

BIOFILTRY V RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMECH

Lang, Š., Teplý, M., Brabec, T., Kopp, R., Mareš, J.

Mendelova univerzita v Brně, Oddělení rybářství a hydrobiologie,
Zemědělská 1, 613 00 Brno

Úvod

Jelikož je ze strany ochrany přírody a krajiny ve světě, ale i u nás, stále větší tlak na omezování vypouštění odpadních látek do přírody, jsou pro produkci ryb stále více využívány systémy, které toto omezují a navíc využívají vodu opakovaně. Opětovné využití vody pro chov ryb snižuje spotřebu vody pro chovné zařízení až 100x. To s sebou přináší i nutnost využití čištění vody od odpadních látek rybiho metabolismu. Výkaly ryb chovaných v těchto intenzivních systémech jsou díky používání stále kvalitnějších krmiv poměrně tuhé a konzistentní. Tyto pevné částice jsou se 60 – 80% účinností sedimentovány a odpouštěny ze systému při spotřebě minimálního množství vody. Zbýlé částice jsou pro sedimentaci příliš malé a lehké a odtékají z odchovného zařízení s vodou, nebo se rozpustí. Nerozpuštěné částice následně sedimentují v některé z následujících částí moderního recirkulačního systému, v biologickém filtru, odkud jsou následně během čištění odkaleny. Tím se plynule dostáváme k problematice ostatních produktů rybiho metabolismu, a to k látkám rozpuštěným ve vodě. Zplodiny metabolismu vylučované přes žaberní epitel do vodního prostředí tvoří převážně amoniak a oxid uhličitý (CO_2). CO_2 se ve vodě rozpouští na slabou kyselinu uhličitou a při běžných koncentracích není pro ryby toxický. Amoniak vylučovaný přes žaberní aparát do vodního prostředí na základě koncentračního spádu pro ryby toxický je. U ryb tvoří až 96 % zplodin metabolismu dusíkatých látek. Většina volného amoniaku (NH_3) se po přechodu do vodního prostředí přemění na netoxické amonné ionty (NH_4^+). Množství toxického amoniaku ve vodě je následně závislé na reakci (pH) a teplotě vody. Čím je pH a teplota vody vyšší, tím je ve vodě vyšší poměr obsahu toxického amoniaku k amonným iontům (viz tab. 1).

Funkce biofiltru

Problém koncentrace amonných iontů je ve většině recirkulačních systémů řešen jejich přeměnou na dusičnany. Toho je docíleno využitím bakterií, které pomocí procesu nitrifikace přeměňují amonné ionty nejprve na dusitany (NO_2^- - nitritace) a poté dusitany na dusičnany (NO_3^- - nitratice). Dusitany jsou pro ryby vysoce toxické (reakcí s hemoglobinem vytvářejí methemoglobin, který nepřenáší kyslík ani CO_2). Do krve se dostávají přes tzv. chloridové buňky žaber. Letální koncentrace dusitanů se u ryb pohybuje v rozmezí desetin miligramů až desítek miligramů v litru vody (0,3 – 300 mg/l, Svobodová a kol. 2008) a je ovlivněna řadou faktorů. Toxicita dusitanů je přímo závislá na koncentraci chloridů ve vodě. Chloridy jsou při aktivním transportu žaberním epitelem antagonistou dusitanům (chloridové buňky jsou „obsazeny“ chloridy a tím je ztíženo vstřebávání dusitanů), proto je toxicita dusitanů přímo závislá na hodnotě chloridového čísla neboli poměru obsahu chloridů

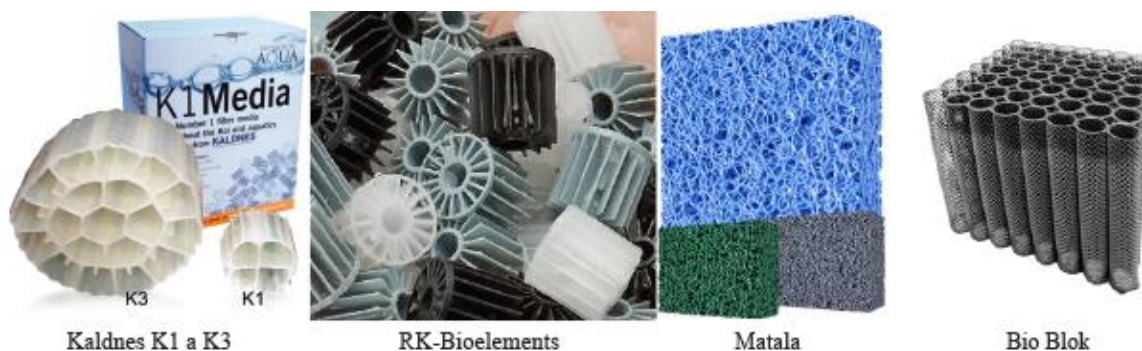
k dusitanovému dusíku ($\text{Cl}^-/\text{N-NO}_2^-$). Hodnota chloridového čísla by neměla klesat pod 17, lépe 24. V případě zvyšující se koncentrace dusitanů ve vodě je vhodné zvýšit koncentraci chloridů alespoň na 100 mg/l. Pro zvýšení se používá kuchyňská sůl. Přídavkem 100 g soli na m^3 vody dojde ke zvýšení obsahu chloridů přibližně o 60 mg/l. Dusičnany jsou pro většinu ryb relativně netoxické. Letální koncentrace dusičnanů se u ryb pohybuje v řádech stovek mg.l^{-1} (>250) a u bakterií ještě výše.

Filtrační materiály

Pro správnou funkci biologického filtru je nezbytné, aby filtrační materiál měl co možná největší povrch, při zachování průtoku vody a aby se voda ve filtru zdržela dostatečnou dobu na to, aby bakterie byly z vody schopné přijmout amoniak a dusitany a přeměnit je na dusičnany. Toho je v dnešní době docilováno převážně použitím různě tvarovaných plastových výlisků nebo odlitků, které výše zmíněné parametry splňují. Zároveň je nezbytné, aby byl materiál výlisků inertní a neuvolňoval do vody žádné škodlivé látky. To by mohlo negativně ovlivnit nejen chované ryby, ale hlavně vznik nárostů bakterií nezbytných pro funkci biofiltru. Dokud by se tyto látky nevyplavily, nedošlo by k oživení biofiltru a nastartování jeho funkce.

Jedny z nejčastěji používaných biofiltračních materiálů jsou Kaldnes (AnoxKaldnes - Norsko), RK Bioelements, (RK-Plast- Dánsko), Bioblok (Expo-Net – Dánsko), Matala (Matala WaterTech - Taiwan), zobrazené na obrázku 1. a další. Tyto materiály mají povrch od 100 – 200 m^2/m^3 (Bio Blok), 150 – 460 m^2/m^3 (Matala) do 750 m^2/m^3 (Kaldnes a RK Bioelements). Existují i materiály keramické, s násobně větším poměrem k objemu, ale ty rychle zarůstají bakteriemi a následně fungují jen na povrchu a navíc se mezi jednotky těchto materiálů nevejde dostatek vody a tím je zdržení vody ve filtru jimi vybaveném minimální. Nehledě na jejich hmotnost a nesnadnost jejich čištění. Každý z biofiltračních materiálů je vhodný pro různé aplikace (typy biofiltrů) a má své výhody i nevýhody pro dané aplikace.

Obrázek 1. Filtrační média.



Péče o biofiltr

Po výběru vhodného filtračního materiálu je nezbytné se o biofiltr pečlivě starat! Pokud v recirkulaci správně funguje biofiltr a nezanese se do systému původce nemoci, není jakýkoliv důvod, proč by měl být problém se zdravotním stavem.

Správná funkce biologického filtru je ovlivňována mnoha různými faktory. Tak jako jsou ryby citlivé na fyzikálně chemické parametry prostředí, bakteriální film biologického filtru je k některým zásahům a změnám prostředí ještě citlivější. Optimální fyzikálně chemické podmínky pro správnou funkci biofiltru a jejich vlivy na biofiltr shrnuje tabulka č. 2.

Při použití antibiotik v recirkulačním systému je potřeba brát v úvahu, že účinná látka (antibiotikum) bude mít efekt i na mikroorganismy v biofiltru. Na antibiotika, změny a zásahy do prostředí jsou nejcitlivější bakterie druhé fáze nitrifikace, nitraty. To většinou má za následek jejich přednostní odumření nebo omezení jejich metabolismu. Odumření, nebo omezení aktivity, nitratačních bakterií vede ke hromadění toxických dusitanů v systému a následné otravě ryb dusitany. Tomu se dá předejít udržováním vyššího obsahu chloridů v systému (viz chloridové číslo).

Nárůst bakteriální biomasy a usazování jemných částic nesedimentovaných v sedimentačních kuželech, vyvolává nutnost čištění biofiltru. Způsob a frekvence čištění biofiltru je závislá na jeho konstrukci. Biofiltry s plovoucí náplní, která je neustále v pohybu, jsou relativně bezúdržbové. Filtrační média se neustále pohybují a přebytečný bakteriální nárůst je z nich průběžně odstraňován při jejich vzájemných nárazech. Případné čištění tohoto typu filtru je většinou řešeno zvýšením průtoku vzduchu filtrem a tím zvýšením četnosti a intenzity kontaktů filtračních médií mezi sebou navzájem. Nejen při procesu čištění, ale i při běžném provozu z filtru odchází s vodou jemný kal, který je nutno odstranit. Toho je docíleno buď prostou sedimentací, nebo zařazením další filtrační jednotky, která kal odfiltruje. To je případ většiny dánských technologií, kde za plovoucím jedno nebo vícekomorovým biofiltrem (komory plovoucích biofiltrů bývají řazeny sériově) následují filtrační jednotky s ponořenými elementy, kde jemné kaly sedimentují. Jednotky ponořeného biofiltru jsou řazeny paralelně, aby mohly být cyklicky čištěny při zachování průtoku a funkce biologické filtrace. Pro čištění biofiltru je nejvhodnější čtyřdenní interval a na každý den čištění připadají dvě jednotky (8 jednotek celkem). Čištění je prováděno intenzivním provzdušňováním za současného odsávání vody s nečistotami do odpadní jímky. Rozhýbání filtračních elementů není vždy dokonalé, proto je vhodné nepohybující se elementy (např. v rozích) rozhýbat buď mechanicky, nebo vzduchem z přídatného zdroje (většinou se jedná o trubku napojenou na hadici, aby byla mobilní a dosáhla do všech jednotek biofiltru). V daném čase se čistí vždy jedna jednotka. Přítok do čištěné jednotky je zahrazen a voda pro průplach filtračních médií je přísávána odtokem z filtru. Pro čištění jednotek ponořeného biofiltru je využíván vzduch, který běžně pohání plovoucí část biofiltru, proto plovoucí biofiltr během této doby funguje minimálně a je potřeba tuto dobu zbytečně neprotahovat. Čištění dvou jednotek denně umožňuje provedení, dle potřeby, totální desinfekce jedné jednotky tak, aby druhá zůstala plně funkční. Biologické filtry jsou proto záměrně „předimenzovány,“ aby mohly ostatní jednotky biofiltru výkon jednotky desinfikované zastat, než dojde k jejímu opětovnému náběhu do plné funkce. Pro udržení hygieny v systému na přijatelné úrovni je nutno jednotky ponořeného biofiltru periodicky (dle potřeby) totálně vyčistit a desinfikovat. Desinfekce každé jednotky by měla

proběhnout přibližně každý osmý cyklus. Desinfekce je většinou prováděna větším množstvím kyseliny peroctové (PerAqua, PerSteril, apod.). Běžně se používá asi 10 l na jednu aplikaci. Kyselina se vlije do filtrační jednotky pomocí trubky odtokem při současném odsávání vody s nečistotami do odpadní jímky. Tento způsob aplikace minimalizuje riziko úniku kyseliny do systému a otrávení ryb. Jako silné oxidační činidlo kyselina peroctová rozloží veškerou jemnou organickou hmotu usazenou pod ložem s filtračními médii. Odstranění jemného sedimentu zabrání vytvoření anoxických podmínek v usazenině a následné denitrifikaci, která způsobuje přesycení vody molekulárním dusíkem (N_2) a tím problémy se zdravotním stavem ryb. Kyselina je z jednotky vyplavena do odpadní jímky za cca 10 – 30 minut.

Během čištění ponořeného biofiltru dojde k převrstvení filtračních elementů a je vhodné jejich vrstvu upravit, aby nevznikala místa s minimální vrstvou elementů. Těmito místy by protékla většina vody (cesta nejmenšího odporu) a kapacita filtrační jednotky by nebyla využita.

Intenzita zarůstání biofiltru heterotrofními bakteriemi je závislá na dotaci organických látek do biofiltru a přímo ovlivňuje nutnost čištění biofiltru. Heterotrofní bakterie zarůstají ponořený biofiltr až do téměř absolutního ucpání. Ucpání filtrační jednotky minimalizuje průtok vody jednotkou, omezí přísun kyslíku aerobním nitrifikačním bakteriím nejen ucpáním, ale i přerostením. Tím dojde k omezení intenzity jejich metabolismu a účinnosti biologické filtrace. Přerostení nitrifikačních bakterií heterotrofními je dáno rychlostí jejich růstu. Heterotrofní bakterie jsou schopny svou biomasu denně znásobit až 4,7x, nitrifikační bakterie pouze 0,76x (nitritační) respektive 0,65x (nitrateční). Poměr přísunu organických látek (C/N) do biofiltru vyšší než 4 způsobuje omezení nitrifikace. $CHSK_{Cr}$ na přítoku do biofiltru by mělo být co nejnižší, ale nemělo by klesat pod 2 mg/l (viz tab. 2).

Po náhodném úhynu (únik desinfekce, antibiotik, apod.), nebo úmyslné desinfekci celého biofiltru (systému) je důležité docílit co nejrychleji jeho opětovného náběhu do plné funkce. V opačném případě systém nemůžeme plně využít a díky jeho provozním nákladům negativně ovlivňuje ekonomiku provozu. Přírozený náběh nitrifikace, neovlivněný inokulací (bioaugmentací) trvá od 4 – 6 týdnů do 2 měsíců v závislosti převážně na teplotě vody. Pokud chceme tento proces urychlit, existuje na trhu několik různých produktů, které jsou pro tento účel určeny. Tyto produkty se pohybují v různých cenových relacích a otázkou je jejich složení a účinnost, kterou zatím nemáme u většiny přípravků ověřeno. Z prvotních testů vyplývá, že při teplotách kolem 18 – 20 °C je při použití některých přípravků možno dobu náběhu biofiltru do plné nitrifikace zkrátit na 14 dní. Srovnání těchto přípravků bude ověřováno na začátku roku 2014. Pokud nepoužijeme bioaugmentaci (naočkování) a chceme systém co nejintenzivněji využívat od opětovného napuštění, nebo si nemůžeme po nehodě dovolit příliš snížit intenzitu odchovu, musíme počítat s velkou spotřebou chloridů v období do náběhu biofiltru (viz chloridové číslo). Během této doby je nezbytné pravidelně denně kontrolovat obsah dusitanů v recirkulaci. Jedna analýza dusitanů, nebo chloridů stojí (v nákladech na chemikálie) kolem 8 Kč. Problémem je pořizovací cena Spektrofotometrů, která se pohybuje od 27 000 (přenosné, terénní) do stovek tisíc Kč (laboratorní).

Kapacita biofiltru

Pokud se chystáme postavit recirkulační zařízení, musí být součástí projektu i výpočet kapacity biologické filtrace. Kapacita biologické filtrace musí být počítána tak, aby biofiltr přeměnil veškerý amoniak vyprodukovaný rybami při maximálním zatížení a využití systému i v případě omezení jeho funkce (např. léčebným zákrokem, havárií, apod.) Z důvodu možných komplikací je vhodné vypočtenou potřebnou kapacitu biofiltru vynásobit minimálně 1,5x. Pro příklad: recirkulační akvakulturní systém (RAS) Dánského typu v Pravíkově je dimenzován na produkci 120 t ryb ročně. Při krmném koeficientu (FCR) kvalitní krmné směsi (KS) 0,9 by tam mělo být ročně zkrmeno 108 t krmiva. To je průměrně necelých 300 kg krmiva denně. Pro odbourání amoniaku vyprodukovaného z jednoho kilogramu krmiva vneseného do systému je při teplotě 20 °C potřeba 40 – 45 m² plochy filtračních materiálů. Při každém poklesu teploty o 5 °C klesá účinnost biologické filtrace (nitrifikace) o 25 % a naopak. Optimální teplota pro chov lososovitých ryb, pro které je tento systém primárně určen, je kolem 15 °C. To po přepočtu odpovídá potřebě 50 – 56,25 m² na kg krmiva. V plovoucím i ponořeném biofiltru je dohromady celkem 60 m³ RK-Bioelements s povrchem 750 m²/m³. To odpovídá povrchu filtračních médií 45 000 m². To odpovídá, při maximálním možném nasazení systému a ideální teplotě, schopnosti biofiltru odbourat amoniak vyprodukovaný rybami při přísunu 800 – 900 kg krmiva denně. Počítáme li s průměrným množstvím krmiva podávaným rybám denně 300 kg, je biofiltr v Pravíkově předimenzován 2,66 – 3x.

Poděkování

Příspěvek vznikl díky podpoře projektů NAZV QI91C001 a QJ2120013.

Tabulka 1: Procentuální obsah volného amoniaku (NH₃) z celkového obsahu amonných iontů ve vodě jako funkce pH a teploty.

Teplota [°C]	pH								
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
0	0,00827	0,0261	0,0826	0,261	0,82	2,55	7,64	20,7	45,3
1	0,00899	0,0284	0,0898	0,284	0,89	2,77	8,25	22,1	47,3
2	0,00977	0,0309	0,0977	0,308	0,97	3,00	8,90	23,6	49,4
3	0,0106	0,0336	0,106	0,335	1,05	3,25	9,60	25,1	51,5
4	0,0115	0,0364	0,115	0,363	1,14	3,52	10,3	26,7	53,5
5	0,0125	0,0395	0,125	0,394	1,23	3,80	11,1	28,3	55,6
6	0,0136	0,0429	0,136	0,427	1,34	4,11	11,9	30,0	57,6
7	0,0147	0,0464	0,147	0,462	1,45	4,44	12,8	31,7	59,5
8	0,0159	0,0503	0,159	0,501	1,57	4,79	13,7	33,5	61,4
9	0,0172	0,0544	0,172	0,542	1,69	5,16	14,7	35,3	63,3
10	0,0186	0,0589	0,186	0,586	1,83	5,56	15,7	37,1	65,1
11	0,0201	0,0637	0,201	0,633	1,97	5,99	16,8	38,9	66,6
12	0,0218	0,0688	0,217	0,684	2,13	6,44	17,9	40,8	68,5
13	0,0235	0,0743	0,235	0,728	2,30	6,92	19,0	42,6	70,3
14	0,0254	0,0802	0,253	0,796	2,48	7,43	20,2	44,5	71,7
15	0,0274	0,0865	0,273	0,859	2,67	7,97	21,5	46,4	73,3
16	0,0295	0,0933	0,294	0,925	2,87	8,54	22,8	48,3	74,7
17	0,0318	0,101	0,317	0,998	3,08	9,15	24,1	50,2	76,1
18	0,0343	0,108	0,342	1,07	3,31	9,78	25,5	52,0	77,4
19	0,0366	0,117	0,368	1,15	3,56	10,5	27,0	53,9	78,7
20	0,0397	0,125	0,396	1,24	3,82	11,2	28,4	55,7	79,9
21	0,0427	0,135	0,425	1,33	4,10	11,9	29,9	57,5	81,0
22	0,0459	0,145	0,457	1,43	4,39	12,7	31,5	59,2	82,1
23	0,0493	0,156	0,491	1,54	4,70	13,5	33,0	60,9	83,2
24	0,0430	0,167	0,527	1,65	5,03	14,4	34,6	62,8	84,1
25	0,0569	0,180	0,566	1,77	5,38	15,3	36,3	64,3	85,1
26	0,0610	0,193	0,607	1,89	3,75	16,2	37,9	65,9	85,9
27	0,0654	0,207	0,651	2,03	6,15	17,2	39,0	67,4	86,8
28	0,0701	0,221	0,697	2,17	6,56	18,2	41,2	68,9	87,5
29	0,0762	0,237	0,747	2,32	7,00	19,2	42,9	70,4	88,3
30	0,0805	0,254	0,799	2,46	7,46	20,3	44,6	71,8	89,0

Hodnoty pH pod 6 nejsou uvedeny, protože při reakci vody pod touto hodnotou je koncentrace volného amoniaku ve vodě zanedbatelná. Teploty přes 20 °C jsou uvedeny pro případy teplovodních recirkulací.

Tabulka 2: Fyzikálně-chemické parametry ovlivňující funkci biofiltru.

Parametr	Optimum	Nevhodné	Efekt
Kyslík (O ₂)	≥5 mg/l	<3,4 mg/l	obsah O ₂ pod 3,4 mg/l minimalizuje nitrifikaci; nad 5 mg/l zlepšuje poměr mezi nitrifikačními a heterotrofními bakteriemi.
pH	>7,5; <10	<6,5, kolísání; >10	pH pod 6,5 výrazně snižuje funkci nitrifikačních bakterií, kolísání pH 1. viz <6,5 a snižuje u ryb příjem potravy až o 2/3; pH ≥10 omezuje nitrifikaci
N-NH ₄ ⁺	>0,01 mg/l	<0,01 mg/l	<0,01 mg/l bakterie "hladoví" = odumírají a převládají heterotrofní
N-NO ₂ ⁻	>0,001 mg/l	<0,001mg/l	<0,001 viz N-NH ₄ ⁺
N-NO ₃ ⁻	0,00 - 100 mg/l	>250 mg/l	>250mg/l zpomaluje nitrifikaci
KNK (Alkalita)	>2,00 mmol/l	<2,00 mmol/l	<2,00 mmol/l - kolísání pH - viz. pH
Teplota	>10 °C	<0 °C	s klesající teplotou klesá i aktivita enzymů . . .
CHSK _{Cr}	2 - 50 mg/l	<1; >100 mg/l	>100 mg/l omezuje nitrifikaci (převážně nárůstem heterotrofních bakterií). <1 mg/l – i nitrifikační bakterie potřebují trochu uhlíku.

Zdroje dat:

<http://www.anoxkaldnes.com/>

<http://www.rkbioelements.dk/>

<http://www.expo-net.dk/>

<http://www.matala.com.tw/>

Svobodová, Z. a kol., 2008: Veterinární toxikologie v klinické praxi. Profi Press, Praha, 256 s.

Park, J.J., Byun, I.G., Yu, J.C., Park, S.R., Ju, D.J., Hur, S.H., Park, T.J., 2008, Analysis of nitrifying bacterial communities in aerobic biofilm reactors with different DO conditions using molecular techniques., Water Science and Technology 57 (12), pp. 1889-1899.

Adresa autorů:

Ing. Štěpán Lang, Bc. Martin Teplý, Ing. Tomáš Brabec, PhD.,

Doc. Ing. Radovan Kopp, Ph.D., Doc. Dr. Ing. Jan Mareš

Mendelova univerzita v Brně

Ústav zoologie, rybářství, hydrobiologie a včelařství

Zemědělská 1, 61300 Brno

Tel.: +420 608 660 529

E-mail: stepanlang@gmail.com, martinteply1@seznam.cz, brabto@seznam.cz,

fcela@seznam.cz, mares@mendelu.cz

rybarstvi.eu