

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Ústav akvakultury a ochrany vod

Diplomová práce

Chov ryb v biofloc systému

Autor: Bc. Roman Lunda

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Mráz, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Tomáš Zajíc, Ph.D.

Studijní program a obor: N 4103 Zootechnika, Rybářství

Forma studia: Prezenční

Ročník: 3.

České Budějovice, 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že, v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě. Zveřejnění probíhá elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 4. května 2015

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Mrázovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Tomáši Zajícovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultace při zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval technikům akvarijní místnosti Ing. Pavlu Šablaturovi a Ing. Michalu Gučíkovi za neustálý monitoring vody a krmení ryb v průběhu experimentu. Děkuji techničce Ing. Kateřině Fulínové za pomoc při odebírání vzorků určených k analýzám. A v neposlední řadě děkuji mým kolegům Ing. Radku Gebauerovi, Bc. Janu Kubcovi a panu Bc. Josefu Vobrovi za pomoci při každoměsíčním lovení nádrže.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Roman LUNDA**
Osobní číslo: **V12N011P**
Studijní program: **N4103 Zootechnika**
Studijní obor: **Rybářství**
Název tématu: **Chov ryb v biofloc systému**
Zadávací katedra: **Ústav akvakultury**

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

Cílem diplomové práce bude vypracovat literární rešerši zaměřenou na problematiku biofloc systémů, především pak na systémy pro chov ryb a v praxi ověřit fungování modelového biofloc systému pro chov tilapie nilské.

V rámci vypracování DP bude v první řadě zpracována literární rešerše zaměřená na problematiku biofloc systémů, především pak na systémy pro chov ryb. Hlavní kapitoly budou zaměřeny na využití a potenciál biofloc systémů, jejich design a princip fungování, praktická obsluha a řešení problémů, ekologie.

Hlavní náplní práce bude praktické sestavení modelového biofloc systému pro chov tilapie nilské a ověření jeho fungování. Sledován bude především chemismus vody, rozvoj biofloc mikroflóry a reakce systému na technologické zásahy. Zjištěná data budou porovnána s dostupnou literaturou. Na závěr bude provedeno komplexní zhodnocení sledovaného systému a budou navržena opatření pro jeho vylepšení.

Práce bude probíhat v laboratořích, v rybochovném objektu VÚRH a ÚA FROV JU.

Práce bude finančně podporována projektem CENAKVA, cíl kvalita rybího masa.

Rozsah grafických prací: podle potřeby

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

Avnimelech, Y., 2012. Biofloc Technology, A practical Guidebook. 2d ed., World Aquaculture Society. 272 p.

Azim, M.E., Little, D.C., 2008: The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture, 283: 29-35.

Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2012: Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. Aquaculture 356: 351-356.

Schrader, K.K., Green, B.W., Perschbacher, P.W., 2011: Development of phytoplankton communities and common off-flavours in a biofloc technology system used for the culture of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture Engineering 45: 118-126.

Azim, M.E., Little, D.C., Bron, J.E., 2008: Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. Bioresource Technology 99: 3590-3599.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Mráz, Ph.D.**

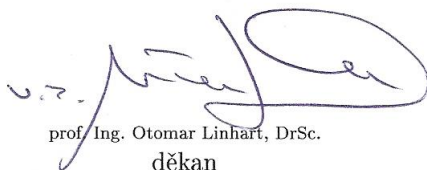
Ústav akvakultury

Konzultant diplomové práce: **Ing. Tomáš Zajíc, Ph.D.**

Ústav akvakultury

Datum zadání diplomové práce: **7. prosince 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2014**


prof. Ing. Otomar Linhart, DrSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD
Zátiší 729/II
389 25 Vodňany


Ing. Pavel Vejsada, Ph.D.
ředitel

V Českých Budějovicích dne 14. února 2013

Obsah

1. ÚVOD	9
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
2.1. Světová produkce a spotřeba ryb	10
2.2. Akvakultura a její rozvoj	11
2.3. Technologie biofloc.....	16
2.4. Organismy vhodné pro chov v BFT	20
2.5. Monitoring	23
2.6. Start BFT systému	24
3. MATERIÁL A METODIKA	25
3.1. Příprava experimentu	25
3.2. Zajištění chodu nádrže.....	26
3.3. Pokusné ryby	31
3.4. Krmivo použité v průběhu pokusu	32
3.5. Průběh pokusu	35
3.6. Monitoring pokusu	36
3.7. Odběr vzorků a analytické metody	42
4. VÝSLEDKY	44
4.1. Funkčnost vzduchovacího zařízení	44
4.2. Vliv karbohydrátů na snížení koncentrace N-NH ₄ ⁺	46
4.3. Monitoring fyzikálně-chemických vlastností vody	46
4.4. Poměr C/N	49
4.5. Produkční výsledky	50
4.6. Živinové složení	51
4.7. Kompozice mastných kyselin tilapie nilské a krmiva.....	52
4.8. Zastoupení kovů	53
5. DISKUZE	55
6. ZÁVĚR	60
7. SEZNAM LITERATURY	61
8. ABSTRAKT	67
9. ABSTRACT	68

1. ÚVOD

Lidská populace se rozrůstá rychleji, než se planeta Země dokáže regenerovat a obnovovat své zdroje. Proto se v posledních letech vědci zaměřují na vývoj a zkoumání nových technologií, které jsou šetrné k životnímu prostředí a zároveň umožňují zachování přírodních zdrojů (Bernstein, 2011).

Ryby jsou jedinečným zdrojem bílkovin a mnoha důležitých látek pro lidskou výživu. Poptávka po nich za posledních 50 let významně překročila množství, které je možné získat rybolovem, a tak je nutné zvýšenou spotřebu ryb krýt produkcí akvakultury. Chov ryb přináší ve srovnání s chovem hospodářských zvířat velkou ekologickou výhodu prostřednictvím vysoké konverze krmiva, nízké produkce skleníkových plynů a nízké spotřeby vody. I přesto je retence dusíku a fosforu v těle ryb relativně malá (cca 1/3) a velká část těchto látek je vyloučena do vodního prostředí jako odpad. Tyto látky se pak významnou měrou podílí na eutrofizaci vod. Proto je nezbytně nutné i v této oblasti zkoumat technologie, které jsou nenáročné a které zároveň co nejméně zatěžují planetu. Akvakultura se potýká s několika zásadními problematickými aspekty, kterým je nutno se intenzivně věnovat. Jedná se zejména o náročnost na čistou/novou vodu, potřebu přísunu dostatku kvalitního krmiva a odstraňování odpadních látek.

Částečné řešení těchto problémů nabízí systém biofloc. Jedná se o jedinečnou technologii, jejíž podstatou je chov ryb v nádrži či rybníku se souběžnou kultivací biomasy heterotrofních bakterií. Tyto bakterie jsou schopny zkonzumovat v nádrži vzniklý odpad a dusík v něm obsažený v sobě přeměnit na protein. Množství bakterií je zde přítomno v tak vysoké míře, že se postupně začnou shlukovat (floc) do tzv. vloček. Ryby je tak mohou přímo konzumovat a díky nim růst. Nutnost externího dodávání proteinového krmiva je tedy výrazně snížena. Toto přináší hned několik výhod. Vzhledem k tomu, že protein je nejdražší částí krmiva, přináší biofloc značné úspory (až 30 % krmných nákladů). Technologie biofloc je rovněž založena na bázi recyklace použité vody. Je tedy, co do vodních zdrojů, mimořádně úsporná. Je tak vhodná pro oblasti, kde je vody obecně nedostatek.

Cílem této diplomové práce bylo ověřit fungování modelového biofloc systému pro chov tlamouna nilského (*Oreochromis niloticus*) v praxi. Hlavní náplní práce bylo sestavení modelového biofloc systému a sledování změn chemismu vody, rozvoje biofloc mikroflóry a reakce systému na technologické zásahy.

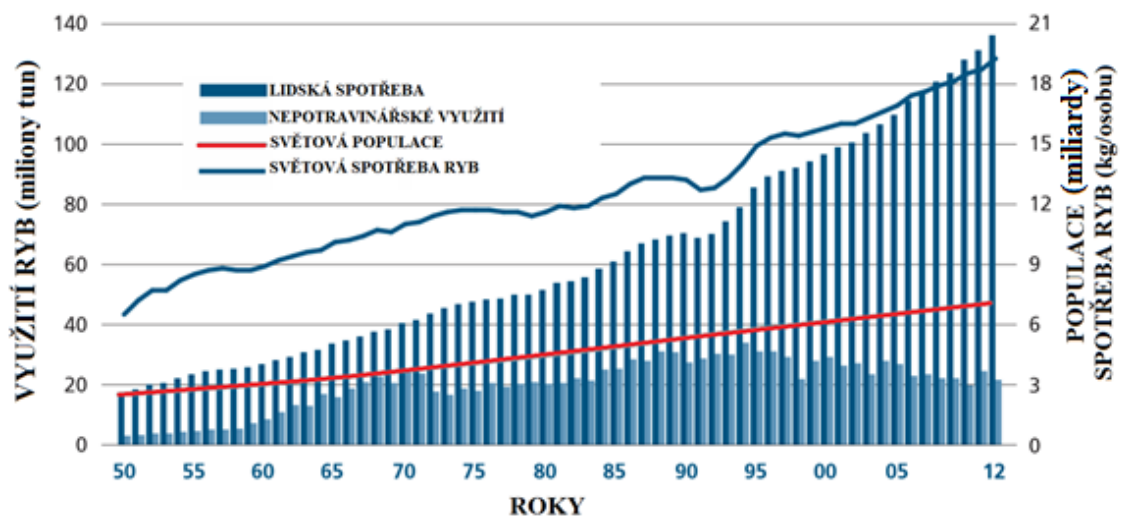
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1. Světová produkce a spotřeba ryb

Podle amerického úřadu pro sčítání lidu žije k 24. 2. 2015 na Zemi **7,297** miliard lidí. Růst světové populace se začal zrychlovat od 19. století a současné předpovědi počítají se stálým růstem i do budoucna. Různé modely predikují, že v roce 2050 by světová populace mohla dosáhnout 7,5 až 10,5 miliardy. Pak by podle většiny odhadů měla začít klesat (Worldmeters, 2015).

2.1.1. Zajištění potravin prostřednictvím rybolovu

Jedním z dostupných zdrojů potravy na planetě jsou oceány. V předminulém století nebyla rybářská loďstva ještě dostatečně silná a vybavená, aby vyčerpala oceány pod udržitelnou úroveň. Se zavedením páry a později i dieselových motorů mohly lodě cestovat po oceánech dále a rychleji. Techniky rybolovu se v průběhu posledních 50 let rapidně zdokonalily (Bone a Moore, 2008). Na Obrázku 1 lze pozorovat využití a spotřebu ryb v průběhu posledních 60 let.



Obrázek 1: Využití ryb jako potravin ve srovnání s růstem lidské populace. Na upraveném grafu lze srovnat křivky růstu světové populace s růstem světové spotřeby ryb (upraveno podle SOFIA, 2014).

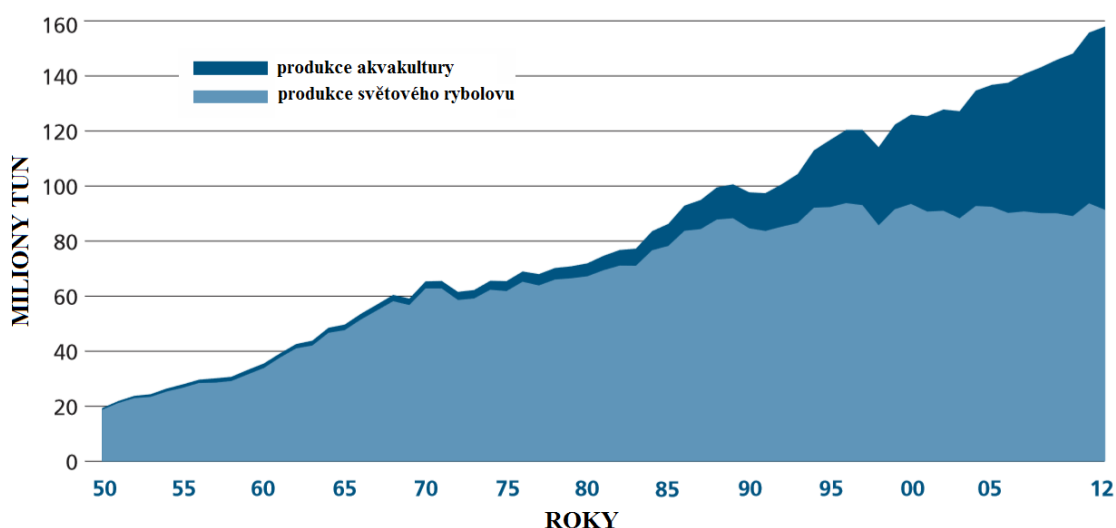
2.1.1.1. Overfishing

Zvýšená poptávka a rostoucí spotřeba mořských ryb má za následek nadměrné přelovení oceánů neboli tzv. „*overfishing*“. To je stav, při kterém již nedokáží ryby

a jiní mořští živočichové přirozeně obnovovat své stavy a dochází tak k jejich decimování, které může skončit vyhubením (Tacon a Metian, 2008). Problém *overfishingu* se netýká pouze lovu ryb pro konzumní účely. Díky neustále rostoucí akvakultuře roste i spotřeba krmiv. Zastoupení velkého množství bílkovin a tuku v krmivu je zajišťováno především prostřednictvím rybí moučky a rybího oleje (Naylor a kol., 2000). Rybí moučka je ceněná díky její vysoké stravitelnosti a obsahu proteinů s vyváženou kompozicí aminokyselin. Rybí olej je ceněn díky obsahu n-3 vysoce nenasycených mastných kyselin (n-3 HUFA - *highly unsaturated fatty acids*), především kyseliny eikosapentaenové (EPA) a dokosahexaenové (DHA) (Sargent a Tacon, 1999). Rybí moučka a olej jsou získávány především z mořských pelagických druhů ryb (zejména sardel peruánská, *Engraulis ringens*), nevhodných pro lidskou výživu nebo ze zbytků po zpracování ryb (IFFO, 2006).

2.2. Akvakultura a její rozvoj

Akvakultura se svou produkcí podílí zhruba 50 % na celosvětové produkci ryb a vodních organismů určených pro lidskou konzumaci. Růst akvakultury oproti světovému rybolovu je patrný z Obrázku 2. Díky neustále se zvyšující poptávce je akvakultura nejrychleji (cca o 8,5 % za rok) se rozvíjejícím odvětvím zemědělské produkce (FAO, 2014).



Obrázek 2: Srovnání světové produkce akvakultury s produkcí světového rybolovu za posledních 62 let (upraveno podle SOFIA, 2014).

Chov ryb v akvakultuře má mnoho jak ekonomických, tak i ekologických výhod. Na rozdíl od suchozemských teplokrevných zvířat dosahuje chov ryb velice nízké hodnoty konverze krmiva (FCR). Hodnota konverze udává množství krmiva, které je zapotřebí k přírůstku jednoho kilogramu živé hmotnosti (Pullin a kol., 1993), což zásadně ovlivňuje ekonomickou stránku chovu. V Tabulce 1 je možné posoudit poměr konverze krmiva ryb v porovnání s ostatními druhy hospodářských zvířat.

Tabulka 1: Poměr konverze krmiva pro jednotlivá hospodářská zvířata (Bernstein, 2011).

DRUH ZVÍŘETE	POMĚR KONVERZE KRMIVA <i>(kg krmiva / kg přírůstku)</i>	ZDROJ
RYBY	0,8 - 1,5 : 1	(Jirásek a kol., 2005)
DRŮBEŽ	2 : 1	(Larbier a Leclerq, 1992)
PRASATA	3 : 1	(Brown a kol., 2001)
SKOT	8 : 1	(Preston a Willis, 1974)
OVCE	6 : 1	(Malik a kol., 1996)

Ryby dosahují takto nízkého FCR díky vodnímu prostředí, kde nemusí vynakládat tak velké množství energie pro pohyb nebo pro pouhé odolávání gravitaci jako suchozemská zvířata. Navíc, jakožto studenokrevní živočichové nespotřebovávají velké množství energie pro zvyšování své tělesné teploty (Halver a Hardy, 2002).

Nesmírnou ekologickou výhodou je nižší produkce skleníkových plynů v porovnání s chovem ostatních hospodářských zvířat (sumarizováno v Sonesson a kol. 2010). Další výhodou je to, že při využití moderních technologií jako jsou například recirkulační akvakulturní systémy (RAS) je potřeba k vyprodukování jednoho kilogramu živé hmotnosti ryb několika násobně nižší spotřeba vody oproti suchozemským hospodářským zvířatům (Kloas a kol., 2011).

2.2.1. Recirkulační akvakulturní systémy

Ve srovnání s ostatními druhy akvakulturních systémů jako jsou například rybníky, průtočné systémy nebo klecové chovy, má recirkulační akvakulturní systémy mnoho výhod (Timmons a kol., 2002). Mezi hlavní výhody systémů patří vysoká produkce ryb na jednotku objemu vody, menší potřeba zastavěné plochy, malé množství odpadní vody a malá spotřeba přítokové vody. Voda je čištěna pomocí mechanických a biologických filtrů, aby mohla být v systému znovu využita. Celý systém je založen na koloběhu vody, pouze malá část (3 – 5 % denně) bývá společně s nečistotami vypouštěna mimo systém (Kouřil a kol., 2008a).

2.2.2. Využití odpadu z akvakultury

Produkce odpadů v RAS, stejně jako v jakémkoliv jiném systému akvakultury, závisí na řadě faktorů. Mezi nejdůležitější faktory patří (Karipoglou a Nathanailides, 2009):

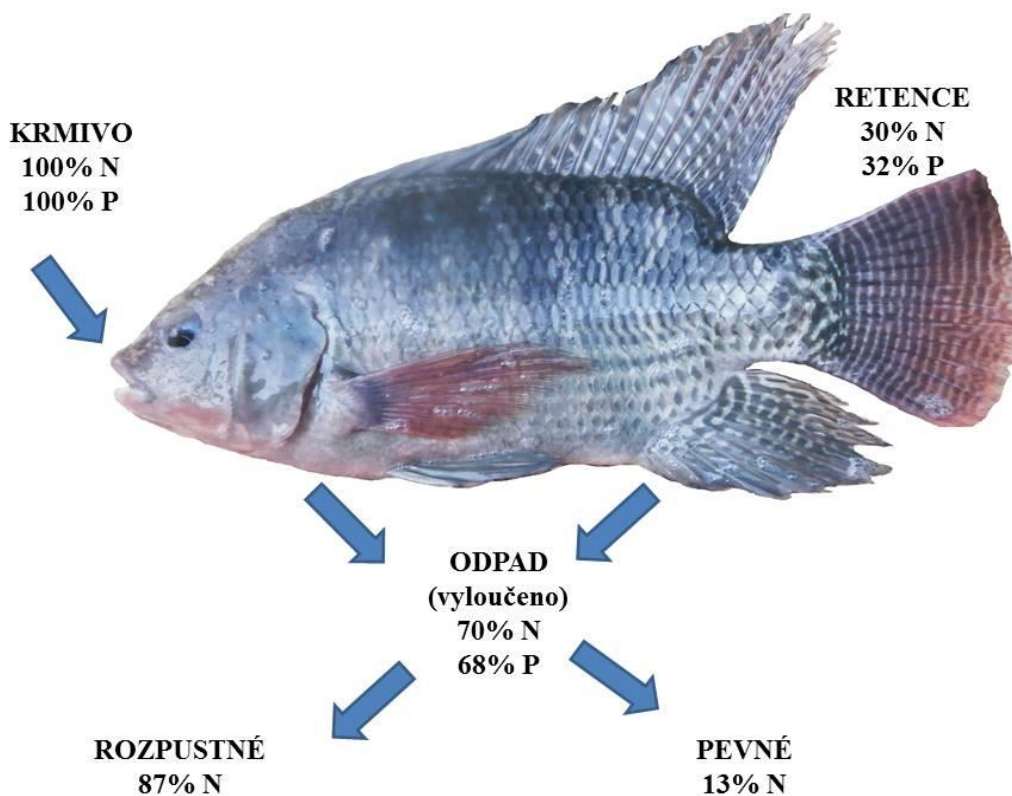
- 1) druh a stáří ryb
- 2) složení krmiva
- 3) režim krmení
- 4) kvalita vody v systému.

Vodní prostředí je nejvíce ohrožováno odpadními produkty, které vznikají metabolickými pochody ryb. Odpadní látky v RAS jsou zastoupeny především ve formě exkrementů ryb a amoniaku (Kouřil a kol., 2008b). Na Obrázku 3 jsou znázorněna procentuální zastoupení odpadních látek, které jsou při běžném příjmu potravy do vodního prostředí vyloučeny.

Odpadní látky lze v akvakultuře rozdělit na:

- a) **Tuhé nerozpuštěné látky**, které se v RAS vyskytují především ve formě tuhých exkrementů a nespotřebovaného krmiva. Separace nerozpuštěných látek je v RAS zajišťována systémem mechanických filtrů (Kouřil a kol., 2008a).
- b) **Rozpuštěné látky**, hlavně látky dusíkaté a oxid uhličitý, které ve vodním prostředí vznikají metabolizmem ryb a rozkladem látek především organického původu. Celkový dusík vylučovaný rybami je běžně tvořen až z 60 % amoniakem (Kouřil a kol., 2008a). Dusíkaté látky běžně klasifikujeme do tří základních skupin. První skupina se označuje jako amoniakální a patří do ní amoniak vázaný ve formě amonných solí (NH_4^+) a volný amoniak (NH_3). Druhá

skupina se nazývá dusitanová a patří do ní dusitany nebo též nitrity (NO_2^-). Třetí skupinu označujeme jako dusičnanovou, do které patří dusičnany neboli nitráty (NO_3^-) (Štěch, 2007).



Obrázek 3: Procentuální vyloučení a retence dusíku (N) a fosforu (P) u ryb (upraveno podle Jiráska a kol., 2005).

Rozpuštěné látky způsobují v intenzivní akvakultuře a především pak v RAS problémy, neboť zásadně ovlivňují kvalitu vody. Správně fungující biologické filtry dokážou pomocí nitrifikačních bakterií přeměnit nebezpečný amoniak na méně toxické dusičnany (Kouřil a kol., 2008b).

Veškeré odpadní látky obsahují vysoké množství dusíku. Tento fakt otevírá příležitost k výzkumu a vývoji nových akvakulturních systémů a technik, které jsou schopny odpadní látky opětovně využívat ve svůj prospěch (Timmons a kol., 2002).

V přírodě se setkáváme s využitím odpadu v klasickém potravním řetězci, kdy jeden živočich žije a roste na odpadních produktech jiného živočicha. Využití tohoto faktu v akvakultuře nám zprostředkovávají tzv. integrované multi-trofické akvakulturní systémy (IMTA – *integrated multi-trophic aquaculture systems*). Tyto

systemy jsou specializovanou formou praxe vodních polykultur. Jedná se o využití odpadu pro růst dalšího organismu napříč trofickými úrovněmi (van Rijn, 2010).

Příkladem IMTA mohou být ryby nebo korýši, kteří zaujímají vyšší trofické úrovně. Díky svým metabolickým procesům vylučují značné množství dusíku a fosforu. Tento odpad může být dále využíván například kolonií měkkýšů nebo mořskými řasami (Chopin, 2006).

2.2.2.1. Příklady IMTA systémů

a) mořské systémy

Klecové chovy, které se využívají na intenzivní chov mořských ryb (losos, mořan, treska) poskytují díky intenzivnímu krmení značné množství zbytkového krmiva a rybích výkalů. Mořský IMTA systém využívá tohoto odpadu tak, že pod klecemi s rybami poskytuje potravu například kolonii slávek nebo jiných měkkýšů. Díky tomuto systému je zaručená jak primární produkce ryb, tak sekundární produkce měkkýšů (Neori a kol., 2004).

b) rybníky s vysokou koncentrací řas

Systém založený na využití všech forem dusíku vzniklých v RAS pro vysoký růst mořských řas. Specializované farmy pěstují velké kolonie mořských řas za určitých stanovených podmínek (pH, kyslík). Odpadní látky z RAS výrazně napomáhají růstu těchto mořských řas (Metaxa a kol., 2006; Pagand a kol., 2000).

c) akvaponické systémy

Technologie kombinující chov ryb s pěstováním rostlin. Tento systém je založen na využívání metabolitů ryb jako hnojiva pro rostliny. Rostliny navíc odebírají ze systému oxid uhličitý a vytvářejí kyslík (Timmons a kol., 2002).

d) biofloc technologie

Technologie využívající heterotrofní bakterie k přeměně anorganického dusíku na mikrobiální protein. Tento protein je využíván rybami či korýši jako sekundární potrava (Avnimelech, 2006; Crab a kol., 2010).

Zmíněné typy systémů poskytují elegantní řešení pro zvýšení produktivity se současným snížením produkce odpadu (Nobre a kol., 2010). V závislosti na konkrétním designu a provozních podmínkách jsou IMTA provozovány

bez výtoku odpadních vody (van Rijn, 2010). Jedním z takových systémů, který poskytuje řešení pro využití a snížení odpadní vody v akvakultuře a zároveň produkuje biomasu, která slouží jako zdroj potravy je právě technologie biofloc (Avnimelech, 2006).

2.3. Technologie biofloc

Biofloc je typ akvakulturního systému, který využívá množství heterotrofních bakterií. Tyto bakterie dokáží využít odpad vzniklý chovem ryb a přeměnit ho na zdroj přirozené potravy (Avnimelech a kol., 1986).

2.3.1. Funkce a rozvoj bakterií v biofloc systému

Heterotrofní bakterie získávají energii z organických látek, přičemž spotřebovávají kyslík a jako odpad produkují oxid uhličitý. V podstatě se jedná o jednoduchou rovnici.



Bakterie jsou tvořeny z velké části bílkovinami, proto potřebují pro svůj růst dostatek dusíku. V běžných rybnících je obvykle dostatek dusíku pro tvorbu nových buněk, ale většinou je v něm nedostatek energeticky bohatých látek a uhlíku, které jsou pro heterotrofní bakterie limitujícími faktory. V takové situaci se růst této mikroflóry zastaví a přestává být efektivní v odčerpávání a využívání dusíkatých látek. V technologii biofloc (BFT) se do systému přidává uhlík a energie prostřednictvím karbohydrátů (mouka, melasa, škrob). Tím se podpoří růst heterotrofních bakterií, které následně odčerpávají dusíkaté látky z vody pro stavbu svých těl a pomáhají tak kontrolovat kvalitu vody (Avnimelech, 2012).

2.3.2. Zajištění poměru C/N

Cílem přidávání karbohydrátů do BFT je udržování vysokého poměru C/N (~ 15 – 20:1). Goldman a kol. (1987) zjistili, že udržováním poměru C/N větším než 10 lze zajistit optimální podmínky pro vznik a tvorbu heterotrofních bakterií. Karbohydráty slouží bakteriím jako zdroj energie. Pokud je v systému udržován vhodný poměr uhlíku a dusíku, mikroorganismy dostávají energii potřebnou pro spotřebování dusíkatých látek, které v akvakultuře vznikají jako odpad (zbytkové krmivo, výkaly).

Díky udržování tohoto poměru mohou heterotrofní bakterie vytvářet mikrobiální protein. Pro udržení poměru C/N jsou v BFT využívána krmiva s nízkým obsahem proteinu. Pro lepší orientaci je možné porovnat krmiva s různým obsahem proteinu ve srovnání s jejich hodnotou poměru C/N (Tabulka 2). Hodnotu C/N lze zjistit přes výpočet (viz dále). Uhlíkové zdroje používané v BFT jsou často produkty pocházející z potravinářského průmyslu. Většinou se upřednostňují lokální produkty, které jsou k dispozici. Melasa nebo různé druhy obilovin (pšenice, kukuřice, rýže, tapioka, atd.) představují relativně levné zdroje pro použití v BFT (Avnimelech, 2012).

Tabulka 2: Poměr uhlíku a dusíku v krmivu s různým obsahem proteinu (Avnimelech, 2012).

OBSAH PROTEINU V KRMIVU (%)	HODNOTA POMĚRU C/N
15	21,5
20	16,1
25	12,9
30	10,8
35	9,2
40	8,1

2.3.2.1. Výpočet poměru C/N

Pro zjištění hodnoty poměru C/N v BFT se běžně využívá výpočet podle Avnimelecha (2012). Průměrný obsah uhlíku v běžně používaných krmných směsích je 50 %. Množství dusíku je procentuální zastoupení proteinu v použitém krmivu vynásobené koeficientem 0,155 (koeficient odpovídá průměrnému zastoupení dusíku v proteinu 15,5 %).

Příklad 1:

Používané krmivo v BFT obsahuje 40 % proteinu.

C = 500 g×kg⁻¹ krmiva

N: Protein 400 g×kg⁻¹ krmiva, N = 62 g N×kg⁻¹ krmiva (protein × 0,155)

C/N = 500/62 = 8,1

Příklad 2:

Tilapie jsou denně krmeny 5 kg krmiva obsahující 30 % proteinu. Ke krmivu se přidává 4,5 kg kukuřičného škrobu.

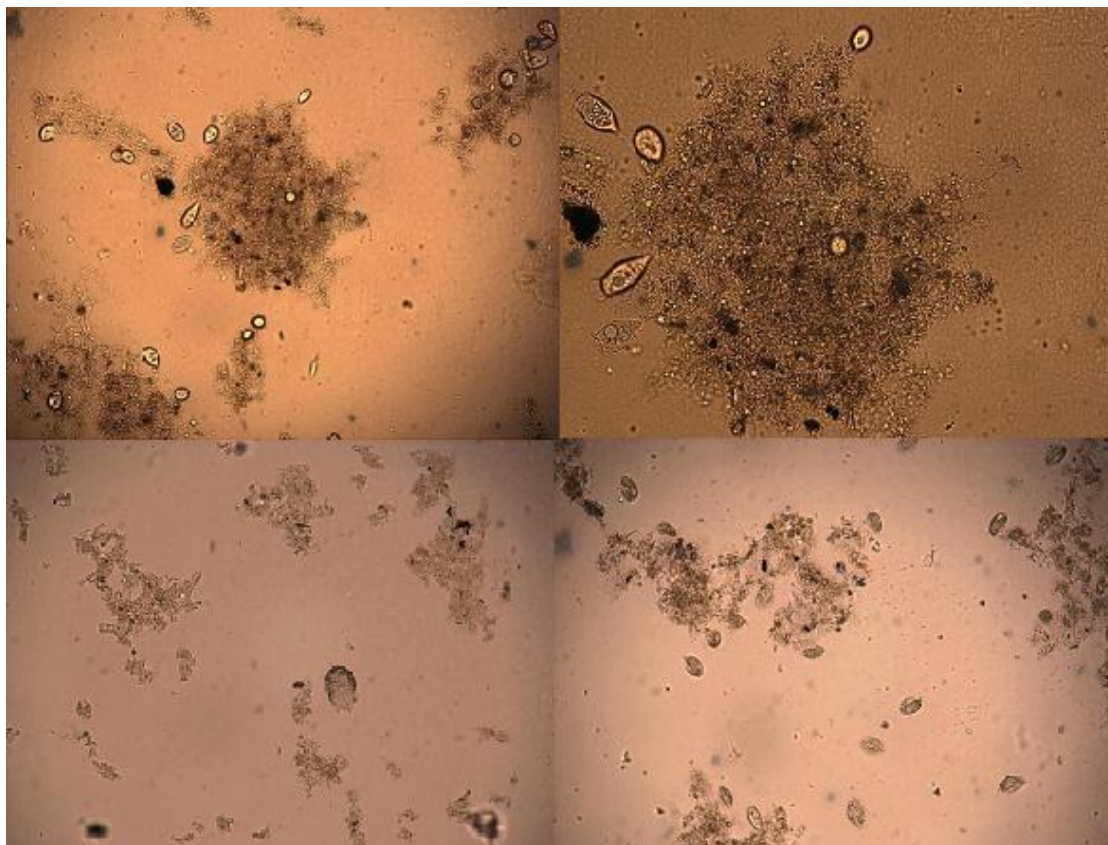
$$C = (5 + 4,5) \times 50 \% = 4,75 \text{ kg}$$

$$N: \text{Protein} = 5 \times 30 \% = 1,5 \text{ kg}; N = 1,5 \times 0,155 = 0,233$$

$$\underline{C/N = 4,75/0,233 = 20,4}$$

2.3.3. Vytváření vloček

Při správném udržování poměru C/N a zajištění dostatečného přísunu kyslíku začne hustota bakterií v rybníce či nádrži narůstat. V dokonale zaběhlém BFT systému je $10^6 - 10^9$ bakterií v 1 cm^3 (Burford a kol., 2003; De Schryver a kol., 2008). Mikrobiální kolonie jsou znázorněny na Obrázku 4.



Obrázek 4: Fotografie zachycující přítomnost vloček ve vzorku vody pomocí elektronového mikroskopu (Avnimelech, 2012).

Bakterie jsou velmi malé s velikostí okolo $1 \mu\text{m}$. Pokud by byly roztroušené po celé nádrži, nemohly by sloužit rybám jako přímý zdroj proteinu. Proto je potřeba,

aby se bakterie začaly shlukovat do vloček. Viditelné shlukování do vloček ve vzorcích vody je možné vidět na Obrázku 5. Celý proces je umožněn skutečností, že mnoho organismů je potaženo či dokáže vylučovat extra-celulární polymery. Tyto polymery jsou tvořeny především z polysacharidů a proteinů a fungují jako lepidlo, které spojuje jednotlivé buňky do větších shluků (De Schryver a kol., 2008).



Obrázek 5: Imhoffovy konusy pro měření množství nerozpuštěných látek a zjišťování přítomnosti vloček v nádrži (Avnimelech, 2012).

Flokulace mikrobiálního společenstva je velice složitý proces. Jedná se o kombinaci fyzikálních, chemických a biologických procesů, které uvádějí celý systém do chodu. Přesné mechanismy a metody zůstávají do značné míry neznámými (Hantula a Bamford, 1991; Liu a Fang, 2003). Částečně lze proces vločkování ovlivnit přidáním vápníku a tím jej urychlit. V dostatečně zaběhnutém systému se bakterie začnou shlukovat do vloček přirozeně. Výsledné vytvořené částice jsou dostupné pro ryby jako zdroj potravy (Crab, 2009).

2.3.4. Podmínky pro správný rozvoj bakterií

Pro správný rozvoj bakterií je nutné zamezit sedimentaci a vzniku anaerobních zón. To se provádí neustálým provzdušňováním a promícháváním vodního sloupce za pomoci silného vzduchovacího zařízení. Vzduchovací zařízení společně s pohybem vody zajišťuje i požadovanou koncentraci kyslíku v nádrži (Avnimelech a kol., 1986).

Dalšími faktory ovlivňující vývoj BFT jsou hodnoty pH a celkové množství nerozpuštěných látek přímo v rybníku nebo v nádrži. (Avnimelech, 2012).

2.3.4.1. Aerace a pohyb vody

Koncentrace kyslíku v rybnících bývá obvykle relativně nízká. Nízká koncentrace kyslíku vede k omezení produkce, rozvoji stresu, nemocem a nakonec k úmrtí obsádky (Boyd a Tucker, 1998). Aby se zamezilo vzniku výše zmíněných jevů, je třeba použít provzdušňovací zařízení – aerátory.

Aerátory poskytují kromě kyslíku nezbytnou službu tím, že v BFT zajišťují promíchávání vodního sloupce. Je dokázáno, že organická degradace a transformace dusíku je v nádržích s pravidelným mícháním účinnější než ve stojaté vodě. Mícháním se také zabraňuje stratifikaci. Dalším důležitým pozitivem u promíchávání vody je, že nikde nevznikají usazeniny kalu a díky tomu nejsou vytvářeny anaerobní zóny (Avnimelech 2012).

Přestože se jedná o klíčový aspekt pro správný chod BFT, detailní informace o výběru a umístění vhodného aerátoru či airliftu stále chybí. Budoucí výzkum by se měl na tento závažný problém zaměřit a zkoumat nové koncepty a také neustále zlepšovat a doladovat návrhy těchto rybníků a pokusných nádrží (Avnimelech, 2012).

2.4. Organismy vhodné pro chov v BFT

Akvakulturní systémy na principu BFT byly používány od počátku osmdesátých let minulého století především pro chov krevet (Wasielesky a kol., 2006).

Mezi druhy krevet vhodných pro chov v BFT patří:

Litopenaeus stylirostris

Litopenaeus vannamei

Penaeus monodon

Fenneropenaeus merguensis

Postupem času se BFT začal využívat i pro chov ryb (Serfling, 2006). Technologie vedla k úsporám krmiva a výrazně zvýšila účinnost využívání vody v akvakultuře. Ryby dokázaly přirůstat na krmivu s nízkým obsahem proteinu (Avnimelech, 1999).

Jako nejvhodnější druhy ryb vhodných pro chov v BFT jsou uvedeny:

tlamoun nilský (*Oreochromis niloticus*)

tlamoun modrý (*Oreochromis aureus*)

tlamoun mosambický (*Oreochromis mossambicus*)

a jejich kříženci. Nejčastějším druhem chovaným v BFT je ovšem tlamoun nilský (Avnimelech, 2006). Pro tlamouna nilského je obecně vžit spíše název tilapie nilská.

2.4.1. Tilapie nilská a její výhody pro chov v BFT

Tilapie nilská je ideálně přizpůsobena pro chov v systému BFT. Je to býložravec, v podstatě filtrátor, přizpůsobený pro konzumaci bakterií ve vodě. Díky tomu dokáže růst i v hustě zarybněných systémech (Avnimelech, 2012).

2.4.1.1. Podmínky pro přežití tilapie nilské v BFT

Optimální hodnota koncentrace rozpuštěného kyslíku pro chov tilapie je, podobně jako u ostatních ryb, $> 6 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ (Rakocy, 1989). Minimální hodnota pro přežití je podle Baccarin a Camargo (2005) $1,33 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$, Papoutsoglou a Tziha (1996) uvádějí hodnotu $2,6 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$. Adámek (1994) udává přežití tilapie při krátkodobém poklesu koncentrace kyslíku pod $0,5 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$.

Významnou výhodu při chovu tilapie je i její schopnost přežít vysoké organické znečištění vody. Podle Rakocyho (1989) tilapie začínají hynout až při koncentraci $2 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ (NH_3) $5 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ (NO_2^-). Podle některých zdrojů je 96h LC50 pro amoniak nižší, a to $1,7 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ (Campbell, 1991; Haywood, 1983; Thurston a kol., 1983).

Dalším z významných faktorů odolnosti je schopnost tilapie přežít značné výkyvy hodnoty pH. V různých pracích jsou pro její přežití udávány hodnoty nejméně 6,5 a nejvýše 8,8 (Greiner a Timmons, 1998; Miller, 1995; Rakocy a kol., 1989), avšak tilapie v pokusu Baccarina a Camarga (2005) přežily dolní hodnotu pH 5,4. Horní extrémní hodnotu pH stanovil pro tilapii Yashouv (1958) na 11. Tyto hodnoty potvrzují i Watanabe a kol. (2002), jen s úpravou dolní hodnoty pro přežití na 5,0.

Podle Adámka (1994) tilapie dokáže krátkodobě snášet pokles teploty na 6 – 8 °C, ale dlouhodobý pokles pod 12 °C může vést k mortalitě. Horní letální teplota je velmi vysoká (nad 40 °C). Doporučená teplota pro chov v BFT je 25 – 27 °C (Avnimelech, 2012).

2.4.1.2. Výživa tilapie nilské

Tilapie vyžadují všech 10 esenciálních aminokyselin, stejně jako jiné ryby a suchozemští živočichové (Tabulka 3). První limitující aminokyselinou bývá v krmných směsích, podobně jako u ostatních teplomilných ryb, lysin (Wilson, 2002). Nutriční požadavky pro tilapii nilskou jsou vyobrazeny v Tabulce 4.

Tabulka 3: Požadavky na jednotlivé aminokyseliny pro dospělé tilapie nilské (upraveno podle Bhujela, 2001).

Aminokyseliny	% protein	% v krmivu
Arginin	7,5	1,5
Lysin	5,0	1,6
Histidin	2,3	0,5
Threonin	3,6	1,0
Valin	5,8	1,2
Leucin	7,0	1,5
Isoleucin	4,3	0,9
Methionin	1,7	0,5
Fenylalanin	4,5	1,5
Tryptofan	1,0	0,2

Tabulka 4: Požadavky tilapie nilské na nutriční složení krmiva (upraveno podle Bhujela, 2001).

Proteiny	25 – 35 %
Karbohydráty	25 – 30 %
Tuky	8 – 10 %

2.5. Monitoring

Kontrolu BFT systémů nelze podceňovat a je nutné jí věnovat minimálně stejnou pozornost jako u běžných recirkulačních systémů (Avnimelech, 2012).

2.5.1. Koncentrace kyslíku a hodnota pH

Koncentraci kyslíku je třeba kontrolovat minimálně jednou denně. Je-li obsah kyslíku nižší než je stanovena hodnota $> 5\text{mg}\times\text{l}^{-1}$, je nutné zkontrolovat aerační zařízení, případně přidat další vzduchování. Hodnota pH a alkality by se měla udržovat na běžné úrovni. Hodnota pH by se měla pohybovat v rozmezí 7 – 8. Probíhající nitrifikace je jeden z hlavních procesů, které snižují hodnotu pH vody, proto je potřeba tento parametr monitorovat a případně upravovat (Wasielsky a kol., 2006).

2.5.2. Měření množství nerozpuštěných látek

Přítomnost a množství vloček se vyhodnocuje pomocí kalibrovaných Imhoffových kónusů. V mnoha případech jsou vločky velice malé a jsou velmi těžko pozorovatelné pouhým okem. Proto stačí odebrat vzorek vody v množství 1 litr do kónusu a nechat vzorek ustálit po dobu 15 – 20 minut. Po uplynulé době lze snadno vyhodnotit množství vloček ($\text{ml}\times\text{l}^{-1}$). Pro zjištění množství v ($\text{mg}\times\text{l}^{-1}$) je nutné celý objem vody v kónusu přefiltrovat a výslednou sušinu zvážit. Doporučované množství nerozpuštěných látek v bioflocu je 200 – 500 $\text{mg}\times\text{l}^{-1}$. Pokud je hodnota nerozpuštěných látek $< 200\text{ mg}\times\text{l}^{-1}$ je nutné do nádrže přidat karbohydráty. Při množství $> 500\text{ mg}\times\text{l}^{-1}$, je potřeba provést částečnou výměnu vody (Avnimelech, 2012).

2.5.3. Koncentrace anorganického dusíku

Dalším parametrem, který je třeba sledovat, je množství anorganického dusíku, přičemž nejdůležitější je množství amoniaku a dusitanů. Koncentrace by neměly přesahovat hodnoty, které jsou pro chov ryb všeobecně nebezpečné (viz kapitola 2.4.1.1). Zvýšení koncentrace celkového amoniaku většinou znamená, že je poměr C/N v krmivu nízký. Proto je nutné do systému přidat karbohydráty pro vyrovnání poměru C/N a tím zamezit dalšímu zvyšování koncentrace amoniaku. Zvýšená koncentrace dusitanů může být spojována s různými příčinami. Všeobecné zvýšení dusitanů se vzhledem k vývoji nitrifikačních bakterií očekává na začátku vytváření systému.

Později však může dojít k zvýšení koncentrace způsobené opět nízkým poměrem C/N a tím zvýšením anorganického dusíku v nádrži. Dalším důvodem mohou být neúplné oxidační procesy v závislosti na redoxních podmínkách v nádrži. Nahromaděné redukované sloučeniny jako jsou například sulfidy, mohou výrazně zpomalit oxidaci dusitanů na dusičnany a tím podpořit jejich nahromadění v nádrži. Při zjištění nadměrné koncentrace dusitanů je nutná rychlá reakce personálu. Je nezbytné provést částečnou výměnu vody a také zjistit, zda se v rybníku či nádrži nevytváří kal a sedimenty, což by mohlo být příčinou vzniku anaerobních zón (Avnimelech, 2012).

2.6. Start BFT systému

Pro mikrobiální rozvoj je po napuštění nádrže či rybníka nutné přidat vhodný substrát. Je možné použít i staré krmivo například ve formě pelet, které již ztratily svou stabilitu ve vodě, nebo jakékoliv jiné krmivo. Další alternativou je přidání uhlíkatých látek, jako je kupříkladu melasa či mouka. V tomto případě může být právě dusík limitujícím faktorem pro správný mikrobiální rozvoj. Proto je třeba přidávat dusíkatá hnojiva (močovina či dusičnan amonný). Mikrobiální společenstvo se bude vyvíjet několik dní. Pro podporu jeho rozvoje je možné do systému přidat organickou hmotu. (Avnimelech, 2012).

2.6.1. Problematika amoniakálního dusíku a dusičnanů

Jestliže nejsou nitrifikační bakterie zcela vyvinuté nebo tento proces trvá dlouho, obvykle nastane přechodné nahromadění amoniaku a dusitanů. Koncentrace amoniaku stoupá až do maximální hodnoty po dobu 2 – 3 týdnů. Následně koncentrace klesá paralelně se vzrůstající koncentrací dusitanů. Po 4 – 6 týdnech se koncentrace dusitanů sníží a je nahrazena dusičnany, které jsou pro ryby v běžných koncentracích netoxické. Následný vývoj biofloc trvá déle v závislosti na vysoké intenzitě krmení. Čím vyšší je intenzita krmení nebo přidávání organického substrátu, tím se biofloc rychleji vytváří. Při minimální výměně vody se při neustálém krmení nelze vyhnout nahromadění sedimentů. Nahromaděné usazeniny mají často negativní vliv na růst a zdraví ryb. Také jsou příčinou vzniku anaerobních zón. Aerátory a airlifty, které zajišťují neustálý pohyb vody, pomáhají nahromadění sedimentů předcházet (Avnimelech, 2012).

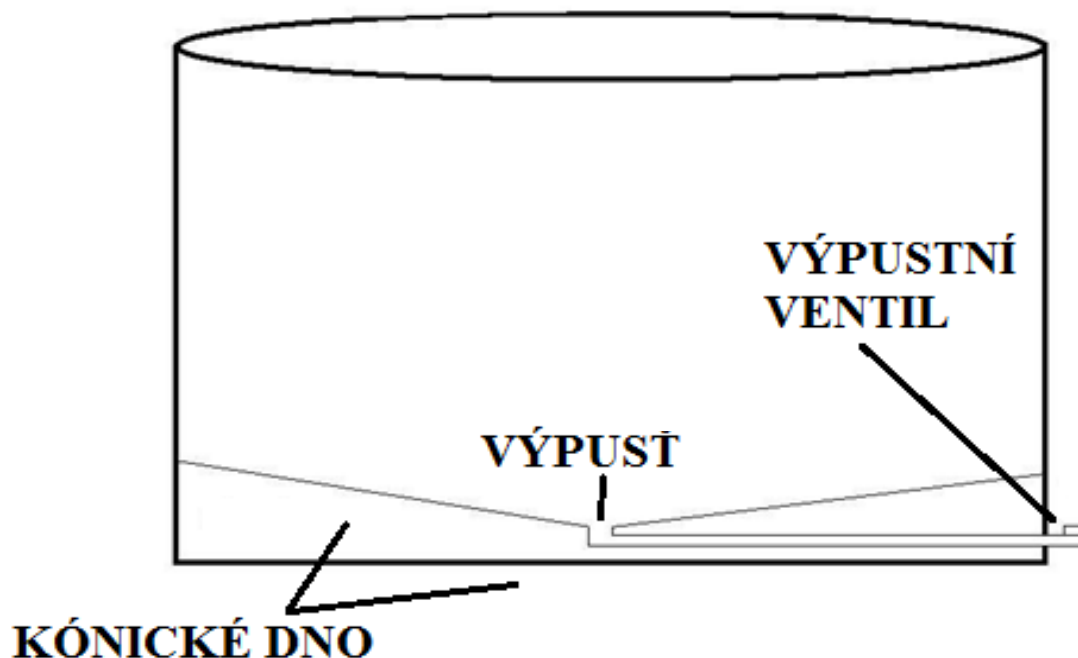
Minimalizace hromadění dusíku v BFT je možná kontrolou poměru C/N a asimilace anorganického dusíku na mikrobiální protein (Avnimelech, 2012).

3. MATERIÁL A METODIKA

3.1. Příprava experimentu

3.1.1. Odchovný systém

Celý systém se skládal z nádrže a z vortexu, který sloužil k odstraňování přebytečného množství nerozpuštěných látek v nádrži. Pro pokus byla vybrána plastová kruhová nádrž s kónickým dnem o objemu 1500 l (nádrž byla naplněna vodou o objemu 1300 l) od firmy C-Plastik, s.r.o. Kruhový tvar byl zvolen proto, aby celý objem vody byl neustále v pohybu a tím bylo zajištěno dokonalé promíchávání vody. U nádrží jiného typu a tvaru by mohlo docházet ke vzniku usazenin a anaerobních zón. Kónický tvar dna byl zvolen z důvodu snadnější manipulace s nežádoucími usazeninami, které jsme na začátku pokusu očekávali. Nádrž byla opatřena odkalovací trubicí, která vedla ze středu kónického dna a vyústovala mimo nádrž. Schéma nádrže je možné vidět na Obrázku 6. Horní část nádrže byla překryta sítí, která zamezovala vyskočení ryb z nádrže.



Obrázek 6: Nákres kruhové nádrže (autor).

K nádrži byl instalován speciální vortex vlastní výroby (Obrázek 7), který sloužil pro částečné odkalení nádrže od nerozpuštěných látek dle potřeby. Do vortexu byla pomocí čerpadla, umístěného na dně nádrže, přiváděna voda. Pomocí plastové trubky u hladiny vortexu byla čistá voda přiváděna zpět do nádrže. Ve vortexu postupně nerozpuštěné látky sedimentovaly a pomocí výpustního ventilu se celý objem nerozpuštěných látek mohl odstranit.



Obrázek 7: Odkalovací vortex vlastní výroby (foto – autor).

3.2. Zajištění chodu nádrže

Pro zajištění základního chodu nádrže bylo důležité zvolit správné vzduchování, které muselo splňovat dvě základní podmínky pro chod BFT a to:

- a) dokonalé zajištění nasycení kyslíkem v celé nádrži
- b) zajištění neustálého pohybu vody a promíchání celého vodního sloupce

V průběhu pokusu byly vyzkoušeny 4 typy aeračního zařízení.

3.2.1. Volně umístěné vzduchovací kameny

Do nádrže bylo rozmístěno 6 vzduchovacích kamenů. Jednalo se o 20 cm dlouhé kameny ve tvaru úzkého kvádru, vyrobené z jemně porézního materiálu. Vzduchovací kameny tvořily konec vzduchovacího rozvodu. Kameny byly umístěny v různých částech nádrže (Obrázek 8) a tím zajišťovaly promíchávání celého vodního sloupce.



Obrázek 8: Pohyb vody zajištěn pomocí 6 vzduchovacích kamenů (foto – autor).

3.2.2. Ukotvené vzduchovací kameny

Zařízení se skládalo z několika typů vzduchovacích kamenů.

- a) vzduchovací kameny válcového typu o průměru 18 mm
- b) vzduchovací kameny ve tvaru koule o průměru 18 mm
- c) vzduchovací kameny ve tvaru úzkého kvádru o délce 20 cm

Konstrukce byla tvořena celkově 12 vzduchovacími kameny různého typu. Všechny kameny byly spojené pomocí elektrikářských rychlospojek a připevněné k závaží (Obrázek 9). Jako závaží byla použita betonová cihla o hmotnosti 4 kg. Celé zařízení bylo umístěno do středu kónického dna nádrže.



Obrázek 9: Sestava tvořená několika typy vzduchovacích kamenů (foto – autor).

3.2.3. Avnimelechův airlift

Další z testovaných systémů byl airlift podle Avnimelecha (2012). Základní konstrukce byla vytvořena z polypropylenových trubek (PPR) o průměru 25 mm. Pomocí elektrické svářečky, tvarovek typu T a tvarovacích kolen typu 45 ° a 90 ° jsme vytvořili základní konstrukci airliftu. Na jednu stranu konstrukce byla pomocí elektrikářských rychlospojek připevněna PVC fólie o síle 0,5 mm. Na protější stranu byly připevněny 4 vzduchovací kameny kvádrového tvaru. Pro ukotvení airliftu v nádrži byla jako zátěž použita betonová cihla o váze 4 kg. Celá konstrukce byla umístěna na boční stranu nádrže.

Princip tohoto typu airliftu spočívá v tom, že bubliny tvořené vzduchovacími kameny se odráží o protější stěnu potaženou nepropustnou PVC fólií (Obrázek 10).

Odražené vzduchové bubliny tímto způsobem zajišťují rotační pohyb vody po celé nádrži.



Obrázek 10: Zkonstruovaný airlift pro zajištění aerace a pohybu vody v BFT (foto – autor).

3.2.4. Airlift vlastní konstrukce

Tento typ airliftu byl zkonstruován na bázi aeračního zařízení popsaného v kapitole 3.2.3 Pomocí PPR trubek \varnothing 25 mm, tvarovek typu koleno 90 ° a tvarovek typu T, byla svařena čtvercová konstrukce (Obrázek 11). Ke konstrukci byla přivařena jedna PPR trubka pro přívod vzduchu. Do vnitřního prostoru konstrukce byly ke každému vývodu

z tvarovek typu T nasazeny krátké kusy plastové hadice, které sloužily jako spojka. Do vzniklého prostoru mezi hadicemi byly umístěny 3 elektrická PV – U trubky o stejném průměru jako PPR trubky.

Elektrická trubky byly pomocí silné jehly perforovány hustou sítí jemných otvorů. Hustota otvorů na trubkách byla 20 otvorů na 1 cm². Otvory byly vyrobené pouze na vrchních stranách PV – U trubek. Celá konstrukce byla zatížena pomocí 4 cihel o celkové váze 4 kg.

Princip tohoto aeračního zařízení spočívá v tom, že pomocí hadice nasazené na hlavní PPR trubku je vzduch rozváděn do celé konstrukce tvořené z PPR trubek. Uvolňování vzduchových bublin je následně zajištěno pomocí 3 perforovaných elektrických PV – U trubek.



Obrázek 11: Vzduchovací zařízení umístěné na dně pokusné nádrže (foto – autor).

3.2.5. Zajištění stálé teploty vody

Pro zajištění požadované teploty vody byla do nádrže nainstalována 2 topná tělesa. Jednalo se o typ Eheim Jäger (Obrázek 12) o výkonu 300 W. Topné těleso pomocí termostatu zajišťovalo konstantní teplotu vody v celé nádrži. Teplota vody v nádrži byla udržována v rozmezí 24 – 26 °C.



Obrázek 12: Topné těleso Eheim Jäger o výkonu 300 W (foto – autor).

3.3. Pokusné ryby

Pro pokus byly použity tlamouni nilští z chovu v Tisové u Sokolova (Rybářství Mariánské lázně s.r.o.). Jednalo se o 150 kusů ryb o průměrné hmotnosti 250 g (Obrázek 13). Po celý průběh experimentu byly ryby krmeny stejným krmivem.



Obrázek 13: Tilapie určené pro pokus (foto – autor).

3.4. Krmivo použité v průběhu pokusu

Po celý průběh pokusu bylo použito extrudované krmivo (Obrázek 14), určené pro kaprovité ryby. Krmivo bylo vyrobeno firmou TROPE, a.s. Toto krmivo bylo využíváno jako startovní organická hmota pro prvotní tvorbu bakterií a pro krmení ryb v jednotlivých fázích pokusu. Celkové složení nutričních a minerálních látek, vitaminů a aminokyselin v použitém krmivu je uvedeno v tabulkách 5, 6, 7 a 8.

Tabulka 5: Živinné zastoupení (g) v krmivu použitém v průběhu celého pokusu.

ZÁKLADNÍ ŽIVINOVÉ SLOŽENÍ V 1 KG KRMIVA (g)	
N – látky	360,1
Tuk	71,6
Vláknina	18,4
Škrob	131,9
Popel	69,7

Tabulka 6: Zastoupení minerálních látek (g, mg) v krmivu použitém v průběhu celého pokusu.

ZASTOUPENÍ MINERÁLNÍCH LÁTEK V 1 KG KRMIVA			
Vápník (g)	10,0	Mangan (g)	74,8
Fosfor (g)	11,2	Zinek (g)	91,2
Sodík (g)	2,8	Měď (g)	9,6
Draslík (g)	9,2	Jód (mg)	0,9
Hořčík (g)	2,4	Selen (mg)	0,7
Železo (g)	138,4	Kobalt (mg)	1,2

Tabulka 7: Zastoupení vitamínů (g, mj) v krmivu použitém v průběhu celého pokusu.

ZASTOUPENÍ VITAMÍNŮ V 1 KG KRMIVA			
vit. A (mj)	14 970,1	biotin (mg)	2,1
vit. D (mj)	2 495,0	k. listová (mg)	3,2
tokofel (mg)	94,6	niacin (mg)	87,8
thiamin (mg)	13,1	k. pantoten (mg)	33,3
riboflavin (mg)	23,2	cholin (mg)	2 485,4
pyridoxin (mg)	9,2	vit. C (mg)	187,1

Tabulka 8: Zastoupení aminokyselin (g) v krmivu použitém v průběhu celého pokusu.

ZASTOUPENÍ AMINOKYSELIN V 1 KG KRMIVA (g)			
lysin	24,2	histidin	7,9
metionin	9,8	isoleucin	15,4
treonin	14,6	leucin	25,7
tryptofan	3,3	fenylalanin	14,4
arginin	21,3	valin	18,6



Obrázek 14: Krmivo použité v pokusu (foto – autor).

3.5. Průběh pokusu

Pro všechny fáze pokusu bylo nutné vytvořit vhodné podmínky pro rozvoj nitrifikačních bakterií. Po napuštění pitnou vodou byla do nádrže umístěna 2 topná tělesa, která vodu v nádrži vytemperovala na požadovaných 25 °C. Dále bylo instalováno aerační zařízení, které zajišťovalo nasycení vody kyslíkem v potřebné průměrné denní koncentraci $6 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$. Vzduchovací zařízení zároveň zajišťovalo promíchávání vodního sloupce.

Do nádrže byly aplikovány krmné pelety v množství 1 kg. Krmivo sloužilo jako startovací organická hmota pro rozvoj bakterií. Pro podporu růstu bakterií byly použity znečištěné molitanové filtry, které byly v nádrži vyprány. Takto připravená nádrž se nechala 10 dní bez zásahů, než začala první fáze pokusu.

3.5.1. Testování vzduchovacího zařízení

Tato fáze probíhala po celou dobu experimentu. Byly testovány 4 různé typy vzduchovacího zařízení určené k zajištění míchání a prokysličování vody v nádrži. Hlavní parametry pro výběr nejvhodnějšího zařízení byly:

- a) zajištění nasycení vody kyslíkem o průměrné koncentraci $6 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$
- b) zajištění dokonalého promíchávání celého vodního sloupce
- c) snadná manipulace při přelovení nádrže
- d) odolnost vůči destrukci

3.5.2. FÁZE A – Nedostatečně rozvinutý BFT systém

Po vytvoření počátečních podmínek pro rozvoj bakterií byly do nádrže umístěny ryby o celkové hmotnosti 30 kg. Ryby byly krmeny 2 × denně. Denní krmná dávka byla 1,5 % z aktuální biomasy ryb v nádrži. Množství aplikované mouky jako zdroje karbohydrátů bylo v první polovině fáze A 50g týdně. V druhé polovině bylo množství aplikované mouky 200 g týdně.

Měření koncentrace kyslíku, hodnoty pH a teploty bylo prováděno 2 × denně. První měření probíhalo v 8:00 a druhé v 17:00. Každý den byl zajišťován obsah amoniaku a dusitanů. Pokud se koncentrace amoniaku nebo dusitanů pohybovala u kritické

hranice pro přežití ryb, byla provedena částečná výměna vody. Pokud byla koncentrace dusitanů $> 5 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$, byl aplikován chlorid sodný (NaCl) v dávce 1 kg na 1300 l, aby se zabránilo otravě ryb. Měření obsahu nerozpuštěných látek bylo prováděno $3 \times$ týdně.

3.5.3. FÁZE B – Dostatečně rozvinutý BFT systém

Při této fázi byl již systém správně fungující. Do nádrže byly nasazeny ryby o celkové hmotnosti 35 kg. Monitoring kyslíku, pH, teploty, amoniaku a dusitanů byl prováděn stejným způsobem a se stejnou frekvencí jako u fáze A. V průběhu každého týdne bylo do systému aplikováno 500 g mouky. Měření nerozpuštěných látek bylo prováděno $3 \times$ týdně. Kontrola a přelovení nádrže byly prováděny každý měsíc.

3.6. Monitoring pokusu

V průběhu pokusu byl prováděn pravidelný monitoring parametrů kvality vody důležitých pro chod BFT (koncentrace kyslíku, teplota, pH, koncentrace amoniakálního dusíku, dusitanů a množství nerozpuštěných látek).

3.6.1. Měření koncentrace kyslíku, teploty a hodnoty pH

Měření těchto základních parametrů vody bylo prováděno $2 \times$ denně. Všechny parametry byly měřeny pomocí digitálního dvoukanálového multimetru Hach HQ40d (Obrázek 15).



Obrázek 15: Digitální dvoukanálový multimetr Hach HQ40d (foto – autor)

3.6.2. Stanovení koncentrace amoniakálního dusíku a dusitanů

Pro potřebu rychlého stanovení obsahu amoniaku, dusitanů a dusičnanů byla využívána sestava testů od firmy SERA CZ, s.r.o (Obrázek 16). Byly používány testy pro určení obsahu $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ a NO_2^- . Pomocí těchto rychlých a nenáročných testů bylo možné během 15 minut zjistit obsah amonných iontů a dusitanů ve vodě. Měření bylo prováděno každý den.



Obrázek 16: Sada testů pro zjištění množství amoniakálních iontů (foto – autor).

Přesnější stanovení koncentrace celkového amoniakálního dusíku bylo provedeno spektrofotometrickou metodou za použití Nesslerova činidla. Pro stanovení byl použit spektrofotometr Spectronic Genesys 20 (MERCK, Darmstadt, Německo). Vzorky vody odebrané z nádrže byly nejprve přefiltrovány. Následně byla u každého vzorku pomocí spektrofotometru při absorpční vlně 412 nm vytvořena koncentrační řada. K 50 ml ze zbylého filtrátu byly přidány za stálého promíchávání nejprve 2 kapky Seignettovy soli a poté 1 ml Nesslerova činidla. Po 10 minutách byla změřena absorbance.

3.6.2.1. Snížení koncentrace amoniakálního dusíku pomocí karbohydrátů

Test pro zjištění rychlosti reakce systému pro snížení koncentrace celkového amoniakálního dusíku byl proveden přímo v nádrži BFT. Při naměření vysoké hodnoty $N-NH_4^+$ byla do nádrže aplikována mouka o celkovém množství 1 kg na 1300 l vody. Každou hodinu bylo prováděno měření koncentrace amoniakálního dusíku. Demonstraci účinku použití karbohydrátů v BFT pro snížení celkového amoniakálního dusíku je možné sledovat v Grafu 2.

3.6.3. Měření obsahu nerozpuštěných látek

Pro kontrolu množství nerozpuštěných látek a tím i zjišťování přítomnosti vloček v nádrži byl využíván Imhoffův kónus, který je přímo určen pro stanovení množství nerozpuštěných látek ve vodě.

Imhoffův kónus (Obrázek 17) byl umístěn do stojanu. Do kónusu byla nalita testovaná voda z nádrže v množství 1 litr. Voda byla ponechána po dobu 15 – 20 minut bez jakékoliv manipulace, aby nerozpuštěné látky mohly sedimentovat na dno kónusu. Po uplynulé době bylo podle rysky možné odečíst koncentraci nerozpuštěných látek v nádrži ($\text{ml} \times \text{l}^{-1}$). Pro porovnání s doporučenou koncentrací 200 – 500 $\text{mg} \times \text{l}^{-1}$ (Avnimelech, 2012) byl vzorek vody v množství 1 l nejprve sedimentován v kónusu. Po 20 minutách bylo množství usazených látek přefiltrováno přes filtrační papír. Z mokrého vzorku byla získána sušina (g) a tím bylo i stanoveno množství nerozpuštěných látek v $\text{mg} \times \text{l}^{-1}$. Pro rychlejší měření bez filtrace bylo stanoveno, že množství nerozpuštěných látek o koncentraci 200 $\text{ml} \times \text{l}^{-1}$ odpovídá množství 293 $\text{mg} \times \text{l}^{-1}$. Proto byla hodnota pro požadované množství nerozpuštěných látek pro BFT stanovena v rozmezí 136 – 341 $\text{ml} \times \text{l}^{-1}$ což odpovídalo doporučenému množství 200 – 500 $\text{mg} \times \text{l}^{-1}$.



Obrázek 17: Imhoffův kónus ve stojanu (foto – autor).

3.6.4. Technologické zásahy

Pokud koncentrace kyslíku klesla pod $3 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$, bylo nutné provést některá opatření.

- a) zastavení krmení minimálně na 1 den
- b) kontrola popřípadě výměna aeračního zařízení
- c) částečná výměna vody

Pro úpravu pH byl používán hydrogenuhličitan sodný (NaHCO_3). Pro zvýšení hodnoty pH o 0,4 bylo přidáno 250 g hydrogenuhličitanu sodného na celý objem nádrže (1300 l). Pokud byla hodnota $\text{pH} > 8$, byla provedena výměna části vody v nádrži (cca 1/3). Pokud koncentrace amoniaku nebo dusitanů překročila stanovené hodnoty určené pro chov tilapií v BFT, bylo zastaveno krmení a byla provedena částečná výměna vody.

3.6.5. Přelovení a vážení ryb

Pro pravidelnou kontrolu stavu ryb bylo každý měsíc provedeno přelovení celé nádrže. Voda z nádrže byla pomocí čerpadla odčerpána do 3 plastových kádí o objemu 300 l. Bylo provedeno vážení ryb (Obrázek 19), kontrola aeračního zařízení a celkové očištění nádrže.

Ryby byly váženy jednotlivě na váze Kern FCB (Obrázek 18) s přesností 0,1 g. Hmotnostní údaje byly zaznamenány do tabulky a byla zjištěna celková biomasa obsádky.



Obrázek 18: Váha KERN FCB používaná k vážení ryb v průběhu experimentu (foto – autor).



Obrázek 19: Vážení a zapisování hmotnosti jednotlivých ryb (foto – autor).

3.7. Odběr vzorků a analytické metody

3.7.1 Odběr vzorků z bioflocu

Pro analýzu živinového zastoupení v bioflocu byl použit vzorek vody v množství 15 l odebraný z pokusné nádrže. Celý tento objem byl postupně v množství 1 l sedimentován v kónusu. Po usazení byla přebytečná voda odlita a zbylý vzorek kalu byl přefiltrován. Byl použit filtrační papír značky Filpap, KA 2/M pro rychlou filtraci, zachycující částice nad 8 μ m. Vzorek kalu byl z povrchu filtračního papíru odebrán pomocí lžice a umístěn do zkumavky. Stejný metodický postup byl proveden při odběru vzorku pro analýzu přítomnosti těžkých kovů v 4,45 g sušiny z 15 l vody v nádrži.

3.7.2. Odběr vzorků z ryb

Pro analýzu obsahu tuku a mastných kyselin ve svalovině ryb byly na konci pokusu vyloveny 3 kusy tilapií ($T_1= 614$ g, $T_2= 403$ g, $T_3= 330$ g). Ryby byly usmrceny a zfiletovány. Celý filet byl homogenizován a ze získaného homogenátu byl odebrán reprezentativní vzorek svaloviny obsahující všechny partie těla lišící se obsahem a složením tuku (Mráz a kol. 2009).

3.7.3. Analytické metody

Extrakce lipidů ze vzorků svaloviny a jejich obsah byl stanoven podle Hary a Radina (1978). Z celkového lipidu byly připraveny metylestery mastných kyselin podle Appelqvista (1968). Kompozice mastných kyselin byla stanovena pomocí plynového chromatografu (Trace Ultra FID, Thermo Scientific). Jednotlivé peaky byly určeny porovnáním se standardem GLC-68D a dalšími.

Živinové složení ve vzorku bioflocu a v krmivu bylo stanoveno metodami:

SOP č. 26 (gravimetrie)

SOP č. 25a (gravimetrie)

SOP č. 23 (Kjeldahl)

SOP č. 85 (výpočet z analýz)

ČSN EN ISO 6865

SOP č. 21c (gravimetrie)

SOP č. 35

Přítomnost těžkých kovů ve vzorcích bioflocu, krmení a svaloviny ryb byla stanovena metodami:

SOP č. 40

SOP č. 38-3

SOP č. 38-2

SOP č. 23

Všechny výsledky byly zpracovány v programu Microsoft Excel 2010. Veškerá data jsou prezentována jako průměr \pm směrodatná odchylka.

4. VÝSLEDKY

4.1. Funkčnost vzduchovacího zařízení

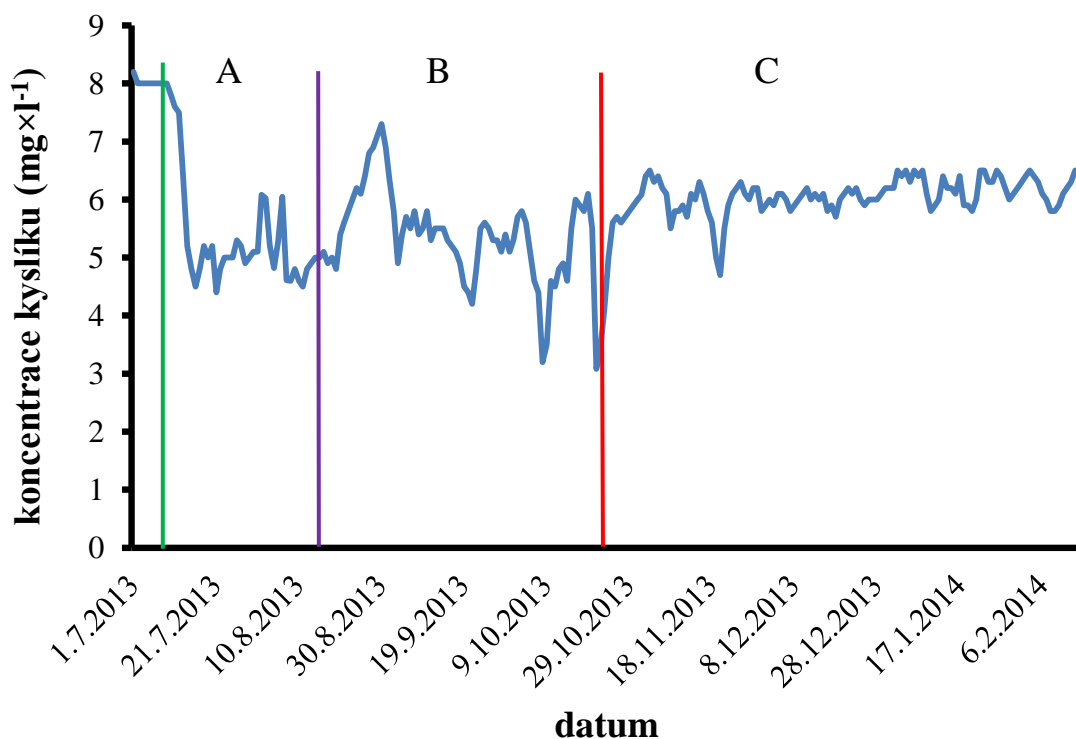
Byly využity celkem 4 typy vzduchovacího zařízení. Promíchávání celého vodního sloupce bylo bez obtíží zajištěno zařízeními typu volně umístěné vzduchovací kameny, ukotvené vzduchovací kameny a airlift vlastní konstrukce. Dostatečné prokysličení vody bylo zabezpečeno opět všemi typy vzduchovacích zařízení. Nežádoucí anaerobní zóny byly zcela eliminovány typem airlift vlastní konstrukce. V Tabulce 9 je možné sledovat další funkční výhody a nevýhody různých typů vzduchovacích zařízení použitých v průběhu celého pokusu.

Tabulka 9: Srovnání všech typů vzduchovacího zařízení použitých v pokusu.

TYP VZDUCHOVACÍHO ZAŘÍZENÍ	<i>Volně umístěné vzduchovací kameny</i>	<i>Ukotvené vzduchovací kameny</i>	<i>Avnimelechův airlift</i>	<i>Airlift vlastní konstrukce</i>
CENA (Kč)	300	300	1200	800
ČASOVÁ NÁROČNOST VÝROBY	20 minut	60 minut	3 hodiny	2 hodiny
ZAJIŠTĚNÍ PROMÍCHÁVÁNÍ VODNÍHO SLOUPCE	50 %	90 %	0 %	90 %
VZNIK ANAEROBNÍCH ZÓN	20 %	10 %	90 %	0 %
PROKYSLIČENÍ VODY	90 %	80 %	80 %	100 %
MANIPULACE PŘI LOVENÍ RYB	100 %	10 %	100 %	90 %
ODOLNOST VŮČI DESTRUKCI	dostačující	nedostačující	výborná	výborná

4.1.1. Vliv vzduchovacích zařízení na koncentraci kyslíku

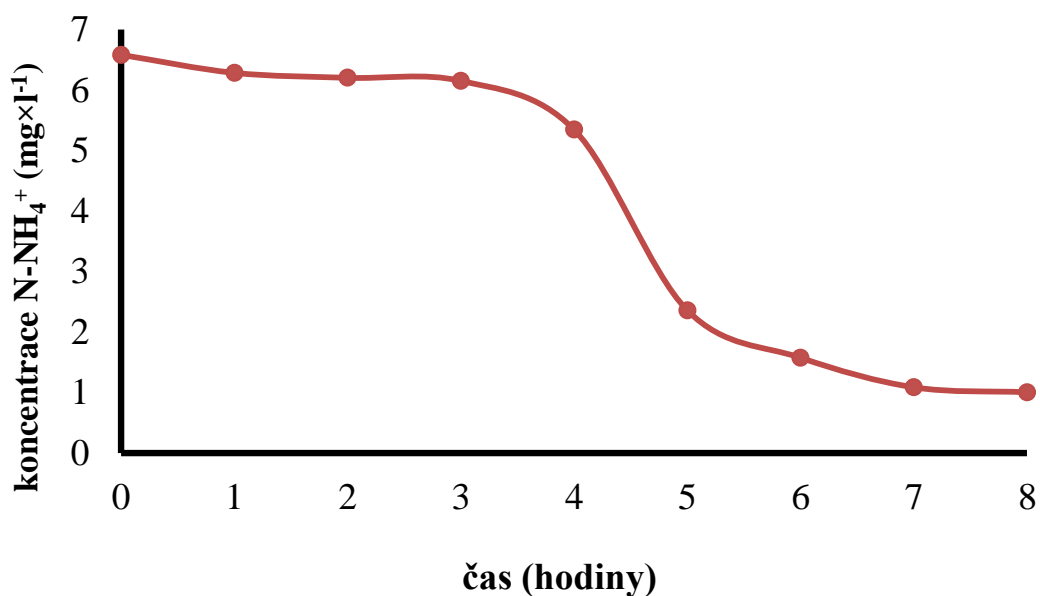
Různé typy vzduchovacích zařízení A (volně umístěné vzduchovací kameny), B (ukotvené vzduchovací kameny) a C (airlift vlastní konstrukce) ovlivňovaly koncentraci kyslíku v průběhu jednotlivých fází. V grafu 1 je možné pozorovat výkyvy hodnot koncentrace kyslíku při použití určitého typu aeračního zařízení. Hodnota koncentrace kyslíku při využití typu A se pohybovala v rozmezí 4,4 – 6,1 $\text{mg}\times\text{l}^{-1}$. Při použití zařízení typu B docházelo k velkým výkyvům hodnot. Koncentrace kyslíku se pohybovala v rozmezí 3,2 – 7,1 $\text{mg}\times\text{l}^{-1}$. Při použití typu C docházelo k minimálním výkyvům a koncentrace se pohybovala na průměrné hodnotě 6 $\text{mg}\times\text{l}^{-1}$.



Graf 1: Křivka koncentrace kyslíku ($\text{mg}\times\text{l}^{-1}$) v průběhu celého pokusu. Graf je rozdělen na 3 fáze, při kterých byly využívány různé typy vzduchovacího zařízení. A (volně umístěné vzduchovací kameny), B (ukotvené vzduchovací kameny) a C (airlift vlastní konstrukce).

4.2. Vliv karbohydrátů na snížení koncentrace N-NH₄⁺

Rychlost reakce systému při aplikaci karbohydrátů na snížení koncentrace celkového amoniakálního dusíku byla zjištěna jednoduchým pokusem. Při naměření vysoké koncentrace N-NH₄⁺ byla do nádrže aplikována mouka v množství 1 kg. Měření koncentrace bylo prováděno každou hodinu. Demonstraci účinku karbohydrátů v BFT pro snížení celkového amoniakálního dusíku je možné sledovat v Grafu 2. Křivka znázorňuje pokles koncentrace za dobu 8 hodin. Nejvyšší hodnota 6 mg×l⁻¹ je v čase 0. Po 5 hodinách je možné pozorovat rychlé snížení koncentrace na hodnotu 2 mg×l⁻¹. Po 8 hodinách pokusu je koncentrace celkového amoniakálního dusíku snížena na hodnotu 1 mg×l⁻¹.



Graf 2: Křivka poklesu koncentrace celkového amoniakálního dusíku (mg×l⁻¹) za dobu 8 hodin po přidání karbohydrátů.

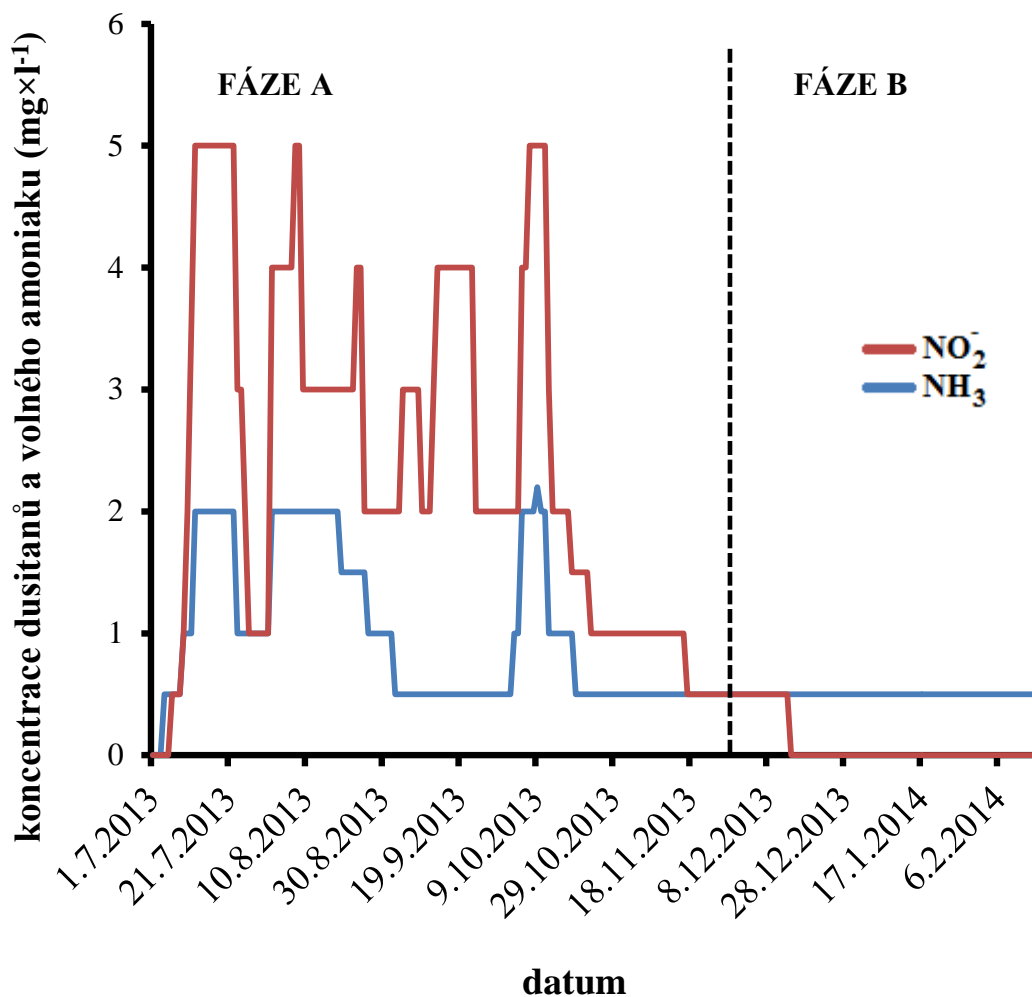
4.3. Monitoring fyzikálně-chemických vlastností vody

4.3.1. Monitoring koncentrace volného amoniaku a dusitanů

Křivky koncentrace volného amoniaku a dusitanů v Grafu 3 jsou rozdělené do 2 fází. Fáze A znázorňuje křivky koncentrací v nedostatečně vyvinutém systému. Koncentrace dusitanů dosahují v některých případech ve fázi A příliš vysokých hodnot

($5 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$), které mohou být pro ryby smrtelné. V průběhu fáze B je možné sledovat postupné snižování koncentrace dusitanů až na nedetekovatelnou hodnotu.

Křivka koncentrace volného amoniaku ve fázi A vykazuje značné výkyvy v hodnotách koncentrací. V přechodu mezi fází A a fází B docházelo k postupnému snižování koncentrace až na průměrnou hodnotu $0,5 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$.

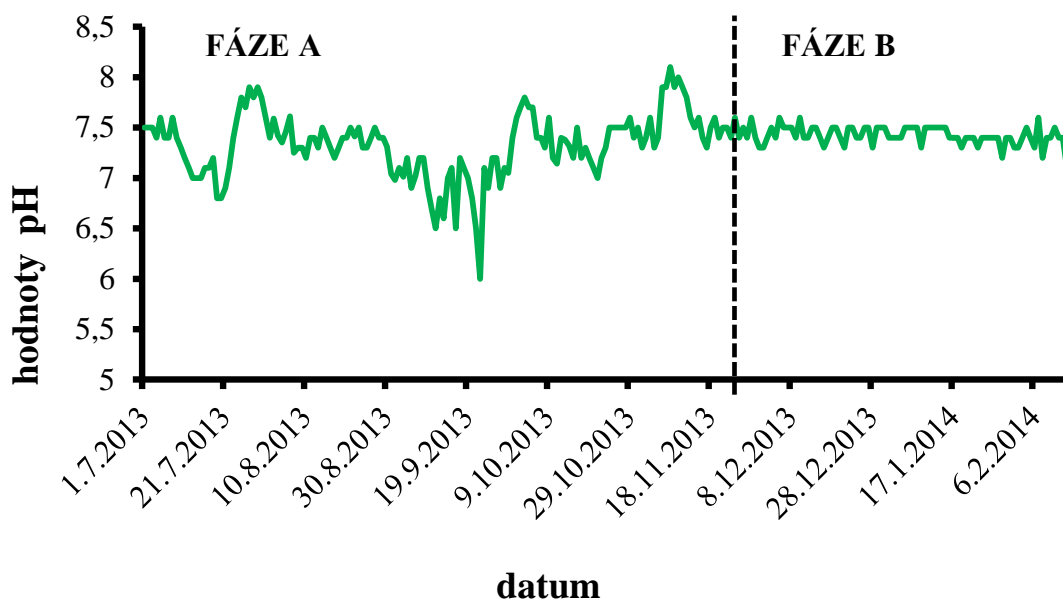


Graf 3: Křivky koncentrací dusitanů NO_2^- a volného amoniaku NH_3 v $\text{mg} \times \text{l}^{-1}$ v průběhu celého pokusu. Hodnota koncentrace je výsledkem jednodenního měření ($n=1$).

4.3.2. Monitoring změn hodnot pH

Křivka hodnot pH v průběhu celého pokusu je v Grafu 4 opět rozdělena do dvou fází. Fáze A (nedostatečně vyvinutý systém) a fáze B (dostatečně vyvinutý systém). Hodnoty $\text{pH} < 7$ se vyskytovaly pouze ve fázi A. Ve fázi B je možné sledovat ustálenou

hodnotu pH na průměrných 7,5. Po celou dobu experimentu nebyla zaznamenána neúměrně vysoká hodnota $\text{pH} > 8,5$.



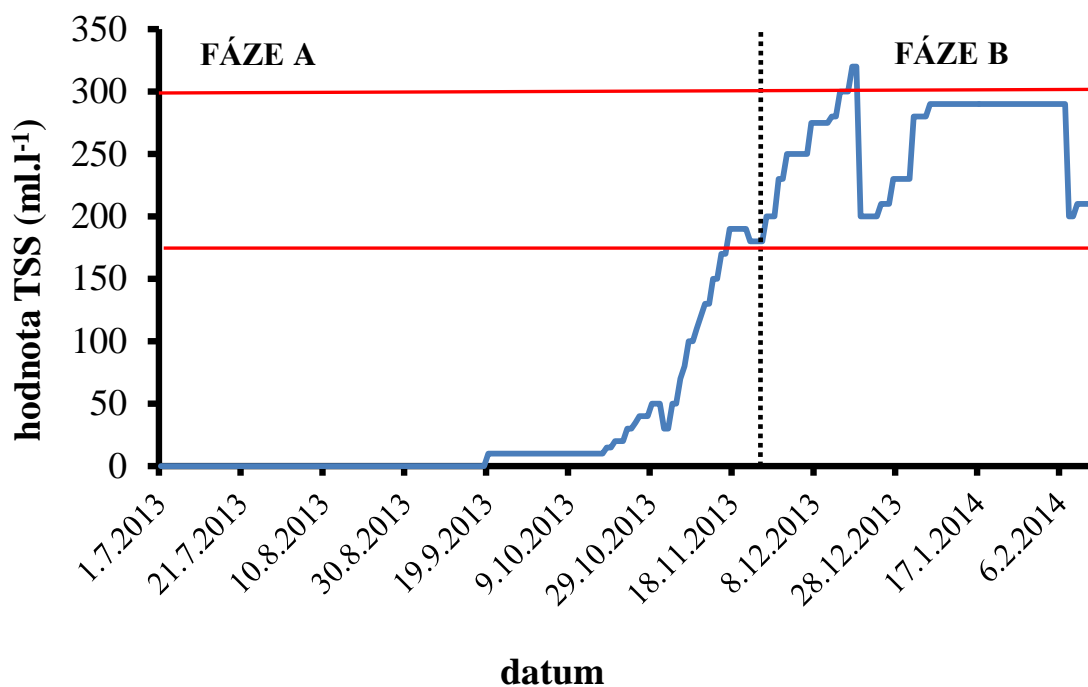
Graf 4: Křivka vyznačující hodnoty pH v průběhu celého pokusu. Hodnota pH je průměr denního měření ($n=2$).

4.3.3. Monitoring nerozpuštěných látek

Křivka množství nerozpuštěných látek (TSS) v Grafu 5 je rozdělena na dvě fáze. Zvyšování hodnoty TSS vlivem aplikace většího množství mouky je možné sledovat v druhé polovině fáze A ($20 - 180 \text{ ml} \times \text{l}^{-1}$). Ve fázi B je možné sledovat průměrnou hodnotu TSS ($200 \text{ ml} \times \text{l}^{-1}$), která odpovídá funkčnímu BFT. Výkyvy hodnot TSS byly způsobeny částečnou výměnou vody v nádrži.

4.3.4. Teplota vody

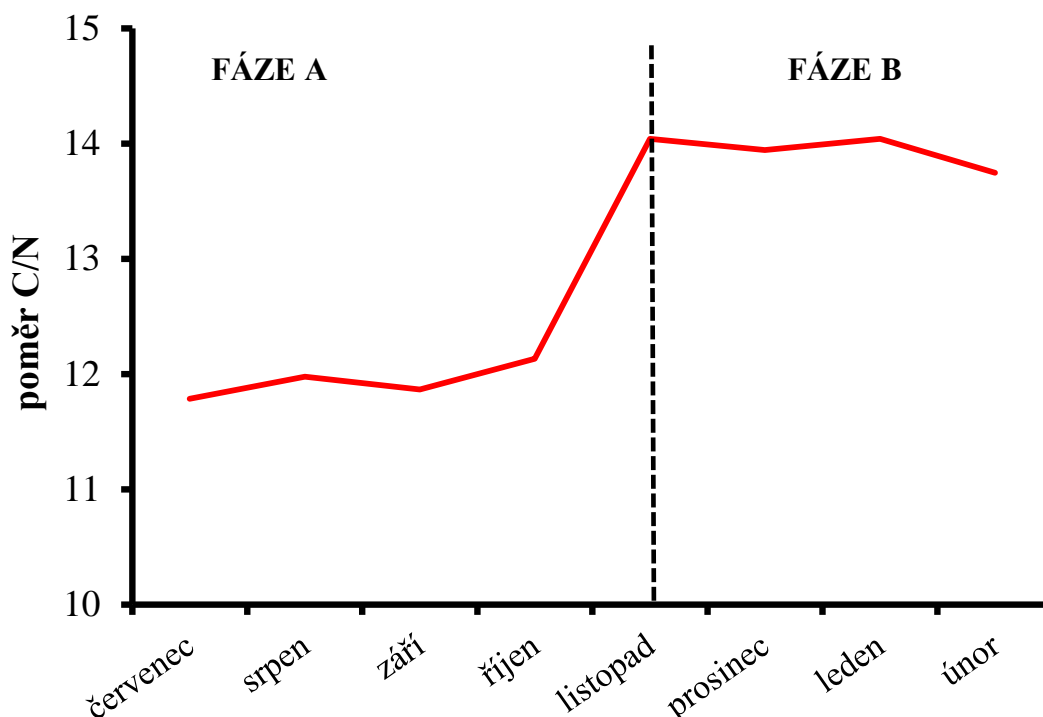
Teplota vody v nádrži se po celou dobu pokusu pohybovala v rozmezí $24 - 26 \text{ }^\circ\text{C}$. Tepelné zařízení zajišťovalo potřebnou teplotu vody. Díky umístění pokusné nádrže v akvarijní místnosti, nedocházelo k vysokým výkyvům teploty vody.



Graf 5: Křivka růstu množství nerozpuštěných látek (TSS) v ml.l^{-1} v průběhu pokusu. Červené čáry označují doporučené minimální a maximální množství TSS, pro systém biofloc. Hodnota koncentrace TSS je výsledkem denního měření ($n=1$).

4.4. Poměr C/N

Na základě množství použitého krmiva za měsíc, které obsahovalo 39 % proteinu a množství přidávané mouky, byl pomocí výpočtu zjištěn poměr C/N pro určitý měsíc. V Grafu 6 je možné pozorovat křivku vzrůstající hodnoty poměru C/N průběhu jednotlivých fází fungování systému.



Graf 6: Křivka znázorňující hodnotu poměru C/N. Graf je rozdělen na fáze A (nedostatečně rozvinutý systém) a B (plně rozvinutý systém). Hodnota poměru C/N je průměrem pro daný měsíc, vypočtena na základě množství aplikovaného krmiva a mouky.

4.5. Produkční výsledky

Výsledky obou fází se nejvíce lišily v mortalitě (Tabulka 10). Během fáze A docházelo k vysoké mortalitě. Při kontrole obsádky v polovině fáze A bylo pozorováno tmavé zabarvení na žábrách ryb v nádrži. Ve fázi dostatečně vyvinutého systému byla zaznamenána nízká mortalita. Ve fázi A byl zaznamenán nízký kusový přírůstek a vysoká hodnota FCR.

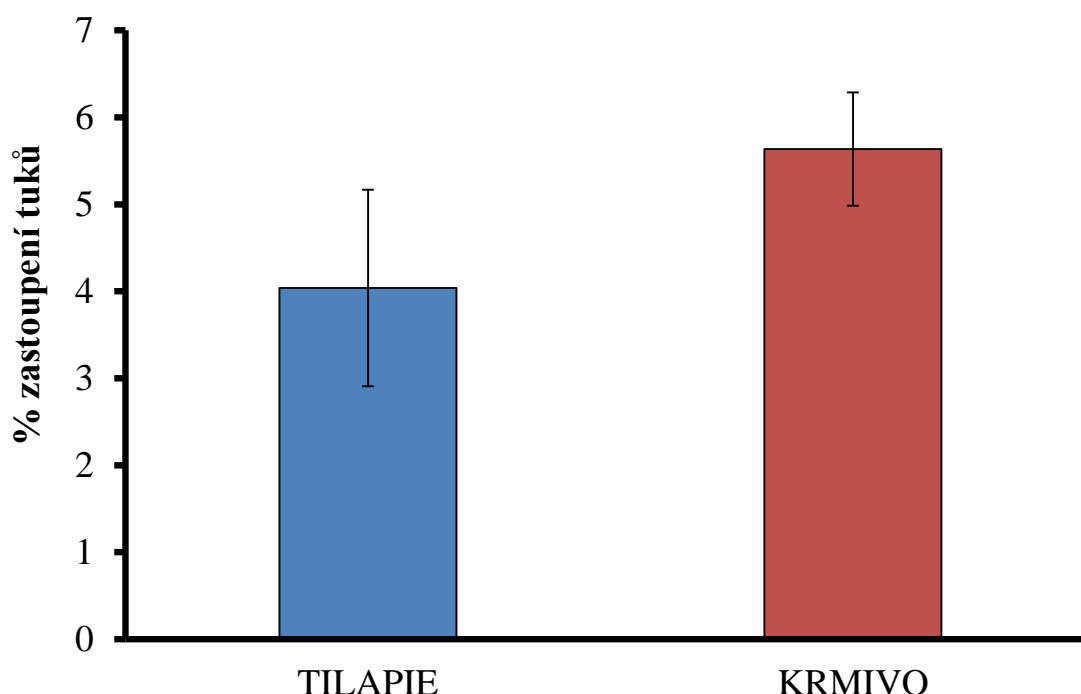
Tabulka 10: Porovnání produkčních výsledků fáze s nedostatečně vyvinutým biofloc systémem s fází s vyvinutým systémem.

	FÁZE A (149 dnů)	FÁZE B (81 dnů)
Počáteční hmotnost (kg)	31	35
Konečná hmotnost (kg)	34,5	49,5
Kusový přírůstek (g)	46	196
FCR	5,6	1,46
Mortalita (%)	15,6	2,6

4.6. Živinové složení

4.6.1. Porovnání obsahu tuku ve svalovině tilapie nilské a krmiva

Obsah tuku ve svalovině ryb byl analyzován při kontrolním odlovu třech kusů ryb. Odlov byl proveden na konci pokusu. Analýza obsahu tuku byla také provedena na vzorku používaného krmiva. V Grafu 7 jsou zaznamenány hodnoty obsahu tuku tilapie a krmiva. Obsah tuku ve svalovině tilapie nilské byl 4 %. Obsah tuku v použitém krmivu je 5,6 %.

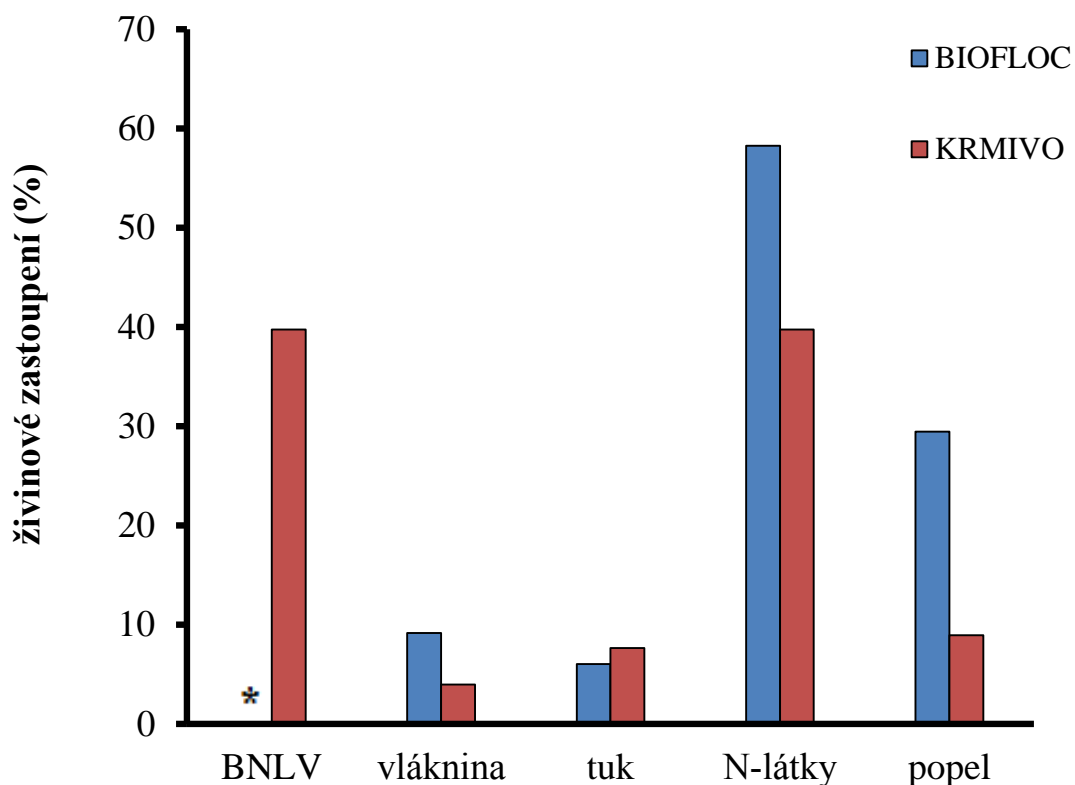


Graf 7: Obsah tuku (%) ve filetu ryb na konci pokusu a obsah tuku v krmivu použitého po celou dobu pokusu. Vynesené hodnoty u tilapie nilské jsou průměrem ± směrodatná odchylka (n=3). Hodnoty pro krmivo jsou průměrem ± směrodatná odchylka (n=2).

4.6.2. Živinové složení bioflocu a krmiva

Porovnání zastoupení živin bioflocu a krmiva znázorňuje Graf 8. Obsah dusíkatých látek v bioflocu je vyšší (58 %) než obsah dusíkatých látek v krmivu (39 %). Obsah BNLV v krmivu mnohonásobně převyšuje obsah BNLV v bioflocu. Po přepočtu na aktuální množství při koncentraci TSS ($200 \text{ ml} \times 1^{-1}$) bylo získáno 223,6 g N-látek

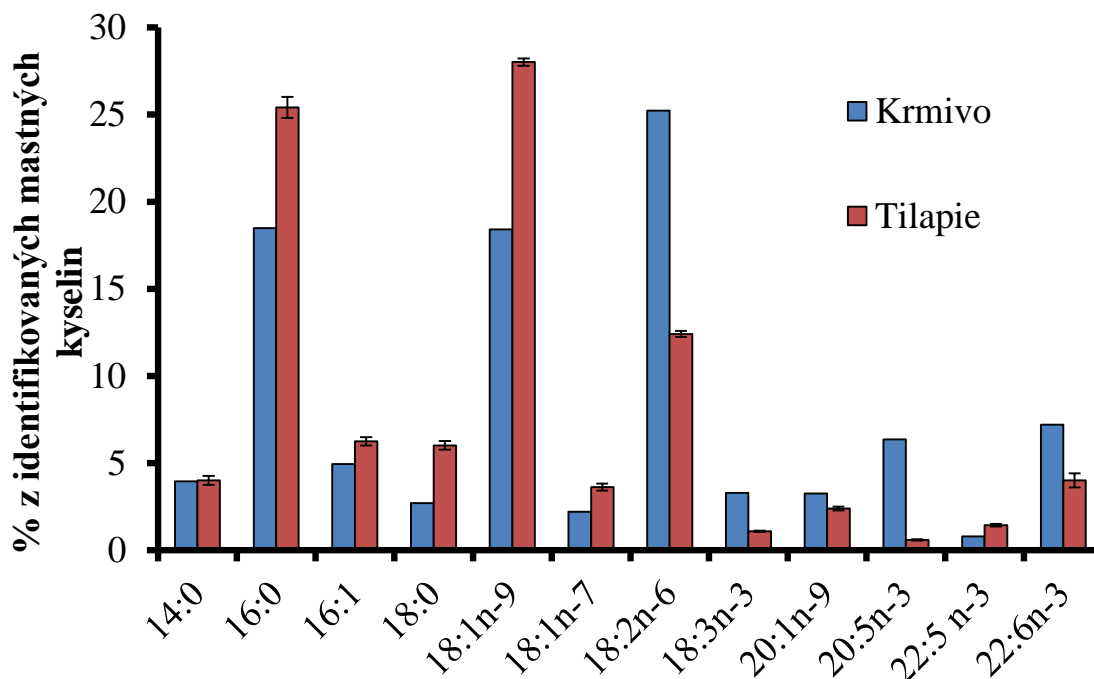
a 23 g tuku pro celou nádrž. Krmivo v množství 300 g přidané do systému obsahovalo 67 g (N-látek) a 7 g tuku.



Graf 8: Porovnání zastoupení živin (%) vzorku bioflocu a krmivu v sušině. Hodnota živinové složky označené * byla pod mezi detekovatelnosti.

4.7. Kompozice mastných kyselin tilapie nilské a krmiva

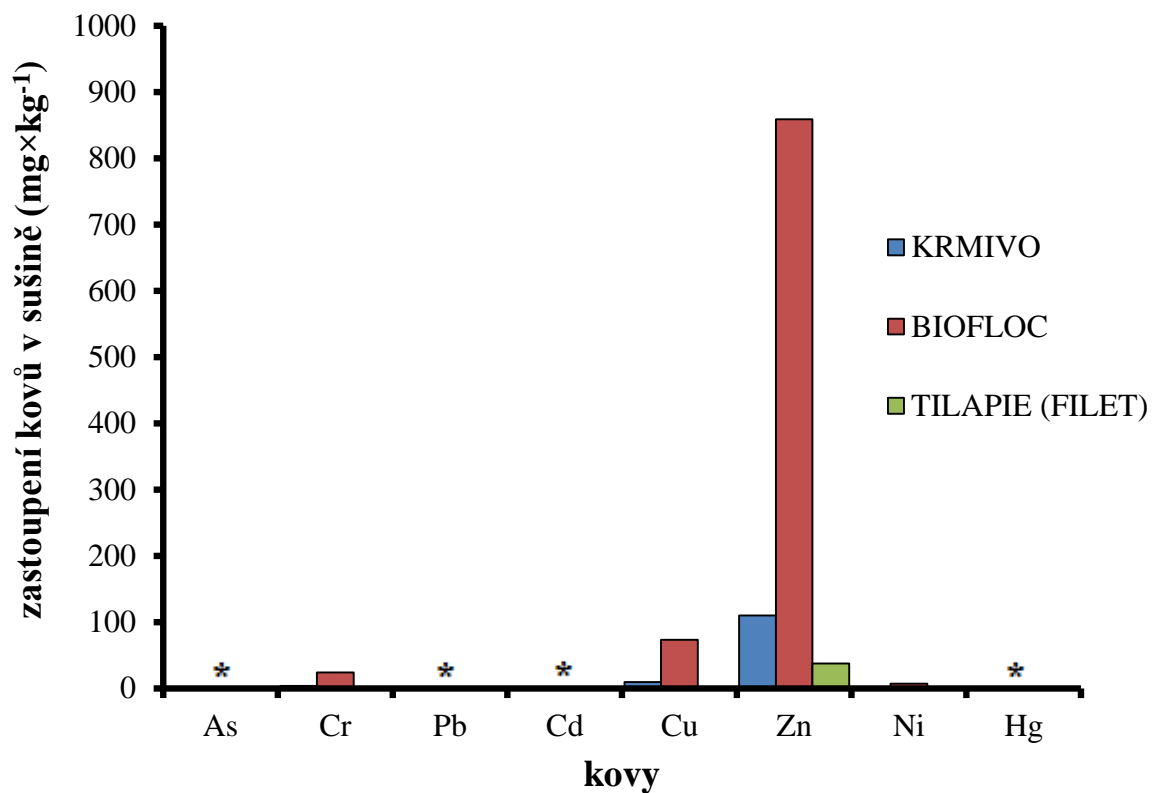
Pro analýzu mastných kyselin byly použity stejné vzorky svaloviny a krmiva jako pro analýzu obsahu tuku. Graf 9 znázorňuje zastoupení jednotlivých mastných kyselin vyskytujících se ve vzorku ryb odebraných na konci experimentu v porovnání s použitým krmivem. Ve vzorku svaloviny tilapie převažovaly v % zastoupení kyseliny palmitová (16:0), palmitolejová (16:1), stearová (18:0), olejová (18:1n-9), vaccenová (18:1n-7) a dokosapentaenová (22:5n-3). V krmivu naopak převažovaly kyseliny linolová (18:2n-6), alfa-linolenová (18:3n-3), eikosenová (20:1n-9), eikosapentaenová (20:5n-3) a dokosahexaenová (22:6n-3).



Graf 9: Zastoupení mastných kyselin (%) ve svalovině ryb (tilapie nilské) odebraných na konci pokusu v porovnání se zastoupením mastných kyselin v krmivu. Vynesené hodnoty jsou průměrem \pm směrodatná odchylka (n=3).

4.8. Zastoupení kovů

Arsen, olovo, kadmium a rtuť nevykazovaly v žádném vzorku hodnoty vyšší než $1 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ (Graf 10). Chrom a nikl byly zastoupeny pouze u vzorku bioflocu. Zastoupení mědi bylo prokázáno pouze ve vzorcích bioflocu a krmiva. Zinek měl nejvyšší hodnoty v zastoupení u všech vzorků. Nejvyšší koncentrace zinku byla naměřena u vzorku bioflocu ($859 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$).



Graf 10: Porovnání zastoupení kovů v $\text{mg} \times \text{l}^{-1}$ odebraných ze vzorků krmiva, bioflocu a svaloviny tilapie nilské. Hodnoty označené * byly pod mezí detekovatelnosti.

5. DISKUZE

5.1. Funkčnost a využití vzduchovacího zařízení

Jako první aerační zařízení byl použit airlift, zkonstruovaný podle Avnimelecha (2012). Při umístění do nádrže s vodou a následném zapojení byla zjištěna 100% účinnost na prokysličení vody. Nedostačující funkce byla zaznamenána v zajištění promíchávání sloupce. Vzduchové bubliny i přes odražení od plastové fólie nedosáhly potřebné rychlosti a síly pro rozpořívání celého vodního sloupce. Avnimelechův airlift byl po 2 dnech odstraněn z nádrže.

Každý typ vzduchovacího zařízení vykazoval v průběhu pokusu různé výhody a nevýhody. Typ zařízení - volně umístěné vzduchovací kameny, vykazoval v průběhu svého použití 90 % účinnost na prokysličení vody. Vlivem volně umístěných vzduchovacích kamenů nebylo zajištěno promíchávání vodního sloupce (50 %). Tento problém vedl ke vznikům anaerobních zón a následného úhynu ryb. Při používání vzduchovacího zařízení A nemohly být splněny podmínky pro chod BFT.

Vzduchovací zařízení – ukotvené vzduchovací kameny, které nahradilo nevyhovující zařízení – volně umístěné vzduchovací kameny, zajišťovalo po celou dobu svého používání dostatečné prokysličení vody a díky upevnění na střed dna nádrže zajišťovalo i dostatečné promíchávání vodního sloupce. Nevýhodou tohoto zařízení byla jeho manipulace při přelovení. Vytažení zařízení z nádrže muselo být provedeno prostřednictvím gumových hadiček, které přiváděly vzduch do vzduchovacích kamenů. Další nevýhodou zařízení B byla jeho nízká odolnost vůči destrukci. Při kontrolním přelovení byly nalezeny zbytky rozbitých vzduchovacích kamenů.

Poslední typ vzduchovacího zařízení – airlift vlastní konstrukce, byl vyroben na základě poučení z nedostatků a účinnostech předchozích zařízení. Funkčnost byla po celou dobu svého používání výborná. Bylo zajištěno dostatečné prokysličení vody a díky umístění zařízení na střed dna bylo zajištěno i dokonalé promíchávání vodního sloupce. Při přelovení nádrže a kontrole zařízení nebylo zaznamenáno žádné poškození. Díky pevné konstrukci byla zajištěna i snadná manipulace při přelovení nádrže.

5.2. Posouzení fyzikálně-chemických vlastností vody

Koncentrace kyslíku během pokusu byla do značné míry ovlivňována typem vzduchovacího zařízení. Ve fázi A docházelo k nedostatečnému nasycení kyslíku vlivem vzniklých anaerobních zón v oblasti odkalovací trubky. Koncentrace kyslíku v BFT (vnitřní nádrže) by měla dosahovat průměrné hodnoty $6 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ (Azim a Little, 2008). Ve fázi B byla díky vzduchovacímu zařízení typu – airlift vlastní konstrukce, tato doporučená průměrná hodnota koncentrace bez problému zajištěna.

Vlivem přidávání hydrogenuhličitanu sodného bylo možné v průběhu pokusu udržovat Avnimelechem (2012) doporučenou hodnotu pH 7 – 8. Pro chov tilapií ve vnitřním BFT byla Azimem a Littlem (2008) naměřena hodnota pH v rozmezí 7 – 8,5 v průběhu celého pokusu. Při použití topného tělíska v nádrži byla teplota vody udržována po celý experiment v rozmezí 25 – 27 °C podle doporučení Avnimelecha (2012). Azim a Little (2008) udržovali teploty vody ve vnitřních nádržích BFT v rozmezí 26 – 30 °C.

Nerozpuštěné látky se v první polovině fáze A vyskytovaly pouze v nízkém množství. Vlivem každotýdenního přidávání mouky začalo v průběhu druhé poloviny fáze A stoupat množství TSS a začaly se vytvářet vločky. Ve fázi B dosahovala hodnota TSS Avnimelechem (2012) požadovaného množství tedy 200 – 500 $\text{mg} \times \text{l}^{-1}$.

Růst a přežití ryb se velmi lišily ve srovnání obou fází systému. Ve fázi A docházelo k mortalitě ryb vlivem vysokých koncentrací amoniaku a dusitanů. Částečný úhyn, zejména v prvním týdnu pokusu, mohl být způsoben manipulací ryb (převozem). Kvůli vysoké mortalitě a nedostatečně vyvinutému systému byla hodnota přírůstku nízká. Krmný koeficient ve fázi A byl příliš vysoký. V druhé fázi již nedocházelo k úhynu ryb. I přes nízkou mortalitu a vyhovující krmný koeficient nedosahovaly ryby vysokého kusového přírůstku. V průběhu poloviny fáze B byl během kontrolního přelovení nádrže a vážení ryb zjištěn výskyt několika jedinců, u kterých byla zjištěna hmotnost $3 \times$ vyšší než průměrná hmotnost ostatních ryb v nádrži. Z tohoto faktu lze usuzovat, že dominantní jedinci přijímali krmivo častěji než ostatní ryby. Z tohoto důvodu doporučujeme využívat pro chov tilapie v BFT systému striktně monosexní obsádky.

Koncentrace amoniakálního dusíku a dusitanů začala stoupat po nasazení ryb do nádrže. V průběhu první poloviny fáze A dosáhla koncentrace amoniaku svého

vrcholu. V druhé polovině dosáhl nejvyšší peak hodnotu $2 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$. Ve fázi B již byla koncentrace volného amoniaku v normě pro přežití a chov tilapie podle Rakocyho (1989). Při vývoji dusitanů byly několikrát zaznamenány koncentrace $5 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$, při které tilapie podle Rakocyho (1989) hynou. Při takto vysokých koncentracích byly zaznamenány četné úhyny. Otrava dusitany tak byla v celém experimentu z 80 % příčinou úhynu ryb. Vysoká koncentrace dusitanů byla způsobena nefunkční nitratací, díky které nebyly dusitany přeměněny na dusičnany. Snížení toxicity dusitanů bylo prováděno pomocí aplikace chloridu sodného. V průběhu fáze B již byla koncentrace dusitanů pod hranicí detekovatelnosti.

Při testování reakce systému na přidání karbohydrátů byl dokázán pokles koncentrace celkového amoniakálního dusíku za dobu 8 hodin, podobně jako u Avnimelecha (1999). Při aplikaci mouky v množství 1 kg na 1300 l vody v nádrži bylo zaznamenáno snížení koncentrace amoniaku za 3 hodiny. V průběhu 6 – 8 hodin se koncentrace ustálila na hodnotu $1 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$.

Poměr C/N byl v průběhu experimentu ovlivňován množstvím přidávané mouky. Po celou dobu experimentu bylo aplikováno krmivo o obsahu proteinu 39 % v různých krmných dávkách s ohledem na hmotností obsádku ryb. Během fáze A bylo každý měsíc do systému aplikováno různé množství mouky, která ovlivňovala poměr C/N. Hodnota poměru C/N ve fázi A se pohybovala na průměrné hodnotě 12. Avnimelech (1999) doporučuje hodnotu poměru C/N 15 – 20 pro zajištění správného fungování systému. Goldman a kol. (1987) zjistili, že pro zajištění optimálních podmínek pro tvorbu heterotrofních bakterií a minimalizaci amoniaku stačí udržovat hodnotu poměru C/N > 10 . Hodnota poměru C/N ve fázi A byla podle Goldmana a kol. (1987) dostačující, ale je možné, že nízká hodnota mohla způsobovat vysoké koncentrace amoniaku v systému. Ve fázi B byla průměrná hodnota poměru C/N 14. Tato hodnota poměru se více přibližovala hodnotě, kterou udává Avnimelech (2009). Při této hodnotě dosahovaly TSS doporučené koncentrace $200 \text{ ml} \times \text{l}^{-1}$, kterou doporučuje stejný autor v jiné studii (Avnimelech, 2012). Díky správnému poměru C/N byla fáze B shledána za dokonale vyvinutý a správně pracující systém biofloc.

5.3. Živínové složení svaloviny tilapie, bioflocu a krmiva

Gonzales a Brown (2006) uvádějí hodnotu obsahu tuku ve svalovině (filetu) tilapie 4,8 %. Použité krmivo ani přítomnost bioflocu významně neovlivňovalo obsah tuku ve svalovině chovaných ryb. Hodnota lipidů naměřených ze vzorků bioflocu byla 6,0 %. Chamberlein a kol. (2001) uvádějí hodnotu 12,5% lipidů vyskytující se v bioflocu.

Hodnota zastoupení BNLV ve vzorku bioflocu byla pod hranicí detekovatelnosti. Tento fakt nasvědčoval tomu, že bakterie využily BNLV jako zdroj energie pro stavbu svých těl a tím i pro výrobu mikrobiálního proteinu.

Pro zastoupení N-látek v sušině bioflocu uvádějí Rittmann a McCarty (2001) hodnotu 61 %. Při analýze obsahu N-látek obsažených ve vzorku bioflocu bylo zjištěna hodnota 58 %. Při srovnání zastoupení N-látek v bioflocu s použitým krmivem byla hodnota v bioflocu vyšší než v použitém krmivu (39 %). Zároveň prokázala nulové zastoupení karbohydrátů ve vzorcích. Z tohoto faktu lze usuzovat, že vyšší zastoupení N-látek v bioflocu nebylo způsobeno zbytkovým krmivem, ale bakteriemi, které dokonale využívaly karbohydráty jako zdroj energie pro výrobu mikrobiálního proteinu.

Zastoupení SFA a MUFA v krmivu, respektive ve svalovině experimentálních ryb koresponduje s faktem, že tilapie dokáže energii z krmiva přetvořit vlastními fyziologickými pochody právě na tyto dvě skupiny mastných kyselin. Obratlovci obecně však nejsou schopni přeměny MUFA na PUFA řady n-3 a n-6, proto musí být osmnáctiuhlíkaté kyseliny linolová (18:2n-6) a alfa linolenová (18:3n-3) přijaté v krmivu. Tilapie, podobně jako např. kapr obecný, patří mezi herbivorní, respektive omnivorní druhy ryb. U těchto druhů je (na rozdíl od mořských ryb a sladkovodních dravců) prokázána (Tocher, 2003) schopnost do jisté míry biosyntetizovat vysoce nenasycené mastné kyseliny (HUFA) právě z jejich osmnáctiuhlíkatých prekurzorů. Krmivo použité v průběhu tohoto experimentu obsahovalo podíl rybí moučky a oleje, díky čemuž obsahovalo zároveň i HUFA. Kompozice mastných kyselin v tuku tilapie do jisté míry odráží kompozici v použitém krmivu a lze se oprávněně domnívat, že určitý podíl HUFA ve svalovině je produktem biosyntézy v těle. O tom svědčí zjištěný vyšší obsah DPA (22:5n-3) v těle ryby v porovnání s krmivem (1,43 % vs. 0,80 %).

Pro podrobnější výzkum byla provedena analýza kovů. Analýza byla provedena za účelem zjištění, zda se v bioflocu majoritně nevyskytoval kov, který by mohl být následně kumulován ve svalovině ryb a tím být zdravotně závadný pro lidskou

konzumaci. Mezi přítomnými kovy nejvíce dominovaly zinek ($859 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$) a měď ($73 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$). Tacon (2000) uvádí v bioflocu hodnotu obsahu zinku $618,34 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ a mědi $95,53 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$. Dle normy ČSN (1991) je nejvyšší přípustné množství ($\text{mg} \times \text{kg}^{-1}$) v sušině surovin, které se využívají pro kompostování $3000 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ pro zinek a $1200 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ pro měď. Díky nízké koncentraci kovů mohou být přebytečné TSS využívány ke kompostování nebo jako hnojivo.

Doporučení:

Pro budoucí výzkum této technologie je možné navrhnout některá opatření a doporučení, která byla v průběhu této práce zaznamenána. Pro chov je vhodnější zvolit pouze celosamčí obsádku. Pokud se samice starají o jikry v dutině ústní, nepřijímají po celou dobu potravu a tím nepřibírají na váze. Při kontrolním přelovení ryb je vhodnější odstranit jedince, kteří svou velikostí a vahou převyšují průměrnou velikost obsádky. Díky těmto dominantním samcům se často krmivo nedostane na menší jedince. Pro účinnou kontrolu přírůstku v tomto systému by v budoucím experimentu bylo vhodné mít kontrolní nádrž s obsádkou o stejné hmotnosti. V této nádrži by se ryby krmily stejným krmivem a se stejnou krmnou dávkou, ale bez biofloc mikroflóry.

Optimální hodnota poměru C/N byla při použití krmiva s obsahem 39 % proteinu 14. Pro budoucí pokusy by bylo vhodné porovnat použití dalších zdrojů krabohydrátů a jejich vliv na poměr C/N.

Pro vzduchování a dostatečný pohyb vody v nádrži lze doporučit pouze dobře výkonný airlift pevné konstrukce. Vzduchovací kameny byly shledány naprosto nevyhovující. Nezajišťovaly dostatečný pohyb vodního sloupce a jejich životnost byla značně krátká.

6. ZÁVĚR

Během celého experimentu byly splněny všechny cíle této diplomové práce. Byl sestaven model biofloc systému pro chov tilapie nilské a bylo ověřeno jeho fungování v praxi.

V prvotní fázi se experiment potýkal s problémy spojenými s nedostatečně vyvinutým bakteriálním společenstvem. Chemismus vody vykazoval nežádoucí hodnoty pH a nízké množství nerozpuštěných látek. Z důvodu nedostatečně rozvinutého společenstva byly zaznamenávány zvýšené koncentrace dusitanů. Následkem tohoto byly zaznamenány úhyny ryb. Během experimentu byly vyzkoušeny 4 typy vzduchovacího zařízení. Na základě všech potřebných parametrů byl vybrán typ airliftu vlastní výroby, který splňoval požadované funkce. Vlivem aplikace nedostatečného množství mouky byla hodnota poměru C/N v první fázi nedostačující.

Po zvýšení hodnoty poměru C/N na 14 byl zaznamenán prudký rozvoj bakterií, což bylo zaznamenáno díky zvýšení množství nerozpuštěných látek. Při dosažení cílového množství nerozpuštěných látek byl systém vyhodnocen jako plně funkční. Během této fáze odpovídal chemismus vody v nádrži veškerým předepsaným parametrům pro BFT. Aplikace mouky jakožto zdroje karbohydrátů napomáhala udržovat poměr C/N v doporučené hodnotě a zároveň sloužila bakteriím jako zdroj energie. V těchto podmínkách začaly bakterie využívat dusík ke stavbě a výrobě mikrobiálního proteinu. Bakterie se začaly shlukovat do vloček a byly využívány rybami jako nepřetržitě dostupný zdroj proteinu. Analýza živinového složení bioflocu dokázala přítomnost vysokého zastoupení N-látek na úrovni 58%. Analýzami bylo dále zjištěno živinové složení, obsah lipidů a kompozice mastných kyselin a přítomnost některých kovů. Díky optimální hodnotě C/N, množství TSS, koncentrace kyslíku, hodnotě pH, teploty a dostatečnému promíchání vodního sloupce, byla fáze B vyhodnocena - jako úspěšná s plně funkčním systémem biofloc pro chov tilapie. Zavedení tohoto anebo podobných systémů chovu ryb do praxe může významně přispět nejen k vylepšení ekonomické stránky chovu, ale také dopomůže k udržitelnému rozvoji akvakultury.

7. SEZNAM LITERATURY

- Adámek, Z., 1994. Letní chov tilapie a sumečka afrického v rybnících. Edice Metodik, VÚRH JU Vodňany, č. 43, 12 s.
- Appelqvist, L.A., 1968. Rapid methods of lipid extraction and fatty acid methyl ester preparation for seed and leaf tissue with special remarks on preventing accumulation of lipid contaminants. *Arkiv För Kemi*. 28, 551 – 570.
- Avnimelech, Y., Weber, B., Millstien, A., Hopher, B., Zoran, M., 1986. Studies in circulated fishponds: organic matter recycling and nitrogen transformation. *Aquaculture and Fisheries Management* 17, 231 – 242.
- Avnimelech, Y., 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176, 227 – 235
- Avnimelech, Y., 2006. Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquaculture*. Eng. 34, 172 – 178.
- Avnimelech, Y., 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture* 264, 140 – 147.
- Avnimelech, Y., 2012. *Biofloc Technology — A Practical Guide Book*. 2.vyd. The World Aquaculture Society, 272 s.
- Azim, M.E., Little, D.C., 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 283, 29 – 35.
- Baccarin, A E., Camargo, A.F.M., 2005. Characterization and evaluation of the impact of feed management on the effluents of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. *Braz. Arch. Biol. Techn.* 48, 81 – 90.
- Bernstein, S., 2011. *Aquaponic gardening: A Step-By-Step Guide to Raising Vegetables and Fish Together*. Gabriola, BC: New Society Publishers, 257 s.
- Bhujel, R.C., 2001. Recent Advances: Tilapia Nutrition Feeds, and Feed Management. *The Advocate*, 44 – 47.
- Bone, Q., Moore, R.H., 2008. *Biology of Fishes*. Taylor & Francis Group. Abingdon, 454 s.

- Boyd, C.E., Tucker, C.S. 1998. Pond aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publication, 700 s.
- Brown, L., Hindmarsh, R., McGregor, R., 2001. Dynamic Agriculture Book Three. 2.vyd. McGraw-Hill Book Company, Sydney, 678 s.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., McIntosh, R.P., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture* 25, 29 – 32.
- Campbell, J.W., 1991. Excretory Nitrogen Metabolism. In: Ladd Prosser, C. (Ed.), *Environmental and metabolic animal physiology: Comparative animal physiology*. 4.vyd. Willey-Liss, New York, 581 s.
- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*. 270, 1 – 14.
- Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., Avnimelech, Y., 2009. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquacultural Eng.* 40, 105 – 112.
- Crab, R., 2010. Bioflocs technology: an integrated system for the removal of nutrients and simultaneous production of feed in aquaculture. PhD thesis, Ghent University, 178 s.
- ČSN 46 5735, 1991. Průmyslové komposty. Český normalizační institut, Praha, 32 s.
- De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W., 2008. The basics of bioflocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277, 125 – 137.
- FAO, 2014. Global Aquaculture Production. [online]. Fishery Statistical Collections [cit. 2014-02-09]. Dostupné na WWW: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/en>.
- Goldman, J.C., Caron, D.A., Dennett, M.R., 1987. Regulation of gross growth efficiency and ammonium regeneration in bacteria by substrate C:N ratio. *Limnol. Oceanogr.* 32, 1239 – 1252.
- Gonzales, J.M., Brown, P.B., 2006. Nile tilapia *Oreochromis niloticus* as a food source in advanced life support systems: Initial consideration. *Adv. Space Res.* 38, 1132 – 1137.

- Greiner, A.D., Timmons, M.B., 1998. Evaluation of the nitrification rates of microbead and trickling filters in an intensive recirculating tilapia production facility. *Aquaculture Eng.* 18, 189 – 200.
- Halver, J.E., Hardy, R.W., 2002. *Fish nutrition – Nutrient Flow and Retention*. Academic Press, 500 s.
- Hantula, J., Bamford, D.H., 1991. The efficiency of the protein-dependent flocculation of *Flavobacterium* sp s sensitive to the composition of growth-medium. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 36, 100 – 104.
- Hara, A., Radin, N.S., 1978. Lipid extraction of tissues with a low toxicity solvent. *Anal. Biochem.* 90, 420 – 426.
- Haywood, G.P., 1983. Ammonia toxicity in teleost fishes: a review. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1177, 35.
- Chamberlain, G., Avnimelech, Y., McIntosh, R.P., Valasco, M., 2001. Advantages of aerated microbial reuse systems with balanced C/N: Composition and nutritional value of organic detritus. *Global Aquaculture Advocate* 4, 22 – 24.
- Chopin, T., 2006. Integrated multi-trophic aquaculture. What is it and why you should care... and don't confuse it with polyculture. *North. Aquaculture* 12, 4.
- IFFO, 2006. *Marine Resources a Sustainability*. [online]. What are Fishmeal a Fish Oil ?, [cit. 1.4.2014]. Dostupné na WWW: <http://www.IFFO.net>.
- Jirásek J., Mareš J., Zeman L., 2005. *Potřeba živin a tabulky výživné hodnoty krmiv pro ryby*. MZLU v Brně, 70 s.
- Karipoglou, C., Nathanailides, C., 2009. Growth rate and feed conversion efficiency of intensively cultivated European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Int. J. Fish. Aquaculture* 38, 11 – 13.
- Kloas, W., Wuertz, S., Rennert, B., 2011. Integration of aquaculture and hydroponic into a (nearly) emission free aquaponic system assuring recycling of process water in urban farming. [online]. *ALGAE 2011, Berlin*, [cit. 2011-12-02]. Dostupné na WWW: <http://media.wix.com/ugd/320218_015bbf6a35bf4b89b9040e589e99f0f0.pdf>
- Kouřil, J., Hamáčková, J., Stejskal, V., 2008a. Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb. *Edice Metodik, VÚRH JU Vodňany*, č. 85, 40 s.

- Kouřil, J., Mareš, J., Pokorný, J., Adámek, Z., Randák, T., Kolářová, J., Palíková, M., 2008b. Chov lososovitých druhů ryb, Lipana a Síhů. VÚRH JU Vodňany, 141 s.
- Larbier, M., Leclercq, B., 1992. Nutrition and Feednig of Poultry. Loughtborough, Nottingham University Press, 305 s.
- Liu, Y., Fang, H.H.P., 2003. Influences of extracellullar polymeric substances (EPS) on flocculation, setting, and dewatering of activated sludge. *Crit.Rev.Environ.Sci.Technol.* 33, 237 – 273.
- Malik, R.C., Razzaque, M.A., Abbas, S., Al-Khozam, N., Sahni, S., 1996. Feedlot growth and efficiency of three-way cross lambs as affected by genotype, age and diet. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 21, 251 – 254.
- Metaxa, E., Deviller, G., Pagand, P., Alliaume, C., Casellas, C., Blancheton, J.P., 2006. High rate algal pond treatment for water reuse in a marine fish recirculation system: water purification and fish health. *Aquaculture* 252, 92 – 101.
- Miller, W.W., 1995. Tilapia – aquaculture curriculum guide: year two species module, United States Department of Agriculture. Ames, 41 s.
- Mráz, J., Picková, J., 2009. Differences between lipid content and composition of different parts of fillets from crossbred farmed carp (*Cyprinus carpio*). *Fish Physiology and Biochemistry* 35, 615 – 623.
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405, 1017 – 1024.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, M., Yarish, C., 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture* 231, 361 – 391.
- Nobre, A.M., Robertson-Andersson, D., Neori, A., Sankar, K., 2010. Ecological-economic assessment of aquaculture option: comparison between abalone monoculture and integrated multi-trophic aquaculture of abalone and seaweeds. *Aquaculture* 306, 116 – 126.

- Pagand, P., Blancheton, J.P., Lemoalle, J., Casellas, C., 2000. The use of high rate algal ponds for the treatment of marine effluent from a recirculating fish rearing system. *Aquac. Res.* 31, 729 – 736.
- Papoutsoglou, S.E., Tziha, G., 1996. Blue tilapia (*Oreochromis aureus*) growth rate in relation to dissolved oxygen concentration under recirculated water conditions. *Aquacultural Eng.* 15, 181 – 192.
- Preston, T.R., Willis, M.B. 1974. *Intensive beef production*. Oxford: Pergamon Press, 566 s.
- Pullin, R.S.V., Rosenthal, H., MacLean, J.L., 1993. *Environment and Aquaculture in Developing Countries*. ICLARM: Manila, The Philippines, 359 s.
- Rakocy, J. E. 1989. *Tank culture of tilapia*, Southern Regional Aquaculture Center Pub, 282 s.
- Rittmann, B.E., McCarty, P.L., 2001. *Environmental biotechnology – principles and applications*, McGraw Hill International Edition, Singapore, 754 s.
- Sargent, J.R., Tacon, A.G.J., 1999. Development of farmed fish: a nutritionally necessary alternative to meat. *Proceedings of the nutrition society* 58, 377 – 383.
- Serfling, S.A., 2006. Microbial flocs. Natural treatment method supports freshwater, marine species in recirculating systems. *Global Aquaculture Advocate* 34 – 36.
- SOFIA, 2014. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Rome. [cit. 2015-02-03]. Dostupné na WWW: <http://www.fao.org/3/a-i3720e/index.html>.
- Sonesson U., Davis, J., Ziegler, F., 2010. *Food Production and Emissions of Greenhouse Gases: An overview of the climate impact of different product groups*. The Swedish Institute for Food and Biotechnology, 19 s.
- Štěch, L., 2007. *Koi: barevní japonské kapři*. ALCEDOR Zliv, 350 s.
- Tacon, A.G.J., 2000. Shrimp feeds and feeding regime in zero Exchange outdoor tanks. *Global Aquaculture Advocate* 3, 15 – 16.
- Tacon, A.G.J., Metian, M., 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture* 285, 146 – 158.

- Thurston, R.V., Russo, R.C., Vinogradov, G.A., 1983. Acute toxicity of ammonia to rainbow trout. *Trans. Am. Fish. Soc.* 112, 696 – 704.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.V., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., 2002. *Recirculating Aquaculture Systems*. 2. vyd. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, 769 s.
- Tocher, D.R., 2003. Metabolism and Function of Lipids and Fatty Acids in Teleost Fish. *Rev. Fish. Sci.* 11, 107 – 184.
- Van Rijn, J. 2010. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Eng.* 53, 49 – 56.
- Watanabe, W.O., Losordo, T.M., Fitzsimmons, K., Hanley, F., 2002. Tilapia Production Systems in the Americas: Technological Advances, Trends, and Challenges. *Rev. Fish. Sci.* 10, 465 – 498.
- Wasielensky, W.Jr., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006. Effect of natural production in a zero Exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396 – 403.
- Wilson, R.P., 2002. Amino Acids and Proteins. In: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.), *Fish nutrition*. Academic Press, 145 – 179.
- Worldmeters, 2015. World Population: Past, Present, and Future. [online]. Worldmeters real time world statistic, [cit. 2015-24-02]. Dostupné na WWW: <http://www.worldometers.info/world-population/>.
- Yashouv, A., 1958. On the possibility of mixed culture of various tilapia with carp. *Bamidegh* 10, 21 – 29.

8. ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce bylo vybudování a ověření funkčního modelového biofloc systému pro chov tilapie nilské (*Oreochromis niloticus*). V průběhu pokusu byl sledován především chemismus vody, rozvoj biofloc mikroflóry a reakce systému na technologické zásahy. Experiment se skládal ze dvou fází. První fáze monitorovala nedostatečně funkční systém. Z důvodu nedostatečného zajištění koncentrace kyslíku a promíchání vodního sloupce, byly v průběhu experimentu použity 4 typy vzduchovacího zařízení. Pro zajištění dokonalého promíchání a dostatečné koncentrace kyslíku ($> 6 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$) byl zkonstruován airlift vlastní konstrukce, který splňoval oba sledované parametry. Během experimentu byl ověřen vliv aplikace karbohydrátů na snížení koncentrace amoniakálního dusíku. Průměrné hodnoty poměru C/N 14, bylo dosaženo moukou přidávanou do systému jako zdroje karbohydrátů. Při dosažení doporučeného množství TSS ($200 \text{ ml} \times \text{l}^{-1}$) s odpovídající biofloc mikroflórou, která dusík v nádrži přeměňovala na mikrobiální protein, byl systém vyhodnocen jako plně funkční. Při analýze bioflocu, byla zjištěna přítomnost N-látek v množství 223,6 g v celé nádrži (1300 l). V porovnání s aplikovaným krmivem v množství 300 g s obsahem N-látek 39 %, bylo do systému přidáno pouze 67,1 g N-látek. Bakteriální vločky sloužily jako potrava pro tilapie po celou dobu funkčního systému.

Klíčová slova: airlift, biofloc, C/N, mikrobiální protein, tilapie, TSS

9. ABSTRACT

The aim of this diploma thesis has been to establish and to verify functionality of a model biofloc system for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farming. The main criteria to be observed during the experiment were chemical characteristics of the water, development of the biofloc microflora and the reaction of the system to technological interventions. The experiment has consisted of two phases. The first phase monitored an insufficiently functioning system. Due to unsatisfactory assurance of the oxygen concentration as well as the water column stirring, 4 different types of air-sourcing devices have been used in the experiment. For assuring of the perfect stirring and of the sufficient oxygen concentration ($> 6 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$) an airlift fulfilling both the criteria has been constructed. The impact of the carbohydrates application on the decrease of the ammonia nitrogen has been successfully verified during the experiment. The average value of the C/N ratio of 14 has been reached thanks to the quantity of flour being added as the carbohydrate source into the system. The system was evaluated as fully functional when the recommended amount of TSS ($200 \text{ ml} \times \text{l}^{-1}$) with the corresponding biofloc microflora that has been transforming all the nitrogen in the experiment tank into the microbial protein. During the biofloc analysis, the presence of N-substances at the amount of 223.6 g at the entire experiment tank (1300 l) has been detected. In the comparison with the applied feed material at the amount of 300 g containing 39% of the N-substances, only 67.1 g of the N-substances has been added into the system. The biofloc (bacterial flakes) served as food for the tilapia during the entire period of the functional system.

Keywords: airlift, biofloc, C/N, microbial protein, tilapia, TSS