

DIURNÁLNÍ ZMĚNY VYBRANÝCH HYDROCHEMICKÝCH PARAMETRŮ NA RECIRKULAČNÍM SYSTÉMU DÁNSKÉHO TYPU PŘI RŮZNÉ TEPLOTĚ VODY

DIURNAL CHANGES OF SOME HYDROCHEMICAL PARAMETERS AT DIFFERENT TEMPERATURES USING DANISH MODEL OF RECIRCULATION SYSTEM

Š. LANG, R. KOPP, A. ZIKOVÁ, T. VÍTEK, J. MAREŠ

Mendelova universita v Brně, Ústav zoologie, rybářství, hydrobiologie a včelařství, Zemědělská 1, 613 00 Brno, stepanlang@klikni.cz, fccla@seznam.cz, andrea.zikova@seznam.cz, gabon@centrum.cz, mares@mendelu.cz

ABSTRACT

Two twenty-four hour observations were performed using a Danish model recirculation system having an overall volume of 1,000 m³, containing of 12 concrete rearing units and two biofilters for water treatment, first with floating elements and second with sinking elements. The first observation was carried out on 11th August 2009 at 18.3 ± 0.4 °C and the second one on 25th November 2009 at 3.9 ± 0.2 °C. The aim of the observations was to focus on dissolved oxygen level, pH value and content of ammonia nitrogen in water to verify the function of the biofilter. During the second the same hydro chemical parameters were used to compare a potential impact of different stocking densities of rainbow trout. Within 24 hours differences concerning hydro chemical parameters at 18.9 °C were always bigger than at 3.9 °C. At 18.3 °C higher oxygen consumption has been concerned within five hours after feeding as well as higher production of ammonia nitrogen. The pH value was always significantly lower in the outflow compared to inflow of the rearing area. At 3.9 °C the difference in ammonia nitrogen was significantly lower in inflow than in outflow of the rearing area with non significant differences among stocking densities and without big changes over the night. The influence of stocking densities was observed among the rearing unit containing 12,000 and units with 10,000, 8,000 and 6,000 individuals, respectively. Fish stock of 12,000 individuals consumed significantly more oxygen but higher production of ammonia nitrogen and influence to pH value in the outflow of units was not significant.

Klíčová slova: Lososovití, diurnální, recirkulace, biofiltr, amoniakální dusík, kyslík, pH
Keywords: Salmonids, diurnal, recirculation, biofilter, ammonia nitrogen, oxygen, pH

ÚVOD

Celková světová produkce ryb a hlavně jejich potřeba pro stále se rozrůstající populaci lidí na naší planetě každoročně stoupá. Celosvětová produkce ryb je od roku 1970 téměř dvojnásobná (60 mil. t ➤ 120 mil. t) a jak vyplývá ze statistik FAO (2009), úlovky ryb z volného prostředí v posledních dvou desetiletích stagnují kolem 10 milionů tun ryb ročně. Z toho vyplývá, že v současné době pochází více než jedna třetina ryb určených pro lidskou výživu z akvakultury (FAO 2009).

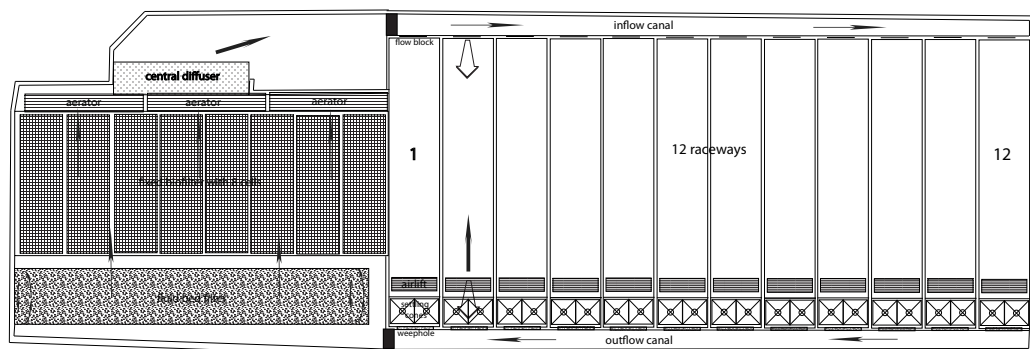
Z padesáti milionů tun vodních organismů vyprodukovaných v akvakultuře v roce 2007 připadá 29 milionů tun na sladkovodní akvakulturu a z toho je téměř 26 milionů tun sladkovodních ryb. Pro příklad: celosvětová produkce lososovitých ryb z akvakultury stoupá průměrně o 4 % ročně (FAO 2009). S narůstajícím množstvím ryb chovaných v akvakultuře však logicky narůstá i znečištění a spotřeba vody a nestačí ani kapacita stávajících vodních ploch. Proto se moderní akvakultura v posledních desetiletích začíná ubírat cestou budování intenzivních recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) pro chov ryb využívajících biologickou filtraci (Kouřil a Kujal, 2009), což jim umožňuje snížit potřebu vody pro odchov ryb až 100x (MacMillan, 1992; Blancheton a kol., 2007).

RAS jsou budovány na různých místech v různé zeměpisné šířce i délce a nadmořské výšce, což má za následek různý průběh počasí během roku i kolísání teplot během roku a dne. Proto je každé toto zařízení svým způsobem unikátní a je třeba pro něj optimalizovat krmnou techniku, krmné dávky a úpravu vodního prostředí, k čemuž by tato pozorování měla výrazným způsobem přispět.

MATERIÁL A METODIKA

Zařízení, na kterém jsme provedli sledování, je majetkem firmy Biofish s. r. o. a nachází se poblíž Kamenice nad Lipou (GPS 49°19'9.04"N; 15°5'39.97"E). Je to celobetonové zařízení o celkovém objemu 1000 m³ sestávající z části odchovné, 12 odchovných žlabů (11 x 2 x 2 m – objem vody 36,4 m³), a části pro úpravu a čerpání vody, která je rozdělena na jednokomorový biofiltr (objem filtračního materiálu: 10 m³) s plovoucí náplní a osmikomorový biofiltr (objem filtračního materiálu celkem 100 m³) s ponořenou náplní (rozdělení na komory je z důvodu odkalování biofiltru), mezi nimiž je sedimentační zóna. Filtrační materiál pro nárůst nitrifikačních bakterií tvoří výlisky z polymeru dodané firmou Biomar A/S Denmark standardně používané v tomto typu RAS. Jediný rozdíl mezi plovoucími a ponořenými filtračními částicemi je ve specifické hustotě materiálu. Za biofiltrem následuje úsek vybavený mělkými difusory (0,8 m pod hladinou), kde dochází k aeraci a odplynění (vybublání) oxidu uhličitého. Následuje 4,5 m hluboký airlift čerpající vodu do postupně se zužujícího kanálu přivádějícího vodu k odchovným žlabům (viz obrázek 1). Maximální možný výkon airliftu je 300 l.s⁻¹, měřeno na začátku přívodního kanálu. Přítok do jednotlivých odchovných žlabů lze regulovat šoupětem. Voda do odchovného žlabu přitéká ve spodní části žlabu. Před odtokem z každého žlabu je umístěn mělký difusor zajišťující vybublání CO₂, aeraci a zpětnou cirkulaci vody v odchovném žlabu. Zpětné proudění při polovičním výkonu difusoru dosahuje do dvou třetin odchovného žlabu. Zpětné proudění pod hladinou zároveň urychluje proudění vody nade dnem odchovného žlabu a zefektivňuje odplavování nečistot. Za difusorem je mříž zabraňující rybám v úniku do odtokového kanálu. Za mříží jsou umístěny sedimentační kužely. Voda odtéká v horní části odchovného žlabu tak, že nad sedimentačními kužely je rychlost proudu 0,0–2,4 cm.s⁻¹ a nerozpuštěné exkrementy mohou sedimentovat. Sediment je dvakrát denně odpouštěn do odpadní jímky.

Na výše zmíněném zařízení jsme provedli dvě čtyřiašestihodinová sledování vybraných hydrochemických parametrů. První čtyřiašestihodinové sledování bylo provedeno 11. 8. 2009 (4 týdny po konečném napuštění a 14 dní po ukončení prvního nasazování) a druhé 25. 11. 2009 při teplotách 18,3 ± 0,4 °C, respektive 3,9 ± 0,2 °C.

Obr. 1. Schéma odchovného zařízení.**Fig. 1.** Scheme of rearing system.

Rybí obsádka, která byla během obou sledování nasazena v odchovném zařízení, byla tvořena pstruhem duhovým (*Oncorhynchus mykiss*), z vlastních zdrojů firmy Biofish s.r.o., odchovaným na přilehlé průtočné farmě (meziliniový hybrid).

Během obou sledování byl průtok odchovnými žlaby seřízen na 17 l.s^{-1} a difusory byly na všech odchovných žlabech puštěny na polovinu.

V době prvního sledování bylo v celém odchovném zařízení nasazeno celkem 86 300 ks ryb. Počáteční obsádky zobrazuje tabulka 1. Žlaby č. 7 a 12 byly prázdné. Celková biomasa ryb v odchovném zařízení byla cca 7960 kg.

Tab. 1. Počáteční obsádky odchovných žlabů před prvním sledováním.**Tab. 1.** The rearing raceways stockings during the first observation.

Žlab	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11
Obs. [ks]	5000	12000	3300	12000	9000	10000	10000	10000	5000	10000
Prům. hm. [kg]	0,08	0,08	0,303	0,09	0,08	0,07	0,09	0,1	0,1	0,07
Biomasa [kg]	400	960	1000	1080	720	700	900	1000	500	700

V době druhého pozorování bylo na odchovném zařízení celkem 50 350 ks ryb. Vlastní obsádky odchovných žlabů zobrazuje tabulka 2. Žlaby č. 2 a 10–12 byly prázdné. V celém odchovném zařízení bylo tedy cca 9200 kg ryb.

Tab. 2. Obsádky odchovných žlabů při druhém sledování.**Tab. 2.** The rearing raceways stockings during the second observation.

Žlab	1	3	4	5	6	7	8	9
obs. [ks]	7500	3000	9400	6300	6900	6300	4650	6300
prům. hm. [kg]	0,162	>0,359	0,175	0,182	0,180	0,175	0,170	0,152
biomasa [kg]	1215	1100	1645	1147	1242	1103	791	958

Ryby byly krmeny podle doporučených krmných tabulek krmivem Biomar R90 dvakrát denně v 8:00 a v 14:00 hodin.

Při prvním sledování byly odebírány vzorky a měřeny hydrochemické parametry vody v 8:45, 10:45, 12:45, 13:30, 14:00, 14:30, 15:00, 17:00, 19:00, 21:00, 23:00, 1:00, 3:00, 5:00, 7:00, 9:00, 10:00 h, při druhém v 7:45, 8:45, 9:45, 10:45, 11:45, 12:45, 13:45, 16:45, 19:45, 22:45, 1:45, 4:45, 6:45 h. Vzorky označené jako odtok a přítok byly odebírány v místech označených černými obdélníky (Obr. 1). Vzorky označené číslem žlabu byly odebírány za oddělovací mříží nad sedimentačními kužely u odtoku z příslušného žlabu. Nasycení vody kyslíkem, pH, teplota a vodivost vody byly sledovány sondou Cyber Scan PCD 650 (Eutech Instruments, USA) v místě odběru vzorku a obsahy amoniakálního dusíku, dusitanového dusíku, ortofosforečnanů, dusičnanů a chloridů byly měřeny podle Horákové a kol. (2007), CHSK_{Cr} , obsah celkového dusíku a fosforu byly měřeny komerčními sety firmy WTW. Veškeré hodnoty byly naměřeny na spektrofotometru WTW Photolab Spektral. Statisticky byly hodnoceny pouze hodnoty nasycení vody O_2 , pH, vodivost, obsah dusitanového a amoniakálního dusíku. Ostatní výše zmíněné hodnoty byly pravidelně sledovány pouze při prvním sledování. Při druhém sledování byly analyzovány jen orientačně, protože se během dne prakticky neměnily.

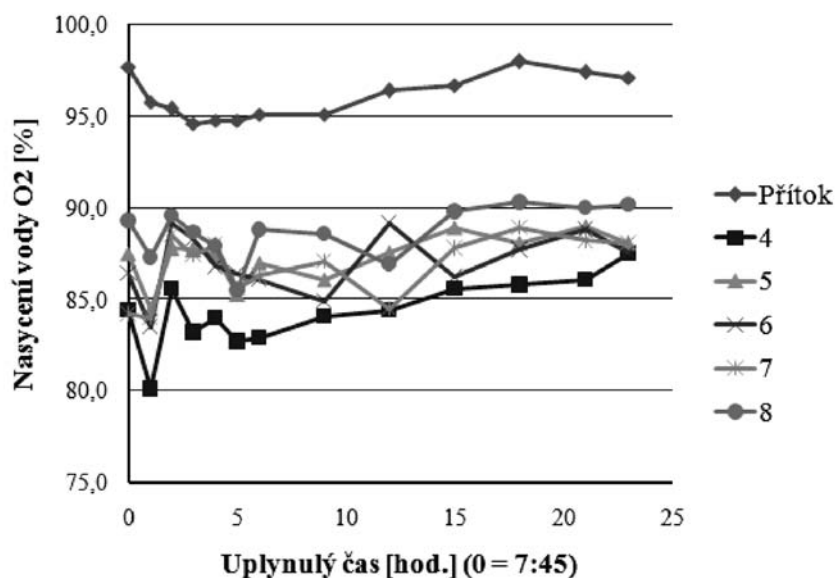
Výsledky byly zpracovány vícefaktorovou analýzou ANOVA (Scheffe'ho metodou) a párovým t-testem v programu Statistika.

VÝSLEDKY

Během prvního sledování jsme zjistili pokles nasycení vody O_2 na odtoku z odchovných žlabů na úrovni max. 22,5 % a na odtoku z odchovné části na biofiltru o max. 13,0 %. To při teplotě 18,3 °C znamená pokles z 9,14 mg.l⁻¹ na 7,03; respektive 7,8 mg.l⁻¹. Na odtoku z jednotlivých sledovaných žlabů byl statisticky průkazný rozdíl mezi žlabem prvním a žlaby č. 2 a 4. Rozdíl v nasycení vody O_2 na přítoku a na odtoku z odchovné části systému byl rovněž statisticky průkazný. Diurnální průběh hodnot nasycení vody O_2 zobrazuje graf č. 1.

Graf 1. Diurnální změny nasycení vody O_2 při 18,3 ± 0,4 °C.

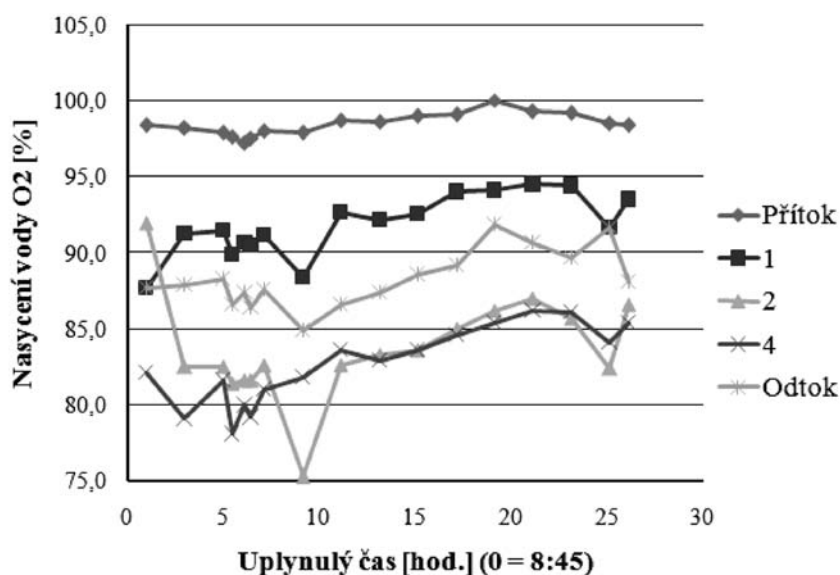
Graph 1. Daily changes of dissolved oxygen level at 18.3 ± 0.4 °C.



Při druhém sledování byl rozdíl mezi nasycením vody O_2 na odtoku z jednotlivých žlabů max. 15,7 % a na odtoku z odchovné části systému 9,9 %, což byl při teplotě $3,9^\circ\text{C}$ pokles o cca 2 a $1,3 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$ respektive. Ve spotřebě kyslíku rybami byl statisticky průkazný rozdíl mezi žlabem č. 4 a žlaby č. 6, 7 a 8. Diurnální průběh změn nasycení vody O_2 při $3,9 \pm 0,2^\circ\text{C}$ znázorňuje graf č. 2. Srovnání diurnálních změn v nasycení vody O_2 na přítoku a odtoku z odchovné části systému při prvním a druhém sledování zobrazuje graf č. 3.

Graf 2. Diurnální průběh změn nasycení vody O_2 při $3,9 \pm 0,2^\circ\text{C}$.

Graph 2. Daily changes of dissolved oxygen level at $3.9 \pm 0.2^\circ\text{C}$.

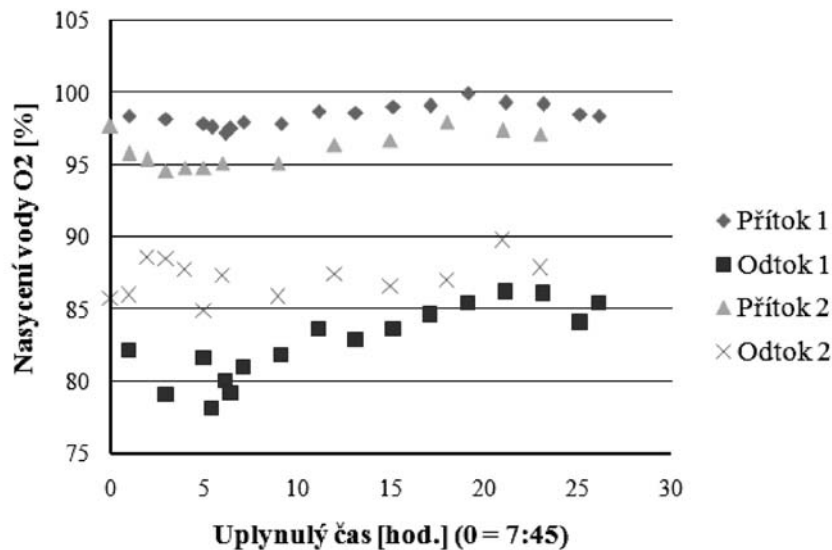


Hodnota pH se během prvního sledování pohybovala kolem 7,27. Během tohoto sledování byl pozorován statisticky průkazný vliv hustoty obsádky na pokles hodnoty pH. Na odtoku z prvního žlabu byla hodnota pH průkazně nižší než na odtoku ze žlabů č. 2 a 4. Rozdíl v hodnotě pH na přítoku na odchovné žlaby a na odtoku z odchovné části systému byl také průkazný. pH na odtoku bylo nižší. Diurnální průběh hodnot pH při $18,3 \pm 0,3^\circ\text{C}$ zobrazuje graf č. 4.

Při druhém sledování se hodnota pH pohybovala kolem 6,7. Statisticky průkazný rozdíl byl pouze mezi hodnotami na přítoku a na odtoku z odchovné části systému. Při teplotě $3,9 \pm 0,2^\circ\text{C}$ nebyl pozorován průkazný vliv hustoty obsádky na hodnotu pH vody v jednotlivých odchovných žlabech. Diurnální průběh hodnot pH při $3,9 \pm 0,2^\circ\text{C}$ zobrazuje graf č. 5.

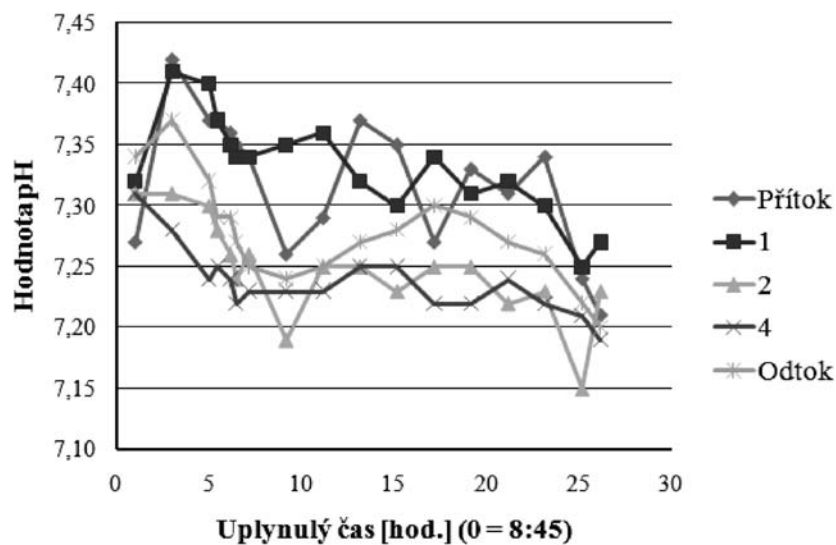
Graf 3. Srovnání diurnálních změn nasycení vody O_2 na přítoku a odtoku z odchovné části systému při $18,3 \pm 0,3$ a $3,9 \pm 0,2$ °C.

Graph 3. A comparison of daily changes of dissolved oxygen level in inflow and outflow of rearing area at 18.3 ± 0.3 and 3.9 ± 0.2 °C.



Graf 4. Diurnální průběh hodnot pH při $18,3 \pm 0,3$ °C.

Graph 4. Daily changes of pH value at 18.3 ± 0.3 °C.



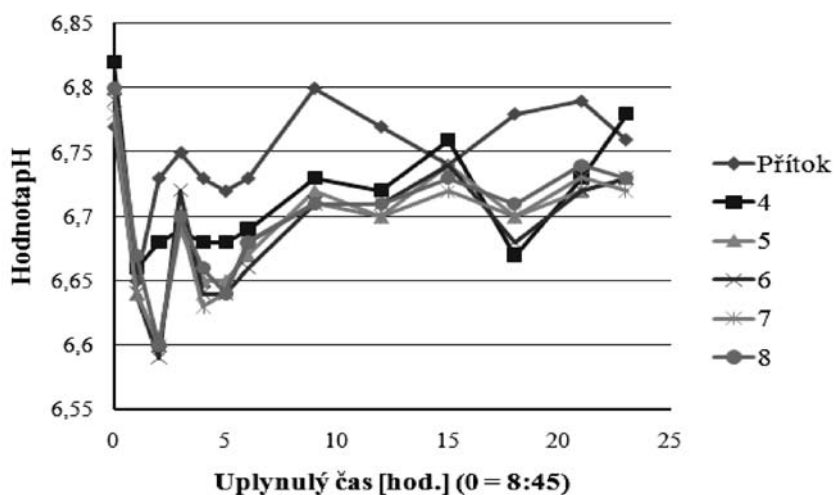
Obsah amoniakálního dusíku (N-NH_4^+) se při prvním a druhém sledování pohyboval na přítoku na odchovné žlaby v rozmezí 0,110 až 1,209 mg.l^{-1} ; respektive 0,137 a 0,302 mg.l^{-1} a na odtoku z jednotlivých žlabů na úrovni 0,119 až 1,352 mg.l^{-1} ; respektive 0,138 až 0,367 mg.l^{-1} . Statisticky průkazný byl v obou případech jen vliv celé odchovné části systému. Srovnání diurnálního průběhu změn obsahu N-NH_4^+ na přítoku a na odtoku z odchovné části systému při $18,3 \pm 0,3$ a $3,9 \pm 0,2$ °C znázorňuje graf č. 7.

DISKUSE

Řada autorů již dříve uvedla, že spotřeba kyslíku a produkce N-NH_4^+ a oxidu uhličitého (CO_2), který po disociaci s vodou na kyselinu uhličitou snižuje hodnotu pH vody, jsou ovlivněny jak frekvencí krmení ryb během dne, tak teplotou vody, množstvím ryb v nádrži, složením krmiwa a dalšími faktory (Zakes a kol., 2006; De la Gañdara a kol., 2002; Tantikitti, 2007; Yager a Summerfelt, 1994). Změnu účinnosti biofiltru v závislosti na teplotě zmiňují Kouřil a Kujal (2009).

Graf 5. Diurnální průběh hodnot pH při $3,9 \pm 0,2$ °C.

Graph 5. Daily changes of pH value at $3,9 \pm 0,2$ °C.

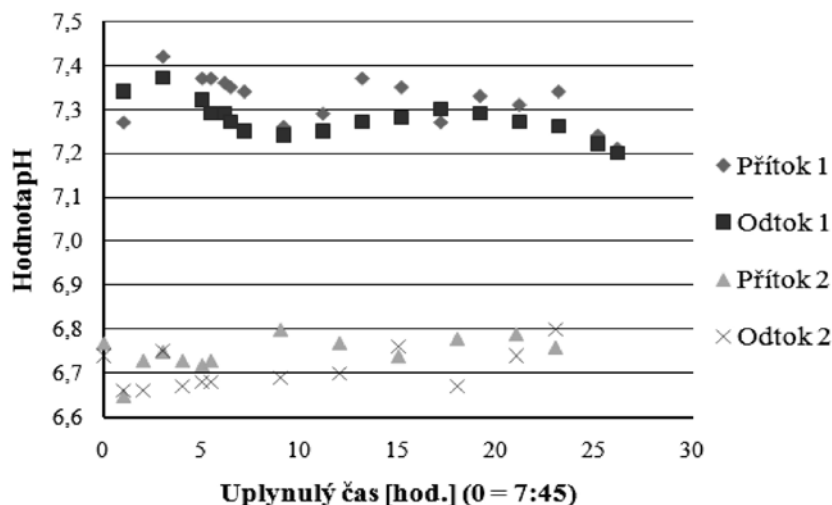


Dvě sledování při rozdílných teplotách přinesla po statistické analýze pro některé sledované parametry rozdílné výsledky. V teplejším období se i při relativně nižších obsádkách (kg ryb v odchovném žlabu) častěji a výrazněji projevila vliv obsádky na sledované parametry. Statisticky průkazný efekt se v teplejším období projevila u poklesu hodnoty pH.

Na odtoku z odchovného žlabu s nižší obsádkou byla hodnota pH průkazně vyšší než na odtocích ze žlabů s vyšší obsádkou ryb.

Graf 6. Srovnání diurnálního průběhu hodnot pH na přítoku a odtoku z odchovné části zařízení při $18,3 \pm 0,3$ a $3,9 \pm 0,2$ °C.

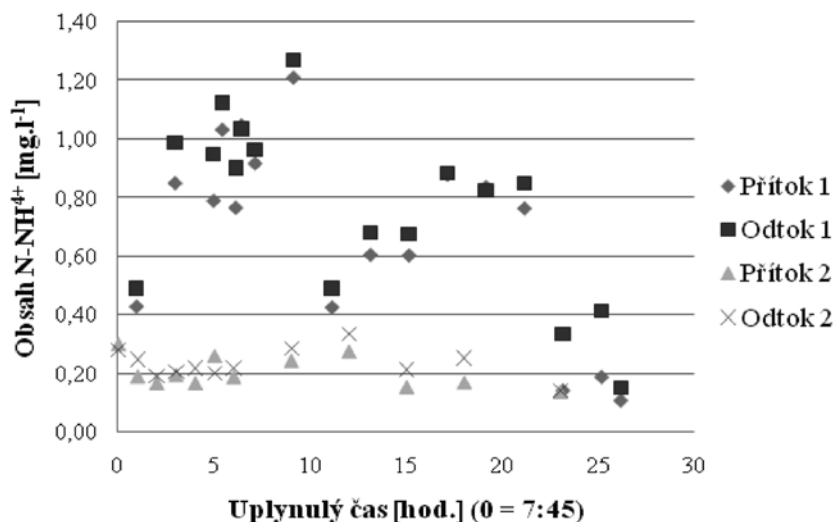
Graph 6. Comparison of daily changes of pH values in the inflow and outflow of rearing area at $18,3 \pm 0,3$ and $3,9 \pm 0,2$ °C.



Naproti tomu v chladnějším období, kdy jsme také mohli porovnat odchovné žlaby s různými obsádkami, mezi nimiž byl rozdíl v obsádce v podobném poměru jako v teplejším období, se vliv rozdílné hustoty obsádky na hodnoty pH neprojevil. Tento jev mohl být způsoben nižším pH v celém systému v průběhu pokusu a nižší intenzitou metabolismu ryb. U obsahu N-NH_4^+ se vliv hustoty obsádky v jednotlivých žlabech neprojevil ani v jednom období. V teplejším období jsme pozorovali vyšší účinnost biofiltru v období jeho nižší zátěže. Při největší zátěži okolo $1,3 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{l}^{-1}$ byla účinnost biofiltru jen okolo 7 % a při nižší zátěži kolem $0,3 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{l}^{-1}$ až kolem 50 %. To ale mohlo být v daném období dáno neúplným zaběhnutím biofiltru, jak již bylo zmíněno dříve.

Graf 7. Srovnání diurnálního průběhu změn obsahu N-NH_4^+ na přítoku a na odtoku z odchovné části systému při $18,3 \pm 0,3$ a $3,9 \pm 0,2$ °C.

Graph 7. Comparison of daily changes of ammonia nitrogen in the inflow and outflow of rearing area $18,3 \pm 0,3$ a $3,9 \pm 0,2$ °C.



V chladnějším období byla účinnost biofiltru během dne přibližně stejná, a to kolem 13 %. Pokles nasycení vody O_2 byl při obou sledováních průkazně ovlivněn obsádkou jednotlivých odchovných žlabů. V teplejším období spotřebovala poloviční obsádka ryb podle očekávání méně O_2 .

V chladnějším období se ale projevil průkazný rozdíl ve spotřebě O_2 pouze u žlabu s nejvyšší hustotou obsádky oproti ostatním odchovným žlabům, mezi nimiž navzájem byly rozdíly, ale neprůkazné.

Denní průběh změn sledovaných parametrů odhalil zvláštní jev. Byl to výrazný nárůst obsahu N-NH_4^+ v období od 1:00 do 5:30 h, kdy by podle očekávání mělo nastat pozvolné odbourávání N-NH_4^+ , čemuž naznačoval i pozvolný pokles spotřeby O_2 rybami, který by měl svědčit o poklesu intenzity jejich metabolismu, a tím i omezení vylučování N-NH_4^+ . Tento jev mohl být dán zpožděným vylučováním N-NH_4^+ , čemuž odporuje pokles spotřeby O_2 , nebo druhy bakterií v biofiltru, které by teoreticky k odbourávání N-NH_4^+ mohly využívat světlo. Pro potvrzení a vysvětlení tohoto jevu bude provedeno více sledování, popř. pokusů.

SOUHRN

Na recirkulačním objektu dánskému typu o celkovém objemu 1000 m^3 s biofiltrem, sestávajícím z 12 odchovných žlabů a jednokomorového biofiltru s plovoucí náplní a osmikomorového biofiltru s ponořenou náplní, byla provedena dvě čtyřadvacetihodinová sledování fyzikálně-chemických parametrů vody při různých teplotách prostředí. První pozorování bylo uskutečněno 11. 8. 2009 při $18,3 \pm 0,4$ °C a druhé 25. 11. 2009 při $3,9 \pm 0,2$ °C. Sledovány byly tyto hlavní parametry: nasycení vody kyslíkem, pH a obsah amoniakálního dusíku (NH_4^+), se zaměřením na ověření funkce biofiltru v závislosti na krmení ryb a na ovlivnění daných parametrů hustotou obsádky v jednotlivých žlabech.

V průběhu 24 hodin jsme v teplejším období pozorovali výraznější výkyvy u všech daných parametrů. A to výraznější spotřebu kyslíku rybami, hlavně v průběhu pěti hodin po nakrmení ryb, a až téměř trojnásobný nárůst obsahu amoniakálního dusíku po nakrmení ryb (z 0,450 až na 1,350 mg.l⁻¹). Hodnota pH byla po průtoku vody odchovnou částí systému vždy průkazně nižší než na přítoku na žlaby. V chladnějším období byl menší rozdíl v obsahu amoniakálního dusíku mezi přítokem na žlaby a odtokem na biofiltr bez výrazných změn v průběhu noci, což naznačuje nižší účinnost biofiltru při nižších teplotách, což popisují i Kouřil a Kujal (2009).

Vliv celkové obsádky odchovného systému na veškeré sledované parametry byl vždy průkazný. Vliv hustoty obsádek jednotlivých žlabů již vždy průkazný nebyl. Vyšší obsádka vždy spotřebovala více kyslíku, v chladnějším období byl však průkazný rozdíl ve spotřebě O₂ jen u nejhustší obsádky (12 000 ks) oproti ostatním sledovaným (10 000; 8000 a 6000 ks), mezi nimiž nebyl rozdíl statisticky potvrzen, průkazně více snížila hodnotu pH na odtoku ze žlabu jen v teplejším období. Vliv různé hustoty obsádky jednotlivých odchovných žlabů na obsah N-NH₄⁺ ve vodě nebyl prokázán.

PODĚKOVÁNÍ

Sledování bylo zpracováno za podpory projektu NAZV (QI91C001) „Optimalizace podmínek intenzivního chovu lososovitých ryb v podmínkách České republiky s využitím dánské technologie se zaměřením na kvalitu produkovaných ryb“ a Výzkumného záměru (MSM6215648905) „Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu“.

LITERATURA

- Blancheton, J.P., Piedrahita, R., Eding, E.H., Roque d'orbcastel, E., Lemarie', G., Bergheim, A., Fivelstad, S., 2007. Intensification of landbased aquaculture production in single pass and reuse systems. In: Aquaculture Engineering and Environment, (Chapter 2).
- De la Gándara, F., García-Gómez, A., Jover, M., 2002. Effect of feeding frequency on the daily oxygen consumption rhythms in young Mediterranean yellowtails (*Seriola dumerili*). Aquacultural Engineering, 26: 27–39.
- FAO 2009: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i1013t/i1013t.pdf> (5. 6. 2010)
- Horáková, M. (Editor), 2007. Analytika vody. VŠCHT Praha, 335 pp.
- Kouřil, J., Kujal, B., 2009. Využití recirkulačních systémů k intenzivnímu chovu ryb. Vodohospodářský bulletin. Čs. společnost vodohospodářská, České Budějovice: 16–19.
- MacMillan, R., 1992. Economic implications of water quality management for a commercial trout farm. In: J. Blake, J. Donald, W. Magette (Editors.), National Livestock, Poultry, and Aquaculture Waste Management. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp. 185–190.
- Tantikitti, C., Onkong, S., Srisook, S., Mahankich, S., 2007. Effects of feeding level and feeding frequency on growth, feed efficiency and nitrogen and phosphorus loss in seabass (*Lates calcarifer* Bloch) fed diets with defatted soybean meal partially replacing fishmeal. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 29(3): 725–736.
- Yager, T.K., Summerfelt, R.C., 1994. Effects of feeding frequency on metabolism of juvenile walleye. Aquacultural Engineering, 13(4): 257–282.
- Zakes, Z., Demska-Zakes, K., Jarocki, P., Stawecki, K., 2006. The effect of feeding on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile tench *Tinca tinca* (L.) reared in a water recirculating system. Aquaculture International, 14: 127–140.