



# Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb

*J. Kouřil, J. Hamáčková, V. Stejskal*







**FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD**  
JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUĎEJOVICÍCH

# **Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb**

---

*J. Kouřil, J. Hamáčková, V. Stejskal*

**VYDÁNÍ PUBLIKACE BYLO USKUTEČNĚNO  
ZA FINANČNÍ PODPORY PROJEKTU:**

***Inovace prezenčního studia bakalářského studijního oboru Rybářství***

*(CZ.1.07/2.2.00/15.0076)*



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**OBSAHOVÁ ČÁST PUBLIKACE BYLA ZPRACOVÁNA ZA FINANČNÍ PODPORY  
NÁSLEDUJÍCÍCH PROJEKTŮ:**

***CENAKVA – Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz***

*(OPVaVpl, CZ.1.05/2.1.00/01.0024)*

***Nové druhy ryb a nové chovatelské postupy v akvakultuře***

*(MŠMT č. ME853)*

***Rozvoj produkce ryb s využitím technických akvakultur a jejich kombinace s rybníčními chovy***

*(NAZV č. QF4118)*

***Biologické, environmentální a chovatelské aspekty v rybářství***

*(MŠMT č. MSM6007665809)*



ISBN 978-80-87437-59-9

## **OBSAH**

<b>1. CÍL METODIKY</b>	<b>6</b>
<b>2. OBECNÉ PRINCIPY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ</b>	<b>6</b>
<b>3. POŽADAVKY NA KVALITU VODY PRO CHOV RYB</b>	<b>13</b>
<b>4. ZMĚNY KVALITY VODY INTENZIVNÍM CHOVEM RYB</b>	<b>18</b>
<b>5. SOUČÁSTI RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ</b>	<b>19</b>
<b>6. ODSTRAŇOVÁNÍ NEROZPUŠTĚNÝCH LÁTEK</b>	<b>20</b>
<b>7. OXIDACE AMONIAKU V BIOLOGICKÝCH NITRIFIKAČNÍCH FILTRECH</b>	<b>22</b>
<b>8. ODSTRAŇOVÁNÍ DUSIČNANŮ POMOCÍ DENITRIFIKACE</b>	<b>32</b>
<b>9. AERACE A OXIGENACE</b>	<b>32</b>
<b>9.1. Aerace</b>	<b>32</b>
<b>9.2. Oxigenace</b>	<b>33</b>
<b>10. DESINFEKCE VODY</b>	<b>35</b>
<b>10.1. UV záření</b>	<b>35</b>
<b>10.2. Ozonizace</b>	<b>35</b>
<b>11. ČERPÁNÍ A DOPRAVA VODY</b>	<b>35</b>
<b>12. MANIPULACE S ODCHOVÁVANÝMI OBSÁDKAMI RYB</b>	<b>36</b>
<b>13. OHŘEV A CHLAZENÍ VODY</b>	<b>37</b>
<b>14. MĚŘENÍ, REGULACE, SIGNALIZACE A ARCHIVACE NAMĚŘENÝCH HODNOT A STAVŮ, ŘÍZENÍ PROVOZU</b>	<b>39</b>
<b>15. RŮZNÉ APLIKACE RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ</b>	<b>40</b>
<b>16. PROVOZOVÁNÍ RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ</b>	<b>44</b>
<b>17. LITERATURA</b>	<b>46</b>

## 1. CÍL METODIKY

Cílem metodiky je poskytnout subjektům zabývajícím se intenzivní akvakulturou metodický návod k využití principů recirkulace vody k chovu ryb v souladu se stávajícími poznatky. Metodika poskytuje návod na využití recirkulačních akvakulturních systémů (dále jen „RAS“) s různými způsoby čištění a úpravy vody k chovu ryb. Zahrnuje principy provozu RAS, popis součástí RAS, požadavky na kvalitu vody pro chov ryb, změny kvality vody intenzivním chovem ryb, metody odstraňování nerozpuštěných látek, oxidace amoniaku v biologických nitrifikačních filtrech, odstraňování dusičnanů pomocí denitrifikace, způsoby aerace, oxigenace, desinfekce, ohřevu, čerpání a dopravy vody, měření, regulace, signalizace a archivace naměřených hodnot a stavů a řízení provozu RAS. Součástí metodiky jsou příklady různých aplikací a zásady provozování RAS.

## 2. OBECNÉ PRINCIPY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ

Intenzivní chov ryb v recirkulačních systémech představuje významnou alternativu intenzivní produkce ryb v průtočných systémech a rybníčních chovech. Recirkulační akvakulturní systémy jsou charakterizovány vysokou produkcí ryb s využitím velmi malé zastavěné plochy a nízkou potřebou přítokové vody. Přitom současně produkují, ve srovnání s klasickými technologiemi, jen velmi malé množství odpadní vody (Blancheton a kol., 2002). Recirkulační systémy lze charakterizovat jako systémy relativně málo závislé na vnějším prostředí. Při využití řady intenzifikačních prvků v nich lze realizovat produkci různých druhů ryb nebo jiných vodních organismů. Pro tento způsob produkce je charakteristická optimalizace podmínek prostředí (teplota, chemismus), výživy (při použití výhradně kompletních krmných směsí, bez přirozené potravy) a krmné techniky, při relativně rychlém růstu a nízkých ztrátách chovaných ryb. Na druhé straně jsou na tato zařízení kladeny vysoké nároky na spolehlivost použité techniky a lidské obsluhy.

Vzhledem k relativně vyšším kapitálovým (investičním) a v některých případech i provozním nákladům (zejména na krmivo a energie) jsou pro uvedený způsob chovu z ekonomických důvodů vhodnější ty druhy ryb nebo jiných vodních organismů, které mají vyšší realizační cenu (lososovitě ryby, sumec, sumeček, okoun, candát, jeseteři, okrasné a akvarijní druhy ryb apod.). Další možností je sezónní využívání těchto systémů v kombinaci s rybníčním chovem (např. u okouna, sumce, kapra či okrasných ryb), nebo využívání pro odchov raných stadií některých druhů požadujících vyšší teploty vody (východoasijské býložravé druhy ryb ap.). Recirkulační systémy jsou vhodné pro chov generačních ryb různých druhů (kapra, sumce, okouna, jeseterů, reofilních kap-

rovitých druhů aj.) s cílem jejich řízené reprodukce v mimosezónním období. Hodí se i pro využití v rybích líhních, nejen pro přechovávání generačních ryb před výtěrem, ale i pro vlastní inkubaci jiker, přechovávání plůdku v období endogenní výživy, případně krátkodobé rozkrmění plůdku před vysazením do rybníků apod. (systémy pro inkubaci jiker, resp. přechovávání plůdku je zásadně nevhodné spojovat s okruhy pro přechovávání generačních ryb). Vzhledem k malému zatížení mohou tyto systémy být konstrukčně jednodušší a investičně méně nákladné. Recirkulační systémy s různými stupni čištění se hojně využívají v pěstírnách okrasných druhů ryb (včetně tropických) a v zájmových chovech okrasných ryb v zahradních jezírcích (kapři koi, barevní karasi, jeseni a líni a další druhy ryb). 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 oceániích. Recirkulační systémy se rovněž často využívají ve výzkumu, nejen při testování intenzivních chovů, ale i z celé řady jiných důvodů (výzkum chování, výživy, testování produkční účinnosti krmiv, testování užitkovosti při šlechtění, studium růstu a ontogenetického vývoje, výzkum průběhu onemocnění a léčení chorob aj.).

V souvislosti s minimálními požadavky na doplňování čerstvé vody lze k tomuto účelu využívat bez potřeby náročné úpravy zdroje kvalitní, hygienicky nezávadné vody (např. vody podzemní nebo z vodovodní sítě). V jiných případech je naopak možné, s ohledem na relativně minimální spotřebu vody při použití méně vhodného zdroje (např. povrchové vody, pokud jiná není k dispozici), zabezpečit její dostatečnou úpravu (desinfekce, eliminace nerozpuštěných látek, úprava teploty). Vzhledem k minimalizaci kontaminace odchovného prostředí původci onemocnění z vnějšího prostředí, je do značné míry omezena možnost vzniku různých onemocnění v odchovných systémech s recirkulací vody. Navíc se ve vodě v těchto systémech vyskytuje zpravidla vyšší obsah solí (případně jej lze uměle zvyšovat), což má pozitivní vliv na zdravotní stav chovaných rybích obsádek. Velmi významným faktorem, podporujícím rozvoj takovýchto chovů, je jejich šetrnost k okolnímu prostředí, vzhledem k eliminaci znečištění produkovaného rybami (produkty látkové výměny). Tento trend lze očekávat v nejbližší budoucnosti a to s ohledem na stupňující se legislativní požadavky na ochranu vod (jak předpisy EU, tak ČR).



**Obr. 1.** Recirkulační systém pro chov generačních ryb a násadového materiálu reofilních druhů ryb (Polsko). Foto J. Kouřil.



**Obr. 2.** Intenzivní odchov sumečka afrického v částečně recirkulované termální vodě v nekrytých zapuštěných betonových nádržích (Maďarsko). Foto J. Kouřil.





**Obr. 3.** Intenzivní odchov sumečka afrického v částečně recirkulované termální vodě v krytých nadzemních kruhových nádržích (Maďarsko). Foto J. Kouřil.



**Obr. 4.** Krmení tržního okouna říčního při intenzivním odchovu v recirkulačním systému. Foto V. Stejskal.



**Obr. 5.** Recirkulační systém s chovem jeseterů (Rusko). Foto J. Kouřil.



**Obr. 6.** Recirkulační systém s intenzivním odchovem úhoře (Nizozemí). Foto V. Stejskal.



**Obr. 7.** Recirkulační systém původně využíváný pro intenzivním odchov úhoře, v současnosti k chovu tropických akvarijních ryb (Slovensko). Foto T. Polícar.

V recirkulačních systémech lze zajistit optimální podmínky pro chov ryb jak z hlediska kvality vody, tak z hlediska dávkování krmiva, a to při nízkých nárocích na množství nově přitékající vody. Jsou to systémy s částečným nebo zcela uzavřeným oběhem vody. Jsou do značné míry nezávislé na vnějším prostředí s malými nároky na množství vody i omezenými 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 pro tento účel 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 (čisticí systémy, aerace a desinfekce). Jsou i vyšší nároky na obsluhu, omezená je kapacita objektu a vyšší jsou zejména pořizovací náklady (přečerpání a čištění vody, měřící zařízení, náhradní zdroje elektrické energie aj.). V celém systému tak dochází ke koloběhu vody a pouze její malá část bývá společně s nečistotami odpouštěna mimo systém. Ztráty vody vzniklé při čištění nebo odparem jsou doplňovány čerstvou vodou (zpravidla od několika desetin % až do 10% z celkového průtoku cirkulující vody za den). Celkový objem vody v systému se v podstatě nemění. Nerozpuštěné látky (kaly), separované z cirkulující vody, lze po zahuštění využívat jako surovinu pro výrobu kompostů, bioplynu, doplňkových komponent krmiv, případně pro jiné účely.

Nárůst produkce tržních ryb ve světě je od poslední čtvrtiny dvacátého století zajišťován výrazným zvyšováním podílu akvakultury. Budoucí nárůst produkce slad-

kovodních tržních ryb v klasických průtočných systémech a s využitím klasických rybníkářských metod ve střední Evropě i ČR je v důsledku řady ekologických a vodo-hospodářských omezení značně limitován. Alternativou je využívání metod intenzivního chovu ryb s pomocí průtočných systémů s částečným odstraňováním produktů metabolismu a zejména recirkulačních systémů a využití biologického čištění vody (Colt a Orwicz, 1991; Chen a kol., 1993; Chin a kol., 1993; Smith a Walker, 1994; van Rijn, 1996; Summerfelt a Wade, 1997; Timmons a kol., 1998; Losordo a kol., 1998; Losordo a kol., 1999, 2002; Malone a Beecher, 2000; Lekang a Kleppe, 2000; Viadero a Noblet, 2002). Jejich nedílnou součástí je použití různých způsobů oxigenace vody (Colt a Watten, 1988; Summerfelt a kol., 2000; Timmons a kol., 2002) a její desinfekce pomocí UV záření nebo ozonizace (Williams a kol., 1982; Paller a Lewis, 1988; Timmons a kol., 2002). V poslední době se konstrukce recirkulačních systémů orientuje na výzkum vysoce sofistikovaných zařízení s dokonalým způsobem čištěním, tj. bez odtoku znečištěné vody, tzv. „zero discharge“ (Eding a kol., 2003, Waller a kol., 2003). Důležité jsou výsledky studia fyziologických požadavků jednotlivých druhů ryb v závislosti na podmínkách prostředí (Bovendeur a kol., 1987; Brunty a kol., 1997; Schuster a Stelz, 1998; Pruszynski, 2003), vlivu chovu ryb na kvalitu vody (produkce metabolitů, zejména amoniaku a spotřeba kyslíku) v závislosti na výživě a teplotě prostředí (Porter a kol., 1987; Cho a Jo, 2002; Pruszynski, 2003; Zakes a kol., 2003) i výzkum metod eliminace znečištění (Rogers a Klemetson, 1985; Mires a kol., 1990; Kolman a Szczepkowski, 1995; Brunty a kol., 1997; Chen a kol., 1997; Ebeling, 2000, Ridha a Cruz, 2001; Grommen a Verstraete, 2002; Melicz, 2003; Piedrahita, 2003).

Vedle výzkumu intenzivního chovu lososovitých druhů (Summerfelt a kol., 2000a.), jež jsou dlouhodobě předmětem zájmu studenododní akvakultury především v průtočných a klecových systémech, je současný výzkum intenzivně zaměřen, vedle marikultury, též na chov sladkovodních teplomilných druhů, především v recirkulačních systémech (tab. 1). Byly rozpracovány technologické postupy u tropických druhů, jako je především sumeček africký (Huisman a Richter, 1987), dnes známý též jako keříčkovec červenolemý a tilapie nilská (Cho a Jo, 2002), dnes známá též jako tlamoun nilský, i u druhů mírného pásma: sumce velkého (Proteau a kol., 1996), úhoře říčního (Bernoth, 1991), jeseterovitých (Steffens a kol., 1990), okouna říčního (Fontaine a kol., 1997), candáta obecného (Aneshansley a kol., 2001) i okrasných ryb v zahradních bazénech s recirkulací a biologickým čištěním vody (Štěch, 2007). Především z hlediska ekonomiky provozu intenzivních chovů teplomilných druhů ryb je důležitá možnost využití alternativních zdrojů energie k optimalizaci teploty (ohřevu) vody pomocí termální energie, tepelných čerpadel a solární energie (Fuss, 1983; Morrison a kol., 1992; Izquierdo a Carrillo, 1997; Buchanan a kol., 1998; Lund a Freeston, 2001; Jayatissa a kol., 2002; Kouřil a Matoušek, 2008). Pro všechny formy intenzivní akvakultury, zejména však pro vysoce sofistikované recirkulační systémy je nezbytné použití počítačových systémů řízení jejich provozu.

**Tab. 1.** Charakteristiky vybraných druhů ryb chovaných v RAS potřebné pro produkci 100 tun.

		Sumeček africký	Úhoř říční	Mořský okoun	Kambala
Růstový interval	g	10–1 000	0,25–150	10–350	10–1 000
Produktivita	kg.m <sup>-2</sup>	1 000–1 500	200–300	200	70
Prům. biomasa	kg.m <sup>-2</sup>	170	114	100	50
Potřeba kyslíku	kg.kg krmiva <sup>-1</sup>	0,3	0,74	1,5	1,2
Výměna vody	m <sup>3</sup> kg krmiva <sup>-1</sup>	0,1	0,09–0,2	0,5–0,9	1–4
Potřeba energie	kWh.kg krmiva <sup>-1</sup>	0,7	7	6,5	6,7

Význam recirkulačních systémů v akvakultuře dokládá opakované pořádání mezinárodních krátkodobých kursů o chovu ryb v recirkulačních akvakulturních systémech, zejména péčí EAS (European Aquaculture Society) a dalších institucí na počátku tohoto století i každoročně pořádané konference americké společnosti pro recirkulační akvakulturní systémy.

V České republice existuje jen velmi omezený počet stručných literárních informací o recirkulačních systémech v chovu ryb (Kouřil, 2006; Štěch, 2007). V roce 2007 uspořádal VÚRH JU (nyní FROV JU) první dvoudenní seminář k problematice chovu ryb v recirkulačních systémech (a byl z něho vydán sborník prezentovaných přednášek na CD).

### 3. POŽADAVKY NA KVALITU VODY PRO CHOV RYB

#### Zdroje vody

Pro objekty s chovem ryb se využívají různé zdroje vody. Patří mezi ně jak podzemní, tak povrchová voda.

#### Podzemní voda

Získává se jímáním přirozených vývěrů nebo zřizováním studní či vrtů, odkud je potom čerpána. Tato voda se vyznačuje stálostí teploty, přičemž v hloubce asi 10 m kolísá teplota mezi 10–12 °C. Obsahy rozpustných látek ve vodě jsou určovány geologickými podmínkami podloží. Je to voda neznečištěná hrubšími mechanickými nečistotami, obsah kyslíku bývá nízký, naproti tomu je častý vysoký obsah dalších plynů (CO<sub>2</sub>). Obsah kyslíku lze zvýšit pomocí přepadů a aerací. Voda obsahuje zvýšené množství rozpustných minerálních látek (uhlíčitany, sírany, chloridy), a proto se vyznačuje vyšší celkovou tvrdostí. Pramenitá voda někdy obsahuje zvýšené množství rozpuštěného železa a manganu, které nepříznivě působí na zdravotní stav jiker a plůdku. Proto se přívod vody vybavuje dalším speciálním zařízením za účelem vysrážení nežádoucích látek. Účinná je aplikace jemně mletého vápence k vysrážení koloidního hydroxidu železitého.

## Povrchová voda

Proti vodě pramenité má vyšší obsah kyslíku a zpravidla nižší tvrdost. Může však obsahovat i řadu dalších nežádoucích látek, které vznikly vlivem lidské činnosti. Charakteristické bývá kolísání její teploty. Ostatní fyzikálně chemické vlastnosti vody jsou zpravidla vhodné pro chov ryb. Zvýšené jsou nároky na její úpravu (např. sedimentace, filtrace, zabránění vniknutí původců onemocnění apod.). Používá se jak voda stojatá (jezera, rybníky, údolní nádrže), tak voda tekoucí (řeky, potoky). V obou případech se mohou vyskytovat problémy se zvýšeným obsahem rozpuštěných živin. U stojatých vod se často vyskytují problémy související s přítomností řas, sinic a zooplanktonu. To přináší řadu rizik (kolísání pH, deficity O<sub>2</sub>, zvýšení obsahu amoniaku, ucpávání rozvodů vody, nebezpečí výskytu plísnových a bakteriálních onemocnění). V případě přímého odběru z hlubších (údolních) nádrží s teplotní stratifikací bývá s výhodou využívána možnost použití vody z různých hloubkových horizontů. To umožňuje volit odpovídající teplotu i některé další kvalitativní ukazatele zdroje vody.

## Teplota vody

---

Teplota je jedním z nejdůležitějších 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 má vliv na podíl toxického nedisociovaného amoniaku na celkové koncentraci amoniakálního dusíku (při zvyšování teploty v rozpětí 5 až 25 °C se zvyšuje až několikanásobně). Teplota vody je jedním z rozhodujících faktorů vnějšího prostředí. Má základní význam pro aktivitu ryb, pro příjem a využití potravy, růst, reprodukci aj.

Ryby jsou tradičně děleny do skupin podle teplotních preferencí, a to na ryby studenomilné (lososovitě) a teplomilné (většina ostatních druhů). Toto rozdělení ale není přesné, protože je několik dalších faktorů určujících teplotní požadavky ryb (vedle druhu též věk, velikost a adaptace na předchozí teplotu vody). Ryby jsou klasifikovány jako studenokrevné, což znamená, že jejich tělesná teplota je stejná (nebo jen nepatrně vyšší) než teplota vodního prostředí, které je obklopuje. Proto mají všechny druhy (ale i jejich vývojové kategorie) optimální rozsah teplot, při kterém dosahují maximálního růstu a horní a spodní limit tolerance, 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 čímž je spojená klesající návratnost. Při zvýšené teplotě nad optimum je také konverze krmiva nižší. Další zvýšení teplot nad optimum nepřináší z hlediska chovu žádný prospěch. V první fázi sice dochází ke zvyšování rychlosti růstu, ale při současném zvyšování krmeného koeficientu. Při vyšších teplotách se zastavuje příjem potravy a následuje letální úroveň. Udržování teploty vody na optimální úrovni umožňuje optima-

lizovat rychlost růstu a minimalizovat stresovou zátěž chovaných ryb. Změny teploty prostředí ovlivňují intenzitu metabolismu a spotřebu kyslíku. K výkyvům teploty nesmí docházet náhle, aby nedošlo k tzv. teplotnímu šoku a poškození rybiho organismu, které často končí úhynem. K teplotnímu šoku dochází zpravidla při teplotním rozdílu větším než 12 °C.

Jakmile teplota vody roste, tak se ryby stávají aktivnější a spotřebovávají více rozpuštěného kyslíku a současně produkují více oxidu uhličitého a amoniaku. Takto roste poměr spotřeby nepostradatelných látek a produkce látek škodlivých, což může mít, při překročení tolerovaných mezí, přímý vliv na zdraví ryb a jejich přežití. Když se hodnoty nacházejí mimo optimum, dochází ke stresu. I nízká úroveň stresu může nepříznivě dlouhodobě ovlivňovat obsádku, což se projevuje snížením rychlosti růstu, zhoršeným využitím krmiva a vyšší mortalitou (zapříčiněnou zvýhodněním oportunistických organismů oslabením stresovaných ryb). Teplotní režim ovlivňuje pohlavní dospívání a dozrávání ryb v průběhu sezóny.

Teplota hraje významnou roli v průběhu nitrifikace. 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 5–35 °C (Jones a Morita, 1985). Nitrifikační bakterie jsou přizpůsobivé širokému okruhu teploty prostředí, jejich aklimatizace na jinou teplotu probíhá ale pozvolně. Teplota vody v recirkulačních systémech s biologickou nitrifikací se může řídit především potřebou chovaných druhů ryb, případně technickými a ekonomickými možnostmi ohřevu systému, nikoliv potřebami nitrifikačních bakterií.

**Tab. 2.** Orientační hodnoty optimálních teplot pro ryby (podle různých zdrojů, upraveno).

Druh ryby	Optimální teplota pro (°C)			
	Jikry	Líhnutí	Plůdek	Odrostlé ryby
Siven americký	6–12	< 13	12–14	12–14
Pstruh duhový	6–14	8–14	6–19	14–16
Jeseterovití	12–18	12–18	14–20	10–23
Okoun říční	14–18	14–18	15–23	22–24
Candát obecný	12–18	12–18	12–18	12–26
Kapr obecný	12,5–25	17–30	17–25	10–30
Lín obecný	18–23	18–23	19–25	20–26
Úhoř říční	–	–	8	20–26
Sumec velký	20–22	20–22	23–28	23–28
Sumeček africký	20–30	27	25–30	20–30
Tilapie nilská	25–30	25–30	25–30	25–30

## Plyny ve vodě

Rozpustnost plynů ve vodě je velmi rozdílná. Rozpustnost kyslíku je 2,3krát vyšší než rozpustnost dusíku. Oxid uhličitý je 100,4krát, sirovodík 222,6krát a chlór 424,3krát ve vodě rozpustnější než dusík. Z toho vyplývá, že dusík je ve vodě v porovnání s kyslíkem a zejména s oxidem uhličitým velmi málo rozpustný.

Dále platí, že plyny se rozpouštějí ve vodě v takovém poměru v jakém se nacházejí nad hladinou, tj. podle jejich parciálního tlaku. Na základě této zákonitosti by měl obsah dusíku tvořit 78% objemu, obsah kyslíku 21% objemu a oxid uhličitý jen 0,03% objemu plynů obsažených ve vodě vlivem difúze ze vzdušné atmosféry. Ve skutečnosti se obsah plynů ve vodě významně liší od složení vzdušné atmosféry právě v důsledku jejich rozdílné rozpustnosti. Výsledkem je, že při rovnovážném obsahu plynů v chemicky čisté vodě je složení vzduchu vytěsněného z této vody při její teplotě 10 °C a tlaku 760 torrů v objemových procentech následující: 63% dusíku; 35,6% kyslíku; 1,3% oxidu uhličitého a 0,1% ostatních plynů.

Za určité teploty a atmosférického tlaku na hladinu je obsah plynů ve vodě konstantní. Rozpustnost plynů ve vodě klesá se stoupající nadmořskou výškou a poměrně významně klesá také se stoupající teplotou vody a naopak (tab. 3). Velmi důležitým faktorem pro rozpouštění plynů, tedy i kyslíku ve vodě je kromě výše uvedené nadmořské výšky a teploty vody i výše uvedený atmosférický tlak, resp. jeho změny v důsledku vývoje počasí. S klesajícím atmosférickým tlakem (např. stavy před bouřkou) klesá obsah rozpuštěného kyslíku a ostatních plynů ve vodě.

**Tab. 3.** Obsah kyslíku při rozdílné teplotě a atmosférickém tlaku na hladině moře 101,3 kPa.

Teplota (°C)	Rovnovážný (100%) obsah O <sub>2</sub> mg.l <sup>-1</sup> 760 torrů (v 0 m nadmořské výšky)	Rovnovážný (100%) obsah O <sub>2</sub> mg.l <sup>-1</sup> 714 torrů (v 500 m nadmořské výšky)
1	14,25	13,41
4	13,13	12,32
10	11,27	10,70
15	10,03	9,41
20	9,02	8,78
25	8,18	7,70

Přirozeným zdrojem kyslíku ve vodě je jednak fotosyntetická asimilace vodních rostlin, jednak difúze z atmosféry (kde vzniká jako produkt fotosyntézy terestrické vegetace). Kyslík slouží k dýchání ryb a dalších vodních organismů. Kyslíkový nedostatek – deficit (u ryb způsobuje hypoxii) je chybějící kyslík při dané teplotě a tlaku do rovnovážného stavu (100% nasycení vody kyslíkem). Pro chov ryb má sledování obsahu kyslíku a předcházení hypoxií rozhodující význam. Pro ryby a zejména jejich mladší vývojová stadia (jikry, plůdek) je nebezpečné nejen nízké nasycení vody kyslíkem, ale také přesytení vody kyslíkem (resp. plyny obecně). Oxid uhličitý je produktem dýchání



**Tab. 4.** Procentický podíl volného ( $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) a vázaného ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) amoniaku při různých hodnotách pH vody.

pH	$\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ %	$\text{NH}_4\text{OH}$ %
6	0	100
7	1	99
8	4	25
9	25	75
10	78	22
11	96	4

**Tab. 5.** Obsah volného (nedisociovaného) amoniaku ve vodných roztocích v závislosti na teplotě vody a pH (v %) (podle Pitter, 1981).

Teplota (°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

vodních organismů a rozkladu organické hmoty. Při vyšších hodnotách pH než 8,3 se vytváří hydrát amoniaku  $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$  označovaný také jako molekulární či volný amoniak, který je pro ryby nervovým jedem. Volný amoniak se analyticky nestanovuje, ale jeho obsah se odvozuje na základě hodnoty pH a teploty vody (tab. 4 a 5).

Obecně lze konstatovat, že teplomilné ryby jsou více tolerantní k amoniaku, než ryby studenomilné a ryby sladkovodní jsou tolerantnější než ryby mořské. Všeobecně lze doporučit, aby koncentrace  $\text{NH}_3\text{-N}$  dlouhodobě nepřekračovaly hodnotu  $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$  a koncentrace celkového amoniakálního dusíku (TAN – *total ammonium nitrogen*) byla nižší než  $1,0 \text{ mg.l}^{-1}$ .

#### 4. ZMĚNY KVALITY VODY INTENZIVNÍM CHOVEM RYB

Hlavními výhodami recirkulačních systémů je možnost regulovat prostředí a parametry kvality vody s cílem udržení dobrého zdravotního stavu ryb a vysoké rychlosti růstu. Ačkoliv je vodní prostředí komplexní ekosystém skládající se z různých parametrů, je výhodou, že jenom několik z nich hraje rozhodující roli v chovu ryb. Kritickými parametry jsou teplota, nerozpuštěné látky, pH a koncentrace ve vodě rozpuštěných látek – kyslíku, amoniaku, dusitanů a oxidu uhličitého a kyselinová neutralizační kapacita vody. 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 některých případech méně významná a za jiných okolností naopak zcela zásadní. Například v případě problémů s aerací a odplynováním, se zvyšuje obsah oxidu uhličitého a klesá obsah kyslíku. Výsledkem je nejen snížení dostupnosti kyslíku pro ryby, ale současně i snížení možnosti tento kyslík využít, protože zvýšený obsah oxidu uhličitého ve vodě je příčinou nižší kapacity krve pro transport kyslíku.

##### Produkce nerozpuštěných látek

Nerozpuštěné látky se do vody dostávají chovem ryb dvojím způsobem. Jednak jsou to exkrementy, jejichž množství závisí na dávce a složení krmiva, na jeho stravitelnosti a ostatních faktorech, které trávení krmiva u ryb ovlivňují (teplota vody, zdravotní stav aj.). Druhým zdrojem nerozpuštěných látek je nespoteřebované krmivo. Při správné krmné technice (adaptace ryb na krmivo, použití optimálních denních dávek krmiva a jejich rozdělení v průběhu dne, vhodného složení a velikosti krmiva, minimální, resp. žádný podíl prachových částí krmiva, respektování zdravotního stavu a ochoty ryb přijímat krmivo) by se zbytky rybami nepřijatého krmiva neměly v podstatě vyskytovat, resp. jejich množství by mělo být zanedbatelné. V případě jejich výskytu zbytky krmiv znečišťují vodu rozpuštěnými i nerozpuštěnými látkami (přičemž jejich odstraňování nadbytečně zatěžuje mechanické a biologické filtry) a přispívají ke zvýšení krmného

koeficientu (a tím ke zhoršení ekonomiky chovu). Obvyklé hodnoty produkce nerozpuštěných látek při intenzivním chovu ryb se pohybují v rozpětí od 4,5 do 18,5 g.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>.

### **Produkce organických látek**

Znečištění vody organickými látkami při intenzivním chovu ryb je významným parametrem, posuzovaným při hodnocení vypouštěných odpadních vod. Obsah organických látek ve vodě se stanovuje jako BSK<sub>5</sub> (biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní) nebo jako CHSK<sub>Mn</sub> (chemická spotřeba kyslíku stanovená manganometricky). Produkce znečištění organickými látkami v intenzivním chovu ryb se pohybuje v rozpětí: BSK<sub>5</sub> 3,0–18 g.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, resp. CHSK<sub>Mn</sub> 28,4–56,7 g.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>.

### **Produkce amoniaku**

Ryby v intenzivním chovu jsou významnými producenty amoniakálního dusíku. Amoniak do vody vylučují nejen v exkrementech, ale i dýcháním. Za normálních okolností je 60 % rybou vyloučeného dusíku ve formě amoniaku. Dalším zdrojem amoniaku je zbytkové krmivo. Krmivo ryb obsahuje bílkoviny, ze kterých rozkladem amoniak vzniká. Množství amoniaku, vznikajícího touto cestou, tedy závisí na množství nespotebvaného krmiva, na jeho složení a jeho rozložitelnosti. Celková produkce amoniaku při intenzivním chovu ryb se pohybuje od 0,25 do 2,07 g.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>.

## **5. SOUČÁSTI RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ**

Základními součástmi recirkulačních systémů jsou mechanická filtrace či sedimentace, biologický nitrifikační filtr, aerace či oxigenace, zařízení pro čerpání a dopravu vody a přítok čerstvé (doplňkové) vody. V některých případech, např. při intenzifikaci provozu chovatelských zařízení původně konstruovaných pro průtočný režim provozu (např. farmy pro lososovité ryby), se provádí pouze separace exkrementů pomocí sedimentace a voda je v odchovném zařízení částečně recirkulována (opakovaně použita) bez biologické nitrifikace.

Výše uvedené nezbytné komponenty bývají ještě doplněny dalšími součástmi. Mezi ně patří ohřev (či spíše příhřev) vody (ve výjimečných případech ochlazování vody), odplynění, flotace, desinfekce vody (UV zářiči nebo ozónem), denitrifikace a zařízení pro zpracování kalu (zahušťování, výroba bioplynu).

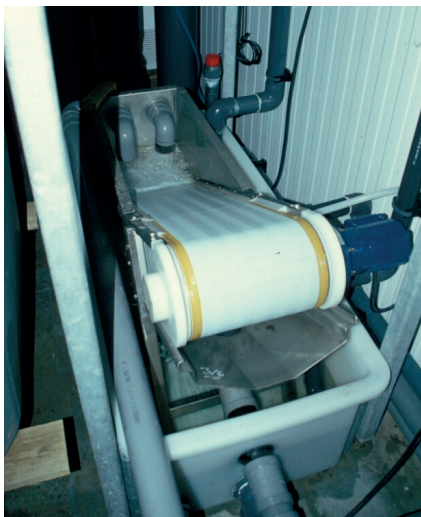
Současná generace recirkulačních systémů preferuje těsné uspořádání jednotlivých technologických komponentů pro vlastní chov ryb a pro úpravu a čištění vody, s malými výškovými rozdíly hladin. Těmito opatřeními lze dosáhnout výrazné úspory nákladů na čerpání vody.

## 6. ODSTRAŇOVÁNÍ NEROZPUŠTĚNÝCH LÁTEK

K odstraňování nerozpuštěných látek v recirkulačních systémech se používá několika různých způsobů, nebo jejich kombinací. Jednou z možností, prozatím nepříliš často využívanou, je dvojitý odtok z odchovných nádrží, včetně speciálního zařízení použitelného u nádrží s krouživým pohybem vody (Summerfelt a kol., 2000b). Jedním z nejčastějších způsobů je sedimentace (usazování). Osvědčilo se používání šikmé lamelové usazovací nádrže. Podmínkou přibližně 70–80% účinnosti je dosažení laminárního proudění a 20–30minutové zdržení vody v nádrži. V poslední době se zavádějí válcové mechanické filtry s mikrosítou. Používají se i šikmé pásové mikrosíťové filtry. Poměrně málo jsou využívána relativně jednoduchá zařízení na principu vířivé separace (cyklony). Jejich nevýhodou je potřeba stálého průtoku a poměrně velké množství vody odtékající spolu se sedimentem. Pro obtížně odstranitelné nerozpuštěné látky, menší velikosti a specifické hmotnosti blízké hmotnosti vody, se osvědčila zařízení na principu flotace (pěnová separace). Jsou účinnější při použití v mořské než ve sladké vodě.



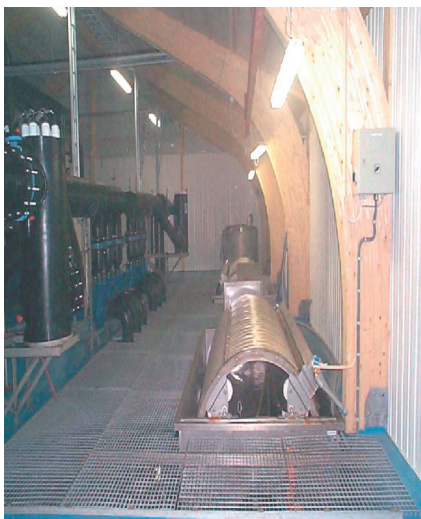
**Obr. 8.** Otevřený bubnový mechanický filtr IN-EKO. Foto P. Kozák.



**Obr. 9.** Pásový mechanický filtr



**Obr. 10.** Vnější pohled na zakrytý bubnový mechanický filtr IN-EKO. Foto P. Kozák.



**Obr. 11.** Bubnový mechanický filtr v recirkulačním systému s chovem úhoře (Nizozemí). Foto V. Stejskal.



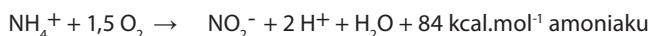
**Obr. 12.** Flotace s využitím přisávaného podtlakového vzduchu. Foto J. Kouřil.

## 7. OXIDACE AMONIAKU V BIOLOGICKÝCH NITRIFIKAČNÍCH FILTRECH

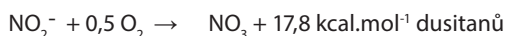
Při nitrifikaci je amoniak v prvním stupni nejdříve oxidován na dusitany. Ve druhém stupni, který bezprostředně následuje, jsou dusitany oxidovány na dusičnany. Obě fáze obvykle následují těsně za sebou, proto se v normálně fungujícím systému zpravidla ve vodním prostředí nehromadí dusitany. Uvedené rovnice ukazují průběh chemických reakcí, k nimž dochází v průběhu oxidace amoniaku.

Sumární reakce:

1. fáze:



2. fáze:

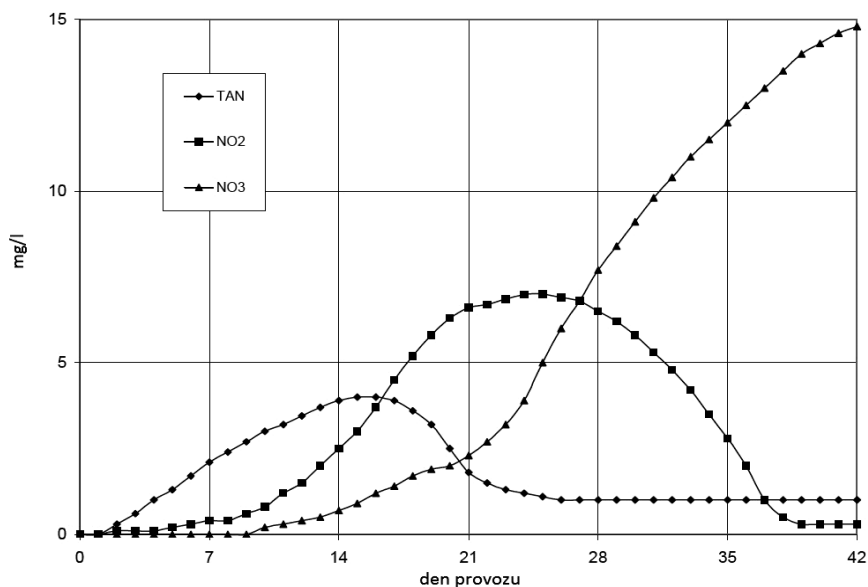


Biologická filtrace efektivně snižuje hladinu amoniaku ve vodě. Existují fylogeneticky odlišné skupiny nitrifikačních bakterií, které jsou využívány k biologické filtraci vody, zejména bakterie rodu *Nitrosomonas* a dále rodů *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus* a *Nitrosovibrio* získávají energii oxidací neionizovaného amoniaku na dusitany. Bakterie oxidující dusitany na dusičnany náleží zejména do rodu *Nitrobacter* a dále do rodů *Nitrococcus*, *Nitrospira* a *Nitrospina*. V biofiltrech se obvykle vyskytují současně s dalšími mikroorganismy, jako jsou heterotrofní bakterie a prvoci, kteří metabolizují organické sloučeniny. V případě vysoké koncentrace nerozpuštěných látek přítékajících s vodou na biologické filtry rostou heterotrofní bakterie výrazně rychleji než nitrifikační bakterie a převládají v konkurenčním boji o prostor a kyslík. Proto je nutné, aby voda přítékající do biologických filtrů obsahovala co nejnižší koncentrace nerozpuštěných látek.

Proces nitrifikace inhibují: pokles pH, nízká koncentrace ve vodě rozpuštěného kyslíku, nízká teplota, vysoká koncentrace amoniaku, ve vodě rozpuštěný chlór, přítomnost antibiotik (např. v souvislosti s léčením ryb), přítomnost některých organických látek a vyšší salinita.

Pro úplnou oxidaci jednoho gramu amoniaku je potřeba 4,57 g O<sub>2</sub> a přibližně 7,14 g CaCO<sub>3</sub>. Aby se zamezilo poklesu kyselinové neutralizační kapacity, k níž došlo v průběhu nitrifikačního procesu, používá se obvykle pravidelné dávkování hydrogenuhličitanu sodného (jedlé sody) do vodního prostředí recirkulačního systému. Tato látka je levná, dobře dostupná a rychle se rozpouští ve vodě. Dávkuje se zpravidla denně ve výši přibližně 0,25 kg na kg zkrmeného krmiva v systémech s minimální výměnou čerstvé vody. Toto doporučení však nelze striktně dodržovat a přesná výše dávky se koriguje podle aktuální hodnoty pH.

Proces biologického čištění využívá bakterie, které rostou buď přímo na povrchu náplně biofiltru, nebo se vyskytují suspendované přímo ve vodním sloupci. Většina recirkulačních systémů využívá bakterie fixované na povrch (nitrifikační bakterie rostou



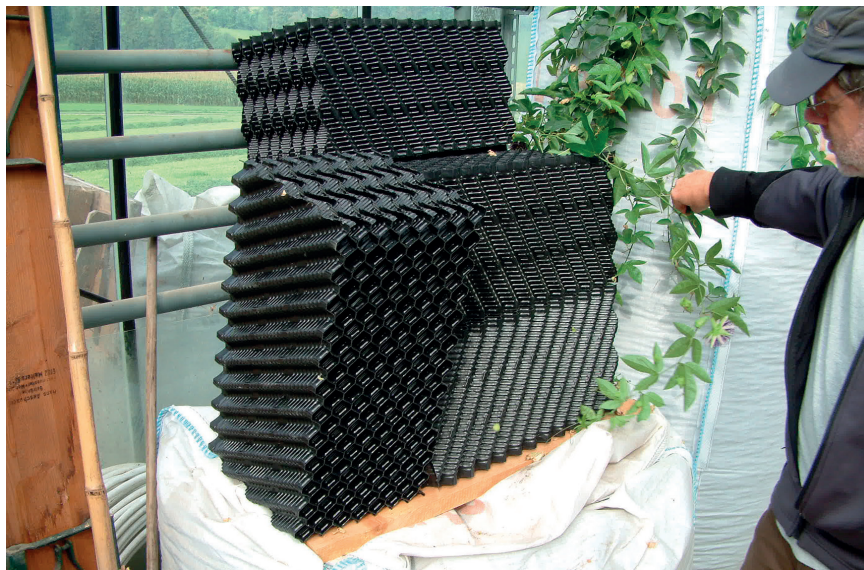
**Obr. 13.** Obecný průběh změn koncentrací celkového amoniakálního dusíku (TAN), dusitanů a dusičnanů po zahájení provozu recirkulačního systému (podle Timmons a kol., 2002).

buď na mokřém nebo ponořeném povrchu inertního substrátu). Kapacita biologických filtrů pro odstraňování amoniaku je velkou měrou závislá na jejich celkovém aktivním povrchu, který mají nitrifikační bakterie k dispozici pro růst. Pro maximální účinnost musí mít používaná média vysokou plochu aktivního povrchu. Pro zachycení mikroflóry je používáno pevné médium. Moderní filtry využívají různé plastové elementy ve tvarech mřížek, čoček, kuliček, pláství nebo otevřených bloků. Hlavním cílem je poskytnutí co největší aktivní plochy pro osídlení mikroflórou. Média užívaná v biofiltrech musí být inertní, nestlačitelná a nesmí podléhat biologické degradaci. Jako materiál se používá písek, kamenná drť, štěrky, elementy z různých druhů plastů (špony, tzv. husí krky a v poslední době zejména speciálně vyrobené patentované elementy s velkým povrchem, lišící se velikostí a specifickou hmotností) a dále keramický materiál ve tvaru malých korálků, velkých koulí či prstenů. Biologické filtry musí být pečlivě navrženy, aby v nich nedocházelo ke kyslíkovým deficitům, nadměrnému usazování pevných částic či zvýšené biochemické spotřebě kyslíku. Osvědčilo se zavést do středu filtru kyslíkování. V minulých letech přitahovaly pozornost hlavně fluidní filtry. Ty poskytují větší množství specifické plochy povrchu a při stejné úrovni nitrifikace vyžadují nižší údržbu než jiné filtry.

Existuje celá řada variant a modifikací biologických filtrů (zkrápěné, ponořené, fluidní, rotační diskové filtry, aktivovaný kal aj.).

### Zkrápěné biologické filtry

Čistírny se zkrápěnými biologickými filtry představují jedno z nejstarších, provozně velmi osvědčených čistírenských uspořádání. Sestávají z kvalitního hrubého předčištění, usazovací, nejčastěji štěrbinové nádrže, biofiltru a dosazovací nádrže. Návrh biologických filtrů je energeticky velmi výhodný tam, kde lze využít možnosti vysokého povrchového a látkového zatížení plastové náplně. Voda je přiváděná nad filtrační náplň filtru a je rovnoměrně rozdělována (rozstříkovávána) na co největší plochu, čímž se současně prokyslíčí. Gravitačně prokapává filtračním médiem tak, že částice filtračního lože jsou permanentně zvlhčovány, ale filtrační médium jako celek není do vody ponořené. Filtrační náplň je buď obvykle velikostně tříděná (např. písek, štěrk) nebo se jedná o různé výrobky z plastů. Používají se buď různé odpady z opracování plastů (špony), nebo záměrně vyráběné elementy či bloky. Kyslík je dodáván prostřednictvím vzduchu, vstupujícího společně s vodou, případně větracími otvory, nebo nuceně. Doba zdržení vody ve filtru, významná z hlediska účinnosti filtru, může zde být upravena hloubkou filtračního lože nebo množstvím přitékající vody. Ucpávání zkrápěného filtru obvykle nebývá problém. Pro snížení rizika ucpání se používá velikostně tříděného média, jež tvoří filtrační lože. Voda nejprve postupuje hrubším zrněním média a následně přechází do partií s jemnějším zrněním.



**Obr. 14.** Lisované bloky z plastické hmoty (náplň zkrápěného biologického filtru). Foto J. Kouřil.





**Obr. 15.** Recirkulační systém na rybí líhni pro teplomilné druhy ryb umístěný ve skleníku (Polsko). Vpravo nahoře zkrápěné filtry. Foto J. Kouřil.



**Obr. 16.** Zkrápěné filtry (sestavené z plastových bedniček na ovoce naplněných plastovými šponami, obalené černou fólií, instalované pro každý odchovný žlab samostatně). Vpravo vzadu zásobník na tekutý kyslík. Foto J. Kouřil.

### Ponořené filtry

Od zkrápěných filtrů se liší vlastně jen tím, že těleso filtru je zaplněno vodou a filtrační médium není jen smáčené, ale trvale zaplavené. Existují v několika variantách. První varianta má přítok a odtok vody v jedné rovině a svým tvarem je v podstatě shodná s podélnou usazovací nádrží, ale prostor je vyplněn filtračním materiálem. Další možné uspořádání filtru má přívod vody v dolní a odvod v horní části. Voda se pohybuje vzhůru filtračním médiem a opouští filtr na jeho vrcholu. Tento typ filtrů také vykazuje nejméně problémů, přičemž zároveň dovoluje nastavení doby zadržení v rámci širokých limitů pouhým změněním průtočné rychlosti vody. Zadržení vody je 0,5–3 h. Další možnou variantou je pak přítok vody do filtru v horní části a odtok ve spodní.

### Fluidní filtry

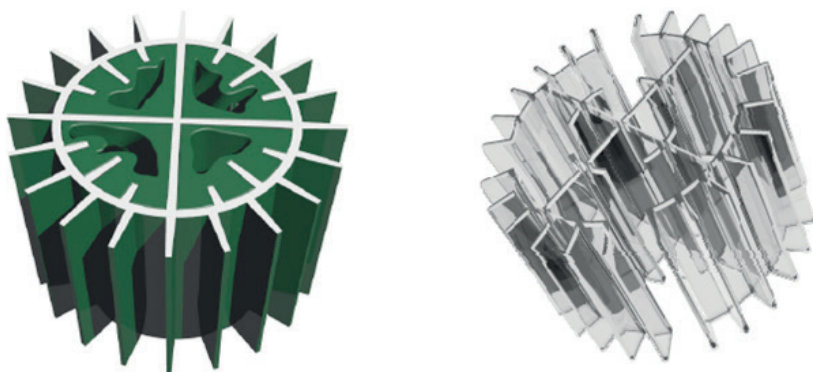
Jedná se o druh ponořených filtrů. Mají přítok vody v horní části středem a odtok v horní části po obvodu. Voda protéká přes plovoucí filtrační náplň (plastové elementy se specifickou hmotností menší než voda), která je umístěna ve středním válci. Čištění fluidního filtru se provádí díky jeho konstrukci v průběhu sezóny dle potřeby. V souvislosti s tím, že plovoucí náplň filtru je neustále vířena, probíhá trvale její čištění od usazených nerozpuštěných látek a odumřelé bakteriální biomasy. Tento materiál se usazuje ve spodní části filtru, odkud je při odkalování odpouštěn mimo systém. Dostatek kyslíku v těchto filtrech se zajišťuje provzdušňováním.



**Obr. 17.** *Přítok vody do biologického fluidního filtru (ve vnitřním válci je umístěna filtrační náplň). Foto P.Kozák.*



**Obr. 18.** Biologický fluidní filtr (filtrační náplň). Foto J. Kouřil.



**Obr. 19.** Filtrační médium používané do filtrů s pohyblivou náplní firmy INTERAQUA (podle [www.interaqua.dk](http://www.interaqua.dk))

### Lamelové (rotační) filtry

V těchto filtrech se filtrační médium pohybuje a prochází vodou. Tvoří jej např. několik kruhových disků z plastické hmoty, umístěných na poháněné ose a instalované do nádrže s neupravenou vodou tak, že část každého disku je ponořena a zbývající

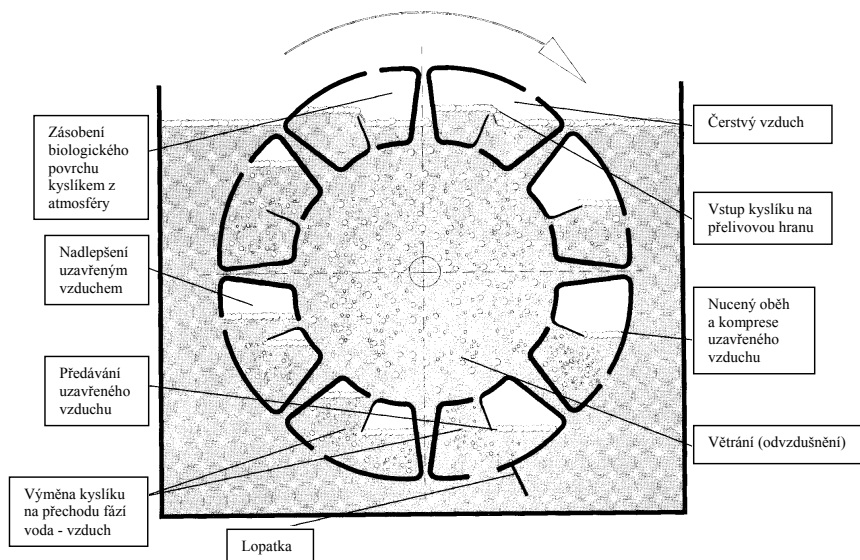
část je vystavená atmosféře. Disky se otáčejí jen velmi pomalu (3–6 otáček za minutu). Bakterie kolonizují disky jako u ostatních typů filtračních médií. Proměnlivá expozice metabolity zatížené vody, ulpívající na rotujících discích a jejich přicházení do styku se vzduchem, zajišťuje zásobování bakterií kyslíkem. Průměr disků bývá mezi 0,5 až 3,0 m, tloušťka disku 10 až 20 mm, vzdálenost mezi disky 10 až 40 mm. Pro dosažení vyšší účinnosti se doporučuje zařazovat za sebou více biodiskových jednotek. Plošné látkové zatížení biokontaktoru by nemělo přesahovat hodnoty  $3 \text{ g TAN} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  a  $5 - 10 \text{ g BSK}_5 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $\text{TAN} = \text{total amonium nitrogen}$  – celkový amoniakální dusík). Při použití těchto filtrů se doporučuje dále zařadit sedimentační nádrž, která poslouží k usazení plovoucích kalů a organických zbytků. Část těchto usazenin je vhodné znovu přecerpávat do nádrže s biologickým filtrem k oživení bakteriální mikroflory a dodání potřebných živin pro bakterie namnožené na rotujících discích.

### Aktivovaný kal

Jedná se o běžnou metodu, která je využívána v čistírenství při čištění komunálních aj. odpadních vod. V intenzivní akvakultuře je však méně častá (používá se případně v kombinaci s jinými metodami). Využívá toho, že se zatížená voda přivádí do aktivizačních nádrží, kde je zajištěn její styk s aktivovaným kalem (substrátem a mikroorganismy). K čištění je potřeba dostatek mikroorganismů a kyslíku (voda se rozstříkuje, a tak se sytí kyslíkem, dmychadlo žene  $\text{O}_2$  do roštů a vzduch probublává kolem). Voda vyčištěná kalem odtéká do usazovací nádrže, kde se zklidní a částice kalu se usazují na dně a voda přepadá a odtéká pryč. Čištění se opakuje tak dlouho dokud nejsou fyzikálně chemické hodnoty odpovídající. Když kal dosáhne určité úrovně, sepne sondu a odčerpá se buď na lis nebo do vyhnívací nádrže. Část kalu z dosazovací nádrže se odčerpává zpět do aktivizační nádrže (znovuoživení kalu). Kvalitativní a kvantitativní složení aktivovaného kalu závisí hlavně na složení substrátu, na němž byl kal vypěstován, a na hodnotách technologických parametrů během kultivace (doba zdržení, zatížení, stáří kalu).

### Kombinovaný rotační lamelový biologický filtr

Využívá principu rotačního lamelového filtru v kombinaci s aktivovaným kalem. Jeho výhodou je nízká spotřeba energie na rozdíl od většiny jiných systémů, kde je voda čerpána do větších výtlačných výšek. Princip kombinovaného rotačního lamelového biologického filtru Zellard Stählermatic je patrný z obr. 20.



**Obr. 20.** Kombinovaný rotační lamelový biologický filtr Zellard Stählermatic (upraveno dle Technische information Stählermatic, 1996).

### Hydroponické čištění vody

Jedná se o využití odpadních vod zatížených živinami k rozvoji hydroponicky pěstovaných rostlin (např. rajčat, bazalky aj.), vodních rostlin či řas. Znečištěná voda proteče skleníkem s rostlinami a ty svými kořeny odstraní velké množství rozpuštěných živin. Voda se pak musí mechanicky dočistit. Nejčastěji se používají v kombinaci s dalším čištěním (např. biofiltr). Problémy může představovat venkovní teplota, intenzita a zejména délka slunečního svitu (ovlivňující délku vegetačního období a intenzitu metabolismu rostlin).

### Membránová filtrace

Tato metoda je používána při čištění vody v odchovných akvarijních ryb. V akvakulturních systémech se zatím nepoužívá pro svoji vysokou ekonomickou náročnost a malý výkon. Membrány používané k filtraci využívají poréznosti až 0,05  $\mu\text{m}$ . Voda takto přefiltrovaná je čistá a bez zápachu.



**Obr. 21.** Skleníků (Tropenhaus) s intenzivním chovem tilapie nilské využívající k ohřevu teplo z čerpací stanice dálkového plynovodu (Švýcarsko). Foto J. Kouřil.



**Obr. 22.** Interiér skleníku s intenzivním chovem tilapie nilské v recyklačním systému s čištěním vody využívajícím řasového nárůstu na svislé tmavé stěně uprostřed nahoře nad žlabem s půlkruhovitým profilem (Švýcarsko). Foto J. Kouřil.



**Obr. 23.** Interiér skleníku s intenzivním chovem tilapie nilské v recirkulačním systému s čištěním vody využívajícím plovoucí vodních rostlin (Švýcarsko). Foto A. Rónyai.



**Obr. 24.** Interiér fóliovníku s intenzivním chovem tilapie nilské v recirkulačním systému s čištěním vody využívajícím hydroponické pěstování rostlin (Maďarsko). Foto J. Kouřil.

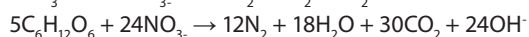
## 8. ODSTRAŇOVÁNÍ DUSIČNANŮ POMOCÍ DENITRIFIKACE

Odstranění dusíku získává stále větší pozornost, protože sloučeniny dusíku jsou jedním z důvodů eutrofizace povrchových i podzemních vod (Suzuki a kol., 2003). Biologická denitrifikace je cesta k odstranění dusičnanů ve vodách. Konečným produktem denitrifikace je inertní molekulární dusík ( $N_2$ ), který odchází z vodního prostředí vyubláním do atmosféry. Biologické filtry produkují při nitrifikaci dusičnany. Ty jsou pro ryby, na rozdíl od dusitanů a volného amoniaku, poměrně málo toxické. Ve vyšších koncentracích (více než  $100 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_3$ ) ale již mohou způsobovat problémy. Dusičnany ve velkých koncentracích snižují obranyschopnost organismu a ovlivňují osmoregulaci ryb.

Proces denitrifikace je už řadu let uplatňován v čištění odpadních vod, první pokusy proběhly již v šedesátých letech minulého století. Jedním z hlavních problémů při použití anaerobní denitrifikace je potřeba doplňování uhlíku. Denitrifikace je sled pochodu, který může být v podstatě shrnut do dvou kroků. První krok je redukce dusičnanů na dusitany a poté následuje redukce dusitanů na molekulární dusík.

K procesu denitrifikace dochází (na rozdíl od nitrifikace) v anaerobních podmínkách za přítomnosti organického substrátu (buď záměrně dodaného, např. metylalkohol, nebo sedimentovaných organických látek původem z mechanické filtrace).

Sumární reakce:



## 9. AERACE A OXIGENACE

### 9.1. AERACE

Vzduch je do akvakultury standardně 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 požadovaný provozní tlak. Provozní tlak musí být dostatečný, aby překonal hydrostatický tlak, třecí ztráty v potrubí a odpor rozptylovače při proudění vzduchu. V klasických podmínkách to je asi 125 mm Hg. K aeraci 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. Vzduchovací kameny jsou velmi neúčinné pro kyslíkový transfer do vody (3–7 %), ale jsou velmi levné. Velmi



spolehlivě pracují při nízkých obsádkách a vyšších výměnách vody. Potřebují ale čistou vodu, jinak často dochází k jejich ucupávání.

---

## 9.2. OXIGENACE

---

Prímá aplikace kyslíku je nejprogressivnější způsob zvyšování jeho koncentrace ve vodě. Nejpoužívanější je dávkování plynného kyslíku do přítokové vody nebo do chovných nádrží.

V akvakultuře se běžně užívají tři zdroje kyslíku: vysoce stlačený plynný kyslík, tekutý kyslík a na místě vyrobený kyslík.

Stlačený kyslík se dodává v kyslíkových láhvích (jednotlivě, nebo ve svazcích) s tlakem 170–210 atmosfér. Kyslíkové láhve se vyznačují vysokou spolehlivostí, jsou ale poměrně drahé. Využívají se při nižší nebo nepravidelné spotřebě kyslíku a také jako záložní zdroje.

Tekutý kyslík má teplotu varu při  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ , proto musí být skladován ve speciálních kryogenních nádobách. Používá se v místech trvalé větší spotřeby. V akvakulturních provozech se jeho skladování pro potřebu využití v intenzivním chovu ryb někdy výhodně kombinuje i s rezervou pro dálkovou přepravu ryb v kamionech. Nevýhodou tohoto systému je přerušování spotřeby kyslíku, neboť vzhledem k jeho odpařování v zásobní nádobě jeho množství klesá bez možnosti využití.

Kyslík může být vyráběn také přímo na místě tlakovou 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.

Pro směšování kyslíku s vodou se používá různých zařízení. Cílem je dosažení co nejvyššího (pokud možno 100%) rozpuštění dodávaného kyslíku. Rozpuštění kyslíku ve vodě pomocí vzduchovacích kamenů, zejména v nízkém sloupci vody, je málo efektivní. Jedním z používaných způsobů je U-trubice, která funguje na principu zvýšení tlaku plynu, čímž se zrychlí jeho přenos do vody. Skládá se ze dvou svisle umístěných rour (umístěných vedle sebe a ve spodní části spojených do tvaru písmene U, nebo rour o nestejném průměru, kdy tenší roura je umístěna v rouře tlustější. Délka je několik metrů (min. 4–6 m). Kyslík je přidáván v horním konci zařízení, vodou je strháván dolů, při zvýšení hydrostatického tlaku vzrůstá rychlost kyslíkového transferu. Existuje celá řada dalších zařízení sloužících k co nejdokonalejšímu rozpuštění kyslíku ve vodě (založených na rozptylování kyslíku ve vodě pomocí kamenů a využití uzavřené kyslíkové atmosféry nad vodní hladinou, směšování vody v zařízeních podobných zkrápěným biologickým filtrům s kyslíkovou atmosférou, prokapávání vody kyslíkovou atmosfé-

rou, rozstříkávání vody pomocí čerpadla v uzavřeném kyslíkovém stanu nad vodní hladinou aj.).



**Obr. 25.** Směšování kyslíku s vodou v recirkulačním systému s chovem úhoře (Nizozemí). Foto V. Stejskal.



**Obr. 26.** Svazek tlakových nádob na kyslík pro zásobování experimentálního recirkulačního systému. Foto P. Kozdák.



**Obr. 27.** Generátor kyslíku (Polsko). Foto J. Kouřil.

## 10. DESINFEKCE VODY

Recirkulovaná i přítoková voda může obsahovat 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. Bakteriální a virová onemocnění představují vážný problém v polointenzivní a intenzivní akvakultuře. Nejčastějšími metodami aplikovanými v akvakultuře je použití UV záření a ozonizace.

### 10.1. UV ZÁŘENÍ

Přírodní i umělé UV záření (vlnová délka 190–400 nm) může poškodit mikroorganismy buď přímo, nebo vyvolá změny v jejich nukleových kyselinách. Přímé poškození vyplývá z pohlcení záření DNA mikroorganismu. Absorbance záření DNA je nejvyšší v rozsahu UV-C (190–280 nm). UV-C efekt ničící DNA je využit v 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.

### 10.2. 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 se neskládá, vyrábí se na místě v zařízeních nazývaných ozonizátory. Ozón je extrémně reaktivní oxidant a velmi efektivní baktericidní a viricidní prostředek. Ozón má silné korozivní účinky na řadu materiálů (pryž, některé plasty) a negativní účinky na lidské zdraví. Proto musí být při instalaci a provozu ozonizátorů důsledně dodržována zvláštní bezpečnostní opatření. Ozón je možno aplikovat do vodního prostředí mimo nádrže s obsádkou ryb buď samostatně, nebo s cílem současného zvýšení obsahu rozpuštěného kyslíku, nebo namísto vzduchu či kyslíku třeba i v zařízení pro flotaci. Použití ozónu je obzvláště výhodné při dezinfekci vody pro rybí líhně a odchov plůdku (Summerfelt a kol., 1997).

## 11. ČERPÁNÍ A DOPRAVA VODY

K čerpání vody se obvykle používají různé druhy ponorných nebo venkovních rotačních čerpadel vody. Doprava vody se řeší zpravidla uzavřeným potrubím nebo otevřenými žlaby.

Nároky na spotřebu energie na čerpání vody je možno významně snížit pomocí čerpadel s proměnlivým výkonem řízených frekvenčními měniči (automaticky regulují výkon čerpadla v závislosti na aktuální potřebě průtoku).

V poslední době se zavádějí systémy čerpání vody založené na principu airliftů. Podmínkou jsou minimální výškové rozdíly mezi jednotlivými nádržemi (s chovem ryb, biologické filtry) a použití spolehlivých a výkonných nízkotlakých čerpadel vzduchu. Použití airliftů (případně s použitím kyslíku) může zcela nebo částečně nahradit aeraci či oxigenaci a odplynění vody a přispívá k přímému odstraňování amoniaku z vody.



**Obr. 28.** Doprava vody s využitím airliftů poháněných vysokoobjemovou turbínou v chovu jesetera (podle [www.uftag.de](http://www.uftag.de)).

## 12. MANIPULACE S ODCHOVÁVANÝMI OBSÁDKAMI RYB

Vzhledem k vysokým koncentracím odchovávaných ryb, omezené kapacitě volných nádrží (s ohledem na potřebu jejich maximálního využití) i omezenému prostoru je důležité co nejdokonalejší vyřešení výlovu, třídění, dočasného přechovávání a expedice ryb. Ke třídění ryb je vhodné použití mechanických třídiček na ryby používaných pro lososovité ryby.



**Obr. 29.** Mechanická třídička ryb. Foto J. Kouřil.

### 13. OHŘEV A CHLAZENÍ VODY

Teplota vody ovlivňuje intenzitu biochemických procesů. Většina biochemických procesů probíhá při nízkých teplotách pomalu (například nitrifikace). Teplota vody je nezbytný údaj při stanovování biochemické spotřeby kyslíku ( $BSK_5$ ), při výpočtu chemických rovnováh (rozpuštění tuhých látek a plynů), při hodnocení samočištění povrchových vod.

Zvýšení teploty vody významně zvyšuje podíl toxického nedisociovaného amoniaku na celkové koncentraci amoniakálního dusíku, snižuje rozpustnost plynů (z chovatelského pohledu zejména rozpustnost kyslíku) a zrychluje biochemické pochody.

Teplotu vody v recirkulačním systému s oteplenou vodou lze snižovat především doplňováním studené vody do systému, případně použitím tepelných čerpadel.

#### Zdroje teplé vody nebo tepla

1. Geotermální vody pocházející z hlubokých vrtů. Vyznačují se velkou vydatností a stabilitou teploty. Lze je použít přímo, závisí na kvalitě a teplotě, nemají velké množství rozpuštěných solí, mají nízký obsah  $O_2$ . Lze je využít i nepřímo k předávání tepla pomocí výměníku.
2. Odpadní oteplená voda (technologická). Zdroj vody slouží k ochlazení urči-

tých technologických zařízení, je různě vydatný. Tuto vodu používají objekty např. v blízkosti elektráren a některých průmyslových podniků s dostatečnou kapacitou. Voda se ohřeje ochlazováním technologických zařízení o několik stupňů (5–15 °C). Po drobných úpravách ji lze využít jak přímo, tak nepřímo.

3. Ohřev záměrně pro účely chovu ryb pomocí pevných, kapalných a plyných paliv nebo elektrického proudu.
4. Ohřev pomocí tepelných čerpadel nebo solární energie.

Teplota vody má vždy co nejlépe odpovídat požadavkům pro chov příslušného druhu ryb. Z těchto důvodů je nutno na některých rybochovných zařízeních vodu přehřívát (výjimečně ochlazovat). V průtočných systémech se provádí úprava teploty vody dohřevem nebo se směšuje voda ze dvou zdrojů o dvou rozdílných teplotách v potřebném poměru, pokud ovšem tyto vody vyhovují požadavkům chovu ryb. Částečně lze teplotu upravit i vedením vody soustavou otevřených žlabů a kaskád ke snížení rozdílu mezi teplotou vzduchu a vody (ochlazováním pramenité vody). Ochlazování se může také provádět pomocí chladících zařízení (včetně možnosti využití tepelných čerpadel).

Klasický ohřev pomocí kotlů spalujících různá paliva (plyn, naftu, uhlí, koks apod.) se v současnosti nepoužívá (nebo jen výjimečně u menších objektů, nebo objektů se sezónním provozem). Častější je využití elektrického proudu. Teplo se předává zpravidla pomocí výměníků.



**Obr. 30.** Malé tepelné čerpadlo a zásobník vody v experimentálním recirkulačním systému.

Foto J. Kouřil.

Solární ohřev s využitím sluneční energie je výhodný, nezbytnou podmínkou je ale jeho kombinace s dalším způsobem ohřevu (bivalentní zdroj tepla). Účinnost závisí na intenzitě slunečního záření. Sluneční kolektory a skleníkové haly vzduch ohřívají a předávají teplo vodě.

Tepelná čerpadla, nejčastěji systému vzduch-voda nebo voda-voda, využívají teplo obsažené ve vzduchu nebo ve velkém množství vody (rybník, řeka, odtoková voda). Výhodou je příznivý poměr mezi energií vloženou a získanou, který se pohybuje mezi 1 : 2,5–4,0.



**Obr. 31.** Solární panely pro ohřev recirkulačního systému (Polsko). Foto J. Kouřil.

## 14. MĚŘENÍ, REGULACE, SIGNALIZACE A ARCHIVACE NAMĚŘENÝCH HODNOT A STAVŮ, ŘÍZENÍ PROVOZU

Nedílnou součástí soudobých recirkulačních systémů je jejich odpovídající vybavení technikou umožňující kontinuální měření vybraných základních parametrů kvality vody (teplota, obsah kyslíku), případně průtoku vody a stavů (otevření ventilů apod.). Zjištěné údaje se využívají k regulaci a řízení systému a signalizaci mezních a kritických hodnot a stavů obsluze (formou světelné či akustické signalizace, nebo pomocí SMS na mobilní telefony určených pracovníků obsluhy v době jejich fyzické nepřítomnosti). Pro potřeby pozdější kontroly a umožnění dalšího využití (statistického vyhodnocení,

grafických výstupů aj.) se provádí i archivace naměřených hodnot. Je žádoucí, aby softwarově byl systém zabezpečen proti výmazu dat, což je obzvláště důležité při vyhodnocování havarijních stavů.



**Obr. 32.** Interiér experimentálního recirkulačního systému (na odtoku z levé nádrže je zabudovaná měřící sonda na kyslík). Foto J. Kouřil.

## 15. RŮZNÉ APLIKACE RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ

### Recirkulační systémy pro chov lososovitých ryb

Tyto systémy jsou založené na mnohonásobném opakovaném využití přitékající vody. Veškerá voda použitá k chovu ryb se čistí a upravuje tak, aby ji bylo možno znovu použít. Důležité je zejména odstranění produktů metabolismu ryb (exkrementy, amoniak) a nasycení vody kyslíkem. V celém systému tak dochází k oběhu vody a pouze její část (spolu se zadrženými nečistotami) se odpouští mimo něj. Vysoká koncentrace znečišťujících látek v odpouštěné vodě usnadňuje jejich další separaci nebo další využití, ve srovnání s odtokem z průtočných systémů. Ztráty vody způsobené její úpravou, odpouštěním a odparem se nahrazují vodou čerstvou.



Jejich nevýhodou jsou vyšší investiční a provozní náklady (zejména na elektrickou energii na čerpání vody, aeraci, případně oxygenaci vody), vysoké požadavky na technickou úroveň, vybavení a zabezpečení objektu i na kvalitu a spolehlivost obsluhujícího personálu. Naprosto nutná je potřeba instalace spolehlivého záložního zdroje elektrické energie (dieselagregátu). S ohledem na relativně vysoké průměrné letní teploty v našich podmínkách, nelze recirkulační systémy pro chov lososovitých ryb dislokovat v nadmořských výškách nižších než cca 500–550 m (vzhledem k možnosti přehřívání v letním období). Naopak výhodami jsou malá spotřeba vody (nižší náklady a menší závislost umístění stavby na zdroji vody), výrazně nižší zdravotní rizika pro chované ryby vlivem kontaminace přítokové vody původci onemocnění a znečištěním vody, příp. vlivem rybožravých predátorů. Dalšími výhodami jsou potřeba menší zastavěné plochy pozemku a nižší potřeba lidské práce na jednotku produkce (vzhledem k vysoké koncentraci chovu). Zcela zásadní výhodou je nízká, nebo téměř žádná produkce znečištění vodního prostředí, jež recirkulační systémy, s ohledem na stupňující se požadavky ochrany povrchových vod, do budoucna favorizuje před průtočnými uvedenými systémy.

Existuje celá řada variant využití principu recirkulace vody v chovu lososovitých ryb. Nejjednodušší jsou zařízení, kde je voda, která již protekla odchovnými nádržemi, bez jakéhokoliv čištění či úpravy zčásti zpět přečerpávána a po smíchání s přítokovou vodou opětovně použita k napájení odchovných nádrží. Tento způsob bývá zpravidla doplněn o aeraci (případně oxygenaci) recirkulované vody. Vyšší stupeň intenzifikace spočívá v částečném odstranění exkrementů pomocí jejich sedimentace na dně v poslední části podélných odchovných žlabů (bez obsádky ryb), nebo v samostatné, níže položené nádrži bez obsádky ryb. Další možnou variantou je pomocí silné aerace, instalované v zadní části nádrže (v prostoru před odtokem), vyvolaná cirkulace vody v odchovné nádrži. Čerstvá přítékající voda, spolu s vratnou recirkulovanou vodou teče ve spodní části vodního sloupce směrem k odtoku. Směrem k odtoku se odnáší většina exkrementů, které se hromadí na dně pod rozptylovacími aeračními tělesy, umístěnými za česlemi několik desítek centimetrů nad dnem. Silné vzduchování vyvolává pohyb vody směrem nahoru a zpětné proudění vody ve vrchní vrstvě pod hladinou směrem k přítoku. V zadní části nádrže sedimentované exkrementy (včetně případných zbytků krmiv) jsou odtud periodicky odstraňovány vypouštěním nebo odsáváním. Tato intenzifikační opatření lze realizovat na vhodných, původně klasických průtočných systémech a zabezpečit tak pomocí jednoduché částečné recirkulace a aerace několikanásobné využití vody (přibližně 2–4násobné ve srovnání s původním stavem).

Výše uvedená opatření, byť jen částečně, přispívají k separaci nerozpuštěných látek (rybích exkrementů) z cirkulující, resp. odtékající vody. Neodstraňují však produkt látkové výměny, např. amoniak. Snížení množství ve vodě rozpuštěného amoniaku lze zabezpečit pouze biologickými nitrifikačními filtry různé konstrukce, které jsou součástí plně funkčních recirkulačních systémů. Při tomto procesu, kdy je nitrifikačními

bakteriemi spotřebováván kyslík, je amoniak oxidován na dusičnany, k nimž jsou ryby značně tolerantní. Dusičnany mohou být dále v anaerobním prostředí v denitrifikačních filtrech rozkládány na plynný dusík a vodu. V takovýchto recirkulačních systémech je současně lepším způsobem zabezpečena i separace nerozpuštěných látek. Rybí exkrementy sedimentují do kuželovitých, ve dně nádrže instalovaných nálevek. Tyto jsou uzavřené a otevírají se periodicky pouze při odsávání sedimentovaných exkrementů. Exkrementy jsou v zahuštěné formě odváděny do kalové jímky. Po dalším zahuštění je organický kal využíván k přímému hnojení zemědělských kultur, či při výrobě kompostů apod. Takto konstruovaný systém, kde veškerá cirkulace vody je řešena pomocí nízkotlakých airliftů (nikoliv pomocí odstředivých či jiných vodních čerpadel), umožňuje až zhruba stonásobné využití přítokové vody, při poměrně dokonalé eliminaci ve vodě rozpuštěných i nerozpuštěných látek vlivem intenzivního chovu ryb.

V České republice lze předpokládat na vhodných stávajících produkčních farmách, zaměřených zejména na chov tržních lososovitých ryb, postupné zavádění prvků mechanického čištění a částečné recirkulace vody. V roce 2008 byla uvedena do provozu první farma dánského typu s roční kapacitou 120 tun ryb s plnou recirkulací a biologickým čištěním vody.



**Obr. 33.** Recirkulační systém pro chov lososovitých ryb dánského typu ve výstavbě (v pravé zadní části nádrže pro chov ryb, v levé přední části dvě části biologických filtrů, zcela vlevo dvě jímky, jedna pro jímání vody z pramene a průsakové vody na doplňování systému, druhá pro koncentrování sedimentovaných nerozpuštěných látek). Foto J. Kouřil.

### Využití rybníků a kořenových čistíren vody

Jsou rozpracovávány systémy pro chov pstruha duhového, založené na čištění vody a sedimentaci a využití nerozpuštěných látek v kořenových čistírnách (Dánsko) a využití klasických rybníků k čištění vody z recirkulačních systémů s intenzivním chovem např. severoamerické okounovité ryby rodu *Morone* (Německo) a sumečka afrického (Maďarsko).



**Obr. 34.** Model recirkulačního systému s využitím kořenové čistírny (Izrael). Foto M. Flajšhans.

### Recirkulační akvakulturní systémy ve výstavních akváriích a oceáneích

V těchto systémech je relativně malé zatížení na straně jedné, ale vysoké požadavky na čistotu vody, zejména obsah nerozpuštěných látek (s ohledem na potřebu vysoké průhlednosti vody) na straně druhé.



**Obr. 35.** Úprava vody ve veřejném oceániu v Arnheimu (Holandsko). Foto V. Stejskal.

## 16. PROVOZOVÁNÍ RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ

### Hlavní koncepční nedostatky vyskytující se u recirkulačních systémů

1. Zařízení pro biologickou filtraci tvoří základní součást těchto zařízení (srdce recirkulačních systémů). S ohledem na náklady nejsou dostatečná pro plánovaný výkon. Výsledkem je špatná kvalita vody a snížení produkční kapacity. Vzhledem k tomu, že není dosahováno plánované produkce, prodlužuje se dosažení ekonomické návratnosti investice, včetně možných potíží se splácením úvěrů apod.
2. Technická konstrukce systému je velmi jednoduchá z důvodů dosažení nízké ceny – např. bez doplňkových zařízení na vyčerpání nádrží, výlov a třídění ryb, klimatizovaného skladu krmiv apod. To vyvolává potřebu dodatečného vybavení objektu, což ovšem představuje náklady, s nimiž nebylo původně kalkulováno.
3. Může se stát, že produkt je neprodejný, respektive prodejný pouze za dumpingové ceny. Analýza trhu musí zahrnovat i regionální podmínky. Pro kalkulaci příjmů musí být použity velkoobchodní (farmářské) ceny, nikoliv ceny maloobchodní. Při kalkulaci cen nově produkovaných, na trhu nedostatků

vých druhů ryb, je třeba respektovat předpokládané pozdější snížení ceny v důsledku postupného nasycování trhu.

4. Od výrobců nebo dodavatelů recirkulačních systémů je nutno požadovat reference o zařízeních, která jsou jinde již dlouhou dobu v provozu. Pouhé informace o počtu prodaných systémů jsou nedostačující.
5. Výrobci zařízení ne vždy zajišťují odpovídající proškolení obsluhy a dlouhodobý odborný servis.

### **Nejčastější problémy při provozování recirkulačních systémů a jejich doporučená řešení**

#### Zvýšený zákal vody

- kontrola funkce mechanické filtrace (neporušenost mikrosíta)

#### Nízká koncentrace kyslíku

- zvýšení aerace
- přerušování krmení do doby než dojde k navýšení hodnot kyslíku
- prověření, zda ryby přijímají krmivo a zda nejsou nemocné

#### Zvýšené hodnoty oxidu uhličitého

- intenzivnější odplynění vody
- zvýšení aerace

#### Nízké hodnoty pH (pod 6,8 pH)

- použití alkalického pufru (např. uhličitanu sodného)
- snížení krmné dávky

#### Zvýšená koncentrace amoniaku

- výměna vody v systému
- snížení krmné dávky
- prověření biologického filtru, hodnoty pH, kyselinové neutralizační kapacity, tvrdosti vody a obsahu rozpuštěného kyslíku v biologických filtrech
- prověření, zda ryby přijímají krmivo a zda nejsou nemocné

#### Zvýšené hodnoty dusitanů

- výměna vody v systému
- snížení krmné dávky
- aplikace chloridu sodného
- prověření biologického filtru, hodnoty pH, kyselinové neutralizační kapacity, tvrdosti vody a obsahu rozpuštěného kyslíku v biologických filtrech
- prověření, zda ryby přijímají krmivo a zda nejsou nemocné

Nízká hodnota kyselinové neutralizační kapacity (alkalinity)

- použití alkalického pufru (např. uhličitan sodný)

Nízká tvrdost vody (obsah vápníku)

- doplnění uhličitanu vápenatého nebo chloridu vápenatého

Zákal vody/zbytky nepřijatého krmiva

- prověření kvality krmiva (zejména při změně použitého krmiva, resp. šarže krmiva, možnost zhoršené kvality staršího krmiva)
- prověření, zda ryby přijímají krmivo a zda nejsou nemocné

## 17. LITERATURA

- Aneshansley, E.D., Timmons, M.B., Colesante, R.T., 2001. Survival and growth of walleye *Stizostedion vitreum* fry as affected by water recirculation, feed transition, age and stocking density. *Journal of World Aquaculture Society* 32: 89–95.
- Bernoth, E.M., 1991. Intensive culture of fresh-water fish. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*. 98: 312–316.
- Blancheton, J.P., Eding, E.H., Husson, B., 2002. Recent developments in recirculation systems. In: Basurco, B., Sargolia, M. (Eds), *Seafarming today and tomorrow*. EAS, Spec. publ. No. 32, pp. 3–9.
- Bovendeur, J., Eding, E.H., Henken, A.M., 1987. Design and performance of a water recirculation system for high-density culture of the african catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture* 63: 329–353.
- Brunty, J.L., Bucklin, R.A., Davis, J., Baird, C.D., Nordstedt, R.A., 1997. The influence of feed protein intake on tilapia ammonia production. *Aquaculture Engineering* 16: 161–166.
- Buchanan, J.T., Roppolo, G.S., Supan, J.E., Tiersch, T.R., 1998. Conditioning of eastern oysters in a closed, recirculating system. *Journal of Shellfish Research* 17: 1183–1189.
- Colt, J., Watten, B., 1988. Application of pure oxygen in fish culture. *Aquaculture Engineering* 7: 397–441.
- Colt, J.E., Orwicz, K., Bouck, G., 1991. Water quality considerations and criteria for high-density fish culture with supplemental oxygen. In: Colt, J., White, R.J. (Eds), *Fisheries Bio-Engineering Symposium 10*, American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp. 372–385.
- Ebeling, J.M., 2000. Kinetic reaction rate analysis of nitrifying bead filters in aquaculture. Ph.D. Thesis, University of Maryland, Maryland, USA, 127 pp.
- Eding, E.H., Klapwijk, A., Verreth, J.A.J., 2003. Design and performance of an upflow sludge blanket reactor in „zero“ discharge recirculation system. In: Chopin, T., Reinertsen, H. (Eds), *Beyond Monoculture*, EAS, Spec. publ. No. 33, pp. 172–173.

- Fontaine, P., Gaardeur, J.N., Kestemont, P., Georges, A., 1997. Influence of feeding level on growth, intraspecific weight variability and sexual growth dimorphism of Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared in a recirculation system. *Aquaculture* 157: 1–9.
- Fuss, J.T., 1983. Evaluation of a heat-pump for an aquacultural application. *Progressive Fish-Culturist* 45: 121–123.
- Grommen, R., Verstraete, W., 2002. Environmental biotechnology: the ongoing quest. *Journal of Biotechnology* 98: 113–123.
- Huisman, E.A., Richter, C.J.J., 1987. Reproduction, growth, health control and aquaculture potential at the African catfish *Clarias gariepinus*. *Aquaculture* 63: 1–14.
- Chen, S.L., Coffi, D.E., Malone, R.F., 1997. Sludge production and management for recirculating aquacultural systems. *Journal of World Aquaculture Society* 28: 303–315.
- 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.
- Chin, K.K., Ong, S.L., Foo, S.C., 1993. A water treatment and recycling system for intensive fish farming. *Water Science and Technology* 27: 141–148.
- Cho, S.H., Jo, J.Y., 2002. Effects of dietary energy level and number of meals on growth and body composition of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) during summer and winter seasons. *Journal of World Aquaculture Society* 33: 48–56.
- Izquierdo, M., Carrillo, M., 1997. Optimization of aquaculture systems in Spain. *Energy Conversion and Management* 38: 879–888.
- Jayatissa, W., Davis, C., Carrington, G., Chen, G., 2002. Energy use in controlled temperature marine aquaculture. *International Journal of Energy Research* 26: 1333–1343.
- Jones, R.D., Morita, R.Y., 1985. Low temperature growth and whole cell kinetics of marine ammonium oxidizer. *Marine Ecology Progress Series* 21: 239–243.
- Kolman, R., Szczepkowski, M., 1995. Badania eksploatacyjne obiegu zamkniętego z biologicznym zlozem fluidalnym. *Komunikaty Rybackie* 2: 23–25.
- Kouřil, J., 2006. Využití recirkulačních systémů s biologickým čištěním vody k intenzivnímu chovu ryb (krátký přehled). *Bulletin VÚRH Vodňany* 42: 33–37.
- Kuhlmann, H., Hilge, V., 2000. 10 most frequent shortcoming of recirculation systems. *Eurofish Magazine* 6: 52–53.
- Kouřil, J., Matoušek, J., 2008. Využití tepelných čerpadel v rybářství. *Edice Metodik, VÚRH JU, Vodňany*, č. 87, 20 s.
- Lekang, O.I., Kleppe, H., 2000. Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media. *Aquaculture Engineering* 21: 181–199.
- Lund, J.W., Freeston D.H., 2001. World-wide direct uses of geothermal energy 2000. *Proceedings World Geothermal Congress 2000* 30: 29–68.
- Malone, R.F., Beecher, L.E., 2000. Use of floating bead filters to recondition recirculating waters in warmwater aquaculture production systems. *Aquaculture Engineering* 22: 57–73

- Melicz, Z., 2003. Partial nitrification in high-load activated sludge system by biofilter back-wash water recirculation. *Water Science and Technology* 47: 93–99.
- Mires, D., Amit, Y., Avnimelech, Y., Diab, S., Cochaba, M., 1990. Water-quality in a recycled intensive fish culture system under field conditions. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh* 42: 110–121.
- Morrison, J.R., Epps, B.Q., Peters, W., Ward, W., 1992. Design and performance evaluation of a hatchery water-heating system that incorporates a 2-stage water source heat-pump. *Progressive Fish-Culturist* 54: 208–211.
- Paller, M.H., Lewis, W.M., 1988. Use of ozone and fluidized-bed biofilters for increased ammonia removal and fish loading rates. *Progressive Fish-Culturist* 50:141–147.
- Piedrahita, R.H., 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226: 35–44.
- Pitter, P., 1981. *Hydrochemie – SNTL Praha*, 373 s.
- Porter, C.B., Krom, M.D., Robbins, M.G., Brickell, L., Davidson, A., 1987. Ammonia excretion and total N budget for gilthead seabream (*Sparus aurata*) and its effect on water-quality conditions. *Aquaculture* 66: 287–297.
- Proteau, J.-P., Hilge, V., Linhart, O., 1996. Present state and prospects of the aquaculture of catfishes (*Siluroidei*) in Europe. *Aquatic Living Resources* 9: 229–235.
- Pruszyński, T., 2003. Effects of feeding on ammonium excretion and growth of the African catfish (*Clarias gariepinus*) fry. *Czech Journal of Animal Science* 48: 106–112.
- Ridha, M.T., Cruz, E.M., 2001. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. *Aquacultural Engineering* 24: 157–166.
- Rogers, G.L., Klemetson, S.L., 1985. Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilters. *Aquaculture Engineering* 4: 135–154.
- Schuster, C., Stelz, H., 1998. Reduction in the make-up water in semi-closed recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Engineering* 17: 167–174.
- Smith, R.G., Walker, M.R., 1994. Water reclamation and reuse. *Water Environm Research* 66: 378–383.
- Steffens, W., Jähnichen, H., Fredrich, F., 1990. Possibilities of sturgeon culture in Central-Europe. *Aquaculture* 89: 101–122.
- Stupka, Z., Kouřil, J., Hamáčková, J., Valentová, O., Lepič, P., 2005. Vyhodnocení účinnosti biologické filtrace vody při zahájení provozu recirkulačního systému s chovem ryb. In: Vykusová, B. (Ed.), Sb. 12. konf. Toxicita a biodegradabilita odpadů a látek významných ve vodním prostředí. Vodňany, VÚRH JU, s. 127–133.
- Summerfelt, S.T., Hochheimer J.N., 1997. Review of ozone processes and application as an oxidizing agent in aquaculture. *Progressive Fish-Culturist* 59: 94-105.



- Summerfelt, S. T., Wade, E. M., 1997. Recent advances in water treatment processes to intensify fish production in large recirculating systems. In: *Advances in Aquacultural Engineering, Proceedings from Aquacultural Engineering Society Technical Sessions at the 4th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, November 9–12, Orlando, FL, NRAES-105*, pp. 350–367.
- Summerfelt, S.T., Davidson, J., Waldrop, T., Tsukuda, S., 2000a. A partial-reuse system for coldwater aquaculture. In: G.S. Libey, Timmons, M.B. (Eds), *Proceedings of the third international conference on recirculating aquaculture*. Blacksburg, VA, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, USA, pp. 167–175.
- Summerfelt, S.T., Davidson, J., Timmons, M.B., 2000b. Hydrodynamics in the ‚Cornell-type‘ dual-drain tank. In: Libey, G.S., Timmons, M.B. (Eds), *Proceedings of the third international conference on recirculating aquaculture* Blacksburg, VA, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, USA, pp. 160–166.
- Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., Piedrahita, R.H., 2000. Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. *Aquaculture Engineering* 22: 87–108.
- Suzuki, Y., Maruyama, T., Numata, H., Sato, H., Asakawa, M., 2003. Performance of a closed recirculating system with foam separation, nitrification and denitrification units for intensive culture of eel: towards zero emission. *Aquaculture Engineering* 29: 165–182.
- Stählermatic, 1996. Technische information 4.0
- Štěch, L., 2007. KOI barevní japonští kapři. Alcedor, Zliv, 350 s.
- Timmons, M.B., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., 1998. Review of circular tank technology and management. *Aquaculture Engineering* 18: 51–69.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., 2002. *Recirculating aquaculture systems*. 2<sup>nd</sup> Edition. Northeastern Regional Aquaculture Centrum, Univ. of Mass., Dartmouth, MA, USA, 769 pp.
- Losordo, M.T., Masser, M.P., Rakocy, J.E., 1999. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systeme. A Review of Component Options*. SRAC Publication No. 453., USA, 12 pp.
- Losordo, M.T., Masser, M.P., Rakocy, J.E., 1998. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systeme. An Overview of Critical Considerations*. SRAC Publication No. 451. USA, 6 pp.
- van Rijn, J., 1996. The potential for integrated biological treatment system in recirculating fish culture. A review. *Aquaculture* 139 (3–4): 181–201.
- Viadero, R.C., Noblet, J.A., 2002. Membrane filtration for removal of fine solids from aquaculture process water. *Aquaculture Engineering* 26: 151–169.
- Waller, U., Bischoff, A., Orellana, J., Sander, M., Wecker, B., 2003. An advanced technology for clear water aquaculture recirculation systems: results from a pilot production of sea bass and hints towards „zero discharge“. In: Chopin, T., Reinertsen, H. (Eds), *Beyon Monoculture*, EAS, Spec. publ. No. 33, 356–357.
- Williams, R.C., Hughes, S.G., Rumsey, G.L., 1982. Use of ozone in a water reuse system for salmonids. *Prog. Progressive Fish-Culturist* 44: 102–105.

Zakes, Z., Demska-Zakes, K., Kata, K., 2003. Rates of oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. *Aquaculture International* 11: 277–288.

[www.fiap.de](http://www.fiap.de) (vid. 21. 2. 2008)

[www.hessy.com](http://www.hessy.com) (vid. 13. 2. 2008)

[www.interaqua.dk](http://www.interaqua.dk) (vid. 14. 2. 2008)

[www.uftag.de](http://www.uftag.de) (vid. 18. 2. 2008)



**POZNÁMKY**



**LEKTOROVAL**

**Ing. Richard Vachta**

*Rybářství Hluboká nad Vltavou, a.s.*

**OPONENTNÍ POSUDEK ZA STÁTNÍ SPRÁVU**

**Ing. Vladimír Gall**

*MŽE, odbor rybářství, myslivosti a včelařství, Těšnov 17, 117 05 Praha 1,*

*č.j. 25407/2/2008-16230 ze dne 30. 6. 2008*

**ADRESA AUTORŮ**

**doc. Ing. Jan Kouřil, Ph.D.**

*Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Ústav akvakultury, Fakulta rybářství a ochrany vod,  
Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Husova tř. 458/102, 370 05 České Budějovice  
(kouril@frov.jcu.cz)*

**Ing. Jitka Hamáčková**

*Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, Fakulta rybářství  
a ochrany vod, Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Zátíší 728/II, 389 25 Vodňany  
(hamackova@frov.jcu.cz)*

**Ing. Vlastimil Stejskal, Ph.D.**

*Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Ústav akvakultury, Fakulta rybářství a ochrany vod,  
Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Husova tř. 458/102, 370 05 České Budějovice  
(stejskal@frov.jcu.cz)*

*Vedici Metodik (Technologická řada)*

*vydala Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod,  
Zátíší 728/II, 389 25 Vodňany, www. frov.jcu.cz*

*Vydáno v roce 2013, 2. vydání (1. vyd. ISBN 978-80-85887-74-7)*

*Redakce: Ing. Antonín Kouba, Ph.D., Zuzana Dvořáková*

*Náklad: 200 ks*

*Grafický design a technická realizace: iDigitisk s.r.o.*





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

VYDÁNÍ PUBLIKACE BYLO USKUTEČNĚNO  
ZA FINANČNÍ PODPORY PROJEKTU:  
INOVACE PREZENČNÍHO STUDIA BAKALÁŘSKÉHO STUDIJNÍHO OBORU RYBÁŘSTVÍ  
(CZ.1.07/2.2.00/15.0076)

