentrace měla také samotná koncentrace sledovaných parametrů. S nárůstem koncentrace narůstala i míra jejich retence. Během prvních 2 fází sledování byla retence povětšinou nižší (jednotky procent). Těsně před samotným výlovem rybníků se však retence látek obvykle zvyšoval na nižší desítky procent. Při samotném výlovu rybníků a také po jeho ukončení se množství zachycených živin zvyšuje v průměru nad 50 %. V ojedinělých případech je však průměr rozdílů koncentrací živin s negativním výsledkem (má kladnou hodnotu). Tento jev je zapříčiněn velkými rozdíly obsahu látek mezi jednotlivými rybníky.

**Tabulka 21** Laboratorní výsledky kvality vody celkově za všechny rybníky

Parametr	Vzorek	Počet měření	Profil A pod rybníkem	Profil B pod rybníkem	Průměr rozdílů (%)
<b>BSK<sub>5</sub></b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	3	17,4±6,46	16,38±6,18	-2,74±19,42
	ráno před výlovem	4	16,75±4,82	16,50±3,91	0,77±17,32
	těsně před výlovem	4	23,50±8,65	16,20±4,04	-23,68±28,75
	výlov	4	195,25±95,70	45,75±42,92	-71,79±21,04
	hodina po výlovu	4	153,25±161,25	35,75±25,11	-64,17±17,12
	průměr±SD		<b>84,69±114,67<sup>a</sup></b>	<b>26,62±26,23<sup>b</sup></b>	<b>-33,88±36,89</b>
<b>CHSK<sub>Cr</sub></b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	3	110,67±23,68	100,67±7,36	-6,11±13,89
	ráno před výlovem	4	105,75±14,29	103,25±12,52	-2,02±7,01
	těsně před výlovem	4	197,50±99,84	120,50±34,94	-33,96±10,09
	výlov	4	2 177,50±2001,70	347,50±248,23	-51,95±57,04
	hodina po výlovu	4	3 3342,50±3062,16	700,00±924,58	-69,53±17,52
	průměr±SD		<b>1 243,42±2116,16<sup>a</sup></b>	<b>283,53±489,63<sup>b</sup></b>	<b>-34,11±38,27</b>
<b>NL<sub>105</sub></b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	7	70,29±29,81 <sup>a</sup>	52,14±16,29 <sup>b</sup>	-22,08±14,46
	ráno před výlovem	9	158,89±148,28	128,89±114,15	15,66±94,44
	těsně před výlovem	8	501,25±362,51 <sup>a</sup>	162,38±84,55 <sup>b</sup>	-61,23±13,83
	výlov	9	9 488,89±13566,83 <sup>a</sup>	2 924,22±5606,61 <sup>b</sup>	-53,12±93,83
	hodina po výlovu	9	8 122,22±8443,64 <sup>a</sup>	4 082,22±6562,35 <sup>b</sup>	-56,84±31,92
	průměr±SD		<b>3 915,05±8459,22<sup>a</sup></b>	<b>1 568,62±4305,33<sup>b</sup></b>	<b>-35,55±69,87</b>
<b>NL<sub>550</sub></b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	7	41,57±24,46 <sup>a</sup>	28,00±13,35 <sup>b</sup>	-27,39±16,23
	ráno před výlovem	9	114,84±121,61	93,11±97,21	28,12±127,09
	těsně před výlovem	8	395,38±313,76 <sup>a</sup>	118,88±78,51 <sup>b</sup>	-64,41±14,03
	výlov	9	7 875,56±11593,83 <sup>a</sup>	2 377,89±4655,57 <sup>b</sup>	-51,97±97,27
	hodina po výlovu	9	6 511,11±6530,18 <sup>a</sup>	3 158,56±5387,04 <sup>b</sup>	-61,88±28,35
	průměr±SD		<b>3 189,70±7018,64<sup>a</sup></b>	<b>1 233,64±3526,74<sup>b</sup></b>	<b>-35,20±82,78</b>
<b>TN</b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	7	3,99±1,33	4,09±1,47	2,44±11,62
	ráno před výlovem	9	5,07±2,41	5,04±2,37	1,63±10,88
	těsně před výlovem	8	7,46±3,52 <sup>a</sup>	5,86±2,65 <sup>b</sup>	-20,13±8,48
	výlov	9	32,02±34,41	21,34±30,45	126,97±500,60
	hodina po výlovu	9	122,33±187,66 <sup>a</sup>	53,34±86,24 <sup>b</sup>	-45,88±27,54
	průměr±SD		<b>36,25±98,66<sup>a</sup></b>	<b>18,88±46,03<sup>b</sup></b>	<b>14,30±237,42</b>
<b>TP</b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	7	0,33±0,07	0,33±0,06	-0,84±10,92
	ráno před výlovem	9	0,57±0,35	0,55±0,23	5,55±34,43
	těsně před výlovem	8	1,18±0,45 <sup>a</sup>	0,61±0,13 <sup>b</sup>	-43,62±13,61
	výlov	9	21,20±13,81 <sup>a</sup>	4,84±7,49 <sup>b</sup>	-74,28±30,79
	hodina po výlovu	9	40,99±34,87 <sup>a</sup>	17,72±33,26 <sup>b</sup>	-69,73±29,55
	průměr±SD		<b>13,73±23,68<sup>a</sup></b>	<b>5,12±17,00<sup>b</sup></b>	<b>-38,12±42,78</b>
<b>P<sub>rozp.</sub></b> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	7	0,05±0,04	0,07±0,04	42,19±47,75
	ráno před výlovem	9	0,06±0,03 <sup>a</sup>	0,09±0,06 <sup>b</sup>	50,55±44,08
	těsně před výlovem	8	0,07±0,05	0,09±0,05	27,84±31,68
	výlov	9	0,05±0,02	0,05±0,02	4,65±23,54
	hodina po výlovu	9	0,05±0,02	0,06±0,04	39,05±64,74
	průměr±SD		<b>0,06±0,03<sup>a</sup></b>	<b>0,07±0,05<sup>b</sup></b>	<b>32,37±46,83</b>

**Tabulka 22** Laboratorní výsledky kvality vody celkově za všechny rybníky

Parametr	Vzorek	Počet měření	Profil A pod rybníkem	Profil B pod 2 hrázkou	Průměr rozdílů (%)
TOC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	7	25,14±7,55	24,43±7,54	-3,10±9,66
	ráno před výlovem	9	30,44±12,47	29,78±11,77	-1,42±16,99
	těsně před výlovem	8	51,25±18,43 <sup>a</sup>	35,13±10,06 <sup>b</sup>	-29,02±8,28
	výlov	9	362,22±312,37	159,33±248,41	-47,78±60,14
	hodina po výlovu	9	1 053,33±1628,80 <sup>a</sup>	416,89±718,58 <sup>b</sup>	-50,45±30,79
	průměr±SD		<b>323,81±858,04<sup>a</sup></b>	<b>140,62±379,98<sup>b</sup></b>	<b>-27,40±38,69</b>
TIC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	3	27,67±5,31	28,33±6,13	1,96±2,77
	ráno před výlovem	4	27,00±5,52	26,00±5,61	-3,89±2,34
	těsně před výlovem	4	38,00±11,90	28,00±4,47	-21,98±14,27
	výlov	4	95,00±79,55	47,00±18,14	-27,42±30,57
	hodina po výlovu	4	194,50±213,18	55,75±38,36	-41,46±33,04
	průměr±SD		<b>79,00±121,17<sup>a</sup></b>	<b>37,47±24,18<sup>b</sup></b>	<b>-19,64±26,35</b>
TC (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	3	57,00±1,63	55,67±1,25	-2,32±0,76
	ráno před výlovem	4	59,75±5,67	58,50±4,97	-2,00±1,58
	těsně před výlovem	4	86,25±15,37	67,50±12,78	-20,93±13,33
	výlov	4	572,50±375,99	162,37±149,37	-46,04±57,69
	hodina po výlovu	4	952,50±957,74	207,25±221,03	-65,34±20,14
	průměr±SD		<b>360,79±586,51<sup>a</sup></b>	<b>113,21±136,58<sup>b</sup></b>	<b>-28,64±37,54</b>
KNK <sub>4,5</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	3	2,60±0,42	2,53±0,40	-2,49±1,83
	ráno před výlovem	4	2,43±0,35	2,43±0,40	-0,21±2,66
	těsně před výlovem	4	2,53±0,33	2,48±0,37	-2,17±2,17
	výlov	4	3,28±0,49	2,70±0,43	-16,92±10,39
	hodina po výlovu	4	3,78±1,29	3,33±1,03	-10,61±7,54
	průměr±SD		<b>2,94±1,06<sup>a</sup></b>	<b>2,70±0,89<sup>b</sup></b>	<b>-6,69±8,78</b>
Ca (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	3	44,00±2,16	44,67±2,05	1,54±1,09
	ráno před výlovem	4	41,25±6,06	39,25±5,40	-4,67±2,51
	těsně před výlovem	4	44,50±6,18	40,50±5,89	-9,02±3,83
	výlov	4	245,00±110,11	73,50±50,15	-64,74±21,46
	hodina po výlovu	4	256,75±189,86	60,75±34,67	-61,85±28,16
	průměr±SD		<b>130,63±143,06<sup>a</sup></b>	<b>52,11±32,56<sup>b</sup></b>	<b>-29,29±33,25</b>
Fe (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	3	2,20±0,99	1,63±0,67	-25,11±17,76
	ráno před výlovem	4	4,13±2,52	3,93±1,85	2,64±33,00
	těsně před výlovem	4	16,98±8,66	5,30±2,67	-66,89±9,06
	výlov	4	645,00±382,39	233,10±390,83	-79,24±31,83
	hodina po výlovu	4	536,00±469,82	59,40±87,07	-88,76±9,89
	průměr±SD		<b>253,42±395,19<sup>a</sup></b>	<b>63,78±199,95<sup>b</sup></b>	<b>-52,86±42,48</b>
Fe <sub>rozp.</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	noc před výlovem	3	0,08±0,04	0,08±0,03	7,78±23,78
	ráno před výlovem	4	0,20±0,22	0,22±0,25	-1,15±10,22
	těsně před výlovem	4	0,16±0,13	0,21±0,23	8,57±37,67
	výlov	4	0,81±1,32	0,09±0,06	1,45±70,91
	hodina po výlovu	4	0,15±0,17	0,98±1,40	2 827,22±4853,37
	průměr±SD		<b>0,29±0,67</b>	<b>0,33±0,73</b>	<b>598,30±2447,04</b>

## Bilance živin

Celková bilance živin je prezentována sumární formou, ale s vyloučením výsledků z rybníku Novokoželský 2016 a Brdský 2017. Důvodem vyločení těchto rybníků byly nestandardní situace popsané u každého těchto rybníků samostatně (ledová tříšť a ředění vody). Vypočtené bilance živin prezentuje obrázek č. 17. Retence nerozpuštěných sušených látek (NL<sub>105</sub>) dosáhla úrovně 65,2 % a žíhaných nerozp. látek (NL<sub>550</sub>) 67,3 %. Nejvyšší retence v prostoru mezi hrázkami byla zjištěna u TP, kdy celkově dosáhla 69,2 %. U dalších základních živin byla však zjištěna nižší retence TOC – 36 %, TN 25,9 %. Pozitivní retence byla zjištěna u Ca<sub>rozp.</sub> (8,44 %) zatímco u P<sub>rozp.</sub> bylo zjištěno naopak uvolnění – 4,39 %. Retenci dalších parametrů uvádí tabulka č. 23.

**Tabulka 23** Přehled bilance vybraných parametrů kvality vody a živin na všech rybnících společně, s výjimkou rybníků Novokoželský 2016 a Brdský 2017

Parametr	BSK <sub>5</sub>	CHSK <sub>Cr</sub>	TC	TIC	Fe
Přítok z rybníku (kg)	168,66	1408,75	629,69	223,1	153,06
Odtok pod 2 bariérou (kg)	110,97	865,41	457,58	182,71	44,76
Retence (kg)	57,07	543,44	169,11	40,39	108,3
Retence (%)	33,84	38,58	26,98	18,1	70,76



Obrátek 17 Retence živin u celkového zhodnocení sledovaných rybníků

## 4.11. Složení a množství zachyceného sedimentu

### Složení zachyceného sedimentu

Na některých rybnících v závěru sledování byl také odebrány vzorky zachyceného sedimentu (bahna z rybníka) uchyceného v hrázkách ze slaměných balíků, a to za účelu zjištění složení zachyceného sedimentu. Na většině zvolených rybníků byl odebraný směsný vzorek samostatně pro sediment zachycený v první a druhé hrázce (např. Mokřý 1 a 2). Na Novokoželském 2016 rybníce byl odebraný směsný vzorek tvořený z obou bariér společně. Získané výsledky o složení jsou níže uvedeny v tabulce č. 24. Z níž plyne, že obsah sledovaných živin je velice podobný. Pozitivní je natom také skutečnost, že podíl využitelných živin (zejména P) je poměrně malý ve vztahu k celkovému obsahu živin (s výjimkou Ca). Ovšem i v těchto výsledcích je patrný určitý rozdíl v obsahu základních biogenních prvků mezi jednotlivými rybníky. Dané rozdíly je možné vysvětlit především ve způsobu hospodaření na okolních pozemcích daných rybníků. Například v okolí rybníka Vrbice se nacházejí pastviny, zatímco rybník Pláňavy je obklopený lesy a ornou půdou. Povodí Novokoželského rybníka je pak převážně jen orná půda, čemuž odpovídá i celkově vyšší obsah bahna v tomto rybníce.

\* výlov v roce 2017

**Tabulka 24** Složení rybničného sedimentu zachyceného v hrázkách - podíl živin v čerstvé hmotě (%)

Parametr	Průměr ±SD	Novokoželský	Vrbice*		Novokoželský*		Pláňavy*	
		2016	1	2	1	2	1	2
Sušina	22,91±5,13	20,8	30,6	31	17	20	21	20
N - celkový	0,205±0,020	0,183	0,230	0,233	0,187	0,220	0,191	0,194
P - celkový	0,040±0,005	0,042	0,034	0,034	0,036	0,042	0,040	0,050
P - využitelný	0,001±0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
C - celkový	2,030±0,167	1,768	2,203	2,170	1,870	2,200	2,100	1,900
TOC	1,825±0,249	1,685	2,081	2,015	1,411	1,580	2,100	1,900
Hořčík	0,155±0,053		0,230	0,229	0,102	0,122	0,124	0,122
Mg - využitelný	0,018±0,003		0,023	0,022	0,015	0,018	0,017	0,016
Draslík	0,071±0,033		0,116	0,115	0,034	0,036	0,063	0,062
K - využitelný	0,012±0,001		0,012	0,012	0,010	0,011	0,013	0,012
Vápník	0,219±0,056		0,171	0,183	0,170	0,198	0,294	0,300
Ca využitelný	0,118±0,006		0,125	0,118	0,107	0,120	0,116	0,120

## Množství zachyceného sedimentu

Množství zachyceného sedimentu vytěženého na jednotlivých rybnících je uvedeno v tabulce č. 25. Jeho objem je poněkud vyšší, oproti očekávání vzhledem k vypočtené bilanci zachycených nerozpuštěných látek. Vyšší objem sedimentů je zřejmě daný tím, že u mnohých sledovaných rybníků bylo vypustní zařízení ponecháno otevřeno více dní ze sanitárních důvodů i po sledování a odebírání vzorků. Během nesledovaného období z rybníků volně unikal také další materiál. Dalším faktorem který navyšoval množství skutečně odtěženého sedimentu je přítomnost vrstev plavenin z předchozích let. Při vlastním odtěžení nebyla možnost odlišit, kde je hranice staršího a nového sedimentu. Stoka musela být při čištění uvedena do řádného stavu bez ohledu na skutečnost, kdy se v ní jaký sediment usazoval. V tomto bodě je podstatné zmínit velice malý objem odtěženého sedimentu na rybníce Brdský, kdy došlo při velké vodě (popisováno výše) k vyplavení sedimentu ze stoky ještě před vytěžením. Tato skutečnost vylučuje použití této technologie na výrazněji průtočných rybnících.

Přepočet objemu vytěženého sedimentu na hmotnost byl provedený násobením objemovou hmotností bahna, která je ve stavebních tabulkách odhadována na 1 800–2 000 kg.m<sup>3</sup>. S ohledem na poměrně vysoký obsah vody v sedimentu, tak bylo počítáno s hodnotou na horní hranici intervalu. V tabulce č. 25 byl provedený výpočet zachycených živin na základě hmotnosti sedimentu a koncentrace živin skutečně zjištěné v daném rybníce, na základě jejich průměrných hodnot. Získané (zachycené) absolutní hodnoty živin jsou také přepočítány na hektar plochy. Byly provedeny souvisle s tím ekvivalentní přepočty obsahu živin v bahně na dávku hnoje skotu v surovém stavu pro základní biogenní prvky.

Z výsledků, jež jsou uvedeny v tabulce č. 25 plyne, že množství zachycených živin je u sledovaných rybníků různé. Nicméně i zde, je možné vysledovat určitý vztah mezi množstvím unikajících živin a typem povodí pod rybníkem. Z rybníků velmi zabahněných (Podsilniční, Novokoželský) celkově uniká více sedimentu a tím z nich také uniká více živin. Reálný rozsah by byl možná ještě výraznější, pokud by se koncentrace živin přepočítaly z reálných hodnot obsahu živin daného rybníka a ne pouze z průměrných hodnot, které byly získány ze sedmi analýz na třech rybnících. Zajímavé je i porovnání přepočtu ekvivalentu dávky získaného sedimentu na hnůj od skotu. Z daných výpočtů vyplynulo, že průměrné množství rybničního bahna získané z hektaru rybníka představuje (při přepočítání na fosfor P) ekvivalentní dávku 200 kg.ha<sup>-1</sup> hnoje skotu, což



je 50 % legislativně povolené startovací dávky. Průměrný poměr živin (P : N : C) v zachyceném bahně byl zjištěný na úrovni 1 : 5,21 : 51,67. Z tohto poměru vyplývá, že rybníční bahno je poměrně bohatým zdrojem uhlíku.

Tabulka č. 25 Množství zachyceného sedimentu a obsah jeho živin										
Parametr	Spolu / Průměr	Jenšovský	Podsilniční	Novokoželský	Ouhlín	Brdský	Vrbice	Pláňavy	Novokoželský	Mokrý
Vodní plocha (ha)	51,34	3,93	1,8	5	6,2	0,91	0,8	7,7	5	20
Objem sedimentu (m <sup>3</sup> )	252	17,5	22	49	13	2	1,36	17,35	55,5	74,75
Hmotnost sedimentu (t)	504,9	35	44	98	26	4	2,73	34,7	111	149,5
Hmot. sedimentu v sušině (kg)	107399,04	8018,5	10080,4	20384	5956,6	916,4	840,7	7212	19740	34250,5
Hmot. Sedimentu v sušině (kg. ha <sup>-1</sup> )	2370,3	2040,3	5600,2	4076,8	960,7	1007	1050,9	936,6	3948	1712,5
N - celkový v sedimentu (kg)	1015,89	74	93,03	179,38	54,97	8,46	6,31	66,53	217,14	316,08
N - celkový v sedimentu (kg. ha <sup>-1</sup> )	22,3	18,8	51,7	35,9	8,9	9,3	7,9	8,6	43,4	15,8
N - celkový přepočít na hnoj (kg)	2116,44	154,17	193,81	373,71	114,52	17,62	13,14	138,6	452,38	658,51
N - celkový přepočít na hnoj (kg. ha <sup>-1</sup> )	46,4	39,23	107,67	74,74	18,47	19,36	16,42	18	90,48	32,93
P - celkový v sedimentu (kg)	206,4	14,66	18,43	40,77	10,89	1,68	0,92	14,6	41,45	62,63
P - celkový v sedimentu (kg. ha <sup>-1</sup> )	4,47	3,73	10,24	8,15	1,76	1,84	1,16	1,9	8,29	3,13
P - celkový přepočít na hnoj (kg)	9235,37	672,72	845,71	1630,72	499,74	76,88	57,32	604,81	1974	2873,5
P - celkový přepočít na hnoj (kg. ha <sup>-1</sup> )	202,3	171,18	469,84	326,14	80,6	84,49	71,65	78,55	394,8	143,67
K - celkový v sedimentu (kg)	294,11	23,25	29,23	59,11	17,27	2,66	3,15	21,79	38,32	99,33
K - celkový v sedimentu (kg. ha <sup>-1</sup> )	6,56	5,92	16,24	11,82	2,79	2,92	3,94	2,83	7,66	4,97
K - celkový přepočít na hnoj (kg)	576,69	45,6	57,32	115,91	33,87	5,21	6,17	42,72	75,14	194,76
K - celkový přepočít na hnoj (kg. ha <sup>-1</sup> )	12,9	11,6	31,84	23,18	5,46	5,73	7,72	5,55	15,03	9,74
C - celkový v sedimentu (kg)	10108,63	735,38	924,47	1732,64	546,28	84,04	59,61	713,7	2171,4	3141,11
C - celkový v sedimentu (kg. ha <sup>-1</sup> )	220,69	187,12	513,6	346,53	88,11	92,35	74,51	92,69	434,28	157,06
Mg - celkový v sedimentu (kg)	685,57	52,12	65,52	132,5	38,72	5,96	6,26	42,85	119,02	222,63
Mg - celkový v sedimentu (kg. ha <sup>-1</sup> )	15,25	13,26	36,4	26,5	6,24	6,55	7,82	5,57	23,8	11,13
Ca - celkový v sedimentu (kg)	1097,92	79,96	100,52	203,26	59,4	9,14	4,85	102,47	196,82	341,53
Ca - celkový v sedimentu (kg. ha <sup>-1</sup> )	23,58	20,35	55,84	40,65	9,58	10,04	6,06	13,31	39,36	17,08

## 5. Diskuze

Tato observační studie otestovala použití technologie záchytných slaměných hrázek na odtokové stoce z rybníku, které měly za úlohu zachytit odnášený sediment.

Vzorkování probíhalo především při podzimních výloveh. V následné diskuzi budou interpretovány výsledky v jednotlivých fázích rybníků v kontextu průměrných, minimálních a maximálních hodnot s ostatními autory, jež podobná sledování prováděli.

Nejvyšších koncentrací dosahovala většina sledovaných parametrů (CHSK<sub>Cr</sub>, TN, TP, TOC, TIC, TC, Ca) ve fázi „hodinu po výlovu“, kdy z loviště rybníka obvykle odtéká zbytková voda se značnou příměsí odnášených bahnitých částic. Tento trend velice přesně koresponduje s údaji, jež ve svých studiích vyhodnotili Boyd a Schwartz (2014) při výloveh sumecků tečkovaných, dále se s tímto ztotožňují při výloveh rybníků s obsádkou kapra Poštulková a kol.(2013), Mikšíková a kol. (2011), Potužák a Duras (2015), Baxa a kol. (2017), Potužák a kol. (2017), Dróždž a kol. (2020).

### **Koncentrace živin v odtékající vodě při výlovu rybníků**

V současné době je v mezinárodním měřítku silně pocíťována potřeba více efektivně využívat a hospodařit s živinami, které za prvé vznikají v chovu ryb a za druhé poté samovolně unikají při výlovu rybníků. V tropických oblastech, kde se v rybnících chovají různé druhy sumců, sumecků a tilapií, se hledají takové metoda chovu ryb, které podstatně lépe dokáží využít všechny produkované živiny. Proto například je vypouštěná voda z rybníka použita k zaplavení rýžového pole. Po výlovu rybníků je dno rybníka v těchto oblastech užito pro pěstování zemědělských plodin pro lidskou potřebu a nebo mokřadních rostlin (silná retence P a N na úrovni 70 %). A nyní se uvažuje o využití rybníčních sedimentů jako hnojiva pro rostlinnou výrobu (Kwei Lin a Yang Yi, 2003 ; (Kwei Lin a kol., 2008; Muendo a kol., 2014). Boyd a Schwartz (2014) doporučují vypustit pozvolna většinu vody z rybníků zejména před výlovem, protože koncentrace potenciálně znečišťujících látek jsou před vlastním výlovem nízké.

Jedna z nejpodstatnějších odlišností rybníky, které vytvořili lidé oproti přírodním jezerům je periodický výlov rybí obsádky. Při výlovu se z rybníků více či méně odplavují (odnášejí) společně s odtékající vodou nerozpuštěné látky, které jsou bohaté na různé sloučeniny a živiny, nejvíce fosfor ( Kalenda a kol., 1982 ; Butz, 1988 ; Banas a kol., 2002 ; Vallod a Sarrazin, 2010).

Koncentrace  $NL_{105}$  (nerozpuštěných sušených látek) byly na jedné straně ovlivňována daným způsobem výlovu rybníka (zátah sítí/lov ručně kesery) a na straně druhé dle fáze odběru vzorků, to znamená dle závislosti zda byla voda odebírána před výlovem, během něho, či po výlovu. V průběhu noci před výlovem byla průměrná hodnota  $NL_{105}$  při sledování na všech rybnících zaznamenána s hodnotou  $70,29 \pm 6,46$   $mg.l^{-1}$  přímo ve vývařišti pod rybníkem, pod druhou hrázkou (po průchodu přes bariéry) byla zjištěna pozitivní retence, jelikož průměrná koncentrace se snížila na  $NL_{105}$ :  $52,14 \pm 16,29$   $mg.l^{-1}$ . Námi zjištěná hodnota  $NL_{105}$  s výsledkem  $52,14$   $mg.l^{-1}$  je obdobná s výsledky, jež prezentuje ve své studii Baxa a kol. (2017). Ti při analýze vzorků odebíraných z Horusického rybníka naměřily hodnotu sušených nerozpuštěných látek s koncentrací  $59$   $mg.l^{-1}$ . S tím rozdílem, že Baxa a kol. (2017) danou hodnotu zaznamenali při výlovu rybníka, zatímco v našem případě se jednalo o fázi v „v noci“ před samotným výlovem. Boyd a Schwartz (1994) prezentují výsledek  $60$   $mg.l^{-1}$   $NL_{105}$  v závěru výlovu rybníků. Mikšíková a kol. (2012) však během vypouštění prezentují s námi shodné průměrné hodnoty na úrovni desítek až nejvíce  $100$   $mg.l^{-1}$   $NL_{105}$ .

Je nutné podotknout, že se jedná o průměrnou hodnotu, která je ovlivněna vyššími hodnotami  $NL_{105}$  při sledování na rybnících s vyššími hodnotami během této fáze – např. na rybníce Brdský  $110$   $mg.l^{-1}$  ; Mokrý  $120$   $mg.l^{-1}$  . Tyto vyšší hodnoty jsou nejspíše u rybníka Mokrý dány větší vodní výměrou  $20$  ha, kdy s ohledem na vyšší množství odpouštění vody z rybníka je spjatý vyšší odnos části. Na rybníce Brdský  $1,63$  ha to mohlo být způsobeno náhlé zvýšením průtokem vody v době odběru vzorků obsluhou rybníka, kdy se setkal moment odběru vzorku s vyšší koncentrací  $NL_{105}$  v odtékající vodě. Minimální hodnoty byly zaznamenány ve vývařišti během fáze „ráno před výlovem“ na rybnících Jenšovský –  $39$   $mg.l^{-1}$   $NL_{105}$  a Podsilniční –  $46$   $mg.l^{-1}$   $NL_{105}$ . Tyto nejnižší hodnoty  $NL_{105}$  z našeho sledování jsou o několik jednotek vyšší, nežli popisuje Baxa a kol. (2017) při odběru vzorků vody, která unikala z geotextilních vaků při sedimentaci „kalu“ v jejich studii, jelikož odtékající voda po ustálení sedimentu vykazovala hodnotu  $NL_{105}$  –  $31,5$   $mg.l^{-1}$ .

S postupným nástupem fáze „těsně před výlovem“ a během výlovu se hodnoty koncentrace u všech sledovaných rybníků tisícnásobně zvýšily na průměrnou hodnotu za celé sledování  $9\,488,89 \pm 13\,566,83$   $mg.l^{-1}$ . Ačkoli je tato hodnota vysoká, tak dle zpracovaných informací neodpovídá údajům, jež prezentují během výlovu (Boyd a Schwartz, 1994), jež jak je výše popsáno zaznamenaly ze svých měření podstatně nižší

hodnotu. Ve své studii však pro tuto hodnotu mají adekvátní vysvětlení, jelikož během zátahu sítí a během výlovu nevypouštějí vodu z rybníků a tím podstatně eliminují jakýkoli odnos nerozpuštěných látek. Vysoké hodnoty  $NL_{105}$ , ačkoliv v trochu jiné spojitosti je Baxa a kol. (2017) s hodnotou  $NL_{105} = 33\,000\text{ mg.l}^{-1}$ , kdy tuto hodnotu zaznamenaly při rozboru čerstvě přečerpaného sedimentu „kalu“ s příměsí vody při výše popisované studii. Dá se říci téměř totožné jsou námi zjištěné průměrné hodnoty ( $NL_{105}$  odtékající vody z rybníků) s měřením Mikšíkové a kol. (2011), jelikož ráno před samotným výlovem zaznamaly hodnoty min.  $3\,720$  – max.  $9\,440\text{ mg.l}^{-1}$   $NL_{105}$ . Velice dramatický je scénář odnosu  $NL_{105}$  při výlovu námi sledovaných rybníků, jelikož 95 %  $NL_{105}$  z rybníků oteklo během fázi při samotném výlovu a ve fázi „po výlovu“. K tomuto scénáři svým pozorováním dospěli také Mikšíková a kol. (2011), dle kterých při samotném výlovu jimi pozorovaných rybníků oteklo 42,3–85 %  $NL_{105}$  a po výlovu 42,1 %  $NL_{105}$ . Průměrná hodnota  $NL_{105}$  během celého našeho sledování byla spočtena na  $3\,915,05 \pm 8459,22\text{ mg.l}^{-1}$ , a to je paradoxně velice blízce korespondující s nejnižší hodnotou Mikšíkové a kol. (2011) při měření odtékající vody před začátkem výlovu.

Průměrné hodnoty celkového dusíku (TN) během námi popisované studie při fázi „noc před výlovem“ vykazovaly průměrnou hodnotu  $3,99 \pm 1,33\text{ mg.l}^{-1}$ , minimální hodnota této fáze byla zaznamenána u rybníka Podsilniční –  $2,5\text{ mg.l}^{-1}$  TN, zatímco nejvyšší hodnota byla zaznamenána u rybníka Brdský  $6\text{ mg.l}^{-1}$  TN. Z této fáze je absence vzorků u rybníků Vrbice a Ouhlín, jelikož u těchto rybníků buď netekla vůbec žádná voda z rybníka, a nebo nebylo možné vzorek vody vzhledem k malému množství vody odebrat. Námi potvrzená nejnižší hodnota  $2,5\text{ mg.l}^{-1}$  celkového dusíku je srovnatelná s průměrnými hodnotami  $2,34\text{ mg.l}^{-1}$  TN, jež popisuje Pechar (2015) a  $2,5\text{ mg.l}^{-1}$  TN popisují Baxa a kol. (2017). K výsledkům těchto autorů se také vztahují výsledky, jež publikuje Boyd a Schwartz (1994) s hodnotou TN pod  $5\text{ mg.l}^{-1}$ , ovšem během počátečních 72 hodin výlovu. S tak blízce obdobnou hodnotou se přidává Coldebella a kol. (2018), kteří prezentují nejnižší výsledek studie  $2,08\text{ mg.l}^{-1}$  TN, avšak se přidávají ke srovnání s předešlými autory, kdy daná hodnota je naměřena během vypouštění rybníků.

V průběhu následné fáze „ráno před výlovem“ našeho sledování hodnoty TN ve vývařišti dosahovaly průměrné hodnoty  $5,07 \pm 2,41\text{ mg.l}^{-1}$ , s nejnižším zjištěním  $1,6\text{ mg.l}^{-1}$  TN u rybníka Ouhlín a maximální hodnota  $9,9\text{ mg.l}^{-1}$  rybník Novokoželský 2016. Námi zjištěná nejnižší hodnota TN je téměř shodná s výsledky Pechara (2015)

u pozorování rybníků z třeboňska z let 1954–1956 s průměrnou sumou  $1,7 \text{ mg.l}^{-1}$  TN. Maximum TN během této fáze je v souladu s nejvyšším zjištěním TN  $10 \text{ mg.l}^{-1}$ , které popisují Boyd a Schwartz (1994) při odběru vzorků přímo v lovišti rybníka.

Těsně před výlovem celkový dusík dosahoval průměrné hodnoty  $7,46 \pm 3,52 \text{ mg.l}^{-1}$ , a to je dá se říci téměř totožný výsledek s TN –  $7,25 \text{ mg.l}^{-1}$ , jež zjistili Coldobella a kol. (2018). Ti tuto hodnotu popisují jako průměrnou výlovu rybníků při výlovu. Pechar (2015) hodnotu  $7,5 \text{ mg.l}^{-1}$  TN prezentuje jako nejvyšší zjištěnou. Nejvyšší námi zaznamenaná hodnota  $14 \text{ mg.l}^{-1}$  TN byla zjištěna u rybníka Jenšovský 2016 a nejnižší hodnota  $1,6 \text{ mg.l}^{-1}$  TN u rybník Ouhlín.

Při výlovu námi sledovaných rybníků byla zjištěna průměrná hodnota celkového dusíku  $32,02 \text{ mg.l}^{-1}$ , s maximální hodnotou TN  $120 \text{ mg.l}^{-1}$  u rybníka Pláňavy a nejnižší hodnota byla determinována u rybníka Novokoželský v roce 2016 i 2017 s koncentrací  $6,1 \text{ mg.l}^{-1}$  TN. Velice podobné hodnoty  $137 \text{ mg.l}^{-1}$  TN popisují Boyd a Schwartz (1994). K naší průměrné hodnotě TN se přibližuje hodnota  $22 \text{ mg.l}^{-1}$  Skerman a kol. (2006) a Coldobella a kol. (2018) s hodnotou  $24,68 \text{ mg.l}^{-1}$ . Velice blízké jsou také průměrné hodnoty  $32,65 \text{ mg.l}^{-1}$  TN, jež uvádí Baxa a kol. (2017) u odtékající vody ze sedimentů. Naše maximální hodnoty jsou v pozitivním vztahu s max. hodnotami  $137 \text{ mg.l}^{-1}$  TN Boyda a Schwartze (1994), ovšem negativně korelují s max. hodnotou Skermana a kol. (2006), kteří zaznamenali dokonce hodnotu  $459 \text{ mg.l}^{-1}$  TN.

Při fázi „hodina po výlovu“ byla průměrná hodnota TN v naší studii  $122 \text{ mg.l}^{-1}$ , což pozitivně koreluje s o něco vyšší hodnotou  $137 \text{ mg.l}^{-1}$  TN v závěru sledování studie Boyda a Schwartze (1994). O něco vyšší byla ještě zaznamenaná průměrná hodnota  $167 \text{ mg.l}^{-1}$  TN u Skerman a kol. (2006), avšak během vypouštění rybníků, což nesouhlasí s výsledky, které jsme zjistili během fáze „hodina po výlovu“. Téměř 4 násobně vyšší hodnotu TN  $530 \text{ mg.l}^{-1}$  vysledoval Baxa a kol. (2017) u směsi sedimentu s vodou, což svým kašovitým charakterem je velice blízké vzhledu vody pod vývařištem během této fáze pozorování. Nejnižší námi zaznamenaná hodnota TN  $15 \text{ mg.l}^{-1}$  během této fáze byla zjištěna na rybníce Ouhlín, oproti nejvyšší hodnotě  $230 \text{ mg.l}^{-1}$  TN námi sledovaných rybníků byla zjištěna u rybníka Novokoželský 2017.

V současnosti někteří autoři mají rozpracovaný nový přístup k posuzování fungování rybníků v krajině s pohledem na míru schopnosti zadržovat či uvolňovat fosfor (Hejzlar a kol., 2006 ; Potužák a Duras, 2012 ; Duras a kol., 2015 ; Pechar, 2015).

Celkový fosfor při fázi „noc před výlovem“ při porovnání všech námi sledovaných rybníků vykazoval průměrnou hodnotu  $0,33 \pm 0,07 \text{ mg.l}^{-1}$  s velice úzkým rozptylem koncentrací – min. 0,28–0,47 max.  $\text{mg.l}^{-1}$  TP, což značí velice podobné rozložení celkového fosforu v odtokové vodě námi sledovaných rybníků. S touto hypotézou korespondují výsledky s průměrnou hodnotou koncentrace  $35 \text{ mg.l}^{-1}$  TP zjištěnými v odtokové vody při odvodňování sedimentu, a také koncentrace  $0,25 \text{ mg.l}^{-1}$  TP odtékající vody při výlovu Horusického rybníka (Baxa a kol., 2017; Potužák a kol., 2017). Obdobná je také průměrná koncentrace  $0,23 \text{ mg.l}^{-1}$  TP, které popisuje Pechar (2015) u třeboňských rybníků během vegetační sezóny. Zhruba o polovinu nižší hodnotu TP  $0,15 \text{ mg.l}^{-1}$ , zaznamenali Boyd a Schwartz (1994), ovšem při výlovu rybníků, s touto nižší hodnotou souhlasí průměrné koncentrace  $0,18 \text{ mg.l}^{-1}$  TP v sádkách ve vegetační sezoně ve studii Strouhala (2015) a v podstatě též tato hodnota souhlasí s daty Mikšíkové a kol. (2011) s průměrnou hodnotou  $0,1835 \text{ mg.l}^{-1}$  TP během výlovu rybníků.

Při fázi „ráno těsně před výlovem“ byla pozorována koncentrace TP o  $\sigma$  koncentraci  $0,57 \pm 0,35 \text{ mg.l}^{-1}$ , což nepotvrzují výsledky Boyda a Schwartze (1994) ; Skermana (2006) ; Coldebella a kol. (2018), jelikož tyto autoři nameřily podstatně vyšší hodnoty koncentrace TP. Nejnižší hodnoty  $0,28$  ;  $0,31 \text{ mg.l}^{-1}$  (Ouhlín, Podsilniční, Brdský) a naše průměrná o řádek výše uvedená průměrná koncentrace, nedopovídají zjištění Mikšíkové a kol. (2011), kteří v ráno před výlovem naměřili  $5\text{--}17,4 \text{ mg.l}^{-1}$  TP.

Těsně před samotným výlovem byla průměrná hodnota TP zaznamenána u rybníků  $1,18 \pm 0,45 \text{ mg.l}^{-1}$  s nejnižší hodnotou  $0,73 \text{ mg.l}^{-1}$  na rybníce Pláňavy a nejvyšší hodnotou  $1,9 \text{ mg.l}^{-1}$  TP u rybníka Podsilniční. Náš průměrný výsledek této fáze je hodnotou hodně vzdálený s výsledky Mikšíkové a kol. (2011), kteří naměřili  $5\text{--}120$  krát vyšší koncentraci TP. V této fázi s naší nejvyšší naměřenou hodnotou souhlasí průměrné výsledky TP Coldebella a kol. (2018), kteří publikují výsledek  $1,88 \text{ mg.l}^{-1}$  TP, obdobně jako Pechar (2015).

Během fáze „výlov“ námi sledované rybníky vykazovaly průměrnou hodnotu  $32,02 \pm 34,41 \text{ mg.l}^{-1}$ , kdy nejbližše kolem této hodnoty korelovaly hodnoty  $30$  a  $31 \text{ mg.l}^{-1}$  TP, jež byly naměřeny u rybníků Vrbice a Nokoželský 2017. Naši průměrné hodnotě je velice podobná průměrná hodnota  $25,1 \text{ mg.l}^{-1}$  TP, jež popisuje Kopp a kol. (2019) ve vodném výluhu ze sedimentu. Jistá spojitost je vzhledem k unášenému sedimentu z rybníků během výlovu s obsaženými organickými látkami s fosforem. Též se blíže k námi naměřeným hodnotám blíží průměrná hodnota  $36 \text{ mg.l}^{-1}$  TP Skermana

a kol. (2006). Nejnižší hodnoty této fáze naší studie 3 a 3,8 mg.l<sup>-1</sup> TP u rybníků Ouhlín a Brdský jsou zcela odlišné se všemi zmiňovanými autoři, kteří naměřily podstatně vyšší hodnoty koncentrace TP při výlovu rybníků. Nejvyšší námi zjištěná koncentrace 48 mg.l<sup>-1</sup> TP (Pláňavy) je zhruba poloviční oproti max. hodnotě 85 mg.l<sup>-1</sup> TP, kterou popisuje během výlovu Skerman a kol. (2006).

Fáze „hodina po výlovu“ s průměrnou hodnotou 40,99±34,87 mg.l<sup>-1</sup> TP přinesla zajímavé paradoxní výsledky u rybníka Vrbice s koncentrací pouze 1,8 mg.l<sup>-1</sup> oproti zhruba 80 krát vyšší hodnotě 83 mg.l<sup>-1</sup> TP u rybníka Novokoželský 2017. Tato naše nejvyšší hodnota je dá se říci totožná s hodnotou 85 mg.l<sup>-1</sup> TP, kterou ale Skerman a kol. (2006) popisují během výlovu rybníků, ale i tak naše nejvyšší naměřená hodnota je dá se říci výrazně nižší než hodnota 127 mg.l<sup>-1</sup> TP, kterou naměřili Mikšíková a kol. (2011). Daný vysoký rozptyl těchto hodnot zapříčiněný na jedné straně skladbou obsádky rybníků a na druhé straně pohybem osob v lovišti a obsluhou rybníční výpusti – náhlé odpouštění velkého množství vody z rybníka.

Obsah celkového fosforu v odtokové vodě vykazoval průměrnou koncentraci (během všech fází výlovu rybníka) v naší studii s hodnotou 13,73±23,68 mg.l<sup>-1</sup> TP, což nesouhlasí s maximálními i průměrnými hodnotami, které popisují Baxa a kol. (2017) ; Pechar (2015) ; Boyd a Schwartz (1994). Nicméně blíže korespondující hodnotu koncentrace 10 mg.l<sup>-1</sup> TP zjistil Skerman a kol. (2006), a o čtvrtinu nižší průměrnou koncentraci 8,56 mg.l<sup>-1</sup> TP popisuje Coldebella a kol. (2018).

Rozpuštěná forma fosforu P<sub>rozp.</sub>, též publikována jako P-PO<sub>4</sub> byla v podstatě konstatní během všech fází výlovu rybníků vzhledem k průměrné koncentraci 0,03–0,06 mg.l<sup>-1</sup> u všech rybníků. S našim měřením jsou obdobné Boyd a Schwartz (1994), kteří naměřili na jedné straně přibližně desetkrát nižší průměrný obsah 0,001 mg.l<sup>-1</sup> P-PO<sub>4</sub> během počáteční fáze jejich výlovu (do 48 hodin lovení) a na druhé straně zhruba 10 vyšší hodnotu 0,12 mg.l<sup>-1</sup> P-PO<sub>4</sub> během závěrečné fáze jejich výlovu (po 96 hodinách). Velice zanedbatelnou hodnotu 0,008 mg.l<sup>-1</sup> rozpuštěné formy fosforu popisuje také Strouhal (2015). Tyto explikační rozdíly je možné vytvélit rozdílným způsobem výlovu a složení rybníční vody a hospodařením, jelikož v rybnících zkoumaných Boydem a Schwartzem (1994) byly ryby (sumečci se žaludkem a kyselou fází trávení) krmeny krmnou směsí (lepší stravitelnost živin), která přes metabolické pochody ryb přechází do vody v podobě rozpuštěných forem fosforu, zatímco v námi sledovaných rybnících jsou ryby (kapři se zásaditým pH ve střevech) pouze



přikromovány (obilím, jenž jeví P a N málo stravitelné) a tím je v pravém slova smyslu inhibován přísun množství fosforu do ryb ve prospěch sedimentu a vody rybníků. S ohledem na biomasu sumecků v rybnících sledovaných Boydem a Schwarzem (1994) a obvyklou biomasou ryb námi sledovaných rybníků mohla být aktivita prímárních producentů (řas, sinic) v průběhu chovu vyšší (lepší světelné podmínky). Tím docházelo k lepšímu využití a potřebě dostupných forem živiny k primární produkci. S naší průměrnou hodnotou P-PO<sub>4</sub> jsou takřka synonymní průměrné výsledky 0,04 mg.l<sup>-1</sup> P-PO<sub>4</sub> Pechara (2015) a velice blízká je také hodnota 0,07 mg.l<sup>-1</sup> Coldobella a kol. (2018), jelikož tito autoři popisují sledování na rybnících s obdobnou technologií chovu ryb a podmínkami s rybničním chovem v ČR, narozdíl od Boyda a Schwartze (1994) s intenzivním chovem sumecků. O polovinu nižší hodnoty rozpuštěné formy fosforu 0,22 a 0,04 mg.l<sup>-1</sup> zaznamenali Poštulková a kol. (2013) ; Baxa a kol. (2017). V podstatě ještě nižší hodnoty 0,092 - 0,1 mg.l<sup>-1</sup> rozpuštěné formy fosforu popisuje Hartman (1992) jako obvyklou hodnotu během září – října v rybnících.

Průměrná koncentrace celkového organického uhlíku (TOC) v odtékající vodě z rybníka byla 25,14±7,55 mg.l<sup>-1</sup> při našem měření během fáze noc před výlovem. Postupně se s dalšími fázema průměrná koncentrace TOC zvyšovala a to: ráno před výlovem 30,44±12,47 mg.l<sup>-1</sup> ; těsně před výlovem 51,25±18,43 mg.l<sup>-1</sup> ; výlov 362,22±312,37 mg.l<sup>-1</sup> ; hodina po výlovu 1 053,33 ± 1 628,80 mg.l<sup>-1</sup>. Hodnoty koncentrace 30,44 a 51,25 mg.l<sup>-1</sup> TOC během rána před lovem a těsně před lovem v podstatě potvrzují hodnoty, které zjistil Nosek (1942) 29 ; 34 a 54 mg.l<sup>-1</sup> TOC při rozborech rybniční vody. Tyto hodnoty potvrzuje též Baxa a kol. (2017) s průměrnou hodnotou 46 mg.l<sup>-1</sup> TOC. Coldobella a kol. (2018) zaznamenal nejnižší hodnotu TOC 19,25 mg.l<sup>-1</sup>, jež je takřka o čtvrtinu nižší, nežli námi vysledovaná průměrná hodnota během fáze před lovem.

Strmý, dá se říci 7 násobný průměrný nárůst hodnoty koncentrace TOC byl naměřen během následné fáze samotného výlovu rybníka. V tomto bodě je podstatné zmínit paradoxní rozdíly koncentrace TOC mezi jednotlivými námi sledovanými rybníky. Na některých rybnících byly zaznamenány nízké koncentrace 120 ; 140 ; 160 mg.l<sup>-1</sup> TOC (Brdský, Ouhlín, Mokrá, Podsilniční), kdy tyto hodnoty jsou paradoxně velmi blízké výsledkům z pozorování Coldobella a kol. (2018) s maximální hodnotou 104,7 mg.l<sup>-1</sup> TOC. Oproti tomu takřka 9 násobně vyšší koncentrace 1 100 mg.l<sup>-1</sup> TOC byla zjištěna u rybníka Pláňavy. Přesto naše nejvyšší hodnota koncentrace TOC 1 100 mg.l<sup>-1</sup> je poněkud nižší, oproti 8 krát vyšší průměrné hodnotě 8 100 mg.l<sup>-1</sup> TOC, kterou ve svém

člátku popisují Baxa a kol. (2017) ; Potužák a kol. (2017). Během fáze hodina po výlovu byla průměrná hodnota  $1\ 053,33\ \text{mg.l}^{-1}$  s nejvyšší hodnotou  $5\ 300\ \text{mg.l}^{-1}$  TOC u rybníka Novokoželský 2016 a nejnižší hodnoty 110 a  $130\ \text{mg.l}^{-1}$  u rybníků Mokrý a Vrbice. Průměrná hodnota TOC napříč všemi fázemi a rybníky byla spočtena na  $323,81 \pm 858,04\ \text{mg.l}^{-1}$ .

Koncentrace TIC (anorganické formy uhlíku) byla během našeho sledování následující dle fází: noc před výlovem  $27,67 \pm 5,31\ \text{mg.l}^{-1}$  ; ráno před výlovem  $30,44 \pm 12,47\ \text{mg.l}^{-1}$  ; těsně před výlovem  $38 \pm 11,9\ \text{mg.l}^{-1}$  ; výlov  $95 \pm 79,55\ \text{mg.l}^{-1}$  ; hodina po výlovu  $194,50 \pm 213,18\ \text{mg.l}^{-1}$ . S naší průměrnou hodnotou TIC  $95\ \text{mg.l}^{-1}$  nesouhlasí výsledek Coldobella a kol. (2018), jelikož zaznamenali průměrnou hodnotu  $24,68\ \text{mg.l}^{-1}$  TIC, s maximální hodnotou  $49,2\ \text{mg.l}^{-1}$  TIC, který je však pouze poloviční ve srovnání s naší průměrnou hodnotou. Baxa a kol. (2017) ; Potužák a kol. (2017) ve svých studiích na Horusickém rybníce naměřili hodnotu TIC podstatně vyšší  $500\ \text{mg.l}^{-1}$ , což je přibližně 2 a půl krát vyšší hodnota oproti našemu průměrné výsledku hodinu po výlovu. Společný znak vysokých koncentrací při fázi hodina po výlovu a vysoké koncentrace popisované Baxou a kol. (2017) a Potužákem a kol. (2017) je struktura vodného vzorku, jelikož při fázi hodina po výlovu voda ve stoce připomínala spíše vzorek vodnatého sedimentu, který pro tuto analýzu hodnotili právě tito autoři.

Celková hmotnost uhlíku ve vzorku TC byla během prvních 2 fází pozorování z pohledu průměrných hodnot téměř shodná s koncentracemi  $57 \pm 1,63\ \text{mg.l}^{-1}$  a  $59,75 \pm 5,67\ \text{mg.l}^{-1}$ . Poněkud vyšší byla průměrná hodnota koncentrace těsně před výlovem s hodnotou  $86,25 \pm 15,37\ \text{mg.l}^{-1}$ . Exponencionálně tato hodnota rostla v další fázi vlastního výlovu s průměrnou koncentrací  $572,50 \pm 375,99\ \text{mg.l}^{-1}$  a gradovala při fázi hodina po výlovu s průměrnou hodnotou  $952,50\ \text{mg.l}^{-1}$ . S průměrnými koncentracemi během prvních 2 fází našeho sledování se ztotožňují hodnoty Baxy a kol. (2017); Potužák a kol. (2017) koncentrace TC  $59\ \text{mg.l}^{-1}$  v odtokové vodě při výlovu Horusického rybníka.

Koncentrace vápníku z hlediska průměrných hodnot byla během prvních tří sledování v naší studii dá se říci totožná s nepatrným kolísáním s průměrnými hodnotami  $44,00 \pm 2,16$  ;  $41,25 \pm 6,06$  ;  $44,5 \pm 6,18\ \text{mg.l}^{-1}\ \text{Ca}^{2+}$ . Pechar (2015) svým sledováním zjistil zhruba poloviční průměrnou hodnotu  $28,6\ \text{mg.l}^{-1}\ \text{Ca}^{2+}$  během analýzy dat hydrochemických parametrů rybníků na třeboňsku a blatensku. Dá se říci, že šesti násobné zvýšení průměrné koncentrace  $245 \pm 110,11\ \text{mg.l}^{-1}\ \text{Ca}^{2+}$  nastalo při vlastním výlovu rybníků a o pár jednotek vyšší byl gradient průměrné hodnoty hodinu po výlovu

s hodnotou koncentrace  $256,75 \pm 189,76 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Ca}^{2+}$ . Během analýzy odtékající vody ze zachyceného sedimentu popisovaného Baxou a kol. (2017) ; Potužákem a kol. (2017) byla zaznamenána průměrná hodnota  $99,5 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Ca}^{2+}$ , což je zhruba 1,5krát nižší hodnota oproti našemu měření při výlovu rybníků a hodinu po výlovu rybníka: Avšak Skerman a kol. (2006) zaznamenali průměrnou hodnotu  $98 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Ca}^{2+}$  při výlovu rybníků. Tyto zjištění mohou poukazovat na možnou souvislost s navázání vápenatých iontů na sedimentující látky, které během našeho měření se stávaly součástí odebírané vody, zatímco u těchto autorů zůstaly „zachyceny“ v geotextilním vaku.

Průměrná hodnota koncentrace železa se během fáze noc před výlovem a ráno před výlovem držela na poměrně stejné hodnotě s koncentracemi  $2,20 \pm 0,99$  a  $4,13 \pm 2,52 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Fe}$ . Těsně před vlastním výlovem se průměrná koncentrace železa zvýšila na hodnotu  $16,98 \text{ mg.l}^{-1}$ . Velmi výrazně se koncentrace zvýšila při výlovu na hodnotu koncentrace  $645 \text{ mg.l}^{-1}$  a nepatrně poněkud klesla hodinu ve fázi „po výlovu“ na koncentraci  $536 \text{ mg.l}^{-1}$ . Baxa a kol. (2017) ; Potužák a kol. (2017) zaznamenali hodnotu železa  $1,8 \text{ mg.l}^{-1}$  v Horusickém rybníce (výměra 415 ha), která s touto dá se říci nízkou hodnotou blízce koresponduje pouze s našimi průměrnými hodnotami během fáze noc před výlovem.

### **Obsah živin v sedimentu**

Během našeho sledování byl provedený rozbor sedimentu, který se zachytil v námi postavených slaměných hrázkách.

Průměrná hodnota TN zjištěná v námi posuzovaných zachycených sedimentech byla  $9\,228,57 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Tato hodnota je v podstatě zlomková v porovnání s hodnotou  $500 \text{ mg.l}^{-1}$ , kterou v sedimentu naměřili Baxa a kol. (2017) ; Potužák a kol. (2017). Ovšem z dat Potužáka a kol. (2015) vychází průměrná hodnota TN  $9\,700 \text{ mg.kg}^{-1}$  sedimentu, která je blízce korespondující s naší hodnotou. S naší studií a s daty Potužáka a kol. (2015) se však neztotožňují data, jež prezentuje Krejčí (2015) s max. hodnotou TN  $4\,246 \text{ mg.kg}^{-1}$  sedimentu.

Obsah celkového fosforu TP v námi odebíraných sedimentech byl vyhodnocen s obsahem  $1\,828 \text{ mg.kg}^{-1}$ . S touto hodnotou velice blízce koreluje průměrná hodnota koncentrace TP  $2\,000 \text{ mg.kg}^{-1}$  ze studie Potužáka a kol. (2015). Zhruba o polovinu nižší obsah TP ve srovnání s naším zjištěním a výsledky Potužáka a kol. (2015) prezentuje Krejčí (2015) s obsahem TP  $1\,065 \text{ mg.kg}^{-1}$  sedimentu. Kopp a kol. (2019) zaznamenali

při rozboru rybníčního sedimentu hodnotu pouze 303,9 mgTP.kg<sup>-1</sup> sedimentu

Obsah celkové hmotnosti uhlíku v sedimentech Baxa a kol. (2017) ; Potužák a kol. (2017) zaznamenali s hodnotou 17 200 mg.kg<sup>-1</sup>, což je v podstatě jen desetina množství, které jsme z rozboru sedimentu zjistili v naší studii s hodnotou 91 000 mg.kg<sup>-1</sup> TC. Tento nepoměr může být daný rozdílným složením odebraného vzorku sedimentu.

Obsah celkového organického uhlíku byl v námi odebraných vzorcích sedimentu 81 570 mg.kg<sup>-1</sup> a to je desetinásobně vyšší výsledek, než popisují Baxa a kol. (2017) ; Potužák a kol. (2017). s hodnotou 8 100 mg.l<sup>-1</sup> TOC. Tento nepoměr je daný tím, že naše data jsou udávána ze sušiny (tím je živina koncentrovanější v objemu), oproti datům autorů, kteří vykazují koncentraci ze zvodnělého sedimentu.

Hořčík se v sedimentech vyskytoval s průměrnou koncentrací 6 500 mg.kg<sup>-1</sup>, námi prezentovaná hodnota vypadá vcelku extrémně oproti datům, jež ze zvodnělých sedimentů publikují Baxa a kol. (2017) ; Potužák a kol. (2017) 140 mg.l<sup>-1</sup> a také Skerman a kol.(2006) s průměrným obsahem s Mg<sup>2+</sup> 103 mg.l<sup>-1</sup>.

Draslík z námi odebraného sedimentu byl obsažen v průměrné koncentraci 2 900 mg.kg<sup>-1</sup>, což je stejně jako u parametrů TC, TOC, Mg v negativní konvergenci vzhledem k analýze ze zvodnělého sedimentu Baxy a kol. (2017) ; Potužáka a kol. (2017) s hodnotou 94 mg.l<sup>-1</sup>. Potužák a kol. (2015) však zaznamenali takřka dvojnásobnou hodnotu draslíku v sedimentu s obsahem draslíku 5 700 mg.kg<sup>-1</sup>. Ovšem velice zajímavé je zjištění Skermana a kol. (2006), jelikož ve zvodnělém sedimentu naměřili 1 020 mg.l<sup>-1</sup> draslíku, což je vzhledem ke trendu 1:10 u předešlých parametrů zajímavé. Je možné, že obsah draslíku může být závislý na zcela jiných sloučeninách oproti např. hořčíku.

Vápník se v námi odebraných sedimentech vyskytoval s průměrným obsahem 9 971,43 mg.kg<sup>-1</sup> s velice podobnými průměrnými výsledky vápníku v sedimentech 11 450 mg.kg<sup>-1</sup> přichází Potužák a kol. (2015). Baxa a kol. (2017) ; Potužák a kol. (2017) ve zvodnělém sedimentu našli obsah vápníku 570 mg.l<sup>-1</sup>, což je zlomkové množství v poměru s naším a Potužákovým a kol. (2015) prezentovaným množstvím.

## **Retence živin**

Údaje o retenci živin jsou velice podstatné. Pro lepší hospodaření s živinami v zemědělské krajině, je nutné znát, kolik je možné zachytit a využít živin při vypouštění rybníků. V současné době je však velice málo zdrojů, z nichž lze tato data čerpat (Drózdž a kol. 2020).

Průměrná retence TP v našem sledování při průchodu vody přes hrázky dosáhla velice vysoké úrovně 69,2 %, což je pouze o 2 % nižší retence, oproti retenci 71,97 % popisovanou Zhou a kol. (2011) se zdržením 8 hodin na rýžovém poli. Při našem sledování byl zvolený klíčová minimální doba zdržení na alespoň 30 minut, což je podstatně kratší doba.

Průměrná retence další základní živiny TN (celkového dusíku) byla v námi reportované studii zaznamenána na poněkud nižší úrovni oproti fosforu, a to pouze 25,2 %. Zhou kol. (2011) svojí retencí 65,23 % téměř 3 krát předčili námi zjištěný výsledek. Dusíkaté látky mohou být lépe zachytávány v porostu rýže, kam tito autoři nechávali rozlévat vodu při studiu dané hypotézy.

## 6. Závěr

Na základě zkušeností při ověřování je možné tuto technologii doporučit spíše pro menší rybníky s výměrou do 10 ha. Prostor kolem stoky pod rybníkem by měl být mírně svažité. Terén kolem stoky by měl být přístupný pro mechanizaci (bez stromů a únosný terén). Odtoková stoka by neměla mít silně zabahněné „měkké dno“, jelikož je to prostor pro rizikové podtékání barier. Jako ideální hloubky stoky lze uvést 50–60 cm. Velmi výhodný je kolem stoky potenciál pro rozlití vody na okolní pozemky. Podstatné je pamatovat na skutečnost, že rybník nesmí být součástí vydatného vodního toku, bez možnosti regulace odtoku (problémy s naředěním a vypláchnutí sedimentu).

Barieru je vhodné postavit z balíků sena/slámy. Takové balíky by měly být co nejméně slisované, aby jen držely tvar (nižší hmotnost a lepší tvarování). Pro základní spodní řadu balíků lze doporučit několik balíků namočit 12–24 hod. před vlastní instalací ve stoce (neopomenouti fixaci balíků – riziko odplavání). Barieru se osvědčilo stavět ze dvou řad balíků se vzájemným překrytím míst styku. Maximálně barieru vystavět do 1,2 m (3 řady balíků nad sebou). V této výšce je možné barieru udržet pomocí jednoduchých fixačních prvků. Pro fixaci balíků se osvědčilo použití propichovacích trnů ve tvaru T. Při jejich zatlačování a vytahování je menší riziko poranění. Pro fixaci balíků je vhodné mít k dispozici, alespoň dvě velikosti fixačních trnů (na 1 balík 80 cm, na 3 balíky 160 cm). U vyšších hrází lze doporučit na vzdušné straně zapření opěrnou konstrukcí (ocelová klec). U mělkých stok je dobré vybudovat boční „křídla“, která nasměrují odtok vody do vegetačního krytu a tím se zvýší akumulovaný objem. Problematickému podtékání barier (stoka s měkkým dnem), je možné zamezit vystláním prostoru nad hrázkou jutovou tkaninou v délce min. 2–3 m.

Průtokem rybníční vody soustavou dvou dočasných barier dochází ke zlepšení její kvality. Statisticky byl prokázán rozdíl. Pokles nastal u všech sledovaných laboratorně analyzovaných parametrů mezi hodnotami na profilu A (pod hrází rybníka) a profilu B (pod druhou bariérou). Výjimkou byly hodnoty  $Fe_{rozp.}$  (neprokázaný rozdíl) a u  $P_{rozp.}$  došlo po průtoku bariérami ke zvýšení. V průběhu vypouštění vody a výlovu rybníků dochází k postupnému nárůstu koncentrací všech sledovaných parametrů. Jejich maximální hodnoty kulminují při samotném výlovu ( $BSK_5$ ,  $NL_{105}$ ,  $NL_{550}$ ,  $Fe$  a  $Fe_{rozp.}$ ) nebo ve fázi po výlovu ( $CHSK_{Cr}$ ,  $TN$ ,  $TP$ ,  $TOC$ ,  $TIC$ ,  $TC$ ,  $KNK_{4,5}$ ,  $Ca$ ). Tyto parametry jsou obvykle mnohonásobně vyšší při srovnání „noc před výlovem“. Snížení koncentrací průtokem

vody přes bariery (během fází výlov a po výlovu) je poměrně vysoké, v průměru nad (-50 %). U některých parametrů bylo dosahování snížení koncentrace nad (-90 %).

Celkem bylo na všech sledovaných rybnících odtěženo 252 m<sup>3</sup> sedimentu o teoreticky spočtené hmotnosti 504,9 tun (surový stav). To představuje v průměru 9 834 kg.ha<sup>-1</sup> zachyceného sedimentu. V zachyceném sedimentu bylo odtěženo celkem 1 015, 89 kg celkového dusíku (22,3 kg.ha<sup>-1</sup>), 206,04 kg celkového fosforu (4,47 kg.ha<sup>-1</sup>), 294,11 kg celkového draslíku (6,56 kg.ha<sup>-1</sup>), 1 097,92 kg celkového vápníku (23,58 kg.ha<sup>-1</sup>) a 10 108,63 kg.ha<sup>-1</sup> celkového uhlíku (220,69 kg.ha<sup>-1</sup>). Průměrné množství vytěženého fosforu ze sedimentu 4,47 kg.ha<sup>-1</sup>, je shodná s odtěžením fosforu obsádkou ryb v biomase 527 kg.ha<sup>-1</sup>. Veškerý odtěžený sediment včetně balíků slámy z barier byl umístěn zpět do rybníků.

Z pohledu provozu barier z balíků slámy je vhodné doporučit kontinuální (plynulé) vypouštění vody při vypouštění rybníků. Při strojení se vyhýbat extrémním stavům odtoku vody (zastavení vody/maximální průtok vody). Nečekaným efektem instalace hrázek se ukázala možnost zachycení plevelných ryb, zejména střevličky východní v prostoru barier.

## 7. Seznam použité literatury

- Adámek, Z., Helešic, J., Maršálek, B., Rulík, M., 2014. Aplikovaná hydrobiologie. JU České Budějovice, fakulta Rybářství a ochrany vod, Vodňany, 350 s.
- Adámek, Z., Maršálek, B., 2013. Bioturbation of sediments by benthic macroinvertebrates and fish and its implication for pond ecosystems. *Aquaculture international*. 21: 1 – 17 pp.
- Adámek, Z., Helešic, J., Maršálek, B., Rulík, M., 2008. Aplikovaná hydrobiologie. VÚRH JU Vodňany, 256 s.
- Axler, R.P., Tikkanen, C., Henneck, J., Schuldt, J., McDonald, M.E., 1997. Characteristics of effluent and sludge from two commercial rainbow trout farms in Minnesota – *Prog. Fish – Cult.* 59: 161 – 172.
- Babuška, V., Mužík, M. *Mineralogie, Petrografie a Geologie*. Praha, SNTL, 1981, 472 s.
- Banas, D., Masson, G., Leglize, L., Pihan J – C, 2002. Discharge of sediments, nitrogen (N) and phosphorus (P) during the emptying of extensive fishponds: effect of rain-fall and management practises. *Hydrobiologia*, 472: 29 – 38.
- Barchánek, M. 2009. Co je to bahno. *Odpadové fórum* 6, s. 25
- Boyd, C. E., Trucker, C, S., 1998. *Pond aquaculture water quality management*. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, 700 pp.
- Boyd, C.E., (1978). Effluent from Catfish Ponds during Fish Harvest. *J. Environ.Qual.* (7) 1:59-62.
- Boyd, C. E., Scarsbrook, E. 1974. Effect of agricultural limestoe on phytoplankton communities of fish pond. *Archiv fur Hydrobiologia* 74: 336-349.
- Bureau, D.P., Gunther, S.J., Cho, C.Y., 2003. Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario – *N.Am. J. Aquacult.* 65: 33 – 38.
- Butz, I., 1988. Situation of fish – farm effluents in Austria. *Monistettuja Julkaisuja (Helsinki)* 47: 4 – 12 s.
- Coldebella, A., Gentelini, A.L., Piana, P.A., Coldebella, P.F., Boscolo, W.R., Feiden, A., 2018. Effluent from Fish Farming Ponds: A view from the Perspective of Its Main Components. *Sustainability*, 1 - 16 s.



Ćirić, M., Subakov – Simić, G., Dulić, Z., Bjelanović, K., Čičovački, S., Marković, 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, 777 – 788 s.

Čašek, J., 2016. Zdroje sedimentu v nádrži, In: V. David a T. Davidová (Editor), *Sborník příspěvků z odborné konference „Rybníky 2016“*. 23. a 24.6. 2016. Praha, Česká společnost krajinných inženýrů, Praha: pp 139 – 144. ISBN 978-80-01-05978-4

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

Čítek, J., Krupauer, V., Kubů, F., 1998. *Rybníkářství*. Informatorium, Praha, 306s.

d'Orbcastel, E.R., Blacheton, J.P., Boujard, T., Aubin, J., Moutounet, Y., Przybyla, C., Belaud, A., 2008. Comparison of two methods for evaluating waste of a flow-through trout farm – *Aquaculture*: 274, 72 – 79.

Danner, C., 2011. The importance of nutrient management in ponds. *Aquatics*, 33, 2 – 9 s.

Drózd, D., Malińska, K., Kacprzak, M., Mrowiec, M., Postawa, P., Stachowiak, T., 2020. Potential of fish pond sediments composts as organic fertilizers. *Waste and Biomass Valorization*, 2020.

Dulić, Z., Subakov – Simić, G., Ćirić, M., Relić, R., Lakić, N., Stanković, M., Marković, Z., 2010. Water quality in semi-intensive carp production system using three different feeds, *Bulg. J. Agric. Sci.*: 16, 266 – 274 s.

Duras, J., Potužák, J., 2016. Je vůbec možné, aby byla v rybnících čistá voda ?, *Fórum ochrany přírody*, 3: 33 – 37 s.

Duras, J., Potužák, J., Marcel, M., Pechar, L., 2015. Rybníky a jakost vody, *Vodní hospodářství* 7: 16 – 24.

Duras, J., Potužák, J., 2012. Látkové bilance fosforu v produkčních a rekreačních rybnících. *Vodní hospodářství* č. 6, 210 – 216 s.

Dyk, Podubský, Štědrónský. 1956. *Základy našeho rybářství*. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. 495 s.

Dyk A., Dyk V. 1947. *Rybářství*. Zemědělské knihkupectví A. Neubert v Praze. 225 s.

Egert J., Hartman P., Štědrónský E. 1984. *Rybářství*. Státní zemědělské nakladatelství. 326 s.

Fiala, D., Rosendorf, P., 2012. Plošné zdroje fosforu v povodí VN Orlik. *Vodní hospodářství*, č. 7, 199 – 202 s.

- Foller, J., 2012. Snižování odtokových koncentrací fosforu v boji proti eutrofizaci toků je i u malých ČOV akceptovatelným, snadno a jednoduše řešitelným požadavkem. *Vodní nádrže 2012*, Brno, Kosour D. (editor), 63 – 37 s.
- Gergel, J., Čížek, V., Janeček, M., Kolář, L., Kronika, V., Nietscheová, J., Tippl, M., Váška, J., Vojtěch, V., 1995. Těžba a využití sedimentů z malých vodních nádrží. *Metodika 18/1995*. 1 vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 23 s.
- Gergel, J., Husák, Š., 1995. Revitalizace vodních nádrží. *Metodika 22/1995*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 32 s.
- Gergel, J., 1986. Ochrana krajinného prostředí pomocí malých vodních nádrží a zásady pro jejich zřizování a provoz. Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, 42 s.
- Hardy, R. W., Gatlin D. M., 2002. Nutritional Strategies to Reduce Nutrient Losses in Intensive Aquaculture, *Avances en Nutrición Acuicola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. Cancún, Quintana Roo, Mexico, 24 – 34 s.
- Hargreaves, J.A., 1998. Nitrogen biochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*, 166, 181 – 212 s.
- Hartman, P., Regenda, J., 2014. *Praktika v rybníkářství*. Vodňany. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Frov JU.
- Hartman P., 2012. Model výživy rybníční biocenózy s ohledem na celkový fosfor, *Sborník referátů z konference Chov ryb a kvalita vody, Rybářské sdružení České republiky, České Budějovice, Urbánek M.* (editor), 33 – 48 s.
- Hartman, P., Příkryl, I., Štědranský, E., 2005. *Hydrobiologie III. přepracované vydání Informatorium*, Praha, 335 s.
- Hartman, P., 2004. Šetrný způsob vápnění rybníků. *Edice metodik VÚHR Vodňany č. 73*, 12 s.
- Hartman, P., Příkryl, I., Štědranský, E., 1998. *Hydrobiologie II. přepracované vydání Informatorium*, Praha, 235 s.
- Horáková, M., 2003. *Analytika vody. 2. vydání. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha*, 335 s. ISBN 80-7080-520.
- Hušek - Šrámek R., 1946. *Úvod do limnobiologie*. Kropáč a Kucharský. Praha, 211s.

Heise, S., 2007 Editor. Sustainable Management of Sediment Resources: Sediment risk management and communication. Elsevier, 292 s. ISBN 978-0-444-51965-8.

Hejzlar, J., Šámalová, K., Boers, K., Kronvang, B., 2006. Modelling phosphorus retention in lakes and reservoirs. *Water Air Soil Pollut Focus* 6: 487 – 494.

Hejný a spol. (2002) Zvyšování úrodnosti hnojením a příkrmování ryb spojené s vápněním rybníků zaváděné na konci 19. století se projevilo zejména stabilizací a mírným zvýšením rybí produkce. Monitoring eroze zemědělské půdy. Závěrečná zpráva. Kapička J., Novotný I., Žížala D. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. 2018, PRAHA

Hlaváč, D., Adámek, Z., Hartman, P., Másílko, J., 2014. Effects of supplementary feeding in carp ponds on discharge water quality: a review, *Aquaculture International*: 22 (1), 299 – 320 s.

Hlaváč, D., Hartman, P., Adámek, Z., Másílko, J., Bláha, M., Pechar, L., Baxa, M., 2013. Vliv příkrmování kapra obilnými krmivami na kvalitu vody a bilanci živin, Sborník referátů z konference Chov ryb a kvalita vody II, Rybářské sdružení České republiky, Česká Budějovice, Urbánek (editor), 21 – 30 s.

Cho, C.Y., Bureau, D.P., 2001. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquac. Res.*, 32, 349–360 s.

Janah, P., Watanabe, T., Satoh, S., Kiron, V., 2001. Effect of dietary fish meal levels on environmental phosphorus loading from carp culture. *Fisheries Sci.*, 66, 204–210 s.

Janeček, M., a kol.. *Základy erodologie*, 2008. Praha: Česká zemědělská univerzita, 172 s. ISBN 978- 80-213-1842-7.

Jelínek, P., Koudelka, K., 2003: *Fyziologie hospodářských zvířat*. 1. vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 414 s.

Jiménez – Montealegre, R., Avnimelech, Y., Verreth, J. A. J., Verdegem, M. C. J., 2005. Nitrogen budget and fluxes in *Colossoma macropomum* ponds, *Aquaculture Research*: 36, 8 – 15 s.

Jirásek, J., Mareš, J., Zeman, L., 2005. *Potřeba živin a tabulky výživné hodnoty krmiv pro ryby*, MZLU v Brně, 68 s.

Jůva, K. Hrabal, A., Pustějovský, R. 1980. *Malé vodní nádrže*. Státní zemědělské nakladatelství v Praze, 280 s

Kaushik R., Chakraborty H. 2014. A comprehensive account on nutrients involved in pond fish farming. *International journal of Research in Fisheries and Aquaculture*, 150 – 155 s. ISSN 2277 – 7729.

Kaushik, S.J., 1995. Nutrients requirements, supply and utilization in the context of carp culture., *Aquaculture*, 129, 225 – 241 s.

Knösche R. K., Schreckenbach K., Pfeifer M., Weissenbach H., 2000. Balances of phosphorus and nitrogen in carp ponds, *Fisheries Management and Ecology*: 7 (1-2), 15-22 s.

Knösche R. K., Schreckenbach K., Pfeifer M., Weissenbach H., 1998. Phosphor und Stickstoffbilanzen von Karpfenteichen. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 7, p 181 – 189.

Kubík, L., 2009. Monitoring rybníčních a říčních sedimentů, průběžná zpráva 1995- 2008. In: Poláková, Š. *Monitoring rybníčních a říčních sedimentů, průběžná zpráva 1995-2008*. Brno : Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, Odbor bezpečnosti krmiv a půdy, s. 18. Dostupné z WWW: Slavík, L. *Biotechnické úpravy v krajině. Ústí nad Labem, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí*, 2000, 225 s

Kvítek, T., Tolasz, R., Tachecí, P., Doležal, F., Fuksa, P., Hakl, J., Hrevušová, Z., Svobodová, M., Šantrůček, J., Skalická, J., Vojar, J., Bauer, M., Dostál, T., Jáchymová, B., Krása, J., Šanda, M., Šeda, S., Mazín, V., Forejt, K., Goldsteinová, D., Krátký, M., Liška, M., Nietcheová, J., Soukupová, K., Metelková, A., Bičík, I., Hložek, M., Jánský, B., Langhammer, J., Šefrna, L., Štych, P., Vvlček, L., Tesař, M., Dobiáš, J., Fadrhonsová, V., Lachmanová, Z., Lochamn, V., Helebrandová, K., Duffková, R., Fučík, P., Kaplická, M., Konečná, J., Kulhavý, Z., Pelíšek, I., Zajíček, A., Brom, J., Bystřický, V., Šír, M., Březina, K., Homolová, A., Lexa, M., Kraus, J., Vašák, J., Pivokonský, M., Reháček, Š., 2018. Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. *Povodí Vltavy, státní podnik*. 487 s. INSB: 978-80-270-5244-8

Lall. S.P., 1991. Ontario, Canada. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. In: *Nutritional strategies and aquaculture waste. Proceedings of the first international symposium on nutritional strategies in management of aquaculture waste*. University of Guelph, 21 – 36 s.

Lellák, J., Kubíček, F., 1991. *Hydrobiologie*. Karolinum, Praha, 260 s.

Kostomarov B. 1958. *Rybářství. Československá akademie zemědělských věd*. 353 s.

Kopp, R., Musilová, B., Radojič, M., Grmela, J., 2019. Rybníční sediment – odpad nebo hnojivo ? In: *Rybníky 2019: sborník příspěvků odborné konference*. 1. vyd. Praha: ČVUT, s. 71 – 79. ISBN 978-80-01-06595-2

Kopp, R., 2015. Hydrochemie nejen pro rybáře. Mendelova univerzita v Brně, 120 s. ISBN 978-80-7509-352-3

Krása, J., Rosendorf, P., Hejzlar, J., Borovec, J., Dostál, T., David, V., Ansorge, L., Duras, J., Janotová, B., Bauer, M., Strouhal, L., Vrána, K., Fiala, D., 2013. Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy, Praha, ČVÚT, Fakulta stavební

Kuzněcov, S.I. 1952. Rol mikroorganizmov v krugovorotě vešceřtv v ozerach. Izd. A. N. SSSR, Moskva.

Kwei Lin, C., Shrestha, K. M., Yang Yi, Y., Diana, J. S., 2008. Management in minimize the environmental impacts of pond effluent: harvest draining techniques and effluent quality. Aquaculture engineering (25), 125 – 135.

Kwei Lin, C., Yang Yi, Y., 2003. Minimizing environmental impacts of freshwater aquaculture and reuse of pond effluents and mud. Aquaculture 226: 57 – 58.

Máchová, J., Faina, R., Mráz, J., Picková, J., Valentová, O., Beránková, P., Sudová, E., Svobodová, Z., 2010. Vliv intenzity rybářského hospodaření na kvalitu vody v rybnících a kvalitu masa ryb. Bulletin VÚRH Vodňany 46: 19-30.

Malý, O., Zugárková, I., Mareš, J., Poštulková, E., 2019. Fytázy ve výživě kapra. Sborník příspěvků odborné konference konané v Českých Budějovicích, 5. ročník., 25 – 32 s.

Marval, Š., Zajíček, A., Hejduk, T., Dušková, K., Tomek, M., Vybíral, T., 2019. Kvalita rybníčních sedimentů v zemědělsky využívaném povodí. Koferencie sedimenty vodných tokov a nadrží. 20 pp. Dostupné na: [http://www.vuvh.sk/Documents/konferencie/sedimenty\\_vodnych\\_tokov\\_a\\_nadrzi\\_2019/Prezentacie/3\\_Marval%20a%20kol.pdf](http://www.vuvh.sk/Documents/konferencie/sedimenty_vodnych_tokov_a_nadrzi_2019/Prezentacie/3_Marval%20a%20kol.pdf)

Mikšíková, K., Dostál, T., Vrána, K., Rosendorf, P., 2011. Transport sedimentu a fosforu při výlovu malých vodních nádrží. Vodní hospodářství (6), 203 – 208 s.

Mizanur R., Yakupitiyage A., and Ranamukhaarachchi S.L., 2004. Agricultural use of fishpond sediment for environmental amelioration. Thammasat Int. J. Sci. Technol., 9(4)

Mlejnková, H., Horáková, K., 2009. Vliv aplikace statkových hnojiv na fekální znečištění rybníků, Vodní hospodářství: 59 (6), 11 – 14 s.

Muendo, P. N., Verdegem, C. J. M., Stoorvogel J. J., Milstein, A., Gamal, E., Duc, P.M., Verreth J. A. J, 2014. Sediment Accumulation in Fish Ponds; It's potential for Agricultural Use. *International Journal of Fisheries and Aquatic studies*. 1 (5): 228- 241.

Nosek, A. 1941. *Akvárium a jeho zařízení*, Praha. I. L. Kober, 64 s.

Pasák, V. a kol.. 1984. *Ochrana půdy před erozí*, Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 164 s.

Pechar, L. 2015. Století eutrofizace rybníků – synergický efekt zvyšování zátěže živinami (fosforem a dusíkem) a nárůstu rybích obsádek. *Vodní hospodářství*. 2 – 19.

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.

Pitter, P., 1999. *Hydrochemie*. 3. vyd. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 568 s. ISBN 80-7080-340-1.

Pitter, P., 2009. *Hydrochemie*. 4. vyd. Vydavatelství VŠCHT. Praha, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.

Pochon, J., Barjac, H., 1960. *Počvonnaja mikrobiologia*. Izd. Innostr. Lit., Moskva.

Poštulková E., Kopp R. (2013) *Chemické složení rybníční vody při vypouštění rybníka*. Mendelova univerzita v Brně. 62 s.

Potužák, J., Duras J. 2018. Co jsme se naučili z látkových bilancí rybníků. *Sborník příspěvků z konference RYBIKON 2018. Rybářská a ichtyologická konference Brno 10. – 11. 10. 2018.* 10 – 11 s.

Potužák J., Duras J., Drozd B., 2017. Mass balance of fishponds: are they sources or sinks of phosphorus? *Aquaculture International*. Published on-line: 08/11/2016. DOI 10.1007/s10499-016-0071-4.

Potužák, J., Duras, J., Kropfelová, L., Šulcová, J., Baxová Chmelová, I., Benedová, Z., Svoboda, T., Novotný, O., Pokorný, J., 2016. Rybníční sedimenty a nové možnosti recyklace živin a organických látek v zemědělské krajině – příkladová studie Horusický, In: V. David a T. Davidová (editoři), *Rybníky 2016 – Sborník příspěvků odborné konference konané 23. a 24.6. 2015*, ČZU Praha, 174 – 183 s.

Potužák J., Duras J. (2015) *Retence živin v rybnících jako účinný nástroj pro zlepšení kvality vody v povodí, Rybníky – naše dědictví i bohatství pro budoucnost*, Praha, ČVUT, Fakulta stavební

Przybyl, A., 1999. *Technological processes of fish feeds production (in Polish)*. Zaklad Upowszechniania Postepu IRŚ Olsztyn.

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

Rocha, J., Kočí, V., 2015. Critical review of phosphorus problematic in Europe: Nutrient and pollutant, *Vodní nádrže 2015*, Brno. Povodí Moravy, s.p., Kosour D.(editor), 88 – 91 s.

Rodehutsord, M., Mandel, S., Pfeffer, E., 1994. Reduced protein content and use of wheat gluten in diets for rainbow trout: effects on water loading N and P. *J. Appl. Ichtyol.*, 10, 271 – 273.

Rysgaard, S., Risgaard-Petersen, N., Sloth, N.P., Jensen, K., Nielsen, L.P., 1994. Oxygen regulation of nitrification and denitrification in sediments. *Limnology oceanography*, 39, 1643 – 1652 s.

ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. *Koloběh křemíku*. From *Encyklopedie hydrobiologie : výkladový slovník* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z [www: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-006/ebook.html?p=K009>](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=K009)

Schwartz F. M., Boyd E. C., 1994. Effluent quality during harvest of channel catfish from watersheed ponds. *The progressive fish -culturist* 56: 25 – 32 s.

Skerman, A., Kunde, T., Biggs C. 2006. Nutrient composition of dairy effluent ponds. Final report to Subtropical dairy south-east queensland subregional team. 33 pp. Dostupné na: [http://dairyinfo.biz/wp-content/uploads/2014/11/Dairy\\_effluent\\_pond\\_report\\_Final.pdf](http://dairyinfo.biz/wp-content/uploads/2014/11/Dairy_effluent_pond_report_Final.pdf)

Sklenička, P., 2003. *Základy krajinného plánování*. Praha: Nakladatelství - Naděžda Skleničková, 321s., ISBN: 80-903206-1-9.

Stegman, K., 1973. Vápnění kaprových rybníků – překlad. *Československé rybníkářství*, 4, 6–12 s.

Stibranyiová, I., Adámek, Z., 1998. The impact of winter storage of live carp on discharge water quality. *J. Appl. Ichtyol.*, 14, 91–95 s.

Strouhal J., 2015. Vliv příkrmování tržního kapra obilnými krmivy na kvalitu vody. *Bakalářská práce*. JU České Budějovice, 51 s.

Šafaříková, S., Kouřil, J., 2006. Dusík, fosfor, živiny v krajině. In: Hrázský, Z., Šafaříková, S. (Edt.), *Živiny v krajině: dusík, fosfor, eutrofizace půdy a vody, indikace dusíku*. DAPHNE ČR – Institut aplikované ekologie, s. 3 – 6.

- Šálek, J., 1996. Vliv malých vodních nádrží na kvalitu vody v povodí. In: Povrchové vody a pozemkové úpravy. Kutná Hora
- Štěrbá O. 1986. Pramen života. Panorama. 221 s.
- Teodorowicz, M., 2013. Surface water quality and intensive fish culture, Arch. Pol. Fish. 21, 65 – 111 s.
- Thomas, S.L., Piedrahita, R.H., 1998. Apparent ammonia-nitrogen production rates of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) in commercial aquaculture systems. Aquacult. Eng., 17, 45 – 55 s.
- Valentová, O., Máchová, J., Faina, R., 2012. Vliv intenzity rybářského hospodaření na kvalitu vody v rybnících. Bulletin VÚRH 48, Vodňany. s. 21 – 30.
- Vallod D., Sarrazin, B., 2010. Water quality characteristics for draining and extensive fish farming pond. Hydrol. Sci. J. 55 (3): 394 – 402 s.
- Vinberg, G.G., Ljachnovič, V.M., 1976. Udobrenie prudov. Izd. pišč. prom., Moskva, 172 s.
- Vojtěch, V. 1997. Odbahňování a ozdravení rybníků, možnosti využití vytěžených sedimentů. Sborník referátů. XI. Limnologická konference. Limnologický výzkum pro rozumnější hospodaření s vodou. 214 – 217. Limnologická konference 29.9 – 3.10.1997 v Doubí u Třeboně.
- Vojtěch, V., 1996. Metodická příručka pro obnovu a odbahňování rybníků a předzdrží. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. 31 s. ISBN: 80-85900-16-5
- Vojtěch, V., 1995. Význam rybníků v hydrosféře, problémy s jejich současným stavem a možnosti jejich ozdravení. In: Obnova, zakládání a údržba rybníků: sborník konference. 1 vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 118 s.
- Všetičková, L., Adámek, Z., Rozkošný, M., Sedláček, P., 2013. Změny kvality vody po pětiku rybníky, Sborník referátů z konference Chov ryb a kvalita vody II, Rybářské sdružení České Republiky, České Budějovice, Urbánek, M. (Editor), 35 – 42 s.
- Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2011. Příručka ochrany proti vodní erozi. MZe, Praha. 56 s.
- Westrich, B., Förstner, U., 2007 Sediment Dynamics and Pollutant Mobility in Rivers. New York, Springer, 430 s.



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, *Limnologica*: 43, 210 – 218 s.

Wood, C.M., 1993. Amonia and urea metabolism and excretion. In: Evans, D.H., (Editor), *The physiology of fishes*, CRC Press, Boca Raton, 379 – 425 s.

WFD, 2000. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/EU ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

## 8. Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá ověřením možností efektivního zachytávání sedimentů a živin z vody odtékající při výlovech rybníků. Zachytávání bylo testováno pomocí soustavy dvou barier z organického materiálu, jež měly za úkol dočasně vzdout vodu ve stoce a tím prodloužit dobu zdržení vody za účelem sedimentace částic. Sledování kvality vody bylo provedeno na osmi rybnících v Jihočeském kraji, které obhospodařuje rybářství Blatenská ryba, s.r.o.

Sledovány byly tyto parametry: Nerozpuštěné látky 105; 550, celkový a rozpuštěný fosfor, celkový dusík, celkový uhlík, celkový organický uhlík, BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Cr</sub>, vápník, hořčík, draslík, železo celkové a rozpuštěné. Veškeré vzorky byly odvezeny pro zpracování v laboratořích státního podniku Povodí Vltavy v Českých Budějovicích. Vyhodnocení probíhalo na základě porovnání obsahu živin v odebíraných vzorcích vody a sedimentu na profilech pod hrází (profil A) a pod druhou barierou (profil B).

Průtokem vody přes dvě dočasné bariery docházelo ke zlepšení kvality vody. Statisticky byl prokázán pokles téměř u všech sledovaných parametrů. Rozdíl mezi hodnotami koncentrace na profilu A pod rybníkem a pod druhou barierou (profil B) se nepotvrdil pouze u Fe<sub>rozp.</sub> a u P<sub>rozp.</sub>, kdy došlo k navýšení jejich koncentrace. Při vypouštění vody z rybníka a při samotném výlovu došlo k nárůstu všech sledovaných parametrů. Maximální hodnoty koncentrací byly zjištěny při výlovu u BSK<sub>5</sub>, NL<sub>105</sub>, NL<sub>550</sub>, Fe a Fe<sub>rozp.</sub>. Po výlovu byly zjištěny maximální koncentrace u parametrů CHSK<sub>Cr</sub>, TN, TP, TOC, TIC, TC, KNK<sub>4,5</sub>, Ca. Maximální hodnoty během výlovu jsou způsobeny aktivním pohybem ryb, lidí v lovišti a také plašením ryb, zátahy sítěmi, zvedáním podložní sítě a jadřením. Průtokem přes bariery se dosáhlo snížení koncentrací v odtékající vodě až o 50 %. U některých parametrů (TP) bylo dosaženo retence až 90 %. Dle těchto zkušeností by měla být snaha hospodářících subjektů o zachytávání živin zejména od začátku výlovu až po uzavření výpusti a zastavení odtoku vody, kdy je možné jejich únik do povodí podstatně eliminovat.

Průměrně bylo zachyceno 9 834 kg.ha<sup>-1</sup> sedimentu (v surovém stavu). V tomto množství sedimentu bylo odtěženo 1015,89 kg TP (22,3 kg.ha<sup>-1</sup>), 206,04 kg TP (4,47 kg.ha<sup>-1</sup>), 294,11 kg K (6,56 kg.ha<sup>-1</sup>), 1 097,92 kg Ca (23,58 kg.ha<sup>-1</sup>) a 10 108,63 kg

celkového uhlíku ( $220,69 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). V zachyceném sedimentu bylo průměrně obsaženo  $4,47 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  P.

Rozpuštěný fosfor je klíčovým parametrem v rámci problému eutrofizace. Výsledky analýz vody však ukázaly, že výlov rybníka není tak závažným problémem z pohledu rozpuštěného fosforu. Během výlovů majoritně převažovala vázaná forma fosforu s podílem v průměru 99 %.

Výsledky by měly posloužit k rozvoji technologie zachytávání sedimentu a živin v odtékající vodě při výloveh rybníků. Bariéry z organického materiálu jsou schopny retence a sedimentace živin z odtékající vody z rybníků. Tím je možné docílit zlepšení kvality vypouštěné vody při výloveh rybníků.

Klíčová slova: výlov rybníka, kvalita vody, sedimenty, živiny, odtok z rybníků, fosfor, dusík,

## Abstract

This diploma thesis tries to verify the possibilities of effective retention of sediments and nutrients from the run-off water during harvesting of ponds. Retention was tested using a system of two barriers made of organic material looking to temporarily count down water in the drains and extend the water residence time to sediment the particles. Monitoring of water quality was demonstrated on eight ponds in the South Bohemian Region, which manages fisheries company the Blatenská ryba, s.r.o.

The following parameters were monitored: Undissolved substances  $105; 550$ , total and dissolved phosphorus, total nitrogen, total carbon, total organic carbon,  $BOD_5$ ,  $COD_{Cr}$ , calcium, magnesium, potassium, large iron and dissolved. Water samples were processed in the laboratories of the state enterprise Povodí Vltavy in České Budějovice. Evaluation of results based on the evaluation of nutrient content in water and sediment samples on the profile under the dam (profile A) and under the other barrier (profile B).

The flow of water over two hundred barriers increased the water quality. There was a statistical decrease earlier in all monitored parameters. The difference between the values of the values on profile A under the pond and under the other barrier (profile B) was not confirmed only in  $F_{dissolve}$  and at  $P_{dissolve}$ , at any time to increase their concentration. During the discharge of water from the pond and during the actual fishing of water to increase all monitored parameters. The highest values of concentrations were found at the end of  $BOD_5$ ,  $US_{105}$ ,  $US_{550}$ , Fe and  $Fe_{dissolve}$ . The highest values during fishing are caused by the active movement of fish, people in catch basin and with the crawling of fish, the pulling of the net, the lifting of the roofs of the net and the core. By flowing through the barriers, the concentration in the effluent water was reduced by up to 50%. Retention of up to 90% was possible for individual parameters (TP). According to these experiences, the efforts of operators should be to capture nutrients, especially from the start of fishing to the start of discharge and stopping the outflow of water, when it is possible to significantly eliminate their leakage into the basin.

On average,  $9,834 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  of sediment (in the raw state) was published. In this amount of sediment,  $1015.89 \text{ kg}$  of total nitrogen ( $22.3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  $206.04 \text{ kg}$  of total phosphorus ( $4.47 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  $294.11 \text{ kg}$  of potassium ( $6.56 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  $1,097.92 \text{ kg}$  calcium ( $23.58 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) and  $10,108.63 \text{ kg}$  received ( $220.69 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). The perceived sediment contained an average of  $4.47 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  phosphorus.

Dissolved phosphorus is a key parameter in the problem of eutrophication. The results of the water do not show that the catch of the pond is not such a serious problem in terms of dissolved phosphorus. During catches, the bound form of phosphorus predominated, with a share of 99% .

The results, according to the objectives, can be used to capture the technology of sedimentation and nutrients in the run-off water when fishing ponds. Barriers made of organic material are able to retain and sediment nutrients from running water from ponds. This makes it possible to improve the quality of water discharge when fishing for ponds.

Key words: pond fishing, water quality, sediments, nutrients, outflow from ponds, phosphorus, nitrogen,