

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**  
**ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

**Katedra Rybářství**

---

**Studijní program:** M4101 Zemědělské inženýrství

**Studijní obor:** Rybářství

**Vyhodnocení účinnosti mechanického  
a nitrifikačního biologického filtru při  
provozu recirkulačního systému s  
intenzivním chovem ryb.**

Vedoucí diplomové práce:  
doc. Ing. Jan Kouřil, Ph.D.

Autor diplomové práce:  
Karel Olbert

---

2008

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vyhodnocení účinnosti mechanického a nitrifikačního biologického filtru při provozu recirkulačního systému s intenzivním chovem ryb vypracoval samostatně na základě vlastních zjištění a materiálů, které uvádím v seznamu použité literatury.

V Českých Budějovicích 27.4. 2008

Karel Olbert

## Poděkování

Děkuji doc. Ing. Janu Kouřilovi, Ph.D. za ochotu, pomoc a odborné vedení při vypracování méj diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vlastimilu Stejskalovi a Ing. Jitce Hamáčkové za pomoc při realizaci pokusu.

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karel OLBERT**

Studijní program: **M4101 Zemědělské inženýrství**

Studijní obor: **Rybářství**

Název tématu: **Vyhodnocení účinnosti mechanického a nitrifikačního biologického filtru při provozu recirkulačního systému s intenzivním chovem ryb.**

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

Cílem práce je vyhodnotit účinnost mechanického válcového a nitrifikačního ponořeného biologického filtru při provozu recirkulačního systému s intenzivním chovem okouna říčního krmeného granulovaným krmivem.

Metodický postup spočívá v odběrech celodenních (odebíraných ve 2 h intervalech) slévaných vzorků na několika bodech recirkulačního systému (na vstupu a na výtoku z mechanického filtru, na vstupu a na výtoku z biologického filtru, na přítoku do odchovných nádrží s rybami a na odtoku z nich. Měření a odběry budou rovněž prováděny na přítoku doplňkové vody do systému a odtoku prací vody z filtrů. Na uvedených místech bude pomocí oximetru měřen obsah ve vodě rozpuštěného kyslíku a teplota vody a odebrány vzorky vody na stanovení hodnoty pH, obsahu amoniaku, dusitanů, dusičnanů a chemické spotřeby kyslíku).

Měření budou doplněna o spotřebu kyslíku a exkreci amoniaku odchovávaných různých velikostí ryb v jednotlivých nádržích. Hodnoceny budou změny obsahu kyslíku, hodnoty pH, koncentrace obsahu amoniaku, dusitanů, dusičnanů a hodnoty chemické spotřeby kyslíku jednak chovem ryb, jednak účinkem mechanické a biologické filtrace.

Sledování bude prováděno na recirkulačním systému v experimentální odchovně VÚRH JU ve Vodňanech v rámci řešení nového výzkumného záměru VÚRH JU a projektu NAZV.

Rozsah grafických prací: 10 - 15 tabulek a grafů  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

Timmons, M.B. et al. 2002. Recirculating aquaculture systéme. 2nd Edition. NRAC Publiation, 769 s.

Stupka, Z., Kouřil, J., Hamáčková, J., Bolha, P., Lepič, P. 2006. Oxygen consumption and total ammonium nitrogen (TAN) excretion in brook trout *Salvelinus fontinalis* in low temperatures. Sborník (CD-ROM) AQUA 2006, p. 482.

Stupka, Z., Kouril, J., Valentova, O., Hamackova, J., Lepic, P. Ekskrecia ammiacného azota (TAN) u molodi sevrjugi (*Acipenser stellatus*) i sterljadi (*A. ruthenus*) pri različnych temperaturach vo vremaj intensivnogo vyraščivaniya. Sb. The 4th International Scientific-and-Practical Conference Sturgeon aquaculture: Achievments and prospects for development (March 13-15, 2006, Astrakhan, Russia), Moscow, VNIRO Publ., p. 55-57.


Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jan Kouřil, Ph.D.  
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Datum zadání diplomové práce: 20. ledna 2006  
Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2008

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13  
370 05 České Budějovice

  
prof. Ing. Magdalena Hrabánková, CSc.  
děkanka

L.S.

  
doc. Ing. Petr Hartvich, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 23. března 2006

## OBSAH

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 1. ÚVOD.....                                            | 8  |
| 2. LITERÁRNÍ PŘEHLED.....                               | 10 |
| 2.1. Okoun říční.....                                   | 10 |
| 2.1.1. Systematické zařazení.....                       | 10 |
| 2.1.2. Popis.....                                       | 10 |
| 2.1.3. Zbarvení.....                                    | 11 |
| 2.1.4. Ploutevní vzorec.....                            | 11 |
| 2.1.5. Pohlavní dvojtvárnost.....                       | 11 |
| 2.1.6. Karyotyp.....                                    | 11 |
| 2.1.7. Stanoviště.....                                  | 11 |
| 2.1.8. Chování.....                                     | 11 |
| 2.1.9. Potrava.....                                     | 12 |
| 2.1.10. Rozmnožování.....                               | 12 |
| 2.1.11. Růst.....                                       | 13 |
| 2.1.12. Význam.....                                     | 13 |
| 2.2. Základní parametry kvality vody.....               | 14 |
| 2.2.1. Teplota.....                                     | 14 |
| 2.2.2. Rozpuštěný kyslík.....                           | 16 |
| 2.2.3. Dusík a jeho sloučeniny.....                     | 18 |
| 2.2.3.1. Dusík.....                                     | 20 |
| 2.2.3.2. Amoniak/dusitany/dusičnany.....                | 20 |
| 2.2.3.3. Amoniak.....                                   | 21 |
| 2.2.3.4. Dusitany.....                                  | 23 |
| 2.2.3.5. Dusičnany.....                                 | 23 |
| 2.2.4. pH.....                                          | 24 |
| 2.2.5. Alkalita.....                                    | 25 |
| 2.2.6. Fosfor.....                                      | 26 |
| 2.2.7. CHSK.....                                        | 26 |
| 2.3. Akvakultura.....                                   | 26 |
| 2.4. Trendy v akvakultuře.....                          | 27 |
| 2.5. Změny kvality vody v recirkulačních systémech..... | 27 |
| 2.6. Recirkulační systém.....                           | 28 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.6.1. Odchovné nádrže.....                                                | 30 |
| 2.6.2. Mechanická filtrace.....                                            | 31 |
| 2.6.3. Biologická filtrace.....                                            | 33 |
| 2.6.3.4. Nitrifikace.....                                                  | 33 |
| 2.6.3.5. Denitrifikace.....                                                | 36 |
| 2.6.4. Odplynění.....                                                      | 37 |
| 2.6.5. Aerace a oxygenace.....                                             | 37 |
| 2.6.5.1. Aerace.....                                                       | 37 |
| 2.6.5.2. Oxygenace.....                                                    | 38 |
| 2.6.6. Desinfekce.....                                                     | 38 |
| 3. MATERIÁL A METODIKA.....                                                | 40 |
| 4. VÝSLEDKY.....                                                           | 44 |
| 4.1. Výměna vody a bilance dusíku v jednotlivých částech systému.....      | 44 |
| 4.2. Sledování změn chemických parametrů vody v recirkulačním systému..... | 45 |
| 4.3. Kumulace vybraných parametrů ve vodě recirkulačního systému.....      | 49 |
| 4.4. Spotřeba kyslíku okounem říčním.....                                  | 52 |
| 4.4.1. Spotřeba kyslíku u nekrmené obsádky okouna říčního.....             | 52 |
| 4.4.2. Spotřeba kyslíku u krmené obsádky okouna říčního.....               | 56 |
| 4.5. Exkrece amoniaku okounem říčním.....                                  | 60 |
| 4.5.1. Exkrece amoniaku u nekrmené obsádky okouna říčního.....             | 60 |
| 4.5.2. Exkrece amoniaku u krmené obsádky okouna říčního.....               | 64 |
| 5. DISKUZE.....                                                            | 68 |
| 6. ZÁVĚR.....                                                              | 71 |
| 7. SUMMARY.....                                                            | 72 |
| 8. SEZNAM LITERATURY.....                                                  | 74 |
| 9. PŘÍLOHY.....                                                            | 79 |

## **1. ÚVOD**

V současnosti představuje intenzivní chov ryb v recirkulačních systémech významnou alternativu tradičních rybníkářských akvakultur. Recirkulační systémy umožňují vysokou produkci ryb i na relativně malém prostoru s nízkou potřebou přítokové vody a na druhé straně produkují jen velmi malé množství silně koncentrované odpadní vody oproti klasickým technologiím. Tyto faktory zajišťují recirkulačnímu systému takřka nezávislost na vnějším prostředí.

Při využití řady intenzifikačních prvků lze zde realizovat produkci různých druhů ryb, nebo jiných vodních organismů (např. raků). Pro tento způsob produkce je charakteristická optimalizace podmínek prostředí (teplota, chemismus), výživy (výhradně plně hodnotnými krmnými směsmi) a krmné techniky při relativně rychlém růstu a nízkých ztrátách odchovávaných organismů. Na druhé straně jsou na tato zařízení kladeny vysoké nároky na využívanou techniku a technologickou provázanost, včetně zajištění vysoké spolehlivosti.

Vzhledem k relativně vyšším kapitálovým (investičním) i provozním nákladům jsou pro uvedený způsob chovu z ekonomických důvodů vhodnější ty druhy ryb, nebo jiných vodních organismů, které mají vyšší realizační cenu (sumec, sumeček, okoun, jeseteři, okrasné a akvarijní druhy ryb apod.). Další možností je sezónní využívání těchto systémů v kombinaci s rybníčním chovem (nabízí se např. u okouna či okrasných ryb), nebo využívání pro odchov raných stadií některých druhů požadujících vyšší teploty vody (východoasijské býložravé druhy ryb ap.), případně pro chov generačních ryb s cílem jejich řízené reprodukce v mimo sezónním období a využití v rybích líhních (jak pro přechovávání generačních ryb před výtěrem, vlastní inkubaci jiker, přechovávání plůdku v období endogenní výživy, případně krátkodobé rozkrmení plůdku před vysazením do rybníků apod.). Recirkulační systémy s různými stupni čištění se rovněž využívají v pěstírnách okrasných druhů ryb, včetně tropických. Významné je využívání recirkulačních systémů, včetně vysoce výkonných zařízení pro úpravu kvality vody (včetně její průhlednosti) ve výstavních akváriích (jež se postupně začínají budovat i u nás) a oceáních (s mořskou vodou). Významné využití recirkulačních systémů je i ve výzkumu, nejen pro potřeby produkčního rybníkářství, ale z celé řady jiných důvodů (výzkum chování, výživy, testování produkční účinnosti krmiv, studium růstu a ontogenetického vývoje, průběhu onemocnění a léčení chorob aj.). Vzhledem k minimálním požadavkům na doplňování čerstvé vody, lze k tomuto účelu využívat bez



náročné úpravy zdroje kvalitní vody (hygienicky nezávadné, např. podzemní, nebo třeba i z vodovodní sítě), nebo s ohledem na relativně minimální spotřebu při použití zdroje méně vhodného (povrchové vody) zabezpečit jeho dostatečnou úpravu (desinfekce, eliminace nerozpuštěných látek, úprava teploty). Vzhledem k minimalizaci možností kontaminace odchovného prostředí původci onemocnění je do značné míry omezena i možnost vzniku různých onemocnění. Velmi významným faktorem, podporujícím rozvoj takovýchto chovů, je jejich šetrnost k okolnímu prostředí, vzhledem k eliminaci znečištění produkovaného rybami (produkty látkové výměny).

Tato diplomová práce bude v první řadě sledovat stěžejní parametry kvality vody v recirkulačním systému. Z hodnot naměřených v různých částech recirkulačního systému v experimentální odchovně VÚRH JU ve Vodňanech budou stanoveny účinnosti jednotlivých filtrů při odbourávání odpadních látek z vody zatížené intenzivním chovem okouna říčního. Dílčím cílem této práce je sledování spotřeby kyslíku a exkrece amoniaku, jak krmenou, tak i nekrmenou obsádkou okouna říčního chovaného v recirkulačním systému.

Výstupy z této práce by měly přispět k lepšímu poznání biologických a chemických pochodů odehrávajících se ve vodě při průtoku recirkulačním systémem.

## **2. LITERÁRNÍ PŘEHLED**

### **2.1. Okoun říční (*Perca fluviatilis*)**

#### **2.1.1. Systematické zařazení**

Podle (Baruše, Olivy a kol. 1995) řadíme okouna říčního do taxonomického systému následovně:

třída OSTEICHTYES - ryby

nadřád TELEOSTEI - kostnatí

řád PERCIFORMES - ostnoploutví

podřád PERCOIDES - okounovci

čeleď PERCIDAE - okounovití

podčeleď PERCINAE - okouni

rod *Perca* Linnaeus, 1758

Typ rodu: *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758

#### **2.1.2. Popis**

Na hlavě okouna jsou nápadné velké oči umístěné po stranách hlavy. Zrak je důležitým smyslem, protože okoun je ryba s denní až soumráchnou aktivitou a při pohybu a lovu potravy se orientuje převážně zrakem (Švátora, 1986). Tělo je vysoké, z boku stlačené, pokryté hřebenitými (ktenoidními) šupinami. Stupeň vyklenutí hřbetu je rozdílný podle lokalit. Na hřbetě jsou dvě ploutve. Operculum ošupené, s jedním plochým trnem, preoperculum je vzadu na vystupující části mírně ozubené, na spodním okraji s většími háčkovitými okraji (trny). Drobné zuby jsou uloženy v řadách na mezičelistní, zubní, radličné, patrových a vnějších křídlatých. Kostěných paprsků podepírajících žaberní blánu je 7. V první ploutvi je 12 - 17 trnů, v druhé 1 - 3 trny a 12 - 16 rozvětvených paprsků. Řitní ploutev je krátká, s dvěma trny a 7-10 rozvětvenými paprsky. Prsní ploutve jsou sblížené a jsou posunuty dopředu až téměř pod základnu prsních ploutví. Počet obratlů je 36 - 43 (Baruš, Oliva a kol., 1995; Heckel a Kner, 1858; Berg, 1948 - 1949). V systému postraní čáry je vytvořen jediný kanálek, který leží pod řadou šupin postraní čáry, jež mají otvory, kterými vlnění vody prostupuje k smyslovým buňkám (Švátora, 1986).

### 2.1.3. Zbarvení

Tělo je převážně žlutozelené až šedé, hřbet zelenočerný, boky jsou žlutavé až žlutohnědé s mosazným leskem, břicho bývá žlutavé, nebo bělavé. Na bocích těla 5 – 9 hnědých až hnědočerných příčných pruhů, nesestupujících hluboko na boky. Pruhy nejsou vždy zřetelné, někdy jsou jen naznačené; pokud jsou vytvořeny, mohou mít různou délku a někdy jsou i pospojovány do skvrn připomínajících tvar písmen „V“ či „Y“ (na jedné a též lokalitě můžeme nalézt u různých jedinců rozmanité typy tohoto pruhování). Přední hřbetní ploutev je šedá až hnědošedá, s výraznou černou skvrnou mezi posledními dvěmi až třemi ostny. Druhá hřbetní ploutev je žlutozelená, průhledná. Prsní ploutve jsou nažloutlé, břišní a řitní červené, ocasní červená. Zejména při okraji spodního laloku. Barva oční duhovky je oranžová (Baruš, Oliva a kol., 1995; Kroupa, 1889; Frič, 1859, 1908; Dyk, 1944, 1956).

### 2.1.4. Ploutevní vzorec:

D XII – XVI, D I – III, 12 - 16, A II, 7 – 10; v postraní čáře je 54 – 77 (79) šupin, nad ní je 7 – 12 a pod ní 12 – 18 řad šupin; žaberních tyčinek je 20 – 25 (26) (Baruš, Oliva a kol., 1995; Kroupa, 1889; Frič, 1908; Dyk 1944, 1956; Holčík a Hensel 1972).

**2.1.5. Pohlavní dvojtvárnost:** Není výrazněji vyvinuta. V období těsně před třením a při tření mají plné samice zvětšenou břišní dutinu a krátkou dobu po tření mají zvětšenou a rozšířenou urogenitální papilu (Baruš, Oliva a kol., 1995).

**2.1.6. Karyotyp:**  $2n = 48$ . Karyotyp je složen z 1 páru m, 14 párů srn, 5 párů st a 4 párů chromozomů; NF = 78. Jeden pár větších srn chromozomů nese na kratším raménku achromatickou oblast, kde je lokalizován organizátor jadérka (Baruš, Oliva a kol., 1995).

**2.1.7. Stanoviště:** Okoun říční obývá stojaté i tekoucí vody, žije v říčních ramenech, tůních, rybnících i v přehradních nádržích (Baruš, Oliva a kol., 1995). Často můžeme pozorovat okouny, jak jsou shromážděni poblíž zarostlých míst, ponořených větví, kořenů nebo skal. Můžeme je přilákat i ponořením větve nebo smrčku do vody. Zdržuje se obvykle při dně, při pronásledování malých rybek vystupuje k hladině (Švátora, 1986).

**2.1.8. Chování:** Okoun je stanovištní ryba, která se pohybuje většinou jen na malé vzdálenosti. Okouni tvoří hejna, která se za soumraku rozpadají a za svítání opět formují.

Aktivita okouna má obvykle dva vrcholy, jeden za svítání a druhý za soumraku. Častý způsob pohybu spočívá v prudkém střelovitém vyrážení kupředu, pak se náhle zastaví a znovu se dá do pohybu (Baruš, Oliva a kol., 1995). Alabaster a Robertson (1961) experimentálně ověřili v bazénech teorii, že okouni tvoří hejna až několika set jedinců, délkově a věkově rozvrstvená, která se za soumraku rozpadají a za svítání opět formují. Aktivita okouna má po většinu roku dva vrcholy a to ráno za svítání a před setměním (Černý, 1973; Alabaster a Scott, 1978; Craig, 1977) a míra aktivity je přímo závislá na teplotě (Hergenrader a Hesler, 1967; Craig, 1977). Švátora (1986) uvádí že okouni preferují teplotu 21 – 24°C.

**2.1.9. Potrava:** Potěr se živí drobnými planktonními koryši, později loví larvy hmyzu či potěr různých druhů ryb (Baruš, Oliva a kol., 1995). Pro počáteční rozkrmování je nutné zvolit vhodnou velikost částic, ta se podle Livertoux (1995) pohybuje okolo 0,2 až 0,4 násobku velikosti ústního otvoru. Potravu vzrostlých okounů tvoří hlavně ryby, běžný je i kanibalismus, přičemž podle Thorpeho (1974) potěr okouna jako potrava může tvořit během léta až 88,6% hmotnosti dospělých ryb. Roční spotřebu potravy uvádí Pivnička (1981), který tuto hodnotu udává v násobku hmotnosti těla. U pohlavně dospělých činí tento násobek 1,2 – 1,4 a u dospělých jedinců je 1,7 – 3,8. Potrava zachycená v ústní dutině postupuje přes hltan do jícnu a odtud do žaludku, který je dobře vyvinut. Na trávení potravy se kromě žaludku, kde působí v kyselém prostředí enzym pepsin, podílí i játra a slinivka břišní svými trávicími fragmenty (Švátora, 1986). Baruš, Oliva a kol. (1995) uvádí hodnoty žaludečních šťáv u okouna během trávení okolo pH 2 a vyšší aktivitu pepsinu u dravých ryb než u suchozemských organismů.

**2.1.10. Rozmnožování:** Samci okouna pohlavně dospívají již v prvním až třetím roce, samice ve druhém až čtvrtém roce života. V našich podmínkách probíhá tření od dubna do května. Okouni se většinou třou na mělčinách s tvrdým dnem (štěrk, písek) a podél břehů. Samice klade jikry v až dva metry dlouhých pentlicových pásech na kameny, ponořené větve, kořeny nebo vodní rostliny. Tření probíhá podle lokalit ve vodě s teplotou 5 – 19°C. Podle velikosti samice kolísá plodnost 950 – 300 000 jikrami (Baruš, Oliva a kol., 1995). Oplozené jikry mají průměr 1,7 – 2,0 mm (Bastl 1969) a jejich vývoj trvá většinou 14 – 17 dní. K líhnutí oplozených jiker dochází při teplotě 12°C za 14 – 15 dní, při teplotách pod 10°C až 16 – 33 dní (Swift 1965; Kokurewicz 1969).

**2.1.11. Růst:** Okoun říční potřebuje k dosažení tržní hmotnosti okolo 130 – 140 g přibližně 12 měsíců. Růst okouna nad uvedenou hranici je již pomalý a zhoršuje se i konverze krmiva. Z těchto důvodů není ekonomický odchov okouna do vyšších tržních velikostí (Hillermann 2002). Okoun dosahuje obvykle velikosti do 25 cm a 0,2 kg. Největší jedinci dosahují váhy až 3 kg při délce 0,5 m. Růst okouna na jednotlivých lokalitách uvádí tab.1. Nejvyšší zjištěné stáří bylo 19 let (Baruš, Oliva a kol., 1995).

Tab.1: Růst okouna říčního na vybraných lokalitách v ČR a SR

| Autor                  | Lokalita                       | n    | Délka těla v mm |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |
|------------------------|--------------------------------|------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|
|                        |                                |      | $l_1$           | $l_2$ | $l_3$ | $l_4$ | $l_5$ | $l_6$ | $l_7$ | $l_8$ | $l_9$ | $l_{10}$ | $l_{11}$ |
| Kirka (1964c)          | nádrž Orava                    | 205  | 50              | 77    | 97    | 112   | 138   | 148   | 161   | -     | -     | -        | -        |
| Švátora (1974b)        | Lipno                          | 1024 | 59              | 83    | 97    | 111   | 124   | 138   | 155   | 158   | -     | -        | -        |
| Švátora (1981a)        | Hamr                           | 470  | 61              | 89    | 113   | 134   | 158   | 180   | 204   | 213   | 222   | -        | -        |
| Švátora (1981a)        | Záskalská                      | 685  | 61              | 99    | 129   | 148   | 155   | 159   | 168   | -     | -     | -        | -        |
| Křížek (nepubl. údaje) | Hubenov                        | 670  | 67              | 92    | 112   | 132   | 149   | 167   | 181   | 193   | 205   | 220      | 224      |
| Švátora (1981a)        | Horka                          | 585  | 64              | 89    | 111   | 131   | 156   | 177   | 190   | -     | -     | -        | -        |
| Frank (1960a)          | Slapy                          | 76   | 64              | 100   | 132   | 167   | 205   | 239   | 264   | 300   | -     | -        | -        |
| Hlaváček (1983)        | Římov                          | 247  | 71              | 97    | 129   | 161   | 202   | 230   | 258   | 300   | -     | -        | -        |
| Švátora (1974a)        | Orlík                          | 52   | 75              | 109   | 129   | 148   | 170   | 182   | 200   | 215   | -     | -        | -        |
| Vostradovský (1962b)   | Mšeno                          | -    | 78              | 97    | 111   | 121   | 132   | 145   | -     | -     | -     | -        | -        |
| Kirka (1964c)          | Orava                          | 69   | 80              | 137   | 179   | 201   | 235   | 262   | 270   | 287   | -     | -        | -        |
| Holčík (1969c)         | Klíčava                        | 3858 | 82              | 115   | 136   | 149   | 161   | 173   | 202   | 235   | 266   | 278      | -        |
| Švátora (1981c)        |                                |      |                 |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |
| Pivnička (1982)        |                                |      |                 |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |
| Frank (1958 b)         | Máchovo jezero                 | 45   | 86              | 116   | 139   | 169   | 193   | 222   | 229   | 271   | 285   | -        | -        |
| Švátora (1981a)        | nádrž Jesenice                 | 48   | 88              | 128   | 170   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -        | -        |
| Švátora (1981a)        | Jevanské rybníky               | 715  | 65              | 105   | 136   | 160   | 174   | 200   | -     | -     | -     | -        | -        |
| Švátora (1981a)        | ryb. Velký Tisý                | 18   | 72              | 112   | 138   | 162   | 184   | 195   | 212   | 225   | -     | -        | -        |
| Frank (1958b)          | rašeliniště Olešná u Rakovníka | 6    | 69              | 81    | 93    | 109   | 123   | 133   | -     | -     | -     | -        | -        |

**2.1.12. Význam:** Okoun říční nám poskytuje velmi kvalitní maso, jehož složení je následující: bílkoviny 18,5%, tuk 0,7%, minerální látky 1,3% a voda 79,5%. Energetická hodnota je 3,4 joule/g (Švátora, 1986). V mnoha evropských zemích, jako jsou například Švýcarsko, Francie, Belgie a severní Itálie se v poslední době zvyšuje zájem o tržního okouna říčního, jehož maso je na trh dodáváno především ve formě chlazených filetů (Kouřil a kol., 2002). V současnosti se jen ve Švýcarsku spotřebuje 4000 tun filet z okouna říčního, což představuje spotřebu cca 12 - 15 000 tun živého okouna říčního (Fontaine, 2004). Kvalita a množství produkce tržního okouna je však výrazně ovlivněna klimatickými podmínkami a podmínkami dané lokality. Výsledkem je kvalitativně i kvantitativně nestálá produkce tržního okouna, která nepokrývá vysokou poptávku po

kvalitních jatečně opracovaných filetách okouna říčního v Evropě (Ashe, 1997).

Podle situační výhledové zprávy Sladkovodní ryby (2001) se v České republice roční produkce tržního okouna v rybnících členů Rybářského sdružení v posledních letech postupně zvyšovala ze 16 t v roce 1998 na 20 t v roce 2000, podíl okouna na celkové produkci tržních ryb v ČR činí ale zatím jen 0,13 – 0,15% (Kouřil a kol., 2002). V současné době již v některých zemích začaly fungovat první farmy s intenzivním chovem okouna říčního, které využívají plovoucí klece (Švýcarsko), průtočné systémy s říční vodou (Belgie) nebo průtočné systémy s oteplenou vodou (Francie). Ve Francii a Lucembursku probíhá odchov na recirkulačních systémech (Kouřil a kol., 2002).

## **2.2. Základní parametry kvality vody**

### **2.2.1. Teplota**

Teplota je jedním z významných ukazatelů jakosti a vlastností vody. Významně ovlivňuje chemickou a biochemickou reaktivitu i v poměrně úzkém teplotním rozmezí. Většina biochemických procesů probíhá při teplotách blížících se nule jen velmi zvolna (např. Nitrifikace). Teplota je nezbytná při stanovování biochemické spotřeby kyslíku, při hodnocení samočištění povrchových vod aj. Teplota například významně zvyšuje podíl toxického nedisociovaného amoniaku na celkové koncentraci amoniakálního dusíku. Tento podíl se v teplotním rozmezí 5°C až 25°C zvyšuje několikanásobně (Pitter, 1999).

Teplota vody je jedním z rozhodujících faktorů vnějšího prostředí. Má základní význam pro biologickou aktivitu ryb, tj. pro příjem a využití potravy, růst, reprodukci a podobně (Pokorný, 1998).

Ryby jsou tradičně děleny do tří skupin podle teplotních preferencí, studenomilné, chladnomilné a teplomilné. Studenomilné druhy preferují teplotu vody okolo 15°C (60°F), chladnomilné druhy teplotu mezi 15°– 20°C (60°– 68°F), teplomilné druhy nad 20°C (68°F). Toto ale není přesná definice, protože je několik dalších faktorů určujících teplotní snášenlivost ryb; ty zahrnují druh, věk, velikost a předchozí teploty, ve kterých ryba žila. Ryby jsou klasifikovány jako studenokrevné, nebo chladnokrevné, což znamená, že jejich tělesná teplota je stejná jako prostředí, které je obklopuje. Proto mají všechny druhy optimální rozsah teplot, při kterém dosahují maximálního růstu a horní a spodní limit, který již nemohou přežít. Tempo růstu se zrychluje se zvyšováním teploty až do dosažení teplotního optima. Nad optimální teplotou dochází ke zvýšení potřeby

energie na konverzi krmiva a další metabolické procesy s tím je spojená klesající návratnost. Při zvýšené teplotě nad optimum je také konverze krmiva nižší. Další zvýšení teplot nad optimum nepřináší žádný prospěch a mohou vzrůst až na letální úroveň. Teplotu vody v systému je třeba, jak je to jen možné, udržovat v optimu, tak zajistíme maximální růst a minimalizujeme stres (Timmons a kol., 2005).

Ryby postrádají kontrolu jejich tělesné teploty a ta pak záleží hlavně na prostředí. Změny teploty prostředí ovlivňují poměr biochemických reakcí ryb, které vedou k odlišnému poměru metabolismu a spotřeby kyslíku (Timmons a kol., 2005). K výkyvům teploty nesmí docházet náhle, aby nedošlo k tzv. teplotnímu šoku a poškození rybiho organismu, které často končí úhynem (Pokorný, 1998). K teplotnímu šoku může dojít při teplotním rozdílu větším než 12°C (Pitter, 1999).

Jakmile teplota vody roste, tak se ryby stávají aktivnější a spotřebovávají více rozpuštěného kyslíku a současně produkují více CO<sub>2</sub> a jiných produktů metabolismu, jako je amoniak. Takto roste poměr spotřeby nepostradatelných látek a produkce látek škodlivých, to může mít přímý efekt na zdraví ryb a jejich přežití, jestliže tyto parametry převyšují jejich přípustnou hodnotu. Když se hodnoty nacházejí mimo optimum, jsou ryby stresované. Nakonec i nízká úroveň stresu může nepříznivě dlouhodobě ovlivňovat obsádku ve formě snížení průměrného přírůstku, nebo zvýšit úmrtnost zapříčiněnou zvýhodněním oportunistických organismů oslabením stresovaných ryb (Timmons a kol., 2005).

Dlouhodobý teplotní režim ovlivňuje pohlavní dozrávání ryb. Pro dosažení pohlavní zralosti i dozrání pohlavních produktů je potřebná určitá suma teplot, která se vyjadřuje v denních stupních (d°) (Pokorný, 1998).

Tradičně se teplota měří jednoduchým rtuťovým teploměrem. Poslední dobou se ale od jejich použití upouští, vzhledem k značnému nebezpečí v případě rozbití (únik do prostředí, nebo dokonce chovných nádrží). Naštěstí dnes existuje spousta vhodných alternativních měřících přístrojů. Dnes už obsahují měřič teploty všechny oxymetry a přístroje na měření pH pro svou kalibraci (Timmons a kol., 2005).

**Význam teploty při nitrifikaci:** Teplota hraje významnou roli v reakční rychlosti nitrifikace stejně jako u všech ostatních chemických a biologických reakcí. Obecně se kinetika nitrifikační reakce řídí Arrheniovým vztahem, kdy pokles operační teploty o 10°C má za následek snížení rychlosti o 50%. Pro nitrifikaci se doporučují teploty v širokém rozmezí (Jones a Morita, 1985), což naznačuje jak jsou nitrifikační bakterie přizpůsobivé širokému okruhu teploty prostředí, když aklimatizace probíhá pozvolně.

Převáděno do praxe, teplota při které je biofiltr provozován se řídí potřebami chovaných druhů, nikoliv potřebami nitrifikačních bakterií (Timmons a kol., 2005).

### 2.2.2. Rozpuštěný kyslík

Ze všech jakostních parametrů vody je rozpuštěný kyslík nejdůležitější a nejvíce kritický parametr, vyžadující nepřetržité monitorování v intenzivních produkčních systémech. Příroda ukázala svůj smysl pro ironii, když se rozhodla, že saturační koncentrace rozpuštěného kyslíku by měla být nejvyšší při nízkých teplotách a nejnižší při teplotách vysokých. Tyto podmínky jsou přesným opakem toho co ryba vyžaduje pro základní látkovou výměnu a dobrou konverzi krmiva, která je nejvyšší při vyšších teplotách malá při teplotách nízkých (Timmons a kol., 2005). Při zvýšení teploty o 10°C vzroste intenzita metabolismu a tím i spotřeba kyslíku až trojnásobně. V těchto souvislostech pak může při zvýšeném příjmu potravy a vylučování dojít ke kyslíkovému deficitu, spojenému s úhynem ryb. Nasycení vody kyslíkem (v %) v závislosti na teplotě vody nám znázorňuje tab 2. (Pokorný, 1998).

Tab. 2 : Nasycení vody kyslíkem (v %) v závislosti na teplotě vody

| Teplota (°C) | Kyslík (mg.l <sup>-1</sup> ) |     |    |     |    |     |    |     |    |     |     |     |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
|--------------|------------------------------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
|              | 4                            | 4,5 | 5  | 5,5 | 6  | 6,5 | 7  | 7,5 | 8  | 8,5 | 9   | 9,5 | 10  | 10,5 | 11  | 11,5 | 12  | 12,5 | 13  | 13,5 | 14  | 14,5 | 15  |
| 1            | 28                           | 31  | 35 | 38  | 42 | 45  | 49 | 52  | 56 | 59  | 63  | 66  | 70  | 73   | 77  | 80   | 84  | 88   | 91  | 95   | 98  | 102  | 105 |
| 2            | 28                           | 32  | 36 | 39  | 43 | 47  | 50 | 54  | 57 | 61  | 65  | 68  | 72  | 76   | 79  | 83   | 86  | 90   | 94  | 97   | 101 | 105  | 108 |
| 3            | 29                           | 33  | 37 | 40  | 44 | 48  | 51 | 55  | 59 | 62  | 66  | 70  | 74  | 77   | 81  | 85   | 88  | 92   | 96  | 100  | 103 | 107  | 111 |
| 4            | 30                           | 34  | 38 | 41  | 45 | 49  | 53 | 57  | 61 | 64  | 68  | 72  | 76  | 80   | 83  | 87   | 91  | 95   | 99  | 103  | 106 | 110  | 114 |
| 5            | 31                           | 35  | 39 | 42  | 46 | 50  | 54 | 58  | 62 | 66  | 70  | 74  | 78  | 82   | 85  | 89   | 93  | 97   | 101 | 105  | 109 | 113  | 117 |
| 6            | 32                           | 36  | 40 | 44  | 48 | 52  | 56 | 60  | 64 | 68  | 72  | 76  | 80  | 84   | 88  | 92   | 96  | 100  | 104 | 108  | 112 | 116  | 120 |
| 7            | 32                           | 36  | 40 | 45  | 49 | 53  | 57 | 61  | 65 | 69  | 73  | 77  | 81  | 86   | 90  | 94   | 98  | 102  | 106 | 110  | 114 | 118  | 122 |
| 8            | 33                           | 37  | 42 | 46  | 50 | 54  | 58 | 63  | 67 | 71  | 75  | 79  | 84  | 88   | 92  | 96   | 100 | 105  | 109 | 113  | 117 | 121  | 126 |
| 9            | 34                           | 39  | 43 | 47  | 52 | 56  | 60 | 65  | 69 | 73  | 78  | 82  | 86  | 91   | 95  | 100  | 104 | 108  | 113 | 117  | 121 | 126  | 130 |
| 10           | 35                           | 39  | 44 | 48  | 53 | 67  | 61 | 66  | 70 | 75  | 79  | 84  | 88  | 92   | 97  | 101  | 106 | 110  | 115 | 119  | 123 | 128  | 132 |
| 11           | 36                           | 40  | 45 | 49  | 54 | 58  | 63 | 67  | 72 | 76  | 81  | 85  | 90  | 94   | 99  | 103  | 108 | 112  | 117 | 121  | 126 | 130  | 135 |
| 12           | 37                           | 41  | 46 | 50  | 55 | 60  | 64 | 69  | 74 | 78  | 83  | 87  | 92  | 97   | 101 | 106  | 111 | 115  | 120 | 125  | 129 | 134  | 138 |
| 13           | 38                           | 42  | 47 | 52  | 57 | 61  | 66 | 71  | 76 | 80  | 85  | 90  | 95  | 100  | 104 | 109  | 114 | 119  | 123 | 128  | 133 | 138  | 142 |
| 14           | 38                           | 43  | 48 | 52  | 57 | 62  | 67 | 72  | 76 | 81  | 86  | 91  | 96  | 100  | 105 | 110  | 115 | 120  | 125 | 129  | 134 | 139  | 144 |
| 15           | 39                           | 44  | 49 | 53  | 58 | 63  | 68 | 73  | 78 | 83  | 88  | 93  | 98  | 102  | 107 | 112  | 117 | 122  | 127 | 132  | 137 | 142  | 147 |
| 16           | 40                           | 45  | 50 | 55  | 60 | 65  | 70 | 75  | 80 | 85  | 90  | 95  | 100 | 105  | 110 | 115  | 120 | 125  | 130 | 135  | 140 | 145  | 150 |
| 17           | 41                           | 46  | 51 | 56  | 61 | 67  | 72 | 77  | 82 | 87  | 92  | 97  | 103 | 108  | 113 | 118  | 123 | 128  | 134 | 139  | 144 | 149  | 154 |
| 18           | 42                           | 47  | 52 | 57  | 63 | 68  | 73 | 78  | 84 | 89  | 94  | 100 | 105 | 110  | 115 | 121  | 126 | 131  | 136 | 142  | 147 | 152  | 157 |
| 19           | 42                           | 47  | 53 | 58  | 63 | 69  | 74 | 79  | 85 | 90  | 95  | 101 | 106 | 111  | 117 | 122  | 127 | 132  | 138 | 143  | 148 | 154  | 159 |
| 20           | 43                           | 48  | 54 | 59  | 65 | 70  | 76 | 81  | 86 | 92  | 97  | 103 | 108 | 114  | 119 | 125  | 130 | 135  | 141 | 146  | 152 | 157  | 163 |
| 21           | 44                           | 50  | 55 | 61  | 66 | 72  | 77 | 83  | 88 | 94  | 100 | 105 | 111 | 116  | 122 | 127  | 133 | 138  | 144 | 150  | 155 | 161  | 166 |

Ačkoliv vzduch který dýcháme obsahuje 21% kyslíku, kyslík je jen málo



rozpuštěný ve vodě. V důsledku toho musí vodní živočichové vynakládat velké množství energie na přijímání rozpuštěného kyslíku z vody, v porovnání s tím, kolik energie vynaloží na získávání kyslíku z ovzduší suchozemské druhy. Jak bylo již dříve zmíněno rozpustnost kyslíku se snižuje při zvyšování teploty a salinity. Také atmosférický tlak a nadmořská výška přímo ovlivňují koncentraci kyslíku (Timmons a kol., 2005).

Za normálních podmínek se kyslík do vody dostává především ze vzduchu. Nasycení vody kyslíkem tak nepřekročí 100%. K přesycení nad 100% dochází asimilační činností řas a vyšších rostlin (fotosyntéza) nebo přímým sycením vody kyslíkem (Pokorný, 1998). K čím větším dochází odchylkám od 100% nasycení, tím větší je množství organismů vyskytujících se ve vodě (Heteša a Kočková, 1997). Koncentrace kyslíku v čistých povrchových vodách odpovídá zpravidla nasycení 85% až 95%. Charakteristické je jeho kolísání v průběhu dne, kdy nejvyšších hodnot dosahuje v poledne, nejnižších brzy ráno (Grünwald, 1993). Dojde-li k porušení rovnováhy, to je stoupne-li množství kyslíku ve vodě nad nebo pod stupeň nasycení, dochází k pozvolnému vyrovnávání s atmosférou. Rychlost vyrovnávání je závislá na rozdílu hodnot nasycení, velikosti styčné plochy a rychlosti promíchávání vody a ovzduší (Heteša a Kočková, 1997).

Je těžké specifikovat kritickou koncentraci rozpuštěného kyslíku, protože reakce na nízkou hladinu rozpuštěného kyslíku je kontinuum fyziologických procesů. Tyto procesy jsou ovlivněny teplotou vody, koncentrací oxidu uhličitého a dalšími podmínkami prostředí. Také jsou ovlivněny délkou expozice, zdravím a velikostí ryb. To platí zejména pro menší ryby, které mají spotřebu kyslíku na hmotnostní jednotku vyšší (Pokorný, 1998). Obecně platí, že je teplá voda nejlepší pro krmení ryb, jejich rychlý růst a zdraví. Když se koncentrace rozpuštěného kyslíku drží zhruba nad 5 mg/l. Nicméně koncentrace rozpuštěného kyslíku vyšší než tato saturace, jak se zdá neposkytuje rybě žádný další prospěch. Žábry dokáží přenést do krve pouze omezené množství kyslíku a jsou velmi blízko, nebo na maximální schopnosti přenosu rozpuštěného kyslíku při doporučené koncentraci. Vyšší koncentrace kyslíku ve vodě nemá za následek zvýšení hladiny kyslíku v krevním řečišti (Timmons a kol., 2005). Obecně platí, že spotřeba kyslíku vzrůstá s teplotou, nakrmením, zvýšenou aktivitou a při onemocnění. S hmotností ryb spotřeba kyslíku v přepočtu na jednotku hmotnosti klesá (Pokorný, 1998).

Přítomnost či nepřítomnost rozpuštěného kyslíku je určujícím faktorem, zda budou ve vodě probíhat aerobní či anaerobní procesy. Dojde-li při aerobním rozkladu

organických látek – např. ve špatně aerovaných čistírnách odpadních vod – k jeho vyčerpání z okolní vody, počnou mikroorganismy provádějící rozklad získávat kyslík pro biochemickou oxidaci nejprve redukcí některých anorganických látek (např. dusičnanů) a po vyčerpání těchto zdrojů počnou redukovat látky organické. K tomuto přechodu dochází obvykle při poklesu obsahu kyslíku pod 2 mg/l (Heteša a Kočková, 1997).

Protože rozpuštěný kyslík se spotřebovává rozkladem organických látek, bývá ve vodách určených pro chov ryb stanovena limitní hodnota CHSK, BSK<sub>5</sub>, popř. TOC. Pro chov kaprovitých ryb se obvykle požaduje, aby CHSK<sub>Mn</sub> nepřesahovala asi 25 mg/l a BSK<sub>5</sub> 15 mg/l. Pro lososovité jsou tyto hodnoty CHSK<sub>Mn</sub> 10 mg/l a BSK<sub>5</sub> 5 mg/l (Pitter, 1999).

Kyslík se většinou ve vodě stanovuje za pomoci přenosné aparatury (oxymetru). Jsou běžně užívané dva typy elektrod: polarografická a galvanická. Pro běžné použití se tento přístroj skládá z elektrody, která produkuje signál úměrný koncentraci kyslíku ve vodě a vybavení pro převedení signálu do vizuální podoby zobrazené na displeji, nebo nahrávacím zařízení. Klasická polarografická elektroda se skládá ze zlaté a stříbrné elektrody. Elektrody jsou namočený do 4M KCL a oddělené od vzorku membránou obvykle zhotovenou z teflonu, polyetylenu, nebo fluoruhlíku. Membrána je propustná pro plyny a poměr v kterém prochází kyslík membránou je přímo úměrný koncentraci rozpuštěného kyslíku ve vzorku. Při použití elektrického napětí v sondě se molekuly kyslíku rozptylují napříč membránou a reagují s katodou (zlatý prsteneček) a slabě proudí k anodě (stříbro). V galvanickém systému, produkuje elektroda slabou voltáž (řádově mV) přímo úměrnou koncentraci kyslíku. Oba systémy požadují teplotu, tlak vzduchu a vyrovnanou salinitu, obvykle nastavenou serií kalibrací a hardwarovým a softwarovým vybavením (Timmons a kol., 2005).

**Význam při nitrifikaci:** Kyslík je často omezujícím faktorem biofiltrů, kvůli nízkým hodnotám v přítokové vodě a kompetici s heterotrofními bakteriemi. Pro oxidaci jednoho gramu amoniaku na dusitany je spotřeba 4,57 g kyslíku. Wheaton (1985) a Malone a kol. (1998) uvádí, že když voda na odtoku z biofiltru dosahuje minimálně 2 mg/L kyslíku je adekvátní udržovat maximální nitrifikaci (Timmons, 2005).

### 2.2.3. Dusík a jeho sloučeniny

Sloučeniny dusíku ve vodách mají mimořádný význam, protože se uplatňují při všech biologických procesech, probíhajících v povrchových, podzemních i odpadních vodách. Jsou závažnými kritérii jakosti vod (Heteša a Kočková, 1997).

Sloučeniny dusíku jsou ve vodách málo stabilní a podléhají v závislosti na oxidačně-redukčním potenciálu a hodnotě pH zejména biochemickým přeměnám (Pitter, 1999).

Dusík se vyskytuje ve vodách v různých oxidačních stupních, v iontové i neiontové formě. Distribuce jednotlivých forem je ovlivněna zejména biochemickými procesy probíhajícími ve vodách. Jde o tyto hlavní formy dusíku:

a) N elementární ( $N_2$ )

b) N anorganicky vázaný:

amoniakální dusík  $N-NH_4^+$  resp.  $N-NH_3$

dusitanový dusík  $N-NO_2^-$

dusičnanový dusík  $N-NO_3^-$

dusík umělého původu (kyanidy, kyanatany a thiokyanatany, vše v malých koncentracích)

c) N organicky vázaný

(Heteša a Kočková 1997)

Organicky vázaný dusík se ve vodách vyskytuje ve formě bílkovin a jejich rozkladných produktů (peptidů, aminokyselin), močoviny, alifatických a aromatických aminů, aminosacharidů, heterocyklických dusíkatých sloučenin apod., včetně dusíkatých látek vznikajících rozkladem biomasy mikroorganismů (Pitter, 1999).

Zastoupení jednotlivých forem dusíku ve vodě představuje jen momentální vnější vzhled dynamického procesu, během něhož přechází N z jedné formy do druhé. Hybnou silou jsou různé druhy bakterií a jejich enzymatický aparát (Heteša a Kočková, 1997).

Organické dusíkaté látky se rozkládají mikrobiální činností a dusík se obvykle uvolňuje deaminací jako dusík amoniakální. Naopak amoniakální dusík je pro organismy zdrojem pro syntézu nové biomasy. V anaerobních podmínkách se již amoniakální dusík dále nemění, avšak v aerobních podmínkách podléhá nitrifikaci až na dusičnany, které jsou konečným produktem oxidace organicky vázaného dusíku. V některých případech může být určitými bakteriemi a sinicemi přeměňován na organicky vázaný dusík i dusík molekulární. Hovoří se o tzv. fixaci dusíkem. Ve vodách však probíhá jen v malé míře (Pitter, 1999).

**Význam v recirkulačním systému:** V akvakulturním prostředí je dusík objektem primárního zájmu jako komponent odpadních látek vznikajících chovem ryb. Tady jsou čtyři primární zdroje dusíkových odpadů: urea, kyselina močová, a aminokyseliny

vyměšované rybami, organické zbytky z mrtvých a umírajících organismů, nezkonsumované krmivo, usazeniny, a plynný dusík z atmosféry. Ryby vylučují různé dusíkaté odpadní látky skrz žábry difuzí (žaberní výměna kladných iontů), močí a výkaly. Rozklad těchto dusíkových separací je zvláště důležitý v intenzivním recirkulačním akvakulturním systému (RAS) kvůli jedovatosti čpavku, dusitanů a v různém rozsahu dusičnany. Proces odbourání amoniaku biologickým filtrem je nazýván nitrifikací, a skládá se z oxidace amoniaku na dusitany a posléze dusičnany. Obrácený proces je nazýván denitrifikací, je to anaerobní proces kdy jsou dusičnany převedeny na plynný dusík. Ačkoliv se dnes ne úplně běžně využívá v akvakultuře, stává se proces denitrifikace stále více důležitý při zvyšování hustoty obsádky a redukci látkové výměny ve vodě, mající za následek nadměrné úrovně dusičnanů v akvakulturním systému (Timmons a kol., 2005).

#### **2.2.3.1. Dusík**

Atmosférický dusík se ve vodě rozpouští v menším množství než kyslík (asi jen polovina množství kyslíku). Ačkoliv je prvkem ocitajícím se často v minimu, nemohou plynnou formu dusíku běžně vodní rostliny, řasy a sinice využívat (Heteša a Kočková, 1997). Dusík je esenciální prvek pro všechny žijící organismy, a nachází se v proteinech, nukleových kyselinách, adenosin fosfátech, pyridinových nukleotidech a pigmentu. Nicméně, dusík je požadován v relativně malých množstvích a fyziologická potřeba je snadno uspokojena. Nadbytečné množství dusíku se stává odpadem a je nezbytné jej odstranit. Ryby z dusíku vytváří a posléze vylučují různé druhy odpadních látek přes žábry difuzí (Timmons a kol., 2005).

Nasycení vody vzduchem, kde je tohoto plynu nejvíc, může zvláště v objektech využívajících oteplenou vodu způsobovat vážné problémy, spojené s výskytem plynových embolií (bublinek) v krvi a ostatních tkáních ryb s následným úhynem (Pokorný, 1998).

#### **2.2.3.2. Amoniak/dusitany/dusičnany**

Tyto deriváty dusíku jsou obsaženy v systému akvakultury ve vodním sloupci, a v něm musí být obsaženy v přijatelných koncentracích. Amoniak, dusitany a dusičnany jsou vysoce rozpustné ve vodě. Amoniak existuje ve dvou formách:  $\text{NH}_3$  a kation  $\text{NH}_4^+$ . Relativní koncentrace amoniaku je primárně podmíněna hodnotou pH vody, salinitou a teplotou. Součet těchto dvou forem ( $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ ) je nazýván celkový amoniak, nebo

jednoduše amoniak. Toto nám umožní vypočítat celkový amoniakální dusík ( $TAN = NH_4^+-N + NH_3-N$ ) a jednoduchou konverzi mezi různými stupni nitrifikace (Timmons a kol., 2005).

### 2.2.3.3. Amoniak

Volný amoniak ( $NH_3-N$ ) je nejvíce toxická forma amoniaku, která se uvolňuje z netoxického kationtu ( $NH_4^+-N$ ) v alkalickém prostředí. Poměr ( $NH_3-N$ ) a ( $NH_4^+-N$ ) v závislosti na teplotě a pH nám ukazuje tab. 3. (Pokorný, 1998).  $NH_4^+-N$  ionty jsou pro ryby podstatně méně škodlivé, protože žaberní epitel je pro ně nepropustný, zatímco molekuly  $NH_3-N$  jím pronikají poměrně snadno. Pokud amoniakální dusík pronikl do krve a tkání, ovlivňuje negativně Krebsův cyklus kyseliny citronové, zvětšuje se koncentrace kyseliny mléčné a pyrohroznové. Intoxikace ryb amoniakem se projevuje negativními účinky na nervový systém (Pitter, 1999). Toxicita celkového amoniaku je proto závislá na procentuální koncentraci volného amoniaku z celkového amoniaku. Při rostoucím pH, teplotě, nebo salinitě stoupá poměr  $NH_3-N$  v TAN. Například při 20°C a pH 7.0, je molární podíl  $NH_3-N$  pouze 0,004, ale při pH 10 je to již 0,8. Podíly  $NH_3-N$  při různých teplotách a pH jsou uvedeny v přílohách.  $NH_3-N$  je toxický pro ryby už při nízkých koncentracích, při devadesáti šesti hodinovém testu toxicity LC50 kolísaly hodnoty v závislosti na druhu od 0,08 mg/l  $NH_3-N$  u lososa růžového (*Oncorhynchus gorboscha*) do 2,2 mg/l  $NH_3-N$  u běžného kapra (Timmons a kol., 2005). Pitter (1999) udává, že nejvyšší přípustná koncentrace nedisociovaného amoniaku pro kaprovité ryby je asi 0,05 mg/l a pro ryby lososovité asi 0,01 mg/l. Hodnota LC50, zjištěná v testu akutní toxicity se u kaprovitých ryb pohybuje v rozmezí od 1 mg/l do 1,5 mg/l. Akutní toxicita se pak dále snižuje u vod s vysokou koncentrací rozpuštěného kyslíku.

Tab. 3: Obsah volného (nedisociovaného) amoniaku ve vodných roztocích v závislosti na teplotě vody a pH v %

| Teplota<br>(°C) | pH       |         |         |       |       |      |      |      |      |
|-----------------|----------|---------|---------|-------|-------|------|------|------|------|
|                 | 6,0      | 6,5     | 7,0     | 7,5   | 8,0   | 8,5  | 9,0  | 9,5  | 10,0 |
| 0               | 0,008 27 | 0,026 1 | 0,082 6 | 0,261 | 0,820 | 2,55 | 7,64 | 20,7 | 45,3 |
| 1               | 0,008 99 | 0,028 4 | 0,089 8 | 0,284 | 0,891 | 2,77 | 8,25 | 22,1 | 47,3 |
| 2               | 0,009 77 | 0,030 9 | 0,097 7 | 0,308 | 0,968 | 3,00 | 8,90 | 23,6 | 49,4 |
| 3               | 0,010 6  | 0,033 6 | 0,106   | 0,335 | 1,09  | 3,25 | 9,60 | 25,1 | 51,5 |
| 4               | 0,011 5  | 0,036 4 | 0,115   | 0,363 | 1,14  | 3,52 | 10,3 | 26,7 | 53,5 |
| 5               | 0,012 5  | 0,039 5 | 0,125   | 0,394 | 1,23  | 3,80 | 11,1 | 28,3 | 55,6 |
| 6               | 0,013 6  | 0,042 9 | 0,135   | 0,427 | 1,34  | 4,11 | 11,9 | 30,0 | 57,6 |
| 7               | 0,014 7  | 0,046 4 | 0,147   | 0,462 | 1,45  | 4,44 | 12,8 | 31,7 | 59,5 |
| 8               | 0,015 9  | 0,050 3 | 0,159   | 0,501 | 1,57  | 4,79 | 13,7 | 33,5 | 61,4 |
| 9               | 0,017 2  | 0,054 4 | 0,172   | 0,542 | 1,69  | 5,16 | 14,7 | 35,3 | 63,3 |
| 10              | 0,018 6  | 0,058 9 | 0,186   | 0,586 | 1,83  | 5,56 | 15,7 | 37,1 | 65,1 |
| 11              | 0,020 1  | 0,063 7 | 0,201   | 0,633 | 1,97  | 5,99 | 16,8 | 38,9 | 66,8 |
| 12              | 0,021 8  | 0,068 8 | 0,217   | 0,684 | 2,13  | 6,44 | 17,9 | 40,8 | 68,5 |
| 13              | 0,023 5  | 0,074 3 | 0,235   | 0,738 | 2,30  | 6,92 | 19,0 | 42,6 | 70,2 |
| 15              | 0,027 4  | 0,086 5 | 0,273   | 0,859 | 2,67  | 7,97 | 21,5 | 46,4 | 73,3 |
| 16              | 0,029 5  | 0,093 3 | 0,294   | 0,925 | 2,87  | 8,54 | 22,8 | 48,3 | 74,7 |
| 17              | 0,031 8  | 0,101   | 0,317   | 0,996 | 3,08  | 9,14 | 24,1 | 50,2 | 76,1 |
| 18              | 0,034 3  | 0,108   | 0,342   | 1,07  | 3,31  | 9,78 | 25,5 | 52,0 | 77,4 |
| 19              | 0,036 9  | 0,117   | 0,368   | 1,15  | 3,56  | 10,5 | 27,0 | 53,0 | 78,7 |
| 20              | 0,039 7  | 0,125   | 0,396   | 1,24  | 3,82  | 11,2 | 28,4 | 55,7 | 79,9 |
| 21              | 0,042 7  | 0,135   | 0,425   | 1,33  | 4,10  | 11,9 | 29,9 | 57,5 | 81,0 |
| 22              | 0,045 9  | 0,145   | 0,457   | 1,43  | 4,39  | 12,7 | 31,5 | 59,2 | 82,1 |
| 23              | 0,049 3  | 0,156   | 0,491   | 1,54  | 4,70  | 13,5 | 33,0 | 60,9 | 83,2 |
| 24              | 0,053 0  | 0,167   | 0,527   | 1,65  | 5,03  | 14,4 | 34,6 | 62,6 | 84,1 |
| 25              | 0,056 9  | 0,180   | 0,566   | 1,77  | 5,38  | 15,3 | 36,3 | 64,3 | 85,1 |
| 26              | 0,061 0  | 0,193   | 0,607   | 1,89  | 5,75  | 16,2 | 37,9 | 65,9 | 85,9 |
| 27              | 0,065 4  | 0,207   | 0,651   | 2,03  | 6,15  | 17,2 | 39,6 | 67,4 | 86,8 |
| 28              | 0,070 1  | 0,221   | 0,697   | 2,17  | 6,56  | 18,2 | 41,2 | 68,9 | 87,5 |
| 29              | 0,075 2  | 0,237   | 0,747   | 2,32  | 7,00  | 19,2 | 42,9 | 70,4 | 88,3 |
| 30              | 0,080 5  | 0,254   | 0,799   | 2,48  | 7,46  | 20,3 | 44,6 | 71,8 | 89,0 |

Obecně, ryby žijící v teplých vodách jsou více tolerantní k toxicitě amoniaku, než ryby žijící ve vodách chladných a sladkovodní ryby jsou tolerantnější než mořské. Koncentrace  $\text{NH}_3\text{-N}$  by měla být držena na úrovni nižší než 0,05 mg/l a koncentrace TAN méně než 1,0 mg/l při dlouhodobém vystavení (Timmons a kol., 2005).

V povrchových vodách nepřevyšují koncentrace amoniakálního dusíku obvykle 1 mg/l. Průměrná koncentrace amoniakálního dusíku ve vltavské vodě v profilu České Budějovice byla v letech 1994-95 0,208 mg/l a podle očekávání vzrostla pod Prahou na průměrnou koncentraci 1,035 mg/l s maximální hodnotou 2,4 mg/l (Pitter 1999).

Vzhledem k tomu, že volný molekulární  $\text{NH}_3\text{-N}$  je těkavý, lze jej odstranit z vody provzdušňováním. Toho se někdy využívá pro odstranění amoniakálního dusíku z odpadních vod obsahujících vyšší koncentrace TAN. Musí být však zajištěno silně alkalické prostředí, aby rovnováha reakce byla posunuta co nejvíce doprava (Pitter, 1999).

**Význam při nitrifikaci:** Koncentrace amoniaku přímo ovlivňuje rychlost nitrifikace. Obecně, když se koncentrace amoniaku zvyšuje roste úměrně s tím v

limitovaném rozsahu výkon biofiltru. Předpokládáme že tento úměrný vztah funguje od 0 mg/l do přinejmenším 3 mg/l. Přímá úměrnost pak od určitého bodu přestává platit, až do chvíle kdy přestane mít hladina amoniaku na nitrifikaci vliv (Timmons a kol., 2005).

#### **2.2.3.4. Dusitany**

Dusitany jsou meziproduktem amoniaku v procesu nitrifikace při přeměně amoniaku na dusičnany. Ačkoliv jsou dusitany převedeny na dusičnany relativně rychle ovzduším a nitrifikačními bakteriemi v řádně vyváženém filtru, i tak je to problém, protože jsou v recirkulačním systému tvořeny stálou základnou, takže jsou ryby neustále vystaveny určité koncentraci této chemikálie. Proto je to důležitý parametr jakosti vody a je ho třeba kontrolovat a upravovat jestliže jsou překročeny přípustné meze. Dusitany jsou toxické, protože ovlivňují schopnost hemoglobinu vázat kyslík. Při přítomnosti dusitanů vzniká produkt, který se nazývá methemoglobin a je charakteristický hnědou barvou, z toho důvodu je tento děj nazýván jako hnědá krevní choroba. Množství dusitanů vstupujících do krve závisí na poměru obsahu dusitanů k chloridům ve vodě. Při zvýšených úrovních obsahu chloridů dochází k redukci množství dusitanů jeho pohlcením. Množství chloridů může být zvýšeno přidáním obyčejné soli (chloridu sodného, nebo chloridu vápenatého) (Timmons a kol., 2005).

Dusitany vzhledem ke své chemické labilitě nemohou ve vodě nikdy mezi sloučeninami dusíku převažovat. Dusitany lze proto často prokázat v nízkých koncentracích pouze jako meziprodukty chemických a biochemických transformací sloučenin dusíku (Pitter, 1999). Dusitany bývají ve větší míře obsaženy hlavně v podzemních vodách a hypolimniu hlubokých nádrží s nízkým, nebo nulovým obsahem kyslíku (Heteša a Kočková, 1997).

#### **2.2.3.5. Dusičnany**

Dusičnany jsou koncovým produktem nitrifikace a za oxických podmínek jsou stabilní. K redukci dusičnanů až na amoniakální dusík je zapotřebí značně záporných hodnot oxidačně-redukčního potenciálu. Za anoxických podmínek však podléhají denitrifikaci za vzniku elementárního dusíku resp. oxidu dusného (Pitter, 1999). V recirkulačním systému, je úroveň dusičnanů obvykle řízena denními výměnami vody. V systémech s nízkou výměnou vody, nebo s vysokým retenčním časem, se denitrifikace stává stále více důležitou (Timmons a kol., 2005).

#### 2.2.4. pH

Hodnota pH udává míru kyselosti, nebo zásaditosti, jako vlastnosti vody. V chemické terminologii je pH záporný logaritmus z vodíkové koncentrace. Stupnice pH je v rozsahu od 0 až po 14, přičemž pH 7,0 vyjadřuje neutrální hodnotu. Hodnoty pH pod 7,0 jsou kyselé (převládají  $H^+$  ionty) a hodnoty nad 7,0 jsou zásadité, nebo alkalické (převládají  $OH^-$  ionty) pH většiny podzemních a povrchových vod jsou vyrovnávány uhličitánovou rovnováhou a mají hodnoty pH mezi 5 a 9. Mořská voda má relativně stálé pH mezi 8,0 a 8,5 (Timmons a kol., 2005).

Vody s kyselou reakcí (pod pH 6) se vyskytují v rašelinných oblastech nebo v územích postižených „kyselými dešti“. K silnému nárazovému poklesu může dojít v důsledku úniku odpadních vod z průmyslu nebo zemědělství a v jarním období s příchodem tzv. „sněhových vod“. K nebezpečnému poklesu může dojít i v recirkulačních systémech v důsledku mineralizačních pochodů při čištění (Pokorný, 1998).

Ke vzniku zásadité reakce dochází v důsledku zvýšené fotosyntézy řas a vyšších vodních rostlin, při níž je spotřebováván oxid uhličitý ( $CO_2$ ) a pH vzrůstá na hodnoty 9 až 10 a vyšší. Trendy k extrémnímu zvyšování pH, které dosahuje až hodnot letálních pro ranná vývojová stádia ryb, jsou časté v silně eutrofizované rybníční vodě. Zřídka dochází k havarijnímu zvýšení hodnot pH únikem odpadních vod z průmyslu (Pokorný 1998).

Reakce vody (pH) v rybochovných objektech by se měla pohybovat v neutrální až mírně alkalické oblasti (Pokorný 1998), podle Timmonse a kolektivu (2005) je optimální pH pro růst a zdraví většiny sladkovodních organismů v rozsahu 6,5 až 9,0, podle Pittra (1999) je optimální rozmezí pH asi od 6,5 do 8,5 a za mezní lze považovat hodnoty pH 5 a 9, podle Heteši a Kočkové (1997) mít dobrá rybníční voda pH mezi 7,0 až 8,0 to je slabě alkalická reakce.

Vystavení extrémním hodnotám pH může být stresující, nebo dokonce smrtelné, ale to je nepřímý efekt vyplývající z vzájemného ovlivňování s jinými proměnnými, které jsou důležitější v akvakultuře. Hodnoty pH ovládají širokou škálu rozpustností a také ovládají reakce, ze kterých je nejdůležitější vztah mezi  $NH_4^+-N$  a  $NH_3-N$  a dusitany. Hodnoty pH také ovlivňují toxicitu hydrogen sulfidu a kovů, jako je například měď, kadmium, zinek a hliník (Timmons a kol., 2005). S hodnotami pH tedy úzce souvisí míra toxicity některých cizorodých látek, jako jsou kovy (hliník a železo při nízkém pH) nebo amoniak (při vysokém pH) (Pokorný, 1998). O udržení pH v přijatelných mezích rozhoduje především dostatečné množství  $Ca(HCO_3)_2$ , který společně s  $H_2CO_3$  brání většímu kolísání pH (Heteša a Kočková, 1997).



Podle Heteši a Kočkové (1997) lze z rybářského hlediska rozdělit vody podle hodnoty pH takto:

méně než 4,5 - vody značně kyselé, nehodí se pro rybářství

4,5 – 5,5 - značně kyselé, často dochází k hynutí ryb, je třeba často vápnit a stále kontrolovat pH

5,5 – 6,5 - slabě kyselé, často kontrolovat pH a vápnit

6,5 – 7,5 - neutrální, dobré rybníční vody, vápní se jen někdy

7,5 – 8,5 - slabě alkalické, dobré rybníční vody

8,5 – 9,5 - značně alkalické, zvláště v zarostlých rybnících hrozí případné hynutí ryb

**Význam při nitrifikaci:** Rychlost nitrifikace ovlivňuje vztah mezi ionizovaným a neionizovaným amoniakem. Účinky pH na nitrifikační rychlost v biofiltrech jsou zkoumány více než šedesát let, přesto stále existuje široký okruh pro stanovení optima. To způsobují podmínky při kterých jsou kultivovány bakterie a ty pak mohou ovlivnit jejich reakce na pH (Kaiser & Wheaton, 1983). Poslední výsledky naznačují, že optimální rozsah pro pH je od 7,2 do 7,8 (Loveless & Painter, 1968, Antoniou et al. 1990). K poklesu hodnoty pH dochází vlivem činnosti bakterií přeměňujících amoniak na relativně méně toxické dusičnany. Při plném zatížení systému dochází vlivem těchto procesů k výrazným poklesům hladiny pH. Nitrifikační biofiltry operují při vyšším rozsahu, v rozpětí od 6 do 9. Díky přizpůsobení bakterií ve filtru aktuálnímu provoznímu stavu. Jako dobrý nápad se jeví udržovat pH při spodní hranici optima, to minimalizuje stres ryb při vystavení amoniaku. Navíc, rychlé změny pH o 0.5 až 1 jednotku po dobu delší než několik málo minut, způsobují tlak na filtr a vyžadují čas pro přizpůsobení novým podmínkám prostředí (Timmons a kol., 2005).

### 2.2.5. Alkalita

Název alkalita přežívá stále v rybářské a hydrochemické praxi, ačkoliv moderní hydrochemie už řadu let používá název zásadová neutralizační kapacita vody (ZNK) (Heteša a Kočková, 1997). Neutralizační kapacitou (NK) se rozumí látkové množství silné jednosytné kyseliny, nebo silné jednosytné zásady v mmol, které spotřebuje 1 litr vody k dosažení určité hodnoty pH. Alkalita je tedy rozsah pufrční kapacity vodního prostředí (Pitter, 1999).

**Význam při nitrifikaci:** Na každý gram amoniaku převedeného na dusitany je spotřebováno 7,14 gramů alkality (uhličitanu vápenatého). Toto snížení alkality lze snadno nahradit přidáním uhličitanu sodného, známého jako jedlá soda ( $\text{NaHCO}_3$ ), nebo

doplněním jiného uhličitanu. Zhruba je to 0.25kg jedlé sody na 1 kg krmiva (Loyless and Malone, 1997). Nitrifikace je kyselinotvorný proces a jestliže je voda v systému nedostatečně chráněna pak hodnota pH v systému poklesne a to bude mít dopad na výkon biofiltrů (Timmons a kol., 2005).

#### **2.2.6. Fosfor**

Přírodním zdrojem fosforu ve vodách je rozpouštění a vyluhování některých minerálů a zvětralých hornin. Dalším zdrojem fosforu organického původu je rozkládající se biomasa fytoplanktonu a zooplanktonu, usazující se na dně jezer, nádrží a toků. Zvláště významně se uplatňuje při růstu zelených řas a sinic (Pitter, 1999).

Fosfor jako odpadní produkt z chovu ryb je v centru pozornosti hlavně v souvislosti se zásadní úlohou kterou hraje při eutrofizačních pochodech v recipientu, do kterého jsou vody z chovu vypouštěny. Jeho koncentrace se v důsledku rybochovných aktivit rovněž zvyšuje. Fosfor je vylučován převážně výkaly, na vzrůstu jeho koncentrace ve vodním prostředí chovů ryb se však významně podílí i uvolňování z nespotřebovaného krmiva (Pokorný a kol., 1998).

#### **2.2.7. CHSK**

Chemická spotřeba kyslíku je definována jako množství kyslíku, které se za přesně vymezených podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek ve vodě silným oxidačním činidlem. Hodnota CHSK je tedy mírou celkového obsahu organických látek ve vodě a tím i důležitým ukazatelem organického znečištění vody (Heteša a Kočková, 1997). Jako oxidační činidlo se v současné době používá zásadně dichroman draselný a v dnešní době už jen výjimečně manganistan draselný (Pitter, 1999).

### **2.3. Akvakultura**

Definice: Pro účely nařízení (Nařízení rady (ES), 2006) se rozumí: „akvakulturou“ pěstování nebo chov vodních organismů za použití postupů určených ke zvýšení produkce těchto organismů nad přirozenou kapacitu životního prostředí; organismy zůstávají po dobu pěstování nebo chovu majetkem fyzické nebo právnické osoby až do doby svého sběru.

Definice: Akvakultura se zabývá záměrnou produkcí vodních organismů ve vodním prostředí. Vodní plochy, či produkční zařízení, umožňují plnou, nebo alespoň

částečnou kontrolu procesu jejich produkce, počínaje jejich rozmnožováním, odchovem od raných stádií až do komerční velikosti, včetně jejich výživy a řízení kvality vodního prostředí. Chované či pěstované organismy jsou v průběhu produkčního období majetkem producenta (Kouřil, ústní sdělení).

Charakteristickým rysem akvakultury je vysoký podíl člověka na formování prostředí a na podmínky odchovu ryb, tedy vysoká intenzita výroby ryb a téměř výlučné dodávání potravy pro ryby do odchovného systém (Baruš, Oliva a kol. 1995)

## **2.4. Trendy v akvakultuře**

Trend zvyšování produkce z akvakultury a stagnace, resp. snižování výlovu je ve světových statistikách pozorovatelný dlouhodobě (v posledních 25 - 30 letech). Přitom sladkovodní akvakultura (reprezentovaná především rybami) dosáhla v roce 2003 produkce ve výši 25,2 mil. tun a mořská akvakultura (marikultura) produkce 16,7 mil. tun. V obou případech jde ve srovnání nejen s předešlým rokem, ale o dlouhodobé tendence. Nárůst produkce tržních ryb ve světě je v posledním čtvrtstoletí zajišťován výrazným zvyšováním podílu akvakultury (Kouřil 2006).

Budoucí nárůst produkce tržních ryb pomocí klasických rybníkářských metod extenzivní a polointenzivní produkce ve střední Evropě i ČR je v důsledku řady ekologických a vodohospodářských omezení značně limitován. Intenzivní chov především sladkovodních lososovitých druhů ryb v klecových či průtočných systémech má s ohledem na kapacitu vodních zdrojů a především jejich zatížení znečištěním produkovaným rybami své limity. Tato skutečnost je velmi významná především v zemích jako je ČR, s relativním nedostatkem podzemních zdrojů vody (Kouřil, 2006). Stále více projektů zemědělské výroby, které dříve probíhaly v otevřených systémech, jako jsou rybníky, klecové odchovy a průtočné systémy, může být realizováno v recirkulačním systému (DPI, 2007).

## **2.5. Změny kvality vody v recirkulačních systémech**

Úspěch komerčních firem zabývajících se akvakulturou závisí na poskytnutí optimálního životního prostředí pro rychlý růst při minimální spotřebě zdrojů i kapitálu (Timmons a kol., 2005).

Při intenzivním chovu ryb však dochází k výrazným změnám fyzikálních a

chemických vlastností vody. Během chovu ryb dochází ke snižování obsahu rozpuštěného kyslíku a naopak ke zvyšování obsahu oxidu uhličitého a amoniaku. Ryby vylučují za normálních okolností 60% amoniakálního dusíku žábami, zbylou část rybou v exkrementech. Produkce amoniaku rybami se pohybuje od 0,25 do 2,07 g.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>. Nerozpuštěné látky ve vodě původem z intenzivního chovu ryb jsou za normálních okolností představovány exkrementy, v případě nevhodné krmné techniky či krmiva se na nich může podílet i nezkonsumované krmivo. Obvyklé hodnoty produkce nerozpuštěných látek se pohybují od 4,5 do 18,5 g.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>. Produkce znečištění organickými látkami v chovu ryb vyjádřená v BSK<sub>5</sub> je 3,0 – 18 g.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, při vyjádření v CHSK 28,4 – 56,7 g.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> (Kouřil, 2006).

Jedna z hlavních výhod recirkulačního systému je možnost kontrolovat prostředí a hodnoty (parametry) kvality vody k optimalizaci zdravotního stavu ryb a stupně rychlosti růstu. Ačkoliv je vodní prostředí komplexní ekosystém skládající se z různých parametrů, je štěstí že jenom několik z nich hraje rozhodující roli. Kritickými parametry jsou teplota, suspendované pevné látky, pH a koncentrace rozpuštěného: kyslíku, amoniaku, dusitanů, CO<sub>2</sub> a alkalita. Každý jednotlivý parametr je důležitý, ale je to jejich souhrn a vzájemné interakce všech parametrů, co ovlivňuje zdraví a růst ryb. Koncentrace jedné látky může být v jednom momentě bezvýznamná a za jiných podmínek již toxická (Timmons a kol., 2005).

Například, když nastane problém s aerací a odplynováním, bude se stupeň CO<sub>2</sub> obecně zvyšovat zatímco ve stejné době bude klesat obsah kyslíku. Výsledkem této vzorové situace je, že se nejenom snížil obsah kyslíku dostupného rybám, ale také se snížila schopnost ryb tento kyslík využít. Vysoký obsah CO<sub>2</sub> ve vodě způsobuje rybám nižší kapacitu krve pro transport kyslíku, přitěžuje jim a působí stres při nízké hladině rozpuštěného kyslíku (Timmons a kol., 2005).

## **2.6. Recirkulační systém**

Recirkulační rybochovné systémy mají čistě průmyslový charakter. Podmínky odchovu ryb jsou zde optimalizovány většinou automaticky řízeným procesem, voda recirkuluje a je doplňována pouze v omezené míře (Baruš, Oliva a kol. 1995). V RAS je kontrolováno veškeré životní prostředí. Ryby jsou chovány v nádržích a ve snaze zajistit co nejoptimálnější prostředí, jsou tyto nádrže umístěny v uzavřených budovách, aby bylo

možno ovládat i ovzduší v jejich okolí. Teplota, salinita, pH, alkalita, chemické složení a kyslík jsou kontinuálně sledovány a jejich hodnoty drženy na optimální úrovni. Pevné částice jsou filtrovány a odstraněny, kyslík je přidáván v závislosti na hustotě obsádky, aby byla udržena dostatečná úroveň rozpuštěného kyslíku. Znečištěná voda protéká biofiltry kde dochází k biologické konverzi amoniakálního dusíku na dusičnanový dusík. Selhání některého z výše jmenovaných prvků může zapříčinit kolaps celého systému s následným úhynem obsádky (Timmons a kol., 2005). V těchto systémech s částečným nebo zcela uzavřeným oběhem vody, které jsou nezávislé na vnějším prostředí jsou malé nároky na množství vody i omezené nároky na zastavěnou plochu. V zařízeních tohoto typu se všechna voda použitá k chovu ryb nebo alespoň její část, čistí a dále upravuje tak, aby ji bylo možné znovu využít. Důležité je zejména odstranění produktů látkové výměny ryb (exkrementy, amoniak rozpuštěný ve vodě, apod.), odstranění zárodků plísní a bakterií a dostatečné nasycení vody kyslíkem (čistící systémy, aerace a sterilizace) (Pokorný a kol., 1998). V celém systému tak dochází ke koloběhu vody a pouze její malá část bývá společně s nečistotami odpouštěna mimo objekt. Celkový objem vody v systému je tak prakticky stálý (Pokorný a kol., 1998). Tento typ akvakulturní technologie však vyžaduje vysoké investiční náklady a klade vysoké nároky i na provoz. Uplatňuje se dnes u nás především v provozu rybích líhní při inkubaci jiker, případně při odchovu nejranějších vývojových stádií ryb. V budoucnu jistě dojde k jejich rozšíření i v našich podmínkách (Baruš, Oliva a kol. 1995; Pokorný a kol., 1998). RAS jsou více kapitálově náročné než většina jiných tradičních systémů akvakultury a musí se spoléhat na ekonomickou produktivitu jednotkového objemu chovného prostoru, aby byla produkce rentabilní (Timmons a kol., 2005). RAS technologie může být užitečná tam, kde je prostor nebo voda omezujícím faktorem nebo na místech, kde je nekvalitní zdroj vody. Jestliže jsou teploty v optimálním rozmezí lze recirkulační systém použít pro chov řady domácích i exotických druhů živočichů. To může být úspěšně využito i na místech, kde je nutné kontrolovat odtok odpadní vody (DPI, 2007).

V současnosti je v Evropě v recirkulačních systémech produkováno ročně cca 14 tis. tun ryb (Eding a Schneider 2005). Z tohoto množství je více než polovina úhoře (7730 t), významný podíl rovněž představuje sumec africký (4125 t). Z ostatních sladkovodních druhů jsou významněji zastoupeni tilapie (550 t), jeseterovití (470 t) a sumec velký (165 t). Nejvyšší počet produkčních jednotek s recirkulací vody je uváděn v Holandsku (56 - 70 farem s celkovou produkcí 8900 – 9300 t), následovaným s výraznějším odstupem Německem (18 – 21 farem), Dánskem (8 – 18 farem), Francií

(13 farem), Maďarskem (6 farem) a Polskem (3 farmy) (Kouřil, 2006).

Výhody a nevýhody recirkulačního systému podle (DPI, 2007):

Výhody RAS:

Všechna hlediska výrobního prostředí mohou být ovládána tak, aby bylo dosaženo optimálního růstu.

Nízká spotřeba vody na tunu vyprodukované ryby.

Minimální dopad na vnější prostředí způsoben možností zadržet a regulovat bilanci odpadních vod.

Výrobní zařízení může být v provozu po celý rok.

Schopnost produkovat druhy mimo jejich přirozený areál výskytu.

Nevýhody RAS:

Vysoké kapitálové náklady.

Vysoké provozní náklady (na kilo vyprodukovaných ryb připadá 7 až 10 dolarů).

Je vyžadována stála údržba vysoce kvalifikovanými pracovními silami.

### **RAS základní schéma**

Základní koloběh vody v recirkulačním systému probíhá po ose: 1. odchovná nádrž 2. mechanická filtrace 3. biologická filtrace 4. odplynění (odstranění CO<sub>2</sub>) 5. aerace nebo oxygenace 6. desinfekce (UV, ozonizace)

Po mechanické a biologické filtraci je nutno odpouštět část znečištěné vody. Tyto ztráty doplníme přítokovou vodou zbavenou hrubších nečistot a předehřátou na teplotu požadovanou chovaným druhem organismu. Pro zajištění recirkulace je nutné použití vodních čerpadel. Důležitá je rovněž retenční nádrž, která může krýt po krátkou dobu zásobování RAS vodou při výpadku čerpadel (Timmons a kol., 2005). Někdy je nutná i úprava teploty kvůli specifickým požadavkům příslušného druhu ryb. Novinkou v tomto směru je zavádění tzv. tepelných čerpadel (Pokorný, 1998).

#### **2.6.1. Odchovné nádrže**

Velikost i tvar výrobních nádrží je značně variabilní. Nejčastěji jsou používány kruhové plastové nebo laminátové nádrže o objemu 5 000 l až 15 000 l. Preferovány jsou hladké kruhové nádrže s konicky zúženou spodní částí na odtok znečištěné vody. Pro

odchov potěru, nebo roztrídění drobných ryb chovaných v nádrži jsou používány menší plovoucí klece. To umožňuje snažší odchov juvenilních stádií. Velmi užitečná je karanténí nádrž izolována od hlavního produkčního systému a je využívána k minimalizaci rizika přenosu infekčních chorob. Zajišťuje také možnost léčby medikamenty bez ovlivnění funkce biologické filtrace produkčního systému (internet).

Podle Timmonse a kolektivu (2005) jsou kruhové nádrže úspěšné hlavně z těchto důvodů:

1. Zlepšuje se jednotnost kulturního prostředí.
2. Zajišťuje lepší kruhové proudění vody v širokém okruhu, čímž se optimalizují podmínky pro chov ryb.
3. Rychlé odstředění a usazování pevných látek.
4. Jednoduchá údržba.
5. Poskytují stejnou jakost vody ve všech částech.
6. Usazené látky mohou být snadno vypustitelné přes centrální odtok.

Produkce tržních ryb ve velkých kruhových nádržích představuje velké úspory v porovnání s chovem stejného množství ryb ve větším počtu malých nádrží. Velké nádrže nabízejí řadu výhod. V dnešní době můžeme vidět i nádrže o průměru 10 m až 15 m, zatímco ještě nedávno byly používány nádrže do průměru 8 m. V podstatě je čas, který věnujeme na údržbu malé nádrže skoro stejný jako čas na údržbu velké (Timmons a kol., 2005).

### **2.6.2. Mechanická filtrace**

Pevné částice (unášené krmivo, fekálie a médium pro růst bakterií) představují jeden z hlavních problémů v recirkulačním systému.

Hlavní problémy spojené s výskytem pevných částic v RAS:

Pevná částice konzumuje kyslík během biologické degradace, čímž se ve vodě sníží obsah rozpuštěného kyslíku dostupného rybám.

Rozklad organického odpadu zvýší koncentraci TAN ve vodě.

Pevné látky podporují růst heterotrofních bakterií, se kterými si potom nitrifikační bakterie konkurují. Nitrifikační proces je potom v důsledku vysokého množství organického uhlíku potlačen.

Pevné látky nabízejí ideální substrát pro různé patogeny do doby, než se jim podaří najít finálního hostitele.

Nadměrné množství pevných látek může způsobit ucpání provzdušňovacích kamenů a trysek.

Pevné částice také poškozují žábry které jsou v důsledku podráždění náchylnější k přichycení bakterií (Wecker, 2007).

Rozptýlené částice mají nepříznivý dopad na všechny aspekty recirkulačního akvakulturního systému (RAS), takže je jejich odstranění primárním cílem při péči o RAS. Rozptýlené částice vznikají z kalu, bio vloček (mrtvých a živých bakterií) a z nezkonsumované potravy. Tyto suspendované částice se tak změny z velikosti řádově centimetrů do velikosti mikronů. Rozpuštěné pevné látky řadíme v akvakultuře do několika skupin. Termín "jemná částice" je užíván pro částice, které se jen těžko usazují z vodního sloupce. Základ je porozumět rozložení velikosti a váhy a zařazení do různých velikostních tříd, je důležité vědět, že filtr odstraňuje jen velké částice, to je  $>200 \mu\text{m}$ . Velké částice musí být samozřejmě odstraňovány primárně, protože do doby než je odstraníme se stále zmenšují a stávají se tak hůře zachytitelné (Timmons a kol., 2005).

V RAS bude většina částic menší než  $100 \mu\text{m}$  a v intenzivním RAS bude většina částic menších než  $30 \mu\text{m}$ . V takových případech je mechanická filtrace neefektivní. Chen a kol. (1993) ukázal že 80% až 90% z celkové hmotnosti pevných látek v nádrži mělo průměrnou velikost pevných částic  $35 \mu\text{m}$ , nebo menší (filtrací byly odstraněny částice  $>130 \mu\text{m}$ ; z jednotlivých pevných částic zůstávaly ty které byly v průměrné velikosti, nebo menší. Na všechny velikosti částic musí být aplikován vhodný způsob ošetření, v závislosti na jejich průměrné velikosti, to znamená usazování a filtrování pro odstranění větších částic a použití pěny nebo probublávání pro vyjmutí jemných částic. Filtry s náplní z granulí dokáží odstranit pevné látky v nejširším rozsahu. Tento typ filtru je účinný pro odstranění drobných pevných látek až do velikosti  $20 \mu\text{m}$ . Tento filtr je častá a správná volba konstruktérů systémů s vysokými požadavky na čistotu a průhlednost vody, nebo pro systémy s rychlou recirkulací (Timmons a kol., 2005).

Nejčastěji užívané druhy filtrů:

V rybích líhních s malými průtoky postačují jednoduché filtry, tvořené nádobou (bednou), vyplněnou filtrační hmotou (mechem, molitanem, pískem, štěrkem apod.)

Pískové filtry umožňují velmi efektivní čištění vody a jsou technicky méně náročné. Jejich nevýhodou je poměrně nízký výkon, obtížné čištění (u některých typů je třeba odebrat vrstvu písku) a nebezpečí poklesu účinnosti při silném zákalu. Tento nedostatek odstraňují pískové tlakové filtry, propírané zpětnou tlakovou vlnou.

V některých případech vyhovují požadavkům na kvalitu vody moderní mikrosítové filtry, které se automaticky čistí oplachovou vodou.

Filtry s plovoucí filtrační náplní (tzv. M-filtry) se v rybářském provozu velmi



osvědčili. Filtrační náplň tvoří vrstva drobných kuliček napěněného polystyrenu. Výhodou tohoto typu filtru je jeho poměrně značný výkon při uspokojivé filtrační účinnosti a zejména automatické čištění filtrační vrstvy proplachem (Pokorný, 1998).

Celková koncentrace nerozpuštěných částic (TSS) je definována jako hmota částic v průměru větších než 1  $\mu\text{m}$  působící v známém množství ve vodě. Nerozpuštěné látky obsahují jak anorganické tak organické složky. Organická část, známá jako nestálé rozpuštěné látky (VSS), přispívají k spotřebě kyslíku a způsobují problémy vzniklé bioznečištěním. Anorganické složky přispívají k tvorbě depozitu ve formě kalu. Fyzikálně mohou být nerozpuštěné látky zařazeny do usaditelných látek, pro které je typická velikost více než 100  $\mu\text{m}$  a na neusaditelné nerozpuštěné látky, které jsou menší než 100  $\mu\text{m}$ . Jemnější neusaditelné částice se těžkou kontrolují a jsou příčinou většiny problémů v recirkulačních systémech (Timmons a kol., 2005).

Jemné nerozpuštěné látky jsou pro rybí zdraví extrémně škodlivé (Chapman et al. 1987; Magor, 1988; Alabaster and Lloyd, 1984). I přes značné úsilí zatím nejsou sjednané konečné hodnoty přijatelné pro TSS koncentraci, které by sloužily jako vodítko pro návrh efektivního vyjmutí TSS z RAS. Například podle Alabaster and Lloyd (1984), pro sladkovodní rybníkářství není žádný důkaz o škodlivosti nerozpuštěných látek rybám až do koncentrace 25 mg/l. FIFAC (1980) doporučuje, aby byly koncentrace TSS trvale drženy po 15 mg/l pro bezpečný chod RAS zatímco Muir (1982) doporučuje pro tytéž systémy koncentraci 20 až 40 mg/l. Timmons a kolektiv (2005) provozoval recirkulační systém s chovem tilapie ve kterém byly měřeny hodnoty více než 100 mg/l a ještě udržoval produktivitu ryb, tento pokus ale probíhal v nepřítomnosti všech ostatních tlaků způsobujících stres. Mějme na paměti, že různé rybí druhy mají významně různou snášenlivost k úrovni koncentrace nerozpuštěných pevných látek a také že další parametry jakosti vody mohou snížit schopnost ryb odolávat vysokým koncentracím TSS (Timmons a kol., 2005).

### **2.6.3. Biologická filtrace**

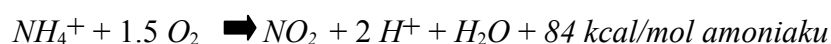
#### **2.6.3.4. Nitrifikace**

Biologická filtrace efektivně snižuje hladinu čpavku ve vodě. Existují dvě fylogeneticky odlišné skupiny bakterií, které společně vykonávají filtraci. Jsou obecně řazeny do kategorie chemosyntetik jsou to autotrofní bakterie, protože získávají svou energii u anorganické separace, jako opak heterotrofních bakterií, které potřebnou energii

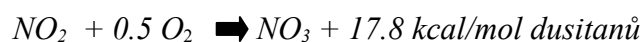
získávají rozkladem organických sloučenin (Hagopian and Riley, 1998). Bakterie druhů *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus* a *Nitrosovibrio* získávají energii oxidací neionizovaného amoniaku na dusitany. Bakterie oxidující dusitany na dusičnany jsou druhy *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* a *Nitrospina*. Nitrifikační bakterie jsou v první řadě autotrofní, to znamená že konzumují oxid uhličitý jako jejich primární zdroj uhlíku a jako aerobní mikrobové, kteří vyžadují pro svůj růst kyslík (Hagopian and Riley, 1998). V biofiltrech se obvykle vyskytuje současně s heterotrofními mikroorganismy jako jsou heterotrofní bakterie, prvoci a mikrometazoa, kteří metabolizují organické sloučeniny. Heterotrofní bakterie rostou výrazně rychleji než nitrifikační bakterie a převládají v konkurenčním boji o prostor a kyslík v biofiltrech, když je vysoká koncentrace rozpuštěných organických látek jejich částic. Z těchto důvodů je nezbytné, aby voda tekoucí do biofiltrů byla maximálně čistá, s minimální koncentrací sušiny (Timmons a kol., 2005).

Nitrifikace je dvou fázový proces, kde je amoniak nejdříve oxidován na dusitany a posléze na dusičnany. Oba dva kroky jsou obvykle v reakci po sobě jdoucí. Proto první krok má vyšší kinetickou reakční rychlost než druhý krok celková kinetika je obvykle řízena oxidací amoniaku a následkem toho v systému není patrné žádné množství nahromaděných dusitanů. Následující rovnice ukazují základní chemické přeměny působící během oxidací *Nitrosomonas* a *Nitrobacter* na celkovou chemickou reakci (U.S. EPA, 1975).

*Nitrosomonas*

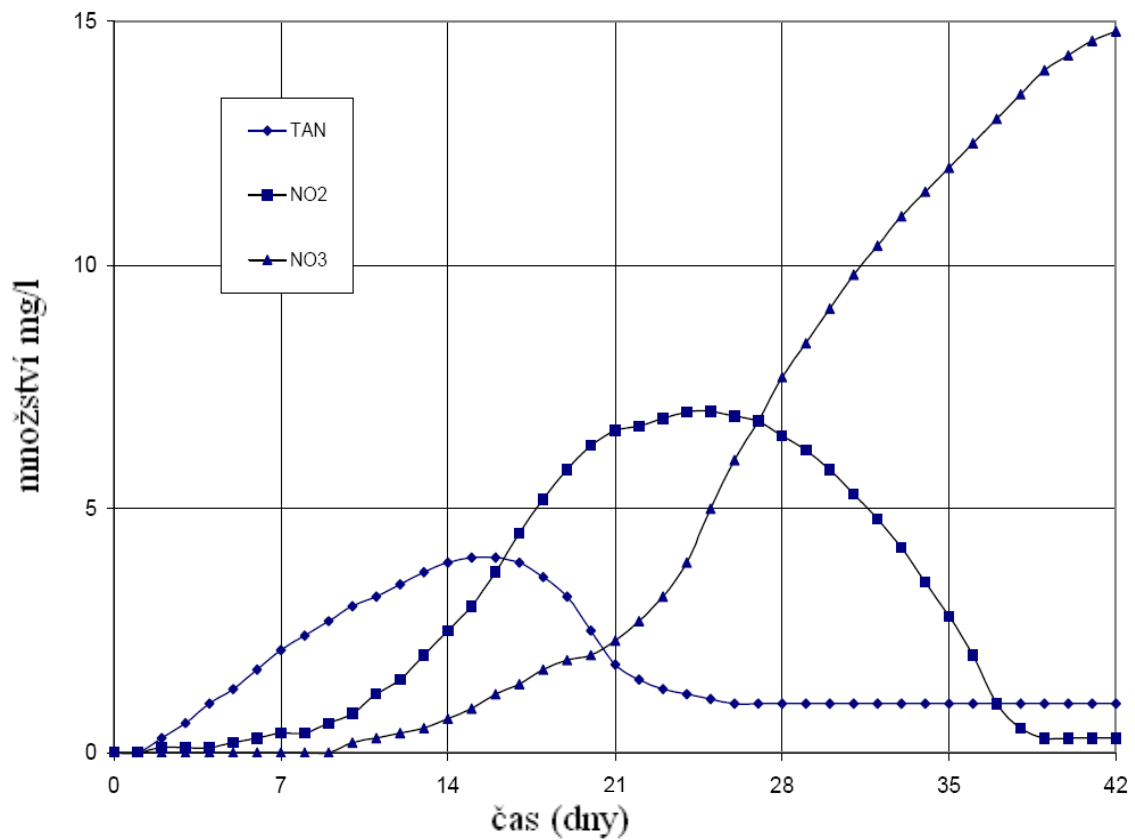


*Nitrobacter*



Typické počáteční charakteristiky při spouštění nového biologického filtru při plném vytížení znázorňuje graf 1. Všimněte si že koncentračních vrcholů amoniaku v 14. sledovaném dni, dusitanového vrcholu v 28. dni a začátku hromadění dusičnanů ve 21. dni. Znovu zakládání biologického filtru s amoniakem a dusitany může tento proces urychlit. Pro zajištění bezpečnosti v novém systému, by jsme měli sledovat pokles před nasazením ryb jako znamení, že proces biologické filtrace je plně aktivní.

Graf 1: Typická křivka pro start biofiltru



Založeno na vztahu, že je potřeba pro úplnou oxidaci jednoho gramu amoniaku 4,57 g O<sub>2</sub> a přibližně 7,14 g CaCO<sub>3</sub> udávajícího alkalitu, by měla být alkalita udržována na 50 až 100 mg/l CaCO<sub>3</sub> díky přidávání dalších chemikálií obsahujících hydroxylovou skupinu, uhličitany, nebo hydrogenuhlíčanové ionty. Obvykle se používá hydrogenuhlíčan sodný (jedlá soda). Snadno se získává a je rychle a kompletně rozpustný ve vodě (Loyless and Malone, 1997). Přibližně je třeba na každý kg zkrmeného krmiva přidat zhruba 0,25 kg hydrogenuhlíchanu sodného, aby nahradil ztracenou alkalitu zkonsumovanou během nitrifikace (Timmons a kol., 2005).

Proces biologického čištění využívá bakterie, které rostou buď přímo na povrchu náplně biofiltru, nebo rostou suspendované rovnou ve vodním sloupci (Wheaton et al. 1991). Téměř všechny recirkulační systémy využívají bakterie fixované na povrch, kde nitrifikační bakterie rostou buď na mokřém nebo ponořeném povrchu média. Kapacita biologických filtrů pro odstraňování amoniaku je velkou měrou závislá na celkovém povrchu plochy, kterou mají nitrifikační bakterie k dispozici pro růst. Pro maximální

účinnost musí mít používaná média vysokou plochu aktivního povrchu s patrnými póry (průduchy) přiměřenými vodnímu výkonu systému (Timmons a kol., 2005). Pro zachycení mikroflóry je používáno pevné médium. Moderní filtry využívají různé plastové struktury ve tvarech mřížky, vlnitého plechu, kuliček, modových pláští nebo otevřených bloků. Hlavním cílem je poskytnutí co největší aktivní plochy pro osídlení mikroflórou (Wecker, 2007). Média užívaná v biofiltrech musí být inertní, nestlačitelná a nesmí podléhat biologické degradaci. Typická média užívaná v biofiltrech jsou písek, kamenná drť a říční štěrk, nebo různé druhy plastu, nebo keramického materiálu ve tvaru malých korálků, nebo velkých koulí, prstenů či sedla. Biofiltry musí být pečlivě navrženy, aby se vyhnuly limitaci kyslíkem, nadměrným množstvím pevných částic, biochemické spotřebě kyslíku, nebo amoniaku (Timmons a kol., 2005). Osvědčilo se zavést do středu filtru kyslíkování.

V minulých letech přitahovaly pozornost hlavně fluidní filtry. Ty nám poskytují větší množství specifické plochy povrchu a při stejné úrovni nitrifikace vyžadují nižší údržbu než jiné filtry (Wecker, 2007).

#### **2.6.3.5. Denitrifikace**

Odstranění dusíku získává stále větší pozornost, protože sloučeniny dusíku jsou jeden z důvodů eutrofizace přírodních vod. Biologická denitrifikace je cesta k odstranění dusičnanů v přírodních vodách. Konečným produktem denitrifikace je molekulární dusík ( $N_2$ ) a ten pak může snadno opustit vodní koloběh přechodem do atmosféry (Wecker, 2007).

Biologické filtry produkují při nitrifikaci dusičnany. Dusičnany mohou způsobit ve velkých koncentracích problémy i když jsou v porovnání s dusitany a volným amoniakem jen velmi málo toxické. Dusičnany ve velkých koncentracích snižují obranyschopnost organismu a ovlivňují osmoregulaci ryb (Colt a Armstrong 1979).

Proces denitrifikace je už řadu let uplatňován v čištění odpadních vod, první pokusy proběhly již v šedesátých letech (Bringmann 1960; Bringmann 1961; Bringmann und Kühn 1962).

Jeden z hlavních problémů při použití anaerobní denitrifikace je potřeba doplňování uhlíku. Denitrifikace je sled pochodů, který může být v podstatě shrnut do dvou kroků. První krok je redukce dusičnanů na dusitany a poté následuje redukce dusitanů na molekulární dusík. Při procesu denitrifikace se nabízí postup k odstranění fosforečnanů z akvakultury těžbou části denitrifikační biomasy. Tento způsob je založený

na schopnosti denitrifikačních organismů vázat fosforečnany více než žádá jejich metabolismus (Barak und van Rijn 2000).

#### **2.6.4. Odplynění**

Je důležité pro vyjmutí hlavně oxidu uhličitého, ale také dusíku vznikajícího při denitrifikaci. CO<sub>2</sub> se dostává do vody vlivem dýchání ryb a bakterií. Na každý spotřebovaný mol kyslíku připadá jeden mol CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> je pro ryby nebezpečný, protože snižuje schopnost krve přenášet kyslík. Jakmile se zvýší obsádka a sníží průtok systémem stává se oxid uhličitý limitujícím faktorem. Při hustotě 30 až 60 kg/m<sup>3</sup>, poskytují ještě běžně užívané systémy provzdušňování dostatečné odnámání CO<sub>2</sub> společně se zásobování kyslíkem. CO<sub>2</sub> vyprchává do atmosféry na rozhraní atmosféry s vodou (vodní hladina, bubliny ze vzduchovacích kamenů, přepady vody). Chceme-li zvýšit hustotu obsádky až na 100kg/m<sup>3</sup>, musíme již odstranění CO<sub>2</sub> věnovat značnou pozornost. K odstranění plynů z vodního prostředí užíváme mechanismy umožňující maximalizovat plochu styku vody se vzduchem. Nákres tohoto přístroje ukazuje obrázek 1 uvedený v přílohách (Timmons a kol., 2005).

#### **2.6.5. Aerace a oxygenace**

##### **2.6.5.1. Aerace**

Vzduch je do akvakultury standartně dodáván dmychadly, vzduchovými čerpadly a kompresory. Základní rozdíly mezi nimi jsou tlakové požadavky a hlasitost chodu. Dmychadla dodávají velké množství vzduchu při nízkém tlaku, zatímco kompresory zásobují menším množstvím vysoce stlačeného vzduchu. Každé vzduchování musí produkovat daný provozní tlak. Provozní tlak musí být dostatečný, aby překonal vodní tlak hloubky, ve které je umístěn rozptylovač, třecí ztráty v potrubí a odpor rozptylovače při proudění vzduchu. V klasických podmínkách to je asi 125 mm Hg (Timmons a kol., 2005).

K účelům aerace se používají různé typy přepadů a kaskád zřízených na přítoku, mechanické aerátory (kesenery apod.), ejektory sloužící k přísávání vzduchu do potrubí a rozvody stlačeného vzduchu (Pokorný, 1998).

Vzduchovací kameny, jsou velmi neúčinné pro kyslíkový transfér do vody (3 - 7%), ale jsou levné. Velmi spolehlivě pracují při nízkých obsádkách při vyšších výměnách

vody. Potřebují ale čistou vodu, jinak dochází často k jejich ucpávání (Timmons a kol., 2005).

#### **2.6.5.2. Oxygenace**

Přímá aplikace kyslíku je nejprogresivnější způsob zvyšování jeho koncentrace ve vodě. Nejpoužívanější je dávkování plynného kyslíku do přítokové vody nebo do chovných nádrží (Pokorný, 1998).

V akvakultuře se běžně užívají tři zdroje kyslíku: vysoce stlačený plynný kyslík, kapalný kyslík a na místě vyrobený kyslík. Stlačený kyslík je k dispozici ve válci o velikosti 3 - 7 m<sup>3</sup> o tlaku 170 atmosfér. Další možností jsou kyslíkové láhve, které jsou však kvůli jejich vysoké ceně užívány jen jako záložní zdroje. Kyslíkové láhve se však také vyznačují vysokou spolehlivostí. Tekutý kyslík má teplotu varu při (-182,96°C), proto musí být skladován ve speciálních kriogenních nádobách o objemu 0,11 m<sup>3</sup>. Kyslík může být vyráběn také přímo na místě tlakovou (swing) absorpcí. Princip generátoru kyslíku spočívá v použití molekulárního síta (polopropustné membrány), které působí selektivně a zachytává dusík. Produkován je pak kyslíkem obohacený plyn. Běžně užívané systémy vyrobí 0,5 až 14 kg kyslíku za hodinu. Tento plyn obsahuje 85 - 95% čistého kyslíku (Timmons a kol., 2005). Podle Pokorného (1998) je obsah kyslíku v plynu do 80%.

Pro oxygenaci se nejčastěji používá U-trubic, které fungují na principu zvýšení tlaku plynu, čímž se zrychlí jeho přenos do vody. Skládá se ze dvou soustředných rour 9 - 45 m dlouhých. Kyslík je přidáván v horním konci zařízení, a jak putuje dolů s vodou dochází ke zvýšení hydrostatického tlaku tím pádem vrůstá rychlost kyslíkového transféru (Timmons, 2005).

#### **2.6.6. Desinfekce**

Recirkulační i přítoková voda obsahuje často značné množství zárodků, mezi nimiž nechybí ani zárodky patogenní nebo podmíněně patogenní. Toto nebezpečí je zvláště významné při odběru povrchové vody, kde se často vyskytují i paraziti nebo jejich vývojová stádia (Pokorný, 1998).

Bakteriální a virové onemocnění představují vážný problém v polointenzivní a intenzivní akvakultuře. Nejčastějšími metodami aplikovanými v akvakultuře jsou použití UV záření a ozonizace (Timmons a kol., 2005).

## UV záření

Přírodní i umělé UV záření (vlnová délka 190 - 400 nm) může poškodit mikroorganismy buď přímo, nebo vyvolá změny v jejich nukleových kyselinách. Přímá poškození vyplívá z pohlcení záření DNA mikroorganismu. Absorbce záření DNA je nejvyšší v rozsahu UV-C (190 - 280 nm) (Miller a kol. 1999). UV-C efekt ničící DNA je využitý baktericidních výbojkách. Nízkotlaká rtuťová lampa vysílá z 85% svého výkonu světlo ve vlnové délce 253,7 nm, které je v rozmezí optimální vlnové délky (250 - 270 nm) pro baktericidní účinky (Timmons a kol., 2005).

## ozonizace

Ozón nachází v akvakultuře široké uplatnění, protože má vysokou reakční rychlost a produkuje jen málo škodlivých vedlejších produktů v sladké vodě. Konečným produktem reakce je kyslík. Ozón je extrémně reaktivní oxidant a velmi efektivní baktericidní a viricidní prostředek (Timmons a kol., 2005).

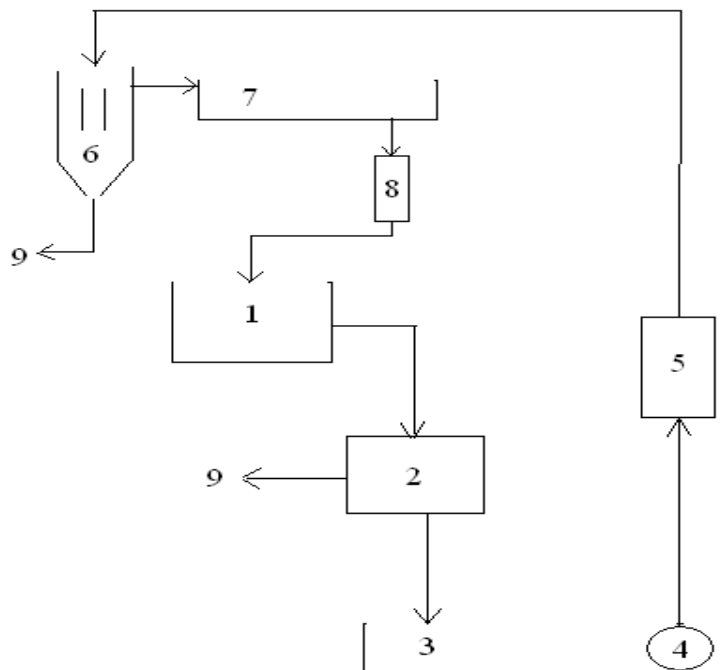
### **3. MATERIÁL A METODIKA**

Prvotním záměrem této diplomové práce bylo vyhodnotit účinnost mechanického filtru a nitrifikačního ponořeného biologického filtru při provozu recirkulačního systému s intenzivním chovem okouna říčního. Dílčím cílem bylo zachytit změny spotřeby kyslíku a exkreci amoniaku u okouna říčního v závislosti na krmení a velikosti ryb. Hodnoceny byly změny obsahu kyslíku, hodnoty pH, koncentrace obsahu amoniaku, dusitanů, dusičnanů a hodnoty chemické spotřeby kyslíku, za prvé chovem ryb a za druhé účinkem mechanické a biologické filtrace.

Pokus probíhal na recirkulačním systému v experimentálním rybochovném objektu Výzkumného ústavu rybářského a hydrobiologického JU ve Vodňanech v období od 29. července do 26. srpna 2007. V tomto období proběhlo pět měření sledovaných parametrů kvality vody. Dne 13. září 2007 pak proběhlo dodatečně měření spotřeby kyslíku u nekrmených ryb.

Recirkulační systém ve Vodňanech (obr. 1) je tvořen ze základu odchovnými nádržemi, mechanickým filtrem, biologickým filtrem a retenční nádrží, dále obsahuje zařízení na ohřev vody a oxygenaci.

**obr. 1: Základní schéma recirkulačního systému v experimentální odchovně VÚRH JU.**





1. Odchovné nádrže; 2. Mechanický filtr; 3. Retenční nádrž pod MF; 4. Čerpadlo;
5. Ohřev vody; 6. Biologické filtry; 7. Retenční nádrž pod BF; 8. Oxygenace; 9. Odkalení

Pro mechanickou filtraci je v experimentální odchovně VÚRH JU umístěn bubnový mechanický filtr s mikrosítem pro zachycení částic od 40  $\mu\text{m}$  (IN-ECO Brno, Česká republika) (obr.2 a 3).

obr. 2 a 3: mechanický filtr IN-ECO



Pro biologickou filtraci jsou v experimentální odchovně VÚRH JU využívány tři nitrifikační ponořené filtry každý o objemu 5  $\text{m}^3$ , (SDK, Zdislaw Dawidziak and Leszek Kopański, Polsko) (obr. 4).

Obr. 4: Nitrifikační filtr



Před začátkem pokusu bylo nutné ryby získané z umělého výtěru ve stáří 14 měsíců rozsadit v závislosti na jejich hmotnosti do šesti nádrží o objemu vody zhruba 600 l (obr. 5) umístěných v recirkulačním systému.

Obr. 5: Odchovné nádrže



Do nádrží bylo nasazeno šest hmotnostních kategorií ryb s průměrnou počáteční hmotností (g)  $\pm$  SD; biomasou (kg)  $232,9 \pm 10,0$ ;  $15,14$  (I),  $196,4 \pm 8,1$ ;  $15,22$  (II),  $139,8 \pm 6,1$ ;  $15,10$  (III),  $102,4 \pm 5,5$ ;  $15,06$  (IV),  $59,4 \pm 5,5$ ;  $15,04$  (V),  $37,7 \pm 7,5$ ;  $15,00$  (VI). Celková biomasa ryb na začátku pokusu byla  $90,56$  kg. Na recirkulační systém byly ovšem napojeny ještě další dvě nádrže s okouny o různých hmotnostech, kteří se jeví pro pokus se spotřebou kyslíku a produkcí amoniaku jako nadbyteční, protože však zatěžovali systém svými metabolity, musela být i tato skupina ryb zohledněna při vyhodnocování účinnosti filtrů. Celková biomasa tedy byla na začátku  $121,12$  kg. V průběhu pokusu byly ryby krmeny průmyslovým krmivem od firmy BioMar Ecolife 60 (47% bílkovin, 14% lipidů) o velikosti granulí 3 mm. Pro stanovení optimální krmné dávky byl použit vzorec podle Fiogbé a Kestemont (2003).

$$R_{opt} = 4,89 \cdot W^{-0,27}$$

Kde  $R_{opt}$  = optimální denní krmná dávka,  $W$  = tělesná hmotnost (g)

Krmný den byl organizován jako 12 hodin světlé fáze dne během které bylo aplikováno krmivo za pomoci mechanických pásových krmítek s hodinovým strojkem (4305 FIAP, Fish Technics GmbH, Německo) a 12 hodin tmy, kdy byly ryby v klidu bez příjmu potravy. Při světlé fázi se intenzita světla v hale pohybovala v rozmezí 100 – 140 lx. Kyslíkování bylo zajištěno řadou kyslíkových difuzerů (WEDGE-LOCK™, Point Four Systems Inc., Kanada). Při manipulaci s rybami byl používán pro anestezii hřebíčkový olej, jehož dávkování bylo stanoveno na základě metodiky Hamáčkové a kol. (2001). V průběhu pokusu byly jednou týdně během kontrolního dne odebírány vzorky v dvouhodinových intervalech na stanovení koncentrace TAN. Pro stanovení TAN (celkového amoniakálního dusíku) byla použita Nesslerova metoda. Stanovení bylo provedeno za pomoci spektrofotometru (Spectronic Genesys 20, MERCK, Germany). Přepočítání TAN z miligramů na litr (mg/l) na spotřebu jednoho kilogramu ryb za hodinu

(mg TAN/kg/h) byl proveden dle Zakes a kol. (2003).

$$AE = ((TAN_{out} - TAN_{in}) \times Q) / B$$

Kde AE = exkrece amoniaku,  $TAN_{in}$  = naměřená koncentrace na přítoku do chovné nádrže,  $TAN_{out}$  = naměřená koncentrace na odtoku z chovné nádrže, Q = průtok nádrží (l/h), B = biomasa ryb (kg). Zároveň se měřila koncentrace rozpuštěného kyslíku ručním oxymetrem (WTW GmbH, Německo s elektrodou OXI 315i). Tímto oxymetrem pak byla zaznamenávána při všech měřeních rozpuštěného kyslíku rovněž teplota vody. Průměrná teplota byla po dobu pokusu  $23,3 \pm 0,55^{\circ}C$ . Přepočet spotřeby kyslíku v miligranech na kilogram za jednu hodinu (mg O<sub>2</sub> /kg/h) byl proveden dle Zakes a kol. (2003).

$$OC = ((DO_{in} - DO_{out}) \times Q) / B$$

Kde OC = spotřeba kyslíku,  $DO_{in}$  = naměřená koncentrace na přítoku do chovné nádrže,  $DO_{out}$  = naměřená koncentrace na odtoku z chovné nádrže, Q = průtok nádrží (l/h), B = biomasa ryb (kg).

Současně byli odebírány směsné vzorky na stanovení obsahu  $NH_4^+$  - N,  $NO_3^-$  - N,  $NO_2^-$  - N,  $PO_4^{3-}$  - P, CHSKMn, nerozpuštěných látek a veškerých látek. Tyto parametry byly stanovovány v přítoku do odchovných nádrží, na odtoku z nich, na odtoku z mechanického filtru a v retenční nádrží za biologickými filtry.

Vždy na začátku kontrolního dne bylo stanoveno pH, které pak bylo drženo uhličitánem sodným v rozmezí 6,85 – 7,14. Dále byla jednou týdně zachycována odpadní voda odtékající z biologických filtrů a čistící voda z mechanického bubnového filtru. Každý den byl kontrolován stav recirkulačního systému. Ztráty vody vzniklé odpuštěním odpadní vody, odparem a okapem byly vykompenzovány dopuštěním pitné vody z vodovodního řádu o kterém se vedla každodenní evidence. Takto byly sledovány změny jednotlivých chemických parametrů na různých místech recirkulačního systému, účinnost biologické filtrace a kumulování jednotlivých produktů metabolismu ryb původem z krmiva. Stanovení proběhla ve šesti opakováních (tři opakování pro krmené ryby a tři pro nekrmené).

## **4. VÝSLEDKY**

### **4.1. Výměna vody a bilance dusíku v jednotlivých částech systému**

Odběry pro stanovení základních parametrů kvality vody byly provedeny čtyřikrát, a to v prvním, druhém, třetím a čtvrtém týdnu pokusu. Na začátku pokusu byla biomasa všech ryb 121,12 kg, po týdnu to již bylo 131,02 kg, s průměrným přírůstkem biomasy na den 1414,29 g, další týden vzrostla biomasa na 140,69 kg s průměrným denním přírůstkem 1381,43 g a poslední týden činila biomasa již 150,82 kg s průměrným denním přírůstkem 1447,14 g.

Své měření jsem nejdříve zaměřil na zjištění množství vody přitékající a odtékající do mechanického bubnového filtru a fluidních biologických filtrů. Množství vody protékající celým recirkulačním systémem, tudíž také bubnovým mechanickým filtrem a biologickými fluidními filtry nám udává kumulativní průtok, jehož naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 164 736 l/den do 245 505 l/den. Prítok nám monitoruje průměrné množství vody dopouštěné za den z vodovodního řádu, to znamená kompenzaci ztrát vzniklých odpouštěním odpadní vody z bubnového mechanického filtru a z fluidních filtrů, ztrát vzniklých odparem, okapem a manipulací s rybami. Průměrné množství dopouštěné vody se pohybovalo v rozmezí od 207 l/den ve čtvrtém týdnu pokusu do 707 l/den ve druhém týdnu pokusu. Průměrný objem odpadní vody vypuštěné z fluidních filtrů se pohyboval v rozmezí od 5 1,4 l/den do 62,8 l/den a u mechanického filtru se tyto hodnoty pohybovaly v rozmezí od 465 l/den do 725 l/den. Veškeré údaje o bilanci výměny vody v celém recirkulačním systému nám zobrazuje tabulka 1 umístěná v přílohách. Všechna tato data jsou uváděna v litrech za den.

Další část se zabývá bilancí dusíku a dusíkatých látek v recirkulačním systému, tato bilance závisí především na příjmu krmiva, které je tvořeno ze 47% dusíkatými látkami. Spotřeba krmiva se stanovovala v závislosti na hmotnosti a od prvního do čtvrtého týdne vzrostla z 1597 g/den na 1876 g/den. Průměrný obsah dusíku v odpadní vodě biologického filtru se pohyboval od 1,5 g/den do 2,73 g/den a v odpadní vodě mechanického filtru od 3,09 g/den do 9,59 g/den. Výsledky těchto měření nám udává v gramech na den tabulka 2 umístěná v přílohách.

Všechny tyto výsledky sjednocuje tabulka 4, která je tvořena průměrem hodnot zjištěných v druhém, třetím a čtvrtém týdnu měření. Tato tabulka ukazuje průměrné hodnoty základní bilance výměny vody a dusíku v recirkulačním systému, které je třeba znát pro zajištění bezproblémového a plynulého provozu.

**Tab. 4: Parametry recirkulačního systému s odchovem okouna říčního z hlediska výměny vody a bilance dusíku v jednotlivých částech systému.**

|                          |           | průměr    | SD ±    |
|--------------------------|-----------|-----------|---------|
| biomasa                  | kg        | 140,84    | 8,08    |
| spotřeba krmiva          | g · den-1 | 1784,33   | 74,71   |
| přísun N                 | g · den-1 | 134,18    | 5,62    |
| kumulativní průtok       | l · den-1 | 243273,33 | 3156,05 |
| přítok (doplňování vody) | l · den-1 | 639,33    | 95,70   |
| odtok FF                 | l · den-1 | 56,60     | 4,42    |
| odtok BMF                | l · den-1 | 468,33    | 4,71    |
| odtok N z FF             | g · den-1 | 2,02      | 0,52    |
| odtok N z BMF            | g · den-1 | 5,19      | 3,11    |
| přírůstek biomasy        | g · den-1 | 1414,29   | 26,83   |
| n                        |           | 3         | 3       |

#### **4.2. Sledování změn chemických parametrů vody v recirkulačním systému**

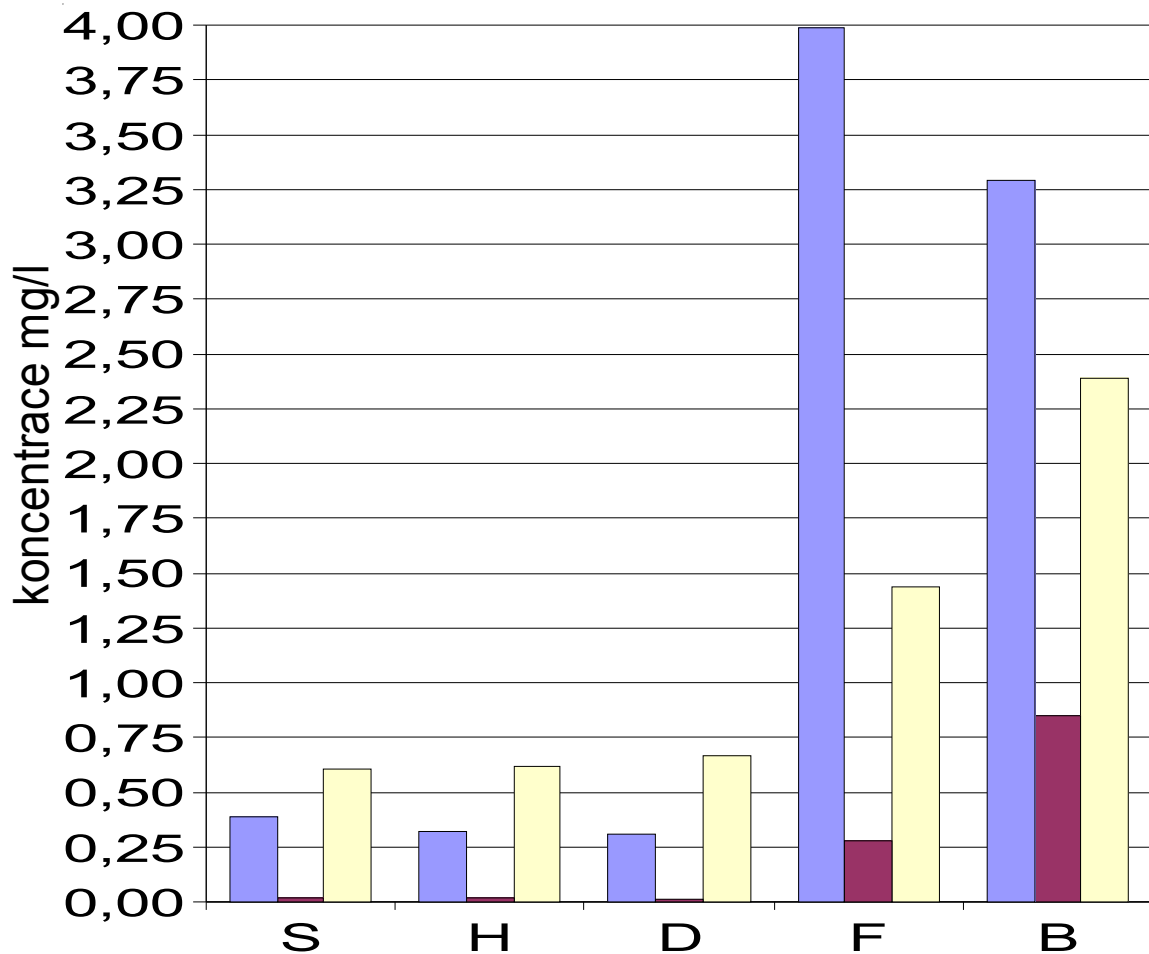
Pro vyhodnocení účinnosti bubnového mechanického filtru a fluidních biologických filtrů bylo třeba porovnat změny obsahu jednotlivých látek ve vodě během průtoku vody recirkulačním systémem. Zaměřil jsem se na stanovení obsahů z hlediska recirkulačního systému nejdůležitějších parametrů ( $\text{NH}_4^+$  - N,  $\text{NO}_3^-$  - N,  $\text{NO}_2^-$  - N,  $\text{PO}_4^{3-}$  - P,  $\text{CHSK}_{\text{MB}}$ , nerozpuštěné látky a veškeré látky). Odběry pro následující měření jsem prováděl druhý, třetí a čtvrtý týden pokusu, tedy v části pokusu s krmenými rybami. Průměrné hodnoty naměřené během těchto třech odběrů jsou uvedeny v miligramech na litr v tabulce 5. V této tabulce si můžeme všimnout relativně stálých obsahů měřených parametrů v recirkulované vodě při průtoku systémem. Několikanásobný nárůst naměřených hodnot nastal při analýze odpadní vody vypouštěné z bubnového mechanického filtru a fluidního biologického filtru. Z hodnot v tabulce 5 jsem vytvořil sloupcové grafy (graf 3, graf 4) pro lepší znázornění změn probíhajících při průtoku jednotlivými částmi recirkulačního systému.

**Tab. 5: Sledování změn chemických parametrů vody v recirkulačním systému**

|     | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> - P | CHSK <sub>Mn</sub> | Nerozp. Látky   | Veškeré látky     |
|-----|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| Sm  | 0,39 ± 0,05                      | 36,77 ± 6,83                     | 0,02 ± 0,01                      | 0,61 ± 0,28                       | 9,97 ± 0,09        | 2,39 ± 0,06     | -                 |
| Hn  | 0,32 ± 0,03                      | 41,40 ± 4,06                     | 0,02 ± 0,01                      | 0,62 ± 0,28                       | 8,86 ± 0,56        | 0,84 ± 0,24     | -                 |
| Dn  | 0,31 ± 0,04                      | 41,40 ± 5,28                     | 0,01 ± 0,01                      | 0,67 ± 0,31                       | 8,07 ± 0,19        | 0,68 ± 0,24     | -                 |
| Ff  | 3,99 ± 2,17                      | 31,00 ± 8,39                     | 0,28 ± 0,04                      | 1,44 ± 0,19                       | 28,53 ± 5,44       | 1946,67 ± 766,4 | 3136,00 ± 1589,11 |
| Bmf | 3,29 ± 2,07                      | 6,78 ± 4,58                      | 0,85 ± 0,07                      | 2,39 ± 0,99                       | 30,03 ± 7,13       | 567,33 ± 354,25 | 940,67 ± 417,19   |
| n   | 3                                | 3                                | 3                                | 3                                 | 3                  | 3               | 3                 |

Legenda: SmV = směsný vzorek ze všech nádrží s rybami, HRN = horní retenční nádrž (zásobník přítokové vody do nádrží s okouny, za fluidními filtry), DRN = dolní retenční nádrž (vyčištěná voda po mechanické filtraci), FF = odpadní voda odpouštějící-se periodicky z fluidních filtrů, BMF = odpadní voda bubnového mechanického filtru.

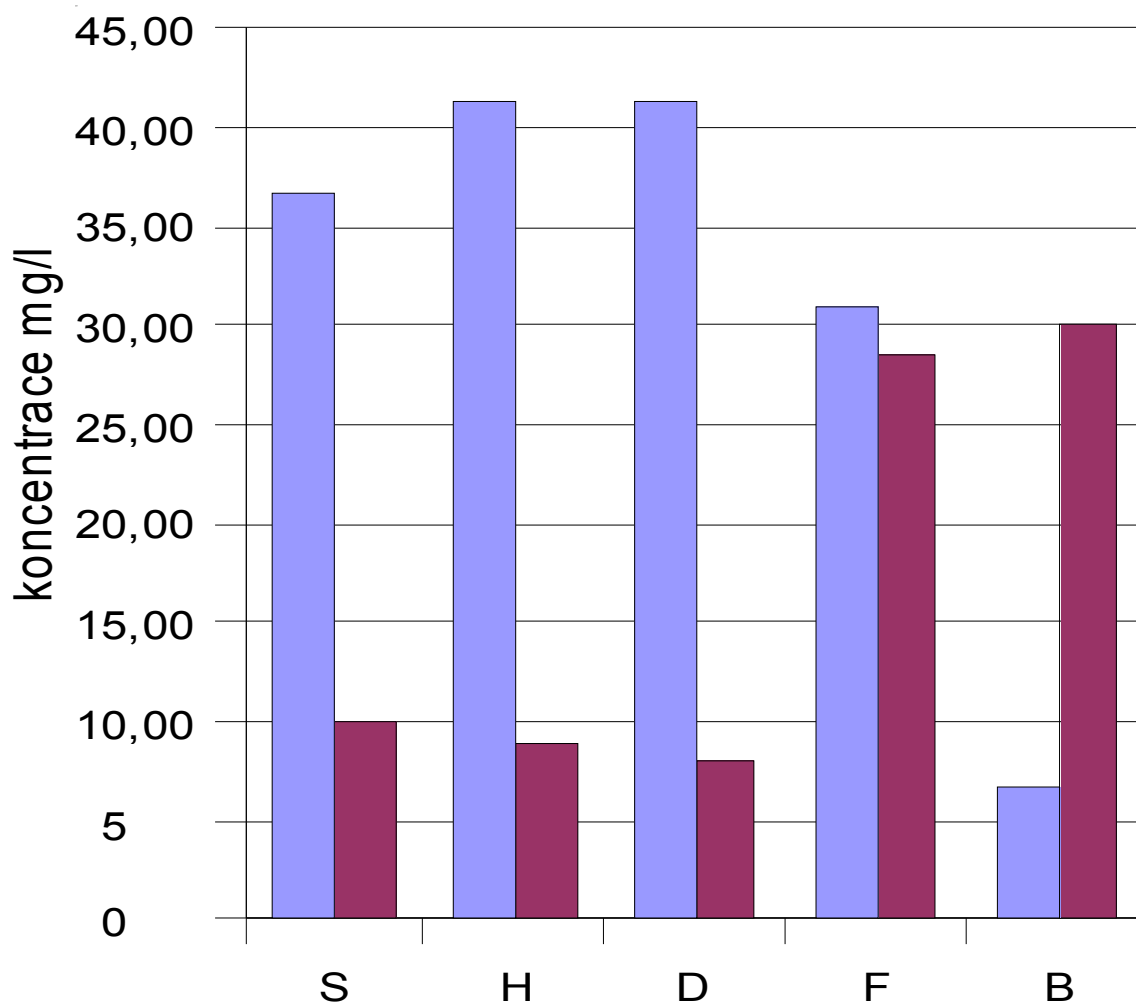
**Graf 2: Koncentrace  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  a  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  na různých místech recirkulačního systému s chovem okouna říčního.**



Legenda: Koncentrace  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  (modré sloupce),  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  (červené sloupce) a  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  (žluté sloupce).

S = směsný vzorek vody z nádrží s rybami, H = směsný vzorek vody z horní retenční nádrže po biologické filtraci fluidním biologickým filtrem, D = směsný vzorek vody z dolní retenční nádrže po mechanické filtraci, F = vzorek odpadní vody z fluidních filtrů, B = vzorek odpadní (prací) vody z bubnového mechanického filtru

**Graf 3: Koncentrace  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  a hodnota  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  na různých místech recirkulačního systému s chovem okouna říčního.**



Legenda: Koncentrace  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  (modré sloupce) a hodnota  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  (červené sloupce) na různých místech recirkulačního systému s chovem okouna říčního.

S = směsný vzorek vody z nádrží s rybami, H = směsný vzorek vody z horní retenční nádrže po biologické filtraci fluidním biologickým filtrem, D = směsný vzorek vody z dolní retenční nádrže po mechanické filtraci, F = vzorek odpadní vody z fluidních filtrů, B = vzorek odpadní (prací) vody z bubnového mechanického filtru



### 4.3. Kumulace vybraných parametrů ve vodě recirkulačního systému

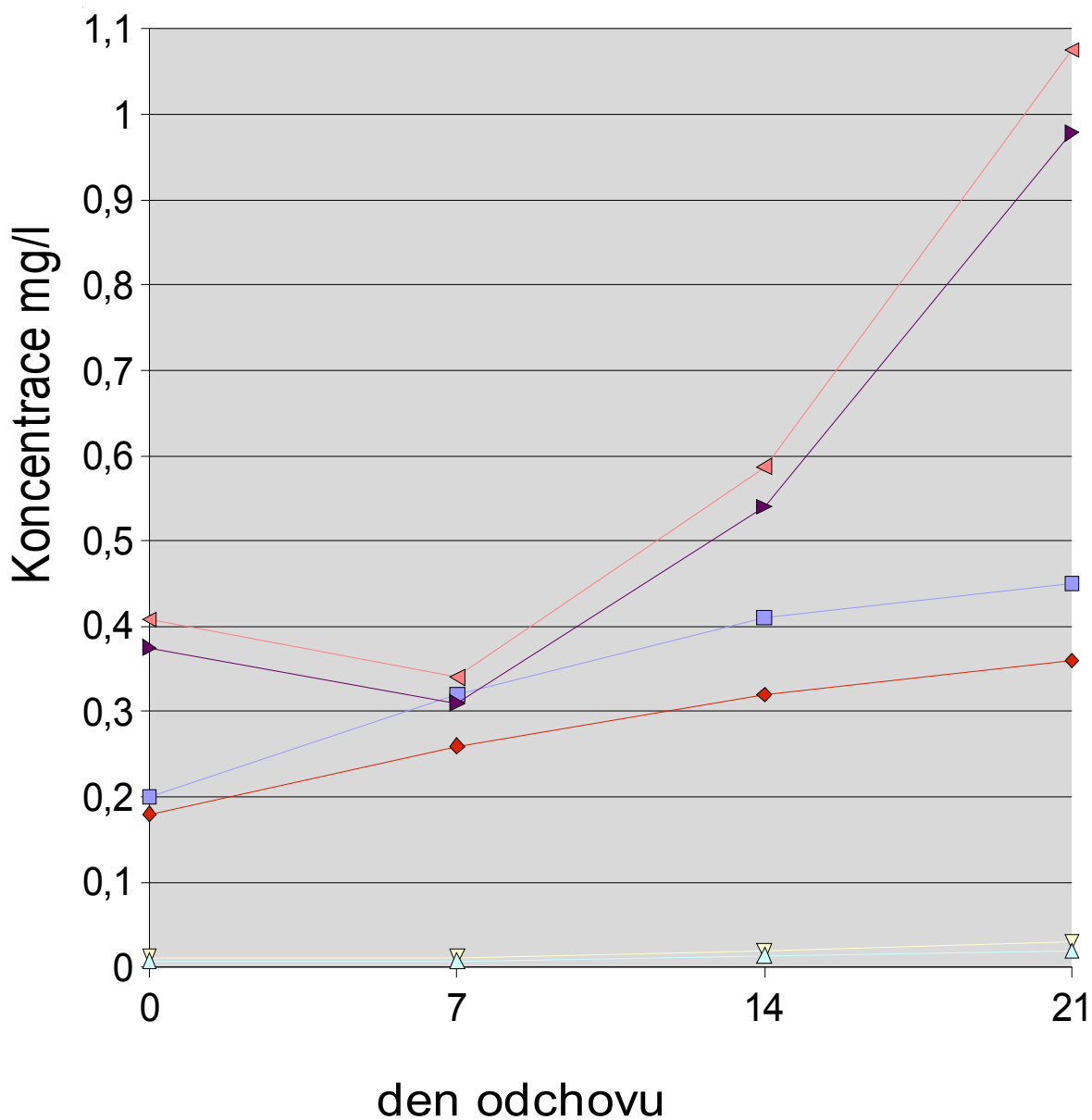
Během pokusu docházelo ke kumulaci takřka u všech měřených parametrů. U nádrže s chovanými rybami se tyto naměřené hodnoty vyvíjely následovně: koncentrace  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  stoupla z 0,2 mg/l na 0,45 mg/l, koncentrace  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  z 21 mg/l na 46 mg/l, koncentrace  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  z 0,01 mg/l na 0,03 mg/l a koncentrace  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  z 0,38 mg/l na 0,98 mg/l. Všechny tyto hodnoty se zvýšily o více než dvojnásobek. Jediná koncentrace  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ , jejíž hodnota na počátku pokusu byla 9 mg/l a na konci 10,1 mg/l se po dobu třech týdnů takřka nezměnila. Pro doplnění jsou v tabulce 6 ještě uvedeny hodnoty naměřené ze vzorků odebraných v horní retenční nádrži po mechanické a biologické filtraci. Z tabulky 6 vychází pro grafické znázornění kumulace jednotlivých parametrů spojnicové grafy (graf 4, graf 5).

**Tab. 6: Kumulace  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  a  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  ve vodě recirkulačního systému s chovem okouna v odchovných nádržích a po mechanické a biologické filtraci.**

| Den |                               | 0    | 7    | 14   | 21   |
|-----|-------------------------------|------|------|------|------|
| Sm  | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$    | 0,2  | 0,32 | 0,41 | 0,45 |
| HN  | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$    | 0,18 | 0,26 | 0,32 | 0,36 |
| Sm  | $\text{NO}_3^- - \text{N}$    | 21   | 29,7 | 34,6 | 46   |
| HN  | $\text{NO}_3^- - \text{N}$    | 24,4 | 36,8 | 38,6 | 48,8 |
| Sm  | $\text{NO}_2^- - \text{N}$    | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
| HN  | $\text{NO}_2^- - \text{N}$    | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| Sm  | $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ | 0,38 | 0,31 | 0,54 | 0,98 |
| HN  | $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ | 0,41 | 0,34 | 0,59 | 1,08 |
| Sm  | $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$     | 9    | 9,9  | 9,9  | 10,1 |
| HN  | $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$     | 14,8 | 8,2  | 8,2  | 7,8  |

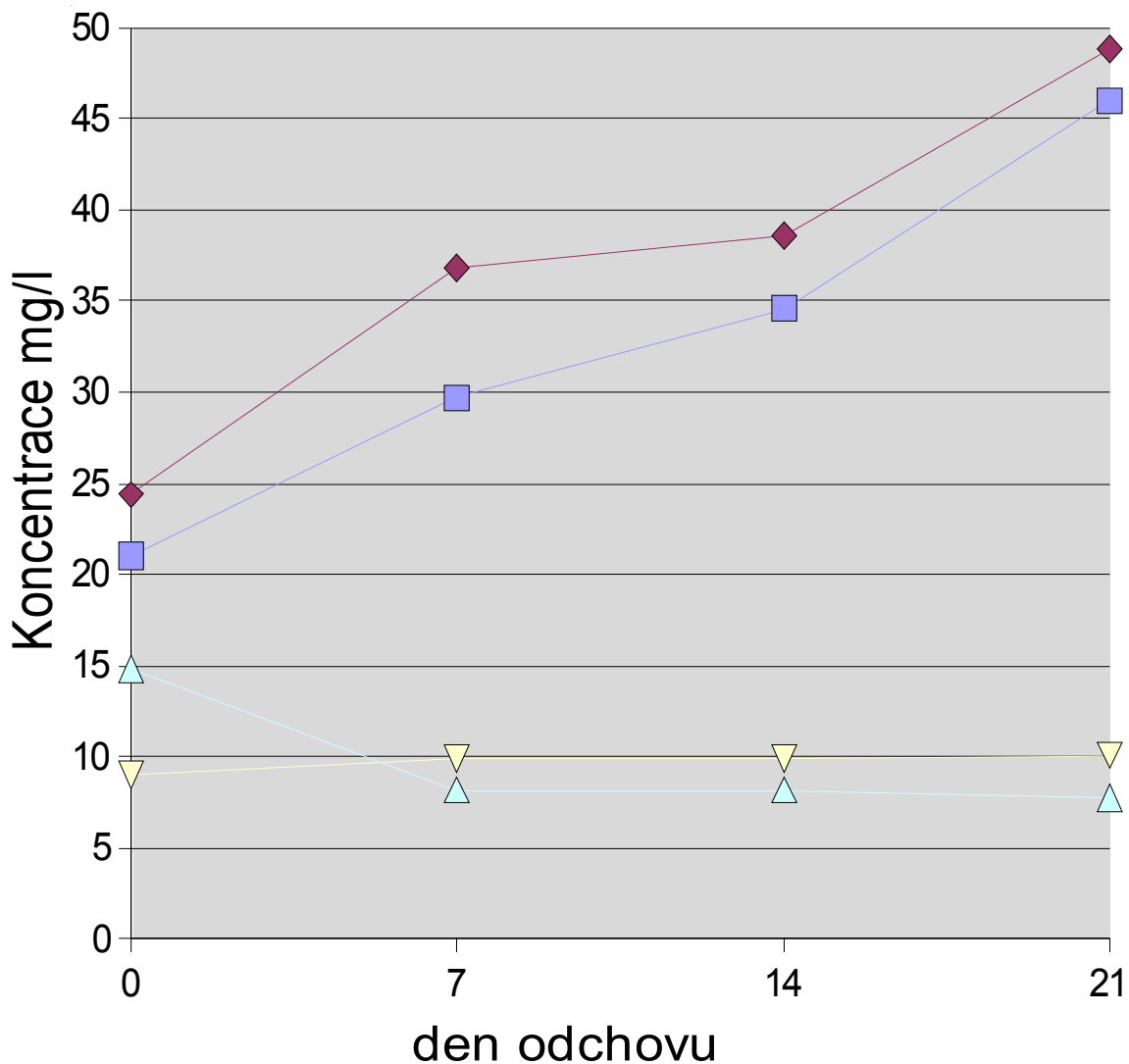
Legenda: Sm = směsný vzorek vody z nádrží s rybami, HN = směsný vzorek vody z horní retenční nádrže po mechanické a biologické filtraci

**Graf 4: Kumulace  $\text{NH}_4^+$  - N,  $\text{NO}_2^-$  -N,  $\text{PO}_4^{3-}$  - P ve vodě recirkulačního systému s chovem okouna před a po mechanické a biologické filtraci.**



Legenda: Kumulace jednotlivých parametrů v odchovných nádržích s rybami  $\text{NH}_4^+$  - N (tmavě modrá),  $\text{NO}_2^-$  -N (žlutá),  $\text{PO}_4^{3-}$  - P (růžová) a kumulace jednotlivých parametrů v retenční nádrži za fluidním biologickým filtrem  $\text{NH}_4^+$  - N (červená),  $\text{NO}_2^-$  -N (světle modrá),  $\text{PO}_4^{3-}$  - P (fialová)

**Graf 5: Kumulace  $\text{NO}_3^-$  -N a změny v  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  ve vodě recirkulačního systému s chovem okouna před a po mechanické a biologické filtraci.**



Legenda: Kumulace  $\text{NO}_3^-$  -N (modrá) a změna v  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  (světle modrá) v odchovných nádržích s rybami, kumulace  $\text{NO}_3^-$  -N (červená) a změna v  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  (žlutá) v retenční nádrži za fluidním biologickým filtrem

## 4.4. Spotřeba kyslíku okounem říčním

### 4.4.1. Spotřeba kyslíku u nekrmené obsádky okouna říčního

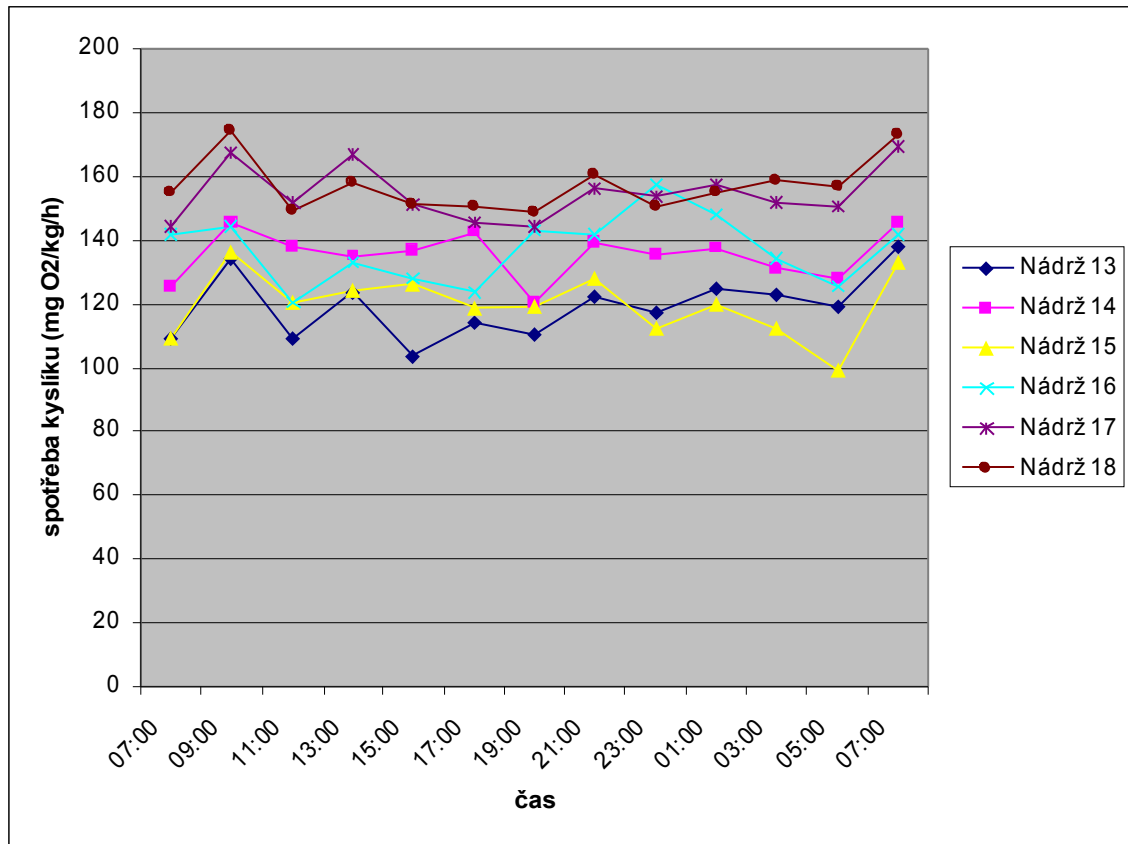
Diurnální změny spotřeby kyslíku bylo nutné nejprve rozlišit do dvou částí. První část se skládala ze tří dnů měření spotřeby kyslíku u nekrmených ryb. Během této části pokusu s nekrmenými rybami nedocházelo k tak výrazným výkyvům ve spotřebě kyslíku, jako u ryb krmených. Například u největších ryb (nádrž č.13) byla průměrná nejnižší naměřená hodnota ze tří měření  $103,27 \pm 21,7$  mg O<sub>2</sub>/kg/h a nejvyšší  $137,8 \pm 19,7$  mg O<sub>2</sub>/kg/h. Rozdíl mezních hodnot tedy tvořil  $34,53$  mg O<sub>2</sub>/kg/h. U ostatních skupin byly tyto rozdíly velmi podobné. Všechny hodnoty vytvořené jako průměr měření tří dnů této části pokusu jsou uvedeny v tabulce 7 v mg O<sub>2</sub>/kg/h. Grafické znázornění těchto diurnálních změn zobrazuje graf 6.

Vzhledem k celkové nízké spotřebě kyslíku se ve větší míře neprojeví ani odlišné spotřeby kyslíku v závislosti na hmotnosti ryb. Pro pochopení této části pokusu je třeba vědět, že ryby byly do nádrží nasazeny postupně podle velikosti od největších ryb (nádrž č.13) až po nejmenší (nádrž č.18). Průměrné spotřeby kyslíku utvořené z hodnot naměřených během tří pokusných dnů byly pro jednotlivé skupiny následující: nádrž č. 13 =  $119,06 \pm 9,66$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, nádrž č. 14 =  $135,19 \pm 7,21$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, nádrž č. 15 =  $119,79 \pm 9,62$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, nádrž č. 16 =  $137,01 \pm 10,35$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, nádrž č. 17 =  $154,49 \pm 7,76$  mg O<sub>2</sub>/kg/h a nádrž č. 18 =  $156,93 \pm 8,04$  mg O<sub>2</sub>/kg/h. Tyto hodnoty jsou graficky vyjádřeny v závislosti na průměrné hmotnosti ryby z jednotlivých nádrží grafem 7.

Tab. 7: Dinnální změny ve spotřebě kyslíku během dne u nekrmené obsádky okouna říčního

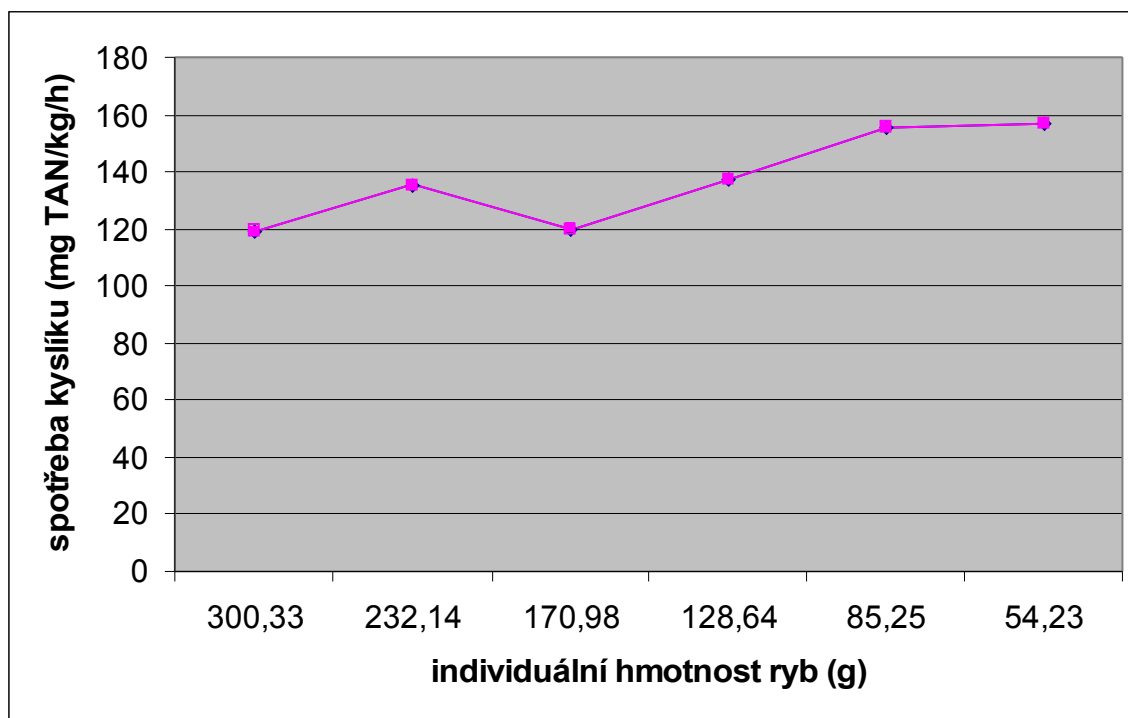
|          | 07:00  | 09:00  | 11:00  | 13:00  | 15:00  | 17:00  | 19:00  | 21:00  | 23:00  | 01:00  | 03:00  | 05:00  | 07:00  |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nádrž 13 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 109,37 | 134,25 | 108,95 | 123,73 | 103,27 | 114,19 | 110,12 | 122,54 | 117,24 | 124,51 | 122,81 | 118,95 | 137,80 |
| SD ±     | 40,14  | 13,60  | 24,26  | 24,17  | 21,70  | 14,22  | 5,92   | 16,18  | 20,90  | 19,09  | 5,15   | 11,10  | 19,17  |
| Nádrž 14 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 125,16 | 145,22 | 137,69 | 134,77 | 136,66 | 142,17 | 120,17 | 139,05 | 135,60 | 137,06 | 131,14 | 127,64 | 145,15 |
| SD ±     | 32,72  | 23,72  | 8,94   | 16,96  | 30,39  | 29,21  | 4,15   | 19,85  | 27,38  | 29,59  | 17,83  | 19,98  | 25,22  |
| Nádrž 15 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 109,38 | 135,93 | 120,66 | 123,96 | 126,29 | 118,43 | 118,82 | 127,62 | 111,99 | 119,89 | 112,52 | 99,09  | 132,73 |
| SD ±     | 37,41  | 21,68  | 10,59  | 21,60  | 6,27   | 19,66  | 6,19   | 18,82  | 41,55  | 27,26  | 26,83  | 43,09  | 25,30  |
| Nádrž 16 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 141,59 | 144,17 | 120,33 | 133,19 | 127,80 | 123,43 | 142,70 | 141,66 | 157,46 | 147,94 | 133,94 | 125,30 | 141,57 |
| SD ±     | 30,23  | 29,91  | 31,88  | 31,55  | 21,97  | 40,75  | 34,75  | 20,95  | 15,02  | 18,58  | 38,02  | 49,78  | 43,37  |
| Nádrž 17 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 144,21 | 167,31 | 151,87 | 166,64 | 151,37 | 154,56 | 144,04 | 155,88 | 153,79 | 157,64 | 151,58 | 150,70 | 169,07 |
| SD ±     | 46,37  | 17,43  | 16,43  | 22,64  | 13,62  | 19,53  | 11,99  | 20,08  | 30,90  | 32,91  | 35,86  | 36,86  | 33,93  |
| Nádrž 18 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 154,59 | 174,40 | 149,14 | 158,08 | 151,14 | 150,53 | 148,31 | 160,64 | 150,27 | 154,98 | 158,39 | 156,74 | 172,86 |
| SD ±     | 57,12  | 35,74  | 42,34  | 35,24  | 18,84  | 26,54  | 11,05  | 22,39  | 34,99  | 34,21  | 35,27  | 29,86  | 31,70  |

Graf 6: Diurnální změny ve spotřebě kyslíku během dne u nekrmené obsádky okouna říčního chované v recirkulačním systému.



Legenda: Nádrž 13 ryby s průměrnou hmotností 300,33 g,  
 Nádrž 14 ryby s průměrnou hmotností 232,14 g,  
 Nádrž 15 ryby s průměrnou hmotností 170,98 g,  
 Nádrž 16 ryby s průměrnou hmotností 128,64 g,  
 Nádrž 17 ryby s průměrnou hmotností 85,25 g,  
 Nádrž 18 ryby s průměrnou hmotností 54,23 g.

Graf 7: Závislost průměrné denní spotřeby kyslíku na individuální hmotnosti nekrmené obsádky okouna říčního chované v recirkulačním systému



#### 4.4.2. Spotřeba kyslíku u krmené obsádky okouna říčního

Měření spotřeby kyslíku u krmených ryb bylo také rozděleno na tři celodenní pozorování. Během této části pokusu již docházelo k výrazným výkyvům ve spotřebě kyslíku v průběhu dne. Průměrná spotřeba kyslíku (tabulka 8) se u největších ryb v nádrži č. 13 pohybovala od  $146,39 \pm 9,57$  mg O<sub>2</sub>/kg/h do  $233,93 \pm 15,36$  mg O<sub>2</sub>/kg/h s rozdílem těchto hodnot  $87,54$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, v nádrži č. 14 od  $151,21 \pm 7,54$  mg O<sub>2</sub>/kg/h do  $234,61 \pm 17,41$  mg O<sub>2</sub>/kg/h s rozdílem  $83,4$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, v nádrži č. 15 od  $158,17 \pm 14,28$  mg O<sub>2</sub>/kg/h do  $257,53 \pm 39,79$  mg O<sub>2</sub>/kg/h s rozdílem  $99,36$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, nádrži č. 16 od  $153,3 \pm 7,11$  mg O<sub>2</sub>/kg/h do  $251,02 \pm 12,58$  mg O<sub>2</sub>/kg/h s rozdílem  $97,72$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, v nádrži č. 17 od  $162,33 \pm 17,72$  mg O<sub>2</sub>/kg/h do  $309,47 \pm 20,18$  mg O<sub>2</sub>/kg/h s rozdílem  $147,14$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, v nádrži č. 18 od  $210,84 \pm 0,79$  mg O<sub>2</sub>/kg/h do  $339,1 \pm 52,99$  s rozdílem  $128,26$  mg O<sub>2</sub>/kg/h. Z těchto čísel je patrné, že se spotřeba kyslíku i rozdíl mezi mezími hodnotami spotřeby kyslíku během dne úměrně zvyšuje vzhledem ke snižování průměrné hmotnosti ryb.

Průběh diurnálních změn ve spotřebě kyslíku byl následující. Od začátku podávání krmiva v sedm hodin ráno nastal u sledovaných ryb relativně rychlý nárůst spotřeby kyslíku, který trval až do jedné hodiny odpoledne. V jednu hodinu se tento nárůst zastavil a spotřeba kyslíku se držela na maximální úrovni až do sedmé hodiny odpoledne. Krátce před sedmou hodinou byla rovněž ukončena i krmná fáze ryb, v závislosti na tom začala spotřeba kyslíku plynule klesat a to až do sedmé hodiny ráno. Grafické znázornění těchto diurnálních změn zobrazuje graf 8.

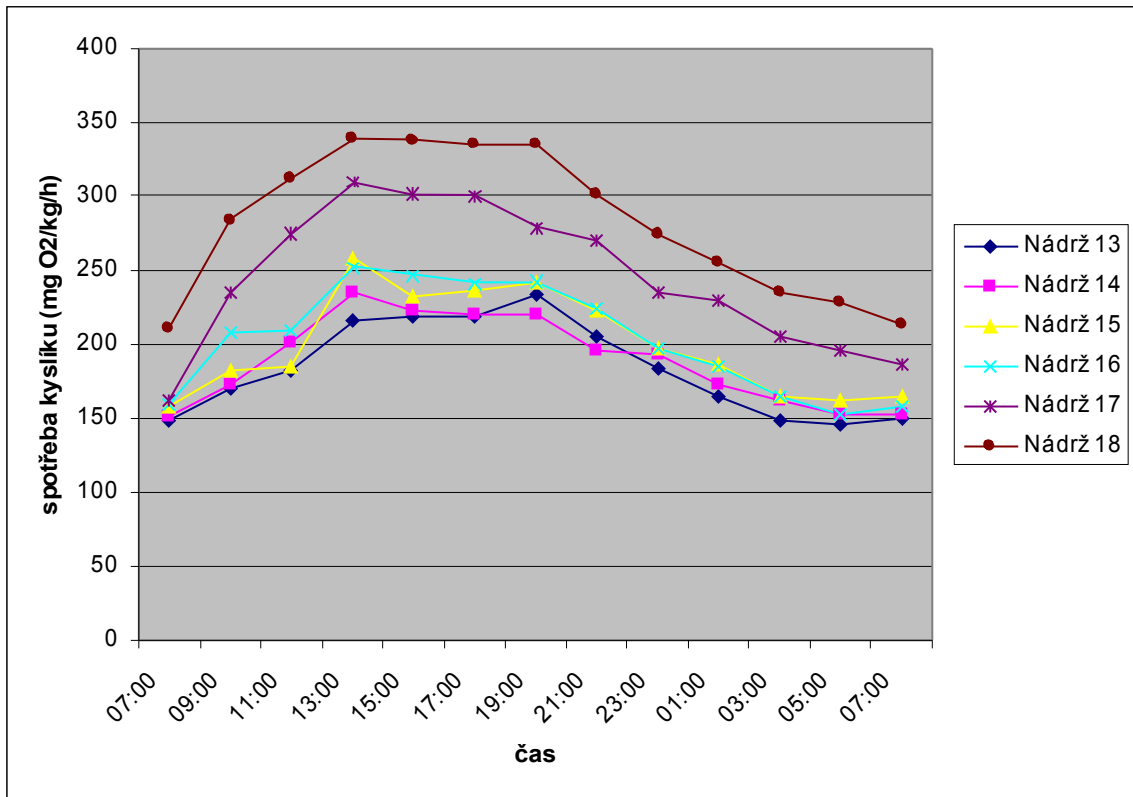
U krmených ryb se už na rozdíl od nekrmených výrazněji projevuje odlišná spotřeba kyslíku v závislosti na hmotnostních skupinách ryb. Průměr spotřeby kyslíku z hodnot neměřených během tří dnů je pro jednotlivé skupiny následující: nádrž č. 13 =  $183,68 \pm 30,49$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, nádrž č. 14 =  $188,67 \pm 28,65$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, nádrž č. 15 =  $199,44 \pm 33,16$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, nádrž č. 16 =  $202,95 \pm 34,82$  mg O<sub>2</sub>/kg/h, nádrž č. 17 =  $245,57 \pm 46,56$  mg O<sub>2</sub>/kg/h a nádrž č. 18 =  $281,67 \pm 47,09$  mg O<sub>2</sub>/kg/h. Tyto hodnoty jsou graficky vyjádřeny v závislosti na průměrné hmotnosti ryby z jednotlivých nádrží grafem 9.



Tab. 8: Dáimální změny ve spotřebě kyslíku během dne u krmené obsádky okouma říčního

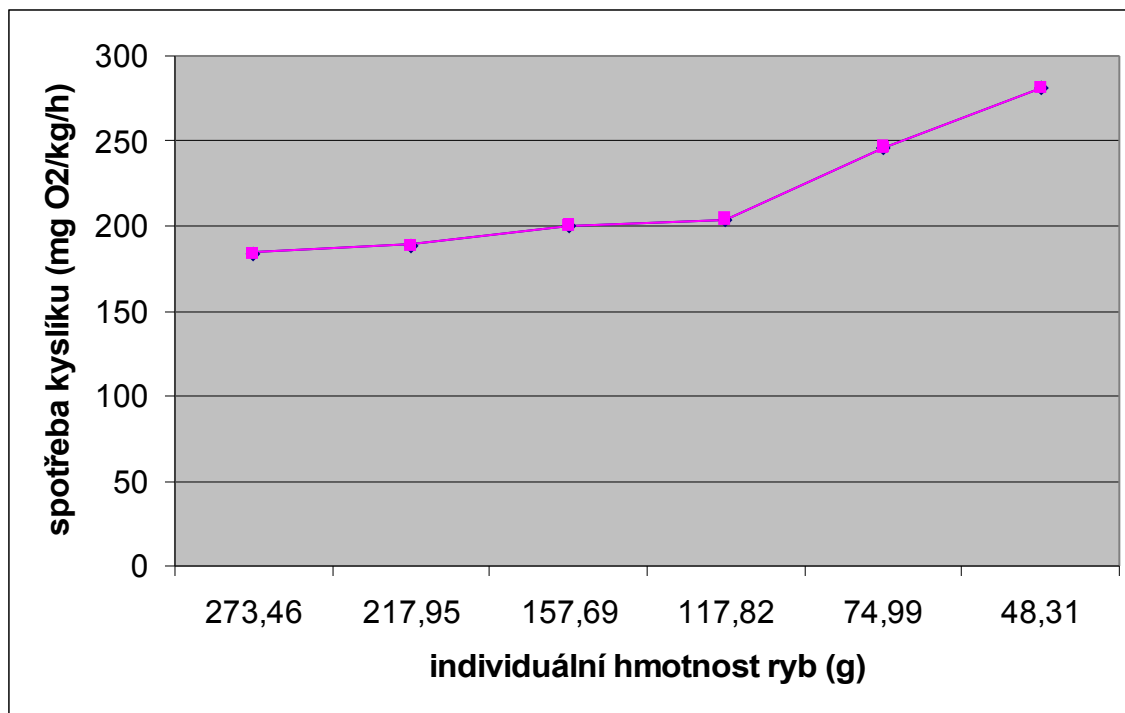
|          | 7:00   | 9:00   | 11:00  | 13:00  | 15:00  | 17:00  | 19:00  | 21:00  | 23:00  | 1:00   | 3:00   | 5:00   | 7:00   |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nádrž 13 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 149,05 | 170,90 | 181,89 | 216,87 | 218,35 | 218,92 | 233,93 | 205,72 | 183,33 | 164,43 | 148,64 | 146,39 | 149,46 |
| SD ±     | 9,60   | 24,66  | 10,24  | 16,66  | 9,39   | 11,95  | 15,36  | 17,37  | 1,19   | 8,41   | 11,98  | 9,57   | 9,78   |
| Nádrž 14 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 151,21 | 172,92 | 201,43 | 234,61 | 222,44 | 220,11 | 220,71 | 195,38 | 193,02 | 173,45 | 161,93 | 152,41 | 153,08 |
| SD ±     | 7,54   | 28,12  | 8,72   | 17,41  | 4,72   | 12,62  | 21,09  | 9,59   | 12,49  | 24,49  | 24,13  | 18,50  | 13,35  |
| Nádrž 15 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 158,17 | 182,08 | 184,74 | 257,53 | 231,82 | 236,10 | 241,82 | 223,60 | 197,77 | 187,03 | 164,96 | 162,43 | 164,68 |
| SD ±     | 14,28  | 32,24  | 12,48  | 39,79  | 4,44   | 11,74  | 14,14  | 19,76  | 13,21  | 21,84  | 23,44  | 16,96  | 14,35  |
| Nádrž 16 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 159,01 | 207,62 | 209,21 | 251,02 | 245,93 | 240,88 | 241,91 | 224,03 | 196,74 | 184,61 | 165,42 | 153,30 | 158,68 |
| SD ±     | 9,87   | 56,57  | 23,40  | 12,58  | 14,96  | 17,48  | 8,99   | 26,82  | 15,07  | 20,20  | 18,02  | 7,11   | 4,78   |
| Nádrž 17 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 162,33 | 234,99 | 273,93 | 309,47 | 301,80 | 300,20 | 278,78 | 278,38 | 235,02 | 229,66 | 205,73 | 195,73 | 186,45 |
| SD ±     | 17,72  | 49,40  | 29,64  | 20,18  | 25,63  | 15,49  | 25,55  | 22,70  | 11,02  | 10,68  | 18,27  | 12,50  | 19,00  |
| Nádrž 18 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| průměr   | 210,84 | 283,94 | 312,54 | 339,10 | 337,41 | 334,86 | 334,83 | 301,50 | 274,68 | 255,02 | 234,83 | 228,17 | 213,93 |
| SD ±     | 0,79   | 62,56  | 63,31  | 52,99  | 16,82  | 13,14  | 26,76  | 27,91  | 10,65  | 21,60  | 26,24  | 13,25  | 8,88   |

Graf 8: Diurnální změny ve spotřebě kyslíku během krmného dne u krmené obsádky okouna říčního chované v recirkulačním systému.



Legenda: Nádrž 13 ryby s průměrnou hmotností 273,46 g,  
 Nádrž 14 ryby s průměrnou hmotností 217,95 g,  
 Nádrž 15 ryby s průměrnou hmotností 157,69 g,  
 Nádrž 16 ryby s průměrnou hmotností 117,82 g,  
 Nádrž 17 ryby s průměrnou hmotností 74,99 g,  
 Nádrž 18 ryby s průměrnou hmotností 48,31 g.

Graf 9: Závislost průměrné denní spotřeby kyslíku na individuální hmotnosti krmené obsádky okouna říčního



## **4.5. Exkrece amoniaku okounem říčním**

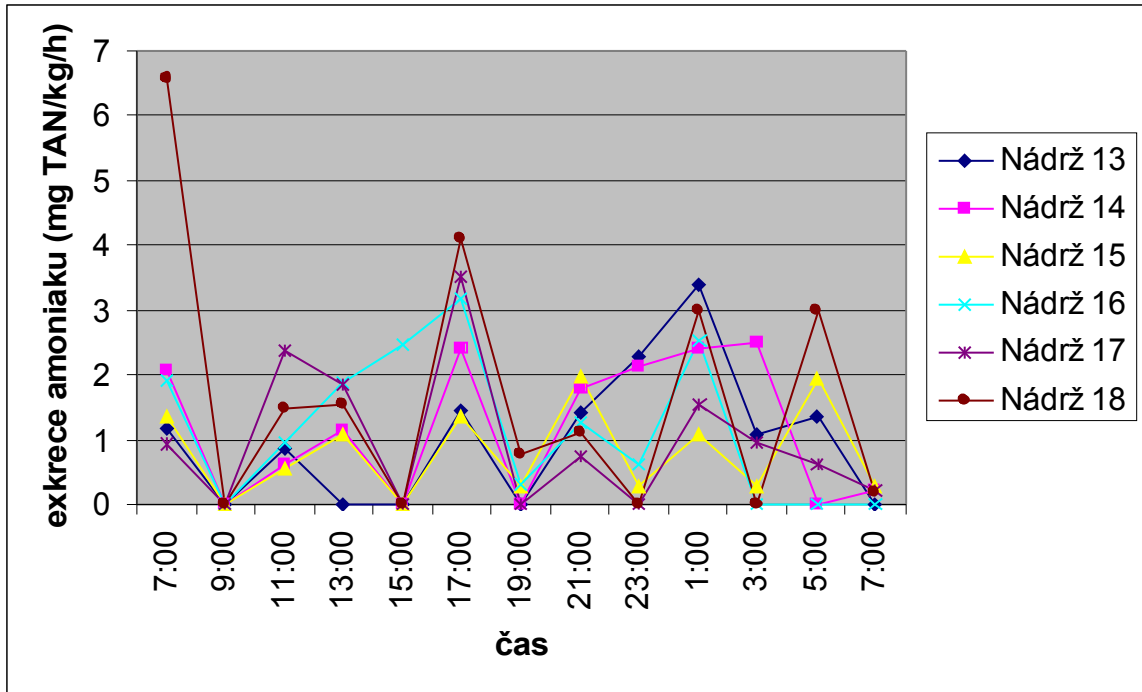
### **4.5.1. Exkrece amoniaku u nekrmené obsádky okouna říčního**

U nekrmené obsádky okouna říčního docházelo jen k velmi malým změnám exkrece amoniaku v průběhu dne. Naměřené hodnoty se pohybovaly jen velmi blízko okolo nuly a zůstávaly po celý den konstantní (graf 10). Rozdíl mezi hodnotami naměřenými na přítoku do nádrží s rybami a na odtoku z nich se pohyboval na hranici měřitelnosti. Naměřené hodnoty nám poskytuje tabulka 9. Rozdílná exkrece amoniaku v závislosti na hmotnosti ryb není rovněž příliš patrná (graf 11).

Tab. 9: Diumální změny ve exkreci amoniaku během krmného dne u nekrmené obsádky okouna říčního

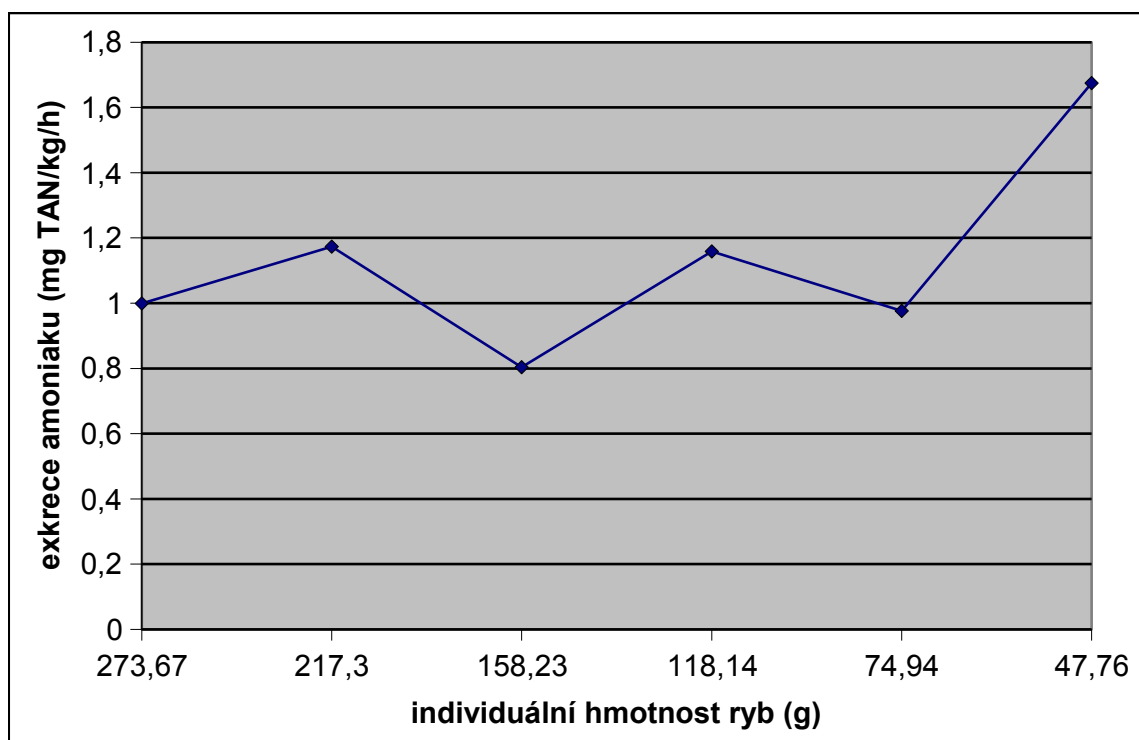
|          | 7:00 | 9:00 | 11:00 | 13:00 | 15:00 | 17:00 | 19:00 | 21:00 | 23:00 | 1:00 | 3:00 | 5:00 | 7:00 |
|----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| Nádrž 13 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 1,17 | 0    | 0,85  | 0     | 0     | 1,46  | 0     | 1,41  | 2,28  | 3,39 | 1,09 | 1,35 | 0    |
| SD ±     | 1,17 | 0    | 0,32  | 0     | 0     | 1,46  | 0     | 0,34  | 1,22  | 1,27 | 0,5  | 0,77 | 0    |
| Nádrž 14 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 2,06 | 0    | 0,6   | 1,13  | 0     | 2,42  | 0     | 1,8   | 2,12  | 2,42 | 2,48 | 0    | 0,22 |
| SD ±     | 1,57 | 0    | 0,6   | 0,68  | 0     | 2,42  | 0     | 0,01  | 2,12  | 2,42 | 1,14 | 0    | 0,22 |
| Nádrž 15 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 1,35 | 0    | 0,54  | 1,08  | 0     | 1,35  | 0,27  | 1,97  | 0,29  | 1,08 | 0,29 | 1,93 | 0,29 |
| SD ±     | 1,35 | 0    | 0,54  | 1,08  | 0     | 1,35  | 0,27  | 0,35  | 0,29  | 1,08 | 0,29 | 0,77 | 0,29 |
| Nádrž 16 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 1,9  | 0    | 0,95  | 1,88  | 2,47  | 3,16  | 0,31  | 1,25  | 0,62  | 2,53 | 0    | 0    | 0    |
| SD ±     | 1,9  | 0    | 0,95  | 0,02  | 2,47  | 3,16  | 0,31  | 0,02  | 0,62  | 2,53 | 0    | 0    | 0    |
| Nádrž 17 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 0,92 | 0    | 2,37  | 1,85  | 0     | 3,5   | 0     | 0,73  | 0     | 1,54 | 0,95 | 0,62 | 0,21 |
| SD ±     | 0,92 | 0    | 1,94  | 1,85  | 0     | 2,65  | 0     | 0,12  | 0     | 1,54 | 0,33 | 0,62 | 0,21 |
| Nádrž 18 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 6,58 | 0    | 1,48  | 1,56  | 0     | 4,11  | 0,78  | 1,11  | 0     | 2,98 | 0    | 2,98 | 0,19 |
| SD ±     | 0,66 | 0    | 1,48  | 1,56  | 0     | 2,55  | 0,78  | 1,11  | 0     | 2,2  | 0    | 2,2  | 0,19 |

Graf 10: Diurnální změny ve exkreci amoniaku během nekrmného dne u krmené obsádky okouna říčního chované v recirkulačním systému.



Legenda: Nádrž 13 ryby s průměrnou hmotností 273,67 g,  
 Nádrž 14 ryby s průměrnou hmotností 217,30 g,  
 Nádrž 15 ryby s průměrnou hmotností 158,23 g,  
 Nádrž 16 ryby s průměrnou hmotností 118,14 g,  
 Nádrž 17 ryby s průměrnou hmotností 74,94 g,  
 Nádrž 18 ryby s průměrnou hmotností 47,76 g.

Graf 11: Závislost průměrné denní exkrece amoniaku na individuální hmotnosti nekrmené obsádky okouna říčního.



#### 4.5.2. Exkrece amoniaku u krmené obsádky okouna říčního

U krmených ryb již docházelo během dne k výrazným změnám, kdy se hodnoty TAN u nejmenších ryb (nádrž 18) vyšplhaly až na 32,29 mg TAN/kg/h (tabulka 10).

Exkrece amoniaku začínala růst po deváté hodině ráno, tedy dvě hodiny od začátku krmení. Tento růst trval až do odpoledne, kdy mezi třetí až sedmou hodinou naměřené hodnoty dosahovaly maxima. Poté nastal pokles, který se zastavil okolo půlnoci a exkrece amoniaku se pohybovala na úrovni blízké nule. Grafické znázornění těchto diurnálních změn v produkci amoniaku nám poskytuje graf 12.

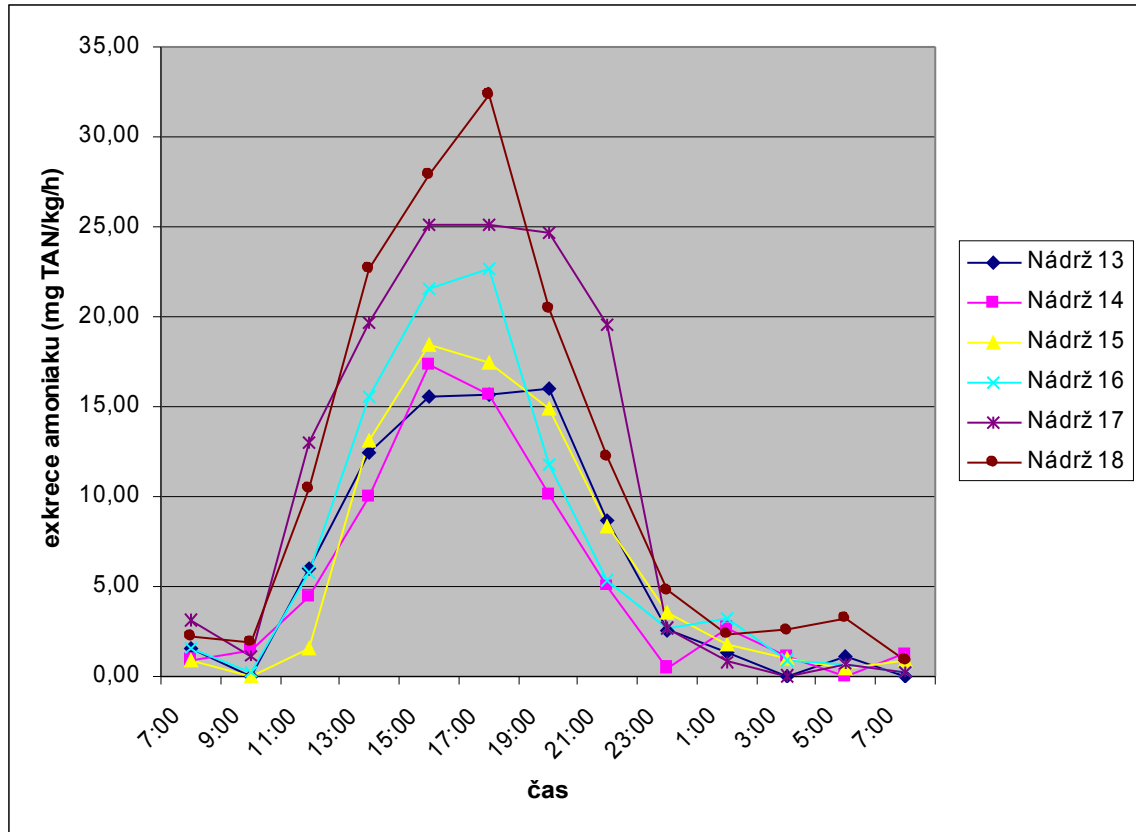
V exkreci amoniaku jsou stejně jako u spotřeby kyslíku patrné rozdíly v závislosti na velikosti jednotlivých skupin ryb. Průměrná exkrece amoniaku krmených ryb je pro jednotlivé skupiny následující: nádrž č. 13 =  $6,22 \pm 6,31$  mg TAN/kg/h, nádrž č. 14 =  $5,42 \pm 5,73$  mg TAN/kg/h, nádrž č. 15 =  $6,34 \pm 6,82$  mg TAN/kg/h, nádrž č. 16 =  $7,09 \pm 7,78$  mg TAN/kg/h, nádrž č. 17 =  $10,44 \pm 10,43$  mg TAN/kg/h a nádrž č. 18 =  $11,07 \pm 10,65$  mg TAN/kg/h. Tyto hodnoty jsou graficky vyjádřeny grafem 13.



Tab. 10: Diumální změny v exkreci amoniaku během krmného dne u krmené obsádky okouna říčního

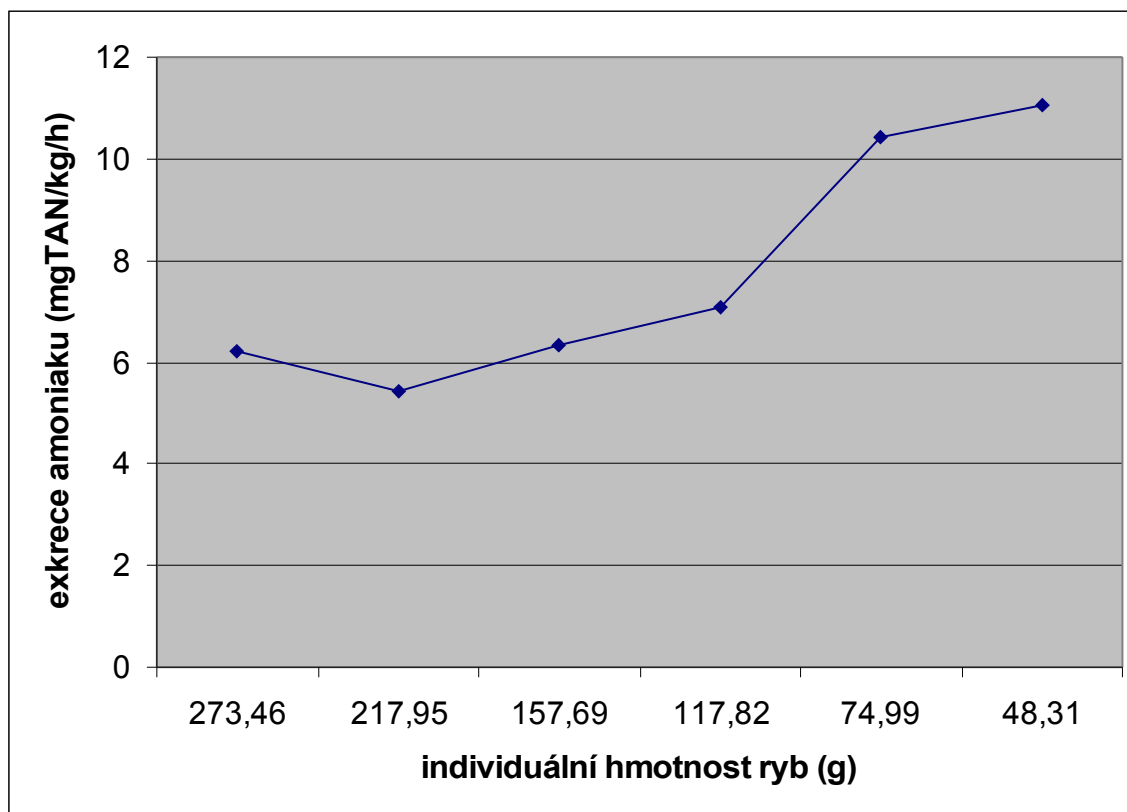
|          | 7:00 | 9:00 | 11:00 | 13:00 | 15:00 | 17:00 | 19:00 | 21:00 | 23:00 | 1:00 | 3:00 | 5:00 | 7:00 |
|----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| Nádrž 13 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 1,54 | 0,00 | 6,02  | 12,42 | 15,54 | 15,70 | 15,96 | 8,71  | 2,57  | 1,29 | 0,00 | 1,13 | 0,00 |
| SD ±     | 2,18 | 0,00 | 2,90  | 2,64  | 3,89  | 2,02  | 5,27  | 6,23  | 3,64  | 1,11 | 0,00 | 1,21 | 0,00 |
| Nádrž 14 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 0,94 | 1,43 | 4,41  | 10,05 | 17,38 | 15,68 | 10,16 | 4,97  | 0,47  | 2,63 | 1,12 | 0,00 | 1,19 |
| SD ±     | 1,34 | 1,17 | 3,15  | 6,84  | 4,13  | 2,51  | 4,38  | 4,73  | 0,67  | 3,72 | 0,88 | 0,00 | 1,69 |
| Nádrž 15 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 0,90 | 0,00 | 1,60  | 13,09 | 18,43 | 17,42 | 14,87 | 8,36  | 3,61  | 1,82 | 1,00 | 0,40 | 0,91 |
| SD ±     | 1,28 | 0,00 | 2,26  | 1,71  | 4,35  | 3,47  | 2,48  | 5,97  | 5,10  | 2,12 | 1,41 | 0,56 | 1,28 |
| Nádrž 16 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 1,58 | 0,24 | 5,73  | 15,52 | 21,52 | 22,67 | 11,82 | 5,28  | 2,70  | 3,27 | 0,94 | 0,64 | 0,24 |
| SD ±     | 0,70 | 0,33 | 4,07  | 5,78  | 5,09  | 4,86  | 5,29  | 4,24  | 2,02  | 1,91 | 1,33 | 0,50 | 0,33 |
| Nádrž 17 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 3,14 | 1,07 | 13,02 | 19,64 | 25,06 | 25,13 | 24,72 | 19,61 | 2,68  | 0,79 | 0,00 | 0,64 | 0,18 |
| SD ±     | 2,35 | 1,52 | 4,77  | 3,51  | 10,07 | 6,95  | 4,28  | 4,86  | 2,73  | 0,56 | 0,00 | 0,91 | 0,25 |
| Nádrž 18 |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| průměr   | 2,26 | 1,84 | 10,45 | 22,67 | 27,93 | 32,29 | 20,39 | 12,24 | 4,78  | 2,35 | 2,53 | 3,25 | 0,92 |
| SD ±     | 2,58 | 2,60 | 5,81  | 5,57  | 3,05  | 1,42  | 9,12  | 5,10  | 6,18  | 1,16 | 2,49 | 2,36 | 1,30 |

Graf 12: Diurnální změny v exkreci amoniaku během krmného dne u krmené obsádky okouna říčního chované v recirkulačním systému.



Legenda: Nádrž 13 ryby s průměrnou hmotností 273,46 g,  
 Nádrž 14 ryby s průměrnou hmotností 217,95 g,  
 Nádrž 15 ryby s průměrnou hmotností 157,69 g,  
 Nádrž 16 ryby s průměrnou hmotností 117,82 g,  
 Nádrž 17 ryby s průměrnou hmotností 74,99 g,  
 Nádrž 18 ryby s průměrnou hmotností 48,31 g.

Graf 13: Závislost průměrné denní exkrece amoniaku na individuální hmotnosti krmené obsádky okouna říčního



## **5. DISKUZE**

Při obsluze recirkulačního systému je nutné neustále sledovat množství vody v systému, což potvrzují i výstupy z této práce. Takřka každý den je nutné do tohoto zařízení vodu dopouštět, to znamená kompenzovat ztráty vzniklé odpouštěním odpadní vody z bubnového mechanického filtru a z fluidních filtrů, ale nemalou pozornost musíme věnovat také ztrátám vzniklým odparem, okapem a manipulací s rybami. Během pokusu totiž rozdíl mezi průměrným množstvím dopouštěné vody a odpadní vody vypouštěné z filtrů tvořil 115 l za den. To znamená skoro 18% z množství, které bylo nutné každý den do systému dopustit.

Z výstupů z této práce nemůžeme usuzovat, že na bezproblémový provoz recirkulačního systému s biomasou v posledním období pokusu přesahující 150 kg postačí doplňovat jen asi 640 l vody denně. Při projektování podobného zařízení však musíme brát v potaz, že pokus probíhal takřka v ideálních podmínkách a pouze jednou došlo k úniku, k jehož kompenzaci bylo nutné dopustit 3150 l. Proto chceme-li zřídit recirkulační systém v oblasti s nižší dostupností přítokové vody musíme zvážit i možnost výstavby zásobní nádrže.

Rovněž nesmíme zapomenout na nádrž pro vypouštění odpadní vody, které sice není velký objem, zato je však silně zatížená dusíkem, jeho sloučeninami a fosforečnany, jak je patrné z výsledků měření.

Průměrný přísun dusíku v podobě dusíkatých látek v krmivu do recirkulačního systému tvořil  $134,18 \pm 5,62$  g za den. Tento dusík je využíván metabolismem ryb k růstu, tedy přírůstku biomasy. Nadbytečný dusík se z těla sladkovodních ryb vylučuje asi z 10% ve formě močoviny a zhruba z 90% ve formě amoniaku (žaberní výměna kladných iontů), který je pak nitrifikačními bakteriemi přeměněn přes dusitany na dusičnany. Dusičnany jsou pak vlivem denitrifikačních bakterií přeměněny přes dusitany na molekulární dusík, který může snadno z vody vstupovat do atmosféry. Vzhledem k tomu, že recirkulační systém není na denitrifikaci, která probíhá v anaerobních podmínkách přizpůsoben, můžeme odvodit, že bude v recirkulačním systému docházet ke kumulaci amoniaku, dusitanů a hlavně dusičnanů, které jsou koncovým produktem nitrifikace. K tomuto jevu opravdu došlo. Koncentrace všech uvedených sloučenin dusíku stoupla nejméně na dvojnásobek původních hodnot, a to během pouhých třech týdnů měření. Z těchto údajů jasně vyplývá že recirkulační systém bez možnosti denitrifikace je odkázán na částečnou výměnu vody s nahromaděnými sloučeninami dusíku. Obdobné postřehy

shrnuje ve své knize i Timmons (2005), který uvádí že proces denitrifikace je stále více důležitý při zvyšování hustoty obsádky a redukci látkové výměny ve vodě, mající za následek nadměrné úrovně dusičnanů v akvakulturním systému.

Další hromadící-se sloučeninou byly fosforečnany u kterých došlo rovněž k zvýšení koncentrace o více než dvojnásobek. Pokorný a kol. (1998) uvádí že fosfor je vylučován převážně výkaly a na vzrůstu jeho koncentrace ve vodním prostředí chovů ryb se však významně podílí i uvolňování z nespotřebovaného krmiva. Výstup fosforečnanů ze systému se během našeho pokusu realizoval odpadní vodou z filtrů. Nejvyšší hodnoty fosforečnanů byly naměřeny v odpadní vodě z mechanického filtru ( $2,39 \pm 0,99$  mg), kde fosforečnany pocházely hlavně ze zachyceného nezkonsumovaného krmiva a výkalů. V odpadní vodě z biofiltrů byla naměřena koncentrace fosforečnanů  $1,44 \pm 0,19$  mg. Tuto odpadní vodu tvoří sedimenty převážně z odumřelých nitrifikačních bakterií. Hromadění fosforečnanů v recirkulačním systému popisuje i Timmons a kolektiv (2005) a pro jeho odstranění doporučuje odtěžení části nitrifikačních bakterií z biologického filtru, které na sebe fosforečnany váží, což by vysvětlovalo zvýšený obsah fosforečnanů v této odpadní vodě.

Pro vyhodnocení účinnosti filtrů v recirkulačním systému je nejdůležitějším ukazatelem jejich funkčnosti schopnost udržovat kritické parametry kvality vody v přípustných mezích. Nejdůležitějším z těchto parametrů v chovu ryb pro stanovení účinnosti biologické filtrace je amoniak, resp. volný amoniak  $\text{NH}_3$ , který během našeho pokusu při průměrné teplotě  $23,3 \pm 0,55^\circ\text{C}$  a hodnotách pH okolo 7 tvořil zhruba 0,5% z  $\text{NH}_4$ . Nejvyšší koncentrace  $\text{NH}_4$  ve směsném vzorku z chovných nádrží byla naměřena v posledním týdnu měření a činila 0,45 mg/l, to znamená že obsah  $\text{NH}_3$  se pohyboval okolo 0,00225 mg/l. Průměrná naměřená hodnota ze směsných vzorků chovných nádrží byla  $0,39 \pm 0,05$  mg/l  $\text{NH}_4$ . Tomu odpovídá  $0,00195 \pm 0,00025$  mg/l  $\text{NH}_3$ . Pokorný a kol. (1998) uvádí jako prahovou koncentraci pro pstruha, který patří k vnímavějším druhům 0,0125mg/l  $\text{NH}_3$ . Svobodová a kol. (2007) pro lososové i kaprové vody jako cílové hodnoty pro obsah  $\text{NH}_3$  menší než 0,005 mg/l a přípustné menší než 0,025mg/l. Námi naměřené hodnoty  $\text{NH}_3$  se tedy dají považovat za velmi vhodné pro chov ryb a účinnost biologické filtrace v sledovaném recirkulačním systému při nejvyšším zatížením biomasou 150,82 kg během pokusu se z tohoto pohledu jeví jako dostatečná.

Pro vyhodnocení účinnosti mechanické filtrace se jako nejpodstatnější parametr kvality vody jeví obsah nerozpuštěných látek. Pro vody lososové i kaprové udává Svobodová a kol. (2007) jako cílové hodnoty obsah nerozpuštěných látek menší než 25

mg/l. Námi naměřená průměrná hodnota směsných vzorků z chovných nádrží byla  $2,39 \pm 0,06$  mg/l. Tato hodnota se opět jeví jako velmi vhodná pro chov ryb.

Další část pokusu zkoumala vliv diurnálních změn a rozdíly mezi krmenými a nekrmenými v spotřebě kyslíku a exkreci amoniaku. Dalším zkoumaným vlivem byla i závislost hmotnosti jedince na jeho metabolismu. Tato závislost se jednoznačně prokázala pro spotřebu kyslíku i produkci amoniaku a je dobře patrná ve spojnicových grafech (obrázky 7,9,11 a 13). Zvláště dobře je tato závislost viditelná u krmených ryb i přesto, že musíme zohlednit rozdílnou krmnou dávku pro různé hmotnostní skupiny. U nejtěžších ryb krmná dávka na začátku tvořila 1,1225% z biomasy nádrže a u nejlehčích ryb 1,8353% z biomasy nádrže. To v přeneseném významu znamená že nejtěžší ryby dostaly o jednu třetinu krmiva méně, než ryby nejlehčí. Tudíž rozdíly ve spotřebě kyslíku a exkreci amoniaku v závislosti na velikosti ryb nejsou tak podstatné, jak se na první pohled může v grafech jevit.

Studium spotřeby kyslíku a produkce amoniaku u okouna říčního provedl (Zakes a kol. 2003). Ten došel k závěru, že se rychlost metabolismu přepočtená na jednotku hmotnosti, vyjádřená v mg O<sub>2</sub> nebo TAN/kg/h snižuje se zvyšováním tělesné hmotnosti ryb. Tento prokus však probíhal u podstatně menších ryb, s ještě nedokončenou ontogenezí. U druhu *Stizostedion vitreum* o hmotnosti 204 - 405 g provedl tento pokus se stejnými závěry (Yager a Summerfelt, 1993).

U diurnálních změn ve spotřebě kyslíku a produkci amoniaku ze získaných výsledků vyplývá, že u nekrmených ryb je kolísání metabolismu v průběhu dne minimální, proto lze usuzovat že tyto změny spíše souvisejí s příjmem krmiva, než s denní dobou. Drobný nárůst u nekrmených ryb lze zaznamenat pouze mezi sedmou a devátou hodinou ráno. Tento nárůst je zřejmě v důsledku přirozeného chování okouna říčního. Baruš, Oliva a kol. (1995) došli k závěru, že aktivita okouna říčního má obvykle dva vrcholy, jeden za svítání a druhý za soumraku.

## **6. ZÁVĚR**

Výstupy z této práce nám pomohly odhalit základní koloběh vody a látek v sledovaném recirkulačním systému, především protože se tento koloběh neobejde bez vnějších zásahů je nutné porozumět základním vztahům, které v recirkulačním systému panují. Z hlediska obsluhy se jako stěžejní jeví hospodaření s vodou. Pro zajištění bezproblémového provozu je nutné předvídat ztráty a obratem je kompenzovat dopouštěním. Rovněž je velmi důležitá a to hlavně při projektování nového recirkulačního systému, účinnost biologického a mechanického filtru. Pro sledovaný systém s daným zatížením se z hlediska udržení kvality vody na požadované úrovni jevíla filtrace jako dostatečná. S přihlédnutím k pozvolné kumulaci látek, která v systému probíhala je nutné předpovídat její následující vývoj a následně provést příslušná opatření. Jako nejjednodušší řešení se jeví výměna části recirkulované vody, a to jak jednorázově po vybočení hodnot z optima, nebo postupně zvýšeným odpouštěním vody během každodenní obsluhy.

Jako velmi důležitá hodnotím i pozorování spotřeby kyslíku a exkrece amoniaku u okouna říčního. Vzhledem k vysoké kvalitě masa po kterém je stále rostoucí poptávka hlavně v zahraničí se tento druh jeví jako velmi perspektivní pro chov. Okoun říční se navíc velmi dobře dokáže přizpůsobit chovu v recirkulačním systému, a to zejména ochotným příjmem granulovaného krmiva. Ale také vysokou odolností, oproti jemu příbuznému candátu.

Toto pozorování nám navíc ukázalo jaké zatížení metabolity můžeme očekávat od určité biomasy tohoto druhu. Rovněž můžeme z výsledků odvodit, že při maximalizaci obsádky je nutné přihlížet nejen na biomasu, ale také na velikost chovaných ryb. A to hlavně z důvodů optimalizace krmné dávky, při které jsou již rozdíly v produkci amoniaku a spotřebě kyslíku různých váhových kategorií ryb velmi významné.

Závěrem nezbyvá než si přát aby u nás doposud opomíjené technologii recirkulačního systému byla dopřána zvýšená pozornost, neboť vzhledem ke svým nesporným výhodám najde uplatnění minimálně při chovu finančně dobře ohodnocených druhů živočichů. Vzhledem k možnostem úplné regulace prostředí si myslím že své uplatnění najde především ve velkochovech akvariálních ryb, kdy se pro tento účel jeví jako naprosto ideální.

## **7. SUMMARY**

### **Evaluation of Effect Mechanicle a Nitrifying Biological Filters in Recirculating Aquaculture Systeme with Intensive Fish Farming.**

Aim of my work is influence of high level breeding of Euroasian perch on quality of water and operation of mechanicle drum filter and fluized bed biofilter. Euroasian perch is reared in recirculating aquaculture systeme. Fish were devide into six groups in dependence on their body weight. Groups of fish with avarage start weight (g)  $\pm$  SD; biomass (kg) 232,9  $\pm$  10,0; 15,14 (I), 196,4  $\pm$  8,1; 15,32 (II), 139,8  $\pm$  6,1; 15,10 (III), 102,4  $\pm$  5,5; 15,06 (IV), 59,4  $\pm$  5,5; 15,04 (V), 37,7  $\pm$  7,5; 15,00 (VI) were put into plastic tank (600l). Three measurement was with fed fish and three measurement with food-deprived fish. Fed day was organised like feeding period (light phase) 12 hours and 12 hours non-feeding period (dark phase). First part of my project was about impact mechanicle filtration to remove solids from water. Mechanical filter can keep the water quality on perfect level for fish farming. Second part was about evaluation of nitrifying biologicle filters. Biologicle filtration was did her function well, because levels of amonia, nitrite and nitrate were keep on optimum values. Third part of my project was about measurement of oxygen consumption and amonia excretion. Was observed significant diurnal changes of oxygen consumption and amonia excretion for fed fish. For food-deprived fish was observed significant diurnal changes of oxygen consumption. Changes of amonia excretion were not significant.

Keywords: Recirculating Aquaculture Systems; Euroasian perch; amonia excretion; oxygen consumption; mechanical filter; biological filter.



## **Vyhodnocení účinnosti mechanického a nitrifikačního biologického filtru při provozu recirkulačního systému s intenzivním chovem ryb.**

Cíl mé práce je objasnit vliv intenzivního chovu okouna říčního na kvalitu vody a analyzovat činnost mechanického bubnového filtru a fluidních biofiltrů. Okoun říční chovaný v recirkulačním systému byl rozdělen na začátku pokusu do šesti skupin v závislosti na tělesné hmotnosti. Skupiny ryb s počáteční vahou (g)  $\pm$  SD a biomasou (kg) 232,9  $\pm$  10,0; 15,14 (I), 196,4  $\pm$  8,1; 15,32 (II), 139,8  $\pm$  6,1; 15,10 (III), 102,4  $\pm$  5,5; 15,06 (IV), 59,4  $\pm$  5,5; 15,04 (V), 37,7  $\pm$  7,5; 15,00 (VI) byly nasazeny do umělohmotných nádrží (600 l). Během pokusu proběhly tři měření s krmenými rybami a tři s rybami bez přísunu krmiva. Krmný den byl organizován jako dvanácti hodinová krmná perioda (světelná fáze) a dvanáct hodin bez krmení (temnostní fáze). První část mé práce pojednává o dopadu mechanické filtrace na odstranění pevných látek a zaznamenává změny pro průchodu vody mechanickým filtrem. Mechanický filtr dokázal po celou dobu pokusu držet jednotlivé parametry v optimálních hodnotách. Druhá část účinnosti biologické filtrace. I v této části se projevil výkon biologických filtrů jako dostatečný, protože svým výkonem udržel hladinu amoniaku, dusitanů a dusičnanů v optimu. Třetí část mé práce pojednává o spotřebě kyslíku a produkci amoniaku. U krmených ryb byli pozorovány významné změny spotřeby kyslíku a produkce amoniaku v průběhu dne. Pro nekrmené ryby byly pozorovány v průběhu dne podstatné změny pouze u spotřeby kyslíku. Změny ve vylučování amoniaku nebyly signifikantní.

Klíčová slova: Recirkulační systém; okoun říční; vylučování amoniaku; spotřeba kyslíku; mechanický filtr; biologický filtr

## **8. SEZNAM LITERATURY**

- Alabaster, J.S., Lloyd, R., 1984: Water Quality Criteria For Freshwater Fish (2<sup>nd</sup> Ed.). London, Butterworths
- Alabaster, J., S., a Robertson, K., G., 1961: The effect of diurnal changes in temperature, dissolved oxygen and illumination on the behavior of roach (*Rutilus rutilus* L.), bream (*Abramis brama* L.) and perch (*Perca fluviatilis* L.). *Anim. Behav.*, 9: 178 – 192 s.
- Alabaster, J., S., a Scott, B., 1978: Swimming activity of perch, *Perca fluviatilis* L. *J. Fish Biol.*, 12: 587 – 591 s.
- Antoniou, P., Hamilton, J., Koopman, B., Jain, R., Holloway, B., Lyberatos, G., Svoronos, S.A., 1990: Effect of temperature and pH on the effective maximum specific growth rate of nitrifying bacteria. *Wat. Res.* 24(1): 97–101 s.
- Ashe, D., A., 1997: Cultivating perch. *Aquaculture explained*, Bord Iascaigh Mhara (Irish Sea Fisheries Board) Ed, 20, 47 s.
- Barak, Y., van Rijn, J., 2000: Biological phosphate removal in a prototype recirculating aquaculture treatment system. *Aquacultural Engineering* 22: 121-136.
- Baruš, V., Oliva, O., a kol., 1995: *Mihulovci a ryby(1)*. Academia, Praha
- Baruš, V., Oliva, O., a kol., 1995: *Mihulovci a ryby(2)*. Academia, Praha
- Bastl, I., 1969: Spawning of pike – perch (*Stizostedion lucioperca* L.) in bottom nests in condition of Orava reservoir (Northern Slovakia). *Práce Labor. Rybárstva SAV*, 2: 159 – 184 s.
- Berg, L., 1948 – 1949: *Ryby presnych vod SSSR i sopedel'nyh stran*. AN SSSR, Moskva
- Bringmann, G., 1960: Optimale Stickstoff-Abgasung durch Einsatz von nitrifizierendem Belebtschlamm und Redoxsteuerung. *Gesundheits-Ingenieur* 81: 140-142.
- Bringmann, G., 1961: Vollständige biologische Stickstoff-Eliminierung aus Klärwässern im Anschluß an ein Hochleistungs-Nitrifikations-Verfahren. *Gesundheits-Ingenieur* 82: 233-235 s.
- Bringmann, G., Kühn, R., 1962: Ein Schnell-Denitrifikationsverfahren mit automatischer Redox-Steuerung. *Gesundheits-Ingenieur* 83: 333-334.
- Colt, J., Armstrong, D., 1979: Nitrogen toxicity to fish, crustaceans and molluscs. Department of Civil Engineering, University of California, Davis, California.
- Craig J., F., 1977: Seasonal changes in the day and night activity of adult perch, *Perca*

- fluviatilis* L. J. Fish Biol., 11: 161 – 166 s.
- Černý, K., 1973: Pohybová aktivita plůdku některých druhů ryb v přirozených podmínkách Klíčavské údolní nádrže. Acta Mus. Sci. Natur., 14: 105 – 120 s.
- Dyk, V., 1944: Naše ryby. Promberger, Olomouc
- Dyk, V., 1956: Potravní základna v pstruhových vodách Sb. ČSAZV – Živoč. Výroba, 29 (12): 985-990 s.
- Eding, E., Schneider, O., 2005: Water treatment systems in a RAS context. In: Environment control training course. Szarvas
- FIFAC, 1980: Symposium on new developments in the utilization of heated effluent and recirculation systems for intensive aquaculture. EIFAC, 11<sup>th</sup> Session, Stavanger, Norway, May 28–30th.
- Fiogbé E.D., Kestemont P., Mélard C., Micha J.C., 1996: The effects of dietary crude protein on growth of Eurasian perch *Perca fluviatilis*. Aquaculture 144: 239-249.
- Fontain, P., 2004: L'élevage de la perche commune, une voie de diversification pour l'aquaculture continentale. Prod. Anim., 17, 189 – 193 s.
- Frič, A., 1908: České ryby a jejich cizopasnici. 2 vydání, Praha
- Frič, A., 1859: České ryby. Živa, Praha
- Grünwald, A., 1993: Hydrochemie. Vydavatelství ČVUT, Praha
- Hagopian, D.S, Riley, J.G., 1998. A closer look at the bacteriology of nitrification. Aquacultural Engineering 18:223–244.
- Hamáčková, J., Sedova, M.A., Pjanova, S.V., Lepičová, A., 2001: The effect of 2-phenoxyethanol, clove oil and Propiscin anesthetics on perch (*Perca fluviatilis*) in relation to water temperature. Czech J. Anim. Sci., 46: 469-473.
- Heckel, J., Kner, R., 1858: Die Süßwasserfische der österreichischen Monarchie mit Rücksicht an die angrenzeden Länder. W Engelmann, Leipzig
- Hergenrader, G., L., a Hesler A. D., 1967: Seasonal Changes in swimming rates of yellow perch in Lake Mendota as measured by sonar. Trans. Am. Fish. Soc., 96: 373 – 382 s.
- Heteša, J., Kočková, E., 1997: Hydrochemie. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno
- Hillermann, J., 2002: Možnosti intenzivního chovu plůdku okouna říčního (*Perca fluviatilis* L.), disertační práce
- Holčík, J., Hensel, K., 1972: Ichtiologická příručka. Vyd Obzor, Bratislava
- Chapman, P.E., Popham, J.D., Griffin, J., Michaelson, J., 1987: Differentiation of physical

- from chemical toxicity in solid waste fish bioassay. *Water, Air and Soil Pollution* 33:295–308 s.
- Chen, S., Timmons, M.B., Aneshansley, D.J., Bisogni, J.J., 1993: Suspended solids characteristics from recirculating aquacultural systems and design implications. *Aquaculture* 112: 143–155 s.
- Kaiser, G., E., Wheaton, F., W., 1983: Nitrification filters for aquatic culture systems: state of the art. *J. World Maricult. Soc.* 14: 302–324 s.
- Kouřil, J., 2006: Využití recirkulačních systémů s biologickým čištěním vody k intenzivnímu chovu ryb. *Buletin*.
- Kouřil, J., Hamáčková, J., Lepič, P., Mareš, J., 2002: Poloumělý a umělý výtěr okouna říčního a odchov jeho raného plůdku. V edici Metodik vydala Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech
- Kroupa, F., 1889: Okoun. *Vesmír*, 18: 14 – 15 s.
- Livertoux, E., 1995: La Perche fluviatile (*Perca fluviatilis*): Sa Biologie, Son Elevage. Dipl. Práce la Faculté de médecine de Nantes 33 – 43s.
- Loveless, J., E., Painter, H., A., 1968: The influence of metal ion concentration and pH value on the growth of a *Nitrosomonas* strain isolated from activated sludge. *J. Gen. Micro.* 52: 1–14 s.
- Malone, R., F., Beecher, L., E., DeLosReyes, A., A., 1998: Sizing and management of floating bead bioclarifiers. In: Libey, G.S. (Ed.), Second International Conference on Recirculating Aquaculture (Proc.), 16–19 July 1998, Roanoke, VA. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, NY, 319–341 s.
- Miller, R. V., Jeffrey, W., Mitchell, D., Elasm, M., 1999: Bacterial responses to ultraviolet light. *ASM News*, 65:535–541.
- Kokurewicz, B., 1969: The influence of temperature on the embryonic development of the perches
- Loyless, C., L., Malone, R., F., 1997: A sodium bicarbonate dosing methodology for pH management in freshwater-recirculating aquaculture systems. *Prog. Fish Cult.* 59: 198–205 s.
- Magor, B.G., 1988: Gill histopathology of juvenile *Oncorhynchus kisutch* exposed to suspended wood debris. *Can. J. Zool* 66: 2164–2169 s.
- Muir, J.F., 1982: Recirculated system in aquaculture, In: Muir, J.F., Roberts, R.J. (Eds.). *Recent Advances in Aquaculture*, Vol. 1, Croom Helm and Westview Press,

- London, 453 p.
- Perca fluviatilis* L. And *Lucioperca lucioperca* L. Zool. Polon., 19(1): 47 – 66 s.
- Pitter, P., 1999: Hydrochemie. Vydavatelství VŠCHT, Praha
- Pivnička, K., 1981: Ekologie ryb. Státní pedagogické nakladatelství., Praha
- Pokorný, J., Adámek, Z., Dvořák, J., Šrámek, V., 1998: Pstruhařství. 2 vydání, INFORMATORIUM, Praha
- Svobodová, Z., 2007: Nemoci sladkovodních a akvariálních ryb. INFORMATORIUM, Praha
- Swift, D., R., 1965: Effect of temperature on mortality and rate of development of eggs of the pike (*Esox lucius* L.) and the perch (*Perca fluviatilis* L.). Nature, London, No 206: 528 s.
- Švátora, M., 1986: Okoun říční. Naše vojsko., Praha
- Thorpe, J., E., 1974: Trout and perch population at Loch. Leven. Kinross. Proc. R. Soc. Edinburg, B, Biol., 74: 295 – 313 s.
- Timonns, M., B., Ebeling, J., M., Wheaton, F., W., Summerfelt, S., T., Vinci, B., J., 2005: Recirculating aquaculture systems (second edition). Cayuga Aqua Ventures, USA
- Vinci, B., Summerfelt, S., Bergheim, A., 2001. Solids control. In: Summerfelt, S.T. (Ed.), Presentation Notebook: Aquacultural Engineering Society Workshop: Intensive Fin-fish Systems and Technologies. Aquaculture 2001, International Triannual Conference and Exposition of the World Aquaculture Society, January 23, Disney's Coronado Springs Resort, Orlando, FL.
- Wheaton, F., W., 1985: Aquacultural Engineering, 2nd Ed.. Wiley-Interscience, New York. 708 s.
- Zakes, Z., Demska-Zakes, K., Kata, K., 2003: Rates of oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. Aquaculture Int. 11: 277 - 288
- Yager, T., K., Summerfelt, R., C., 1993: Effects of fish size and feeding frequency on metabolism of juvenile walleye. Aquaculture Engineering 12:19-36.
- Nařízení rady (ES) č. 1198/2006 ze dne 27. července 2006 o Evropském rybářském fondu L 223/5 s.
- Sladkovodní ryby. 2001. Situačně výhledová zpráva Mze ČR 10 s.
- U.S. EPA, 1975: Process design manual for nitrogen control. A design manual prepared for the Office of Technology Transfer of the U.S. EPA.

Internetové citace:

Wecker, B., Karimov, B., Kamilov, B., Waller, U., Matthies, M., Lieth, H., 2007: RAS. Institute of Environmental Systems Research, University Osnabrück, Osnabrück, dostupný na: [http://www.usf.uni-](http://www.usf.uni-osnabrueck.de/projects/AquacultureUzbekistan/pdf/feasibility_study_final.pdf)

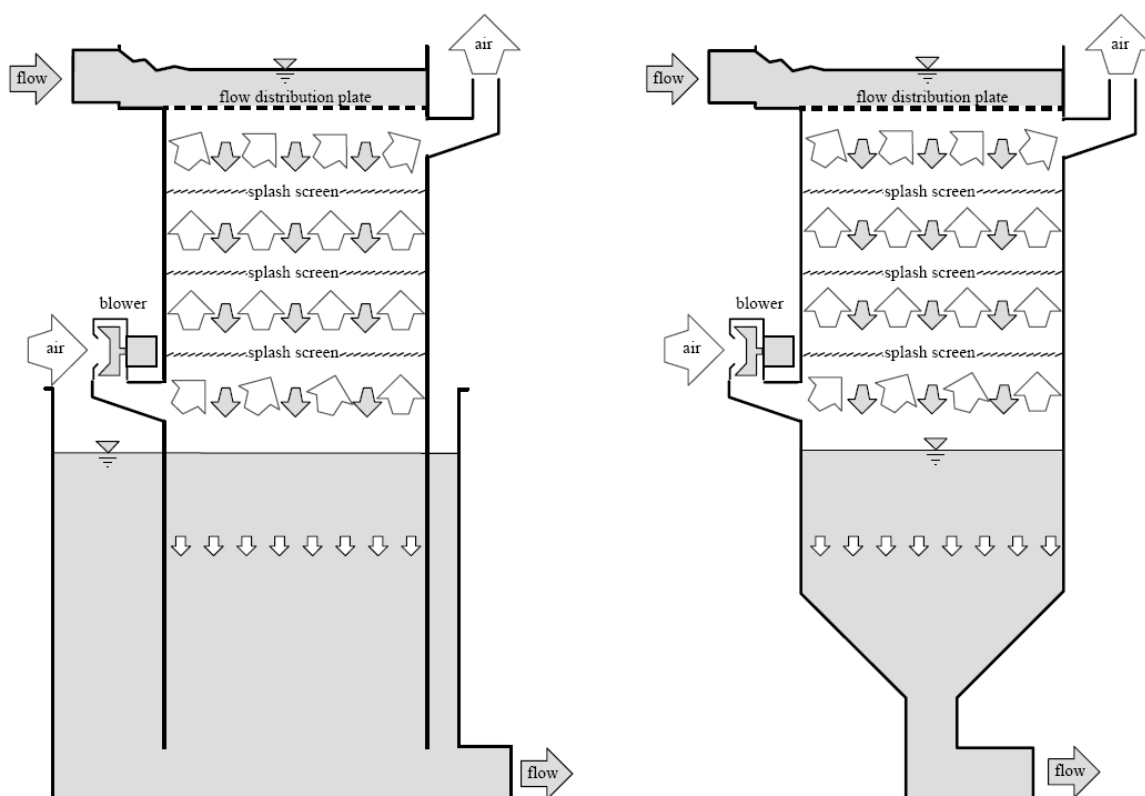
[osnabrueck.de/projects/AquacultureUzbekistan/pdf/feasibility\\_study\\_final.pdf](http://www.usf.uni-osnabrueck.de/projects/AquacultureUzbekistan/pdf/feasibility_study_final.pdf)

DPI, 2007: Recirculating aquaculture system. Department of primary industries, dostupný na: [http://www.dpi.vic.gov.au/dpi/nrenfaq.nsf/FID/-](http://www.dpi.vic.gov.au/dpi/nrenfaq.nsf/FID/-A5928EA5054142ABCA256C4100126447?OpenDocument)

[A5928EA5054142ABCA256C4100126447?OpenDocument](http://www.dpi.vic.gov.au/dpi/nrenfaq.nsf/FID/-A5928EA5054142ABCA256C4100126447?OpenDocument)

## 9. PŘÍLOHY

obrázek 1. Schéma zařízení na odstranění plynů z vody



Tab. 1: Jednotlivé hodnoty parametrů recirkulačního systému z hlediska výměny vody

| Den                | 0-7    | 7-14   | 14-21  | 21-28  |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| kumulativní průtok | 164736 | 238810 | 245505 | 245505 |
| přítok             | 450    | 707    | 504    | 207    |
| odtok FF           | 51,4   | 52,8   | 54,2   | 62,8   |
| odtok BMF          | 500    | 465    | 725    | 475    |

Legenda: odtok FF = odtok odpadní vody z fluidních filtrů, odtok BMF = odtok odpadní vody z bubnového mechanického filtru

**Tab. 2: Jednotlivé hodnoty parametrů recirkulačního systému z hlediska bilance dusíku a dusíkatých látek**

| den             | 0-7    | 7-14   | 14-21  | 21-28  |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| spotřeba krmiva | 1597   | 1693   | 1784   | 1876   |
| N-L             | 750,59 | 795,71 | 838,48 | 881,72 |
| odtok N z FF    |        | 1,5    | 1,85   | 2,73   |
| odtok N z BMF   |        | 3,09   | 4,49   | 9,59   |

Legenda: NL = dusíkaté látky (použité krmivo obsahuje 47% NL) odtok N z FF = odtok dusíku v odpadní vodě biologických filtrů, odtok N z BMF = odtok dusíku v odpadní vodě mechanického filtru