

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta rybnářství a ochrany vod
Ústav akvakultury

Bakalářská práce
Chov ryb v akvaponickém systému

Autor: Bohumír Dovalil

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

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

Studijní program a obor: B4103 Zootechnika, Rybnářství

Forma studia: Kombinovaná

Ročník: 3.

České Budějovice, 2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji také, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské 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 21.4.2014

Podpis:

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval všem těm, kdo mi byli jakoukoliv měrou nápomocni při vypracování mé bakalářské práce. Zvláště bych pak chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Mrázovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Tomáši Zajícovi, Ph.D. za metodické vedení, odbornou pomoc, cenné rady a věcné připomínky při vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat MSc. Sabine Sampels, Ph.D. za její obětavost a volný čas, který tomuto projektu věnovala. V poslední řadě bych rád poděkoval své rodině za pochopení a podporu, především mé manželce a dceři, že mi umožnili věnovat této práci tolik volného času.

Tato práce vznikla za finanční podpory projektu CENAKVA (CZ.1.05/2.1.00/01.0024) a CENAKVA II (Výsledky projektu LO1205 byly získány za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I).

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta rybářství a ochrany vod
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bohumír DOVALIL**
Osobní číslo: **V11B004K**
Studijní program: **B4103 Zootechnika**
Studijní obor: **Rybářství**
Název tématu: **Chov ryb v akvaponickém systému**
Zadávající katedra: **Ústav akvakultury**

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

Cílem bakalářské práce bude vypracovat literární rešerši zaměřenou na problematiku akvaponických systémů a v praxi ověřit fungování modelového akvaponického systému pro chov tilapie nilské a pěstování zeleniny.

V rámci vypracování BP bude v první řadě zpracována literární rešerše zaměřená na problematiku akvaponických systémů. Hlavní kapitoly budou zaměřeny na využití a potenciál akvaponických systémů, jejich design a princip fungování, praktická obsluha a řešení problémů, ekologie.

Hlavní náplní práce bude vývoj modelů různých akvaponických systémů pro chov tilapie nilské a pěstování zeleniny a ověření jejich funkčnosti. 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: **25 - 50 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Hughey, T.W., 2005. Barrel-ponics (a.k.a. Aquaponics in a Barrel). On-line:
<http://www.aces.edu/dept/fisheries/education/documents/barrel-ponics.pdf>

Rakocy, J.E., Masser, M.P. & Losordo, T.M., 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture, SRAC No. 454.

Rakocy, J.E., Shultz, R.C., Bailey D.S. and Thoman, E.S., 2004. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. Acta Horticulturae (ISHS) 648:63-69.

Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, C. & Thoman, E.S., 2004. Update on Tilapia and Vegetable Production in the UVI Aquaponic System. University of the Virgin Islands. On-line:
<http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/ista6web/pdf/676.pdf>.

Savidov, N.A., Hutchings, E. & Rakocy, J.E., 2007. Fish and plant production in a recirculating aquaponic system: a new approach to sustainable agriculture in Canada. Acta Horticulturae (IHS) 742: 209-221.

Tezel, M., 2009. Aquaponics Common Sense Guide. San Antonio, TX, USA. On-line:
http://backyardaquaponics.com/Travis/Aquaponics_Common_Sense_Guide.pdf.

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

Ústav akvakultury

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

Ústav akvakultury

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

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


prof. Ing. Otomar Binhart, DrSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD
Ústav akvakultury
Zátiší 728/II
389 25 Vodňany (2)


Ing. Pavel Vejsada, Ph.D.
ředitel

V Českých Budějovicích dne 14. února 2013

Obsah:

1. Úvod	- 8 -
2. Literární přehled.....	- 10 -
2.1. Podstata akvaponického systému	- 10 -
2.2. Výhody a nevýhody akvaponických systémů	- 11 -
2.3. Historie akvaponie	- 12 -
2.4. Popis akvaponického systému a jeho komponenty	- 14 -
2.4.1. Médium systém	- 14 -
2.4.2. NFT systém	- 18 -
2.4.3. Raftový systém	- 21 -
2.5. Znečištění v akvaponickém systému a jeho eliminace	- 23 -
2.5.1. Znečištění	- 23 -
2.5.2. Eliminace znečištění	- 27 -
2.6. Nároky a zákonitosti pro správný chod akvaponického systému	- 29 -
2.6.1. Vhodně zvolené zatížení systému odpadními produkty	- 29 -
2.6.2. Plán chovu ryb a jejich generační rozvrstvení.....	- 29 -
2.6.3. Dotace důležitými živinami.....	- 30 -
2.6.4. Zajištění optimálního nasycení kyslíkem	- 31 -
2.6.5. Odstraňování pevných nerozpuštěných látek	- 31 -
2.6.6. Zvolení přiměřeného výkonu čerpadel	- 32 -
2.6.7. Vhodné naddimenzování dopravního potrubí	- 33 -
2.6.8. Zvolení vhodných a odolných organismů pro akvaponický systém	- 34 -
2.6.9. Zajištění dostatečné biologické filtrace	- 34 -
2.6.10. Častá kontrola důležitého parametru pH	- 35 -
2.6.11. Zaběhnutí systému pro správnou funkci nitrifikačních bakterií.....	- 36 -
2.7. Druhy ryb a organismů vhodných do akvaponického systému	- 37 -
2.7.1. Tilápie nilská	- 38 -
2.8. Rostliny a akvaponický systém	- 39 -
2.8.1. Životní nároky rostlin	- 39 -
2.8.2. Rostliny vhodné do akvaponického systému	- 40 -
3. Materiál a metodika.....	- 43 -
3.1. Médium systém	- 44 -
3.2. NFT systém	- 54 -

3.3. Raftový systém.....	59 -
3.4. Testované organismy	65 -
3.4.1. Ryby	65 -
3.4.2. Rostliny.....	66 -
3.5. Metody využívané pro kontrolu chemických parametrů vody v systému	67 -
3.5.1. Měření teploty, pH a obsahu rozpuštěného kyslíku	67 -
3.5.2. Měření hodnoty volného amoniaku.....	67 -
3.5.3. Měření obsahu dusitanů.....	68 -
3.6. Hodnocení systémů	69 -
4. Výsledky.....	70 -
4.1. Cena.....	70 -
4.2. Pracovní náročnost výstavby a množství použitých komponentů	71 -
4.3. Efektivita využití zastavěného prostoru	72 -
4.4. Poruchovost a časová náročnost obsluhy.....	73 -
4.5. Variabilita možností použitých rostlin	75 -
4.6. Stabilita teploty vody v systému	76 -
4.7. Vylepšení systémů	77 -
5. Diskuze	79 -
5.1. Médium systém	79 -
5.1.1. Postřehy z provozu	80 -
5.1.2. Doporučení na závěr.....	82 -
5.2. NFT systém	82 -
5.2.1. Postřehy z provozu	82 -
5.2.2. Doporučení na závěr.....	83 -
5.3. Raftový systém.....	84 -
5.3.1. Postřehy z provozu	84 -
5.3.2. Doporučení na závěr.....	85 -
6. Závěr	86 -
Možné úpravy jednotlivých systémů pro zvýšení jejich efektivnosti:	87 -
7. Přehled použité literatury:.....	89 -
8. Přílohy	96 -
9. Abstrakt	99 -
10. Abstract.....	100 -

1. Úvod

Díky růstu lidské populace a informacím o příznivém vlivu ryb na lidské zdraví se neustále zvyšuje světová spotřeba ryb. Zvýšená poptávka po rybách vytváří stále větší tlak na jejich lov v mořích a oceánech. Zde však již bylo dosaženo odlovního stropu a případné další zvyšování tlaku na rybí populace by vedlo k jejich zániku. Z tohoto důvodu je nutné poptávku po rybách uspokojovat produkcí akvakultury. Akvakultura je za posledních 50 let nejrychleji rostoucí odvětví živočišné výroby s ročním nárůstem produkce kolem 8 % a v současnosti pokrývá polovinu spotřeby ryb pro lidskou konzumaci. Oproti produkci hospodářských zvířat má chov ryb nespornou výhodu ve vysoké konverzi krmiva. Je zde dosahováno 1 kg přírůstu ryb z 0,8 až 1,5 kg krmiva. I přesto však ryby produkují poměrně velké množství odpadních látek, které se ze systému musí separovat. Retence dusíku a fosforu z krmiva v rybím organismu činí pouze 30 % dusíku a 32 % fosforu. Zbytek, tedy 70 % N a 68 % P putuje v různé formě zpět do vodního prostředí. Odpad se v akvakulturních systémech vyskytuje ve dvou formách. První jsou nerozpuštěné tuhé látky a druhá forma jsou látky rozpuštěné plynné. Tuhé nerozpuštěné látky se ze systémů odstraní poměrně snadno za využití mechanické filtrace. Dají se dále využít jako případné hnojivo či na tvorbu bioplynu. U látek rozpuštěných plynných je tato eliminace složitější. Dusík, v podobě amoniaku, který je pro ryby silně toxický, je v biologických filtrech pomocí procesu nitrifikace přeměňován přes dusitany na dusičnany, které pro ryby nejsou v běžných koncentracích škodlivé. Problém nastává po vstupu této vody bohaté na dusičnany a fosfor do vodního toku a následně do recipientu, kde významně přispívá k procesu eutrofizace. Z tohoto důvodu jsou na vodu vypouštěnou z těchto systémů aplikovány v západních zemích přísné ekologické limity a za jejich nedodržení udělovány sankce. Jinou možností eliminace těchto nežádoucích látek je dusičnany procesem denitrifikace převést na plynný dusík, který z vody volně odchází do atmosféry a fosfor ve vodním prostředí vysrážet a odfiltrovat. Nicméně v obou těchto případech přicházíme o drahé živiny, které je možné efektivně využít na produkci něčeho jiného. Proto se do popředí zájmu dostávají technologie, které tyto odpadní živiny dále zpracovávají.

Jednou z nich je například bioflok technologie. Ta funguje na principu využívání metabolitů ryb bakteriemi, které je zabudovávají do svých těl ve formě proteinu a po té jsou ve shluku bakteriálních vloček konzumovány rybami.

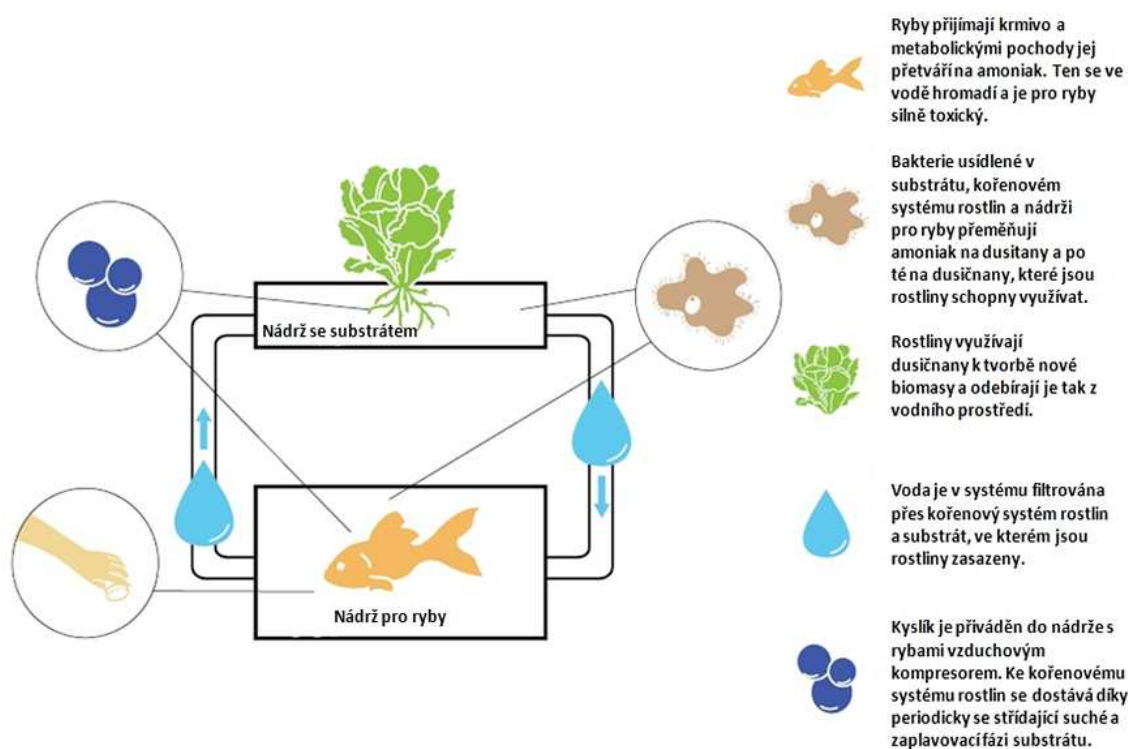
Další z takových technologií je akvaponie. Ta kombinuje chov ryb spolu s pěstováním rostlin. Využívá se zde metabolitů ryb jako hnojiva pro rostliny. Díky nitrifikačním bakteriím je amoniak přeměňován až na dusičnany, které jsou rostliny spolu s fosforem schopny z vodního prostředí odebírat a zabudovávat je tak do svých těl. Tímto způsobem je umožněn kontinuální chov ryb s pěstováním zeleniny, která zde dosahuje vysokých výnosů sklizně. Rostliny zároveň ze systému odebírají oxid uhličitý, vytváří kyslík a okolní prostředí je tak minimálně zatíženo skleníkovými plyny. Rostliny zde nejsou uměle přihnojované a chemicky ošetřované. Jde o takzvanou organickou produkci, šetrnou k životnímu prostředí a ve větší míře využívající přirozené koloběhy vyskytující se v přírodě. Akvaponie vyžaduje pro svůj provoz minimum vody. Dokonce méně než jednu desetinu v porovnání s jiným konvenčním zemědělstvím. V akvaponických systémech není potřeba půdy a spolu s minimálními nároky na zdroj vody činí tyto systémy jako ideální do suchých oblastí a zároveň do oblastí, kde je jiné zemědělské hospodaření vlivem nepříznivých podmínek vyloučeno.

Cílem této práce je vývoj modelů třech různých akvaponických systémů pro chov tilápie nilské *Oreochromis niloticus* a pěstování zeleniny a ověření jejich funkčnosti v praxi. Dále bude provedeno komplexní zhodnocení těchto systémů a budou navržena opatření pro jejich vylepšení.

2. Literární přehled

2.1. Podstata akvaponického systému

Tato ve světě hojně využívaná metoda spojuje produkci vodních živočichů s pěstováním rostlin (CIFT, 2009). Jde v podstatě o propojení akvakultury a hydroponie. Každá z těchto disciplín má své nedostatky, které se tímto výhodným spojením eliminují. Recirkulační akvakultura se musí vypořádávat s každodenním odstraňováním nadbytečných živin ze systému, což znamená nutnou výměnu části vody s organickým materiálem. Naproti tomu hydroponie vyžaduje finančně náročné dotování živinami, aby byl zajištěn optimální růst rostlin (Backyard Aquaponics, 2012c). Princip celého systému spočívá v zapojení organicky znečištěné vody vyprodukované rybami do oběhu přes kořenový systém rostlin a substrát, ve kterém jsou zasazeny. Rostliny využívají živiny obsažené ve vodě jako stavební látku pro tvorbu nové biomasy. Kořenový systém rostlin slouží jako životní prostor pro nitrifikační bakterie. Ty přeměňují amoniak (pro ryby nebezpečný a silně toxický) na dusičnany, které jsou rostliny schopny využívat. Takto upravená voda zbavená nečistot a nežádoucích látek je opět vracena do nádrže s rybami, kterým tak zajišťuje optimální životní prostředí (Obr. 1). Výsledkem je vysoce produktivní systém tvořící ideální podmínky pro pěstování rostlin a chov ryb.



Obr. 1. Schéma akvaponického systému (upraveno podle Making sense of things, 2011)

2.2. Výhody a nevýhody akvaponických systémů

Výhody

Hlavní předností těchto systémů je kontinuální chov ryb s pěstováním rostlin. Ryby svými metabolickými pochody vytváří živiny, které by jinak bylo potřeba rostlinám dodávat pro jejich optimální růst, a které by stály nemalé finanční prostředky (Rakocy a kol., 2004a). Rostliny spolu s bakteriemi eliminují veškeré nečistoty a nežádoucí látky obsažené ve vodě, čímž minimálně zatěžují životní prostředí. V podstatě nahrazují biofiltr, který je nedílnou součástí jiných recirkulačních systémů (Rakocy a kol., 2004a). Vypěstované rostliny v těchto systémech nejsou uměle přihnojované a chemicky ošetřované. Jedná se o takzvanou organickou produkci, šetrnou k životnímu prostředí a ve větší míře využívající přirozené koloběhy obsažené v přírodě. Výsledkem této produkce jsou vysoce kvalitní potraviny získané přírodní cestou (Wikipedia, 2014c). Další nespornou výhodou je chov ryb ve značně zhuštěných obsádkách s minimálními nároky na dostupnost zdroje vody. To je omezeno pouze na případné doplnění výparů, havarijní úniky anebo při nutnosti výměny části vody, kvůli jejímu nevhodnému chemizmu. U akvaponických systémů se dosahuje pouze 10 % ztráty celkové vody týdně (Hillyer, 2007). Další výhodou je nepřetržitý přísun živin k rostlinám, který je tak stimuluje k růstu stejně tak, jako jejich neustálé zavlažování. Akvaponické systémy také dosahují vyšší produkce než tradiční hydroponické systémy (Nichols a Savidov, 2012). Samotným rybám zde nehrozí téměř žádná zdravotní rizika způsobená kontaminací přítokové vody případnými parazity a původci onemocnění. Tyto systémy lze díky minimálním až nulovým nárokům na kvalitní půdu hojně využívat i v oblastech, kde je jiné zemědělské hospodaření vlivem nepříznivých podmínek vyloučeno (Nichols a Savidov, 2012). V neposlední řadě je jejich předností i nižší nárok na velikost zastavěné plochy pozemku a možnost stavby těchto systémů přímo ve městech (např. na plochých střechách domů).

Nevýhody

Vyšší pořizovací a provozní náklady. Nutnost dostupnosti a zajištění neustálé dodávky elektrického proudu. Růst ryb je omezen pouze na krmení krmnými směsmi. Potřeba každodenního kvalifikovaného dozoru. Z těchto důvodů je nutné volit finančně atraktivní plodiny a druhy ryb, které případné finanční ztráty eliminují.

2.3. Historie akvaponie

Kořeny akvaponie jsou do dnešní doby diskutabilní a nejisté, ale jako její počátky se uvádí dva různé směry (Wikipedia, 2014a). Podstata každého z nich až nápadně připomíná dva z dnes hojně využívaných systémů v moderní akvaponii.

První směr

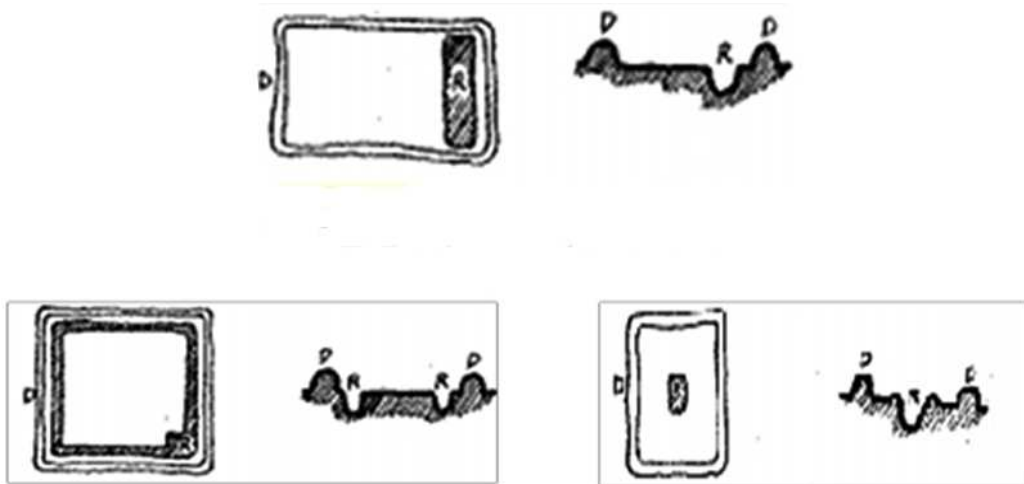
První směr pochází ze střední Ameriky a sahá do dob Aztéků (Boutwelluc, 2007; Rogosa, 2013). Jiný zdroj dokonce uvádí jako původce tohoto systému Mayskou civilizaci, která tento systém vynalezla a Aztéky pouze jako její modifikátory (Woodard, 2011). Aztékové, kteří se usídlili v blízkosti jezer a močálů se potýkali s problémem, kde pěstovat plodiny pro jejich obživu. Tuto nepříznivou situaci vyřešili stavbou rákosových vorů umístěných na hladině jezera, jejichž povrch pokryli vytěženým bahnem z jezerního dna (Baquedano, 1993). Na takto vzniklé ostrovy, kterým se říkalo *chinampa* poté sázeli plodiny, kterým tak vytvořili ideální podmínky pro růst (Obr. 2). Tyto ostrovy byly určitý čas mobilní a kořenový systém rostlin jimi prostupoval až do volného sloupce vody v jezeře pod nimi, z níž mohly čerpat rozpuštěné živiny důležité pro jejich růst (The aquaponics garden, 2014). Díky tomu měly tyto ostrovy vysoké výnosy plodin, často až čtyřikrát ročně (Wikipedia, 2014a). Jedná se tedy o jakousi variantu dnešního raftového systému *Deep water culture* (DWC).



Obr. 2. Chinampa (Woodard, 2011)

Druhý směr

Druhý směr pochází z jižní Číny a Thajska (Wikipedia, 2014a). Zde se vyvinul zvláštní způsob pěstování rýže na rýžových polích. Ta byla zavlažována důmyslným systémem, který fungoval na propojení dvou rybníků a samotného rýžového pole. Na hladině prvního rybníku byla v klecích s neúplným dnem chována vodní drůbež. Krmení, které drůbež nespotřebovala, putovalo spolu s výkaly do vodního sloupce, kde jej zpracovaly ryby. Odpad vyprodukovaný těmito rybami byl odváděn dále do níže položeného rybníčku, kde byly chovány sumcovité ryby tolerantní k takto organicky znečištěné vodě. Z tohoto rybníčku byla odpadní a na živiny bohatá voda používána přímo k zavlažování rýžových polí. Ty byly tímto stylem dotovány živinami tolik potřebnými k růstu rýže (Boutwell, 2013). Jedná se v podstatě o možnou variantu Médium systému *Media filledbeds*, obohacenou ještě o chov vodní drůbeže. Druhá varianta, týkající se také pěstování rýže na zaplavených polích využívala pro chov ryb přímo vodního sloupce na rýžovém poli. To bylo nutno pouze upravit vhodně umístěnými uměle vybudovanými prohlubněmi, které tvořily útočiště pro ryby. A to buď ve středu pole, v jeho přední části, nebo jakýmsi příkopem po jeho obvodu (Obr. 3).



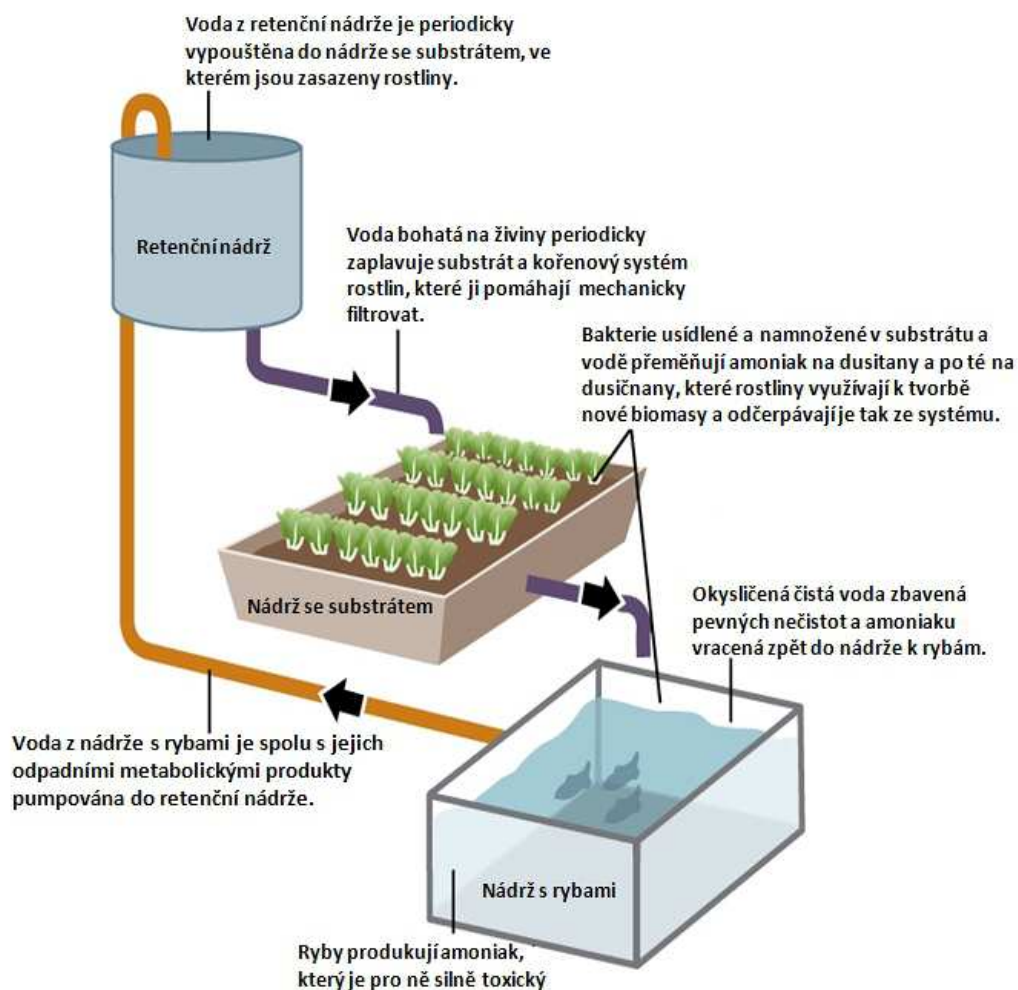
Obr. 3. Úprava polí rýže (Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, 2012)

Ryby zde krom obohacování vody o živiny plnily jako vedlejší úkol i požívání larev komárů, kteří jsou v těchto oblastech v dospělosti přenašeči malárie (Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, 2012). Ve své podstatě také možná varianta Médium systému *Media filled beds*.

2.4. Popis akvaponického systému a jeho komponenty

Zde se zaměřím na tři námi testované systémy. Médium systém *Media filled beds*, NFT systém *Nutrient film technique* a Raftový systém *Deep water culture* (Backyard aquaponics, 2012b). Všechny tyto systémy jsou v podstatě modifikací sestav používaných v hydroponii. Liší se pouze tím, že je zde pro cirkulaci využívána voda bohatá na živiny z nádrže s rybami (Connolly a Trebic, 2010).

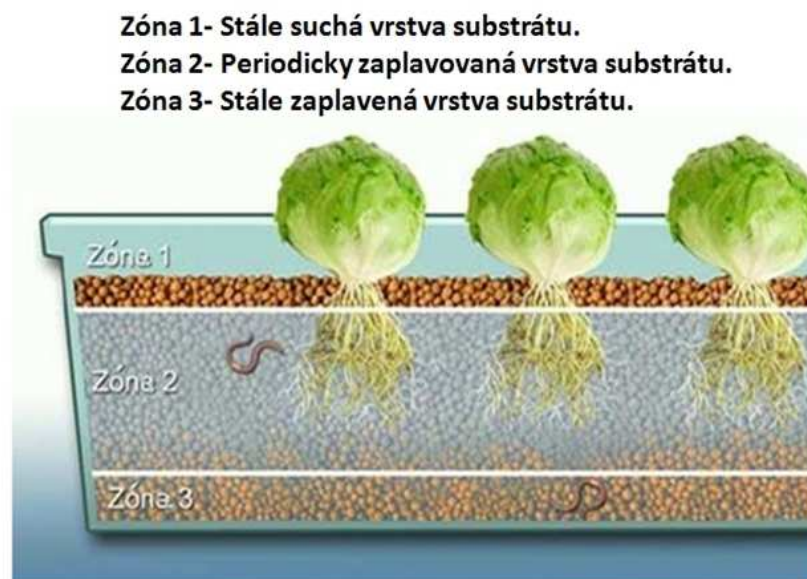
2.4.1. Médium systém



Obr. 4. Schéma Médium systému (upraveno podle Open source Aquaponics, 2014)

Tento systém funguje na principu periodického zaplavování substrátu, ve kterém jsou zasazeny rostliny, čímž je zajištěn přísun vody s živinami ke kořenovému systému rostlin. Zároveň díky střídavé fázi zaplavování vodou s fází odtoku, dochází periodicky

k provzdušňování kořenů, čímž se zabraňuje jejich zahnívání a napomáhá se tak i procesům potřebným k přeměně amoniaku (Obr. 4). Substrát slouží jako filtr hrubých nečistot, které se v něm zachytí a mikroorganismy usídlené na jeho povrchu je pak mineralizují. Jde tedy o jakýsi biofiltr (Rakocy a kol., 2006). Substrát je zde rozdělen na tři vrstvy (Obr. 5). První zóna je suchá horní vrstva. Druhou zónu reprezentuje periodicky zavlažovaná část substrátu, kde se střídá zaplavení s odtokem vody a následným provzdušněním. Třetí zóna je permanentně zaplavená spodní vrstva substrátu (Brook, 2013).



Obr. 5. Zóny substrátu (upraveno podle Brook, 2013)

Výhody:

Periodická zaplavovací a provzdušňovací fáze substrátu. Díky velkému objemu substrátu pro sadbu rostlin i větší životní prostor pro nitrifikační bakterie. Možnost pěstování velkého množství rozmanitých rostlin.

Nevýhody:

Možnost prorůstání kořenových systémů rostlin substrátem do spojovacích potrubí a jejich postupné ucpávání. Prostorová náročnost systému. Nutnost technicky náročných mechanických prvků pro zajištění periodického zavlažování a nutnost jejich časté kontroly funkčnosti (Obr. 6).



Obr. 6. Možná technická řešení zařízení pro spuštění periodického zaplavování (Tezel, 2009)



Obr. 7. Autosifon, spolehlivý spouštěč periodického zaplavování (upraveno podle Hallam, 2014)

Různé varianty řešení média systémů:



Obr. 8. Médium systém, varianta č. 1 (Laguna koi ponds, 2011)



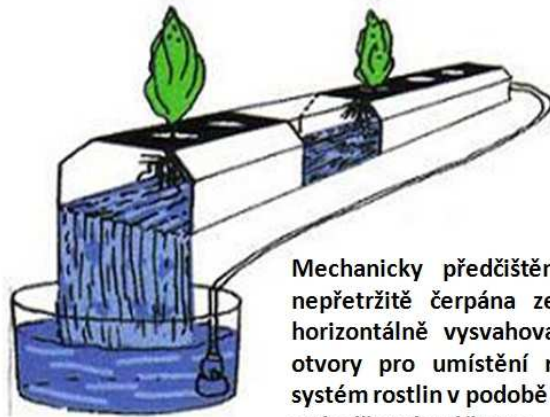
Obr. 9. Médium systém, varianta č. 2 (Hallam, 2014)



Obr. 10. Médium systém, varianta č. 3 (How to aquaponics at home, 2013)

2.4.2. NFT systém

U tohoto systému se využívá slabého proudu vody bohaté na živiny, nepřetržitě čerpané z nádrže s rybami skrz kořenový systém rostlin (Obr. 11). Rostliny jsou zasazeny v potrubí, kterým voda teče v podobě tenkého filmu a rostliny z ní nepřetržitě čerpají živiny a vláhu (Nelson, 2008).



Mechanicky předčištěná voda bohatá na živiny je nepřetržitě čerpána ze spodní nádrže s rybami do horizontálně vysvahovaného potrubí. V potrubí jsou otvory pro umístění rostlin. Voda omílá kořenový systém rostlin v podobě tenkého filmu vody a rostliny z ní odčerpávají živiny.

Obr. 11. Schéma NFT systému (upraveno podle Connolly a Trebic, 2010)

Výhody:

Veliká variabilita modifikací a možnost umístění části systému pro pěstování rostlin na strop či stěny místností. Odpadá zde problém s technickým řešením periodického spouštěče zaplavování a není zde potřeba retenční nádrže.

Nevýhody:

Tento systém je limitován hlavně volbou rostlin, které musí mít menší vzrůst a rozměry. Nutnost zařadit do systému mechanickou a biologickou filtraci (Lenard, 2010). Díky nepřetržitému toku vody přes kořenový systém rostlin dochází často ke kořenovému zahnívání (Tezel, 2009).

Různé varianty řešení:



Obr. 12. NFT systém, varianta č. 1 (Somma, 2014)



Obr. 13. NFT systém, varianta č. 2 (McClellan a McClellan, 2012)



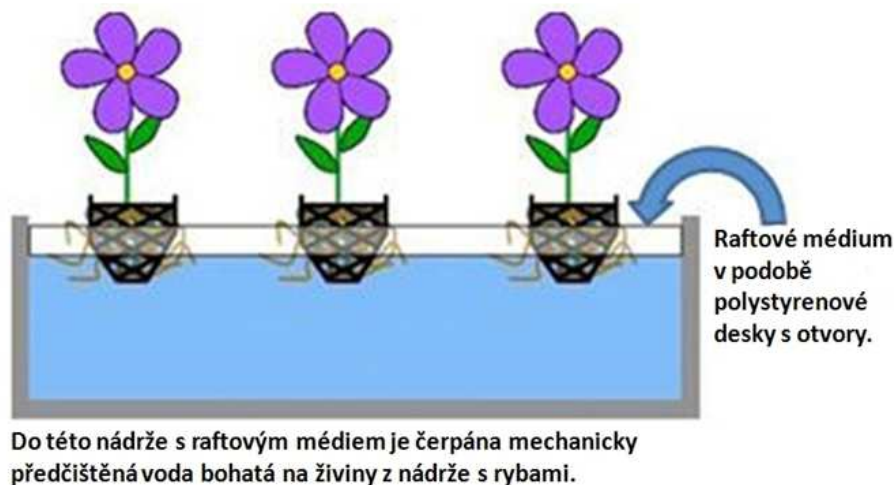
Obr. 14. NFT systém, varianta č. 3 (Pearson, 2012)



Obr. 15. NFT systém, varianta č. 4 (Aquaponics systems, 2014).

2.4.3. Raftový systém

System funguje na principu zavěšení kelímků s rostlinami v polystyrenových deskách plovoucích na hladině vody v raftové nádrži (Obr. 16). Tyto desky jsou opatřeny otvory, do kterých se kelímky vkládají (Obr. 17). Voda čerpaná z chovné nádrže tak volně omývá kořeny rostlin a ty z jejího sloupce mohou nepřetržitě čerpat živiny (Connolly a Trebic, 2010).



Obr. 16. Schéma Raftového systému (upraveno podle Connolly a Trebic, 2010).

Výhody:

System má méně komponentů. Rostliny mají neustálý přísun vláhy a živin. Rafty na hladině zabráňují tvorbě řas ve vodním sloupci.

Nevýhody:

Rostliny musí dobře snášet vysokou vlhkost v kořenovém systému. Limitace prostorem kelímků a nosností raftového média. Nutnost do systému zařadit mechanický a biologický filtr (Nelson a Pade, 2007). Potřeba většího objemu vody. Při nesprávném chemizmu vody její neustálý kontakt s kořenovým systémem rostlin, které tak chřadnou (Connolly a Trebic, 2010).



Obr. 17. Detail raftového média (Siemer, 2012).

Různé varianty řešení:



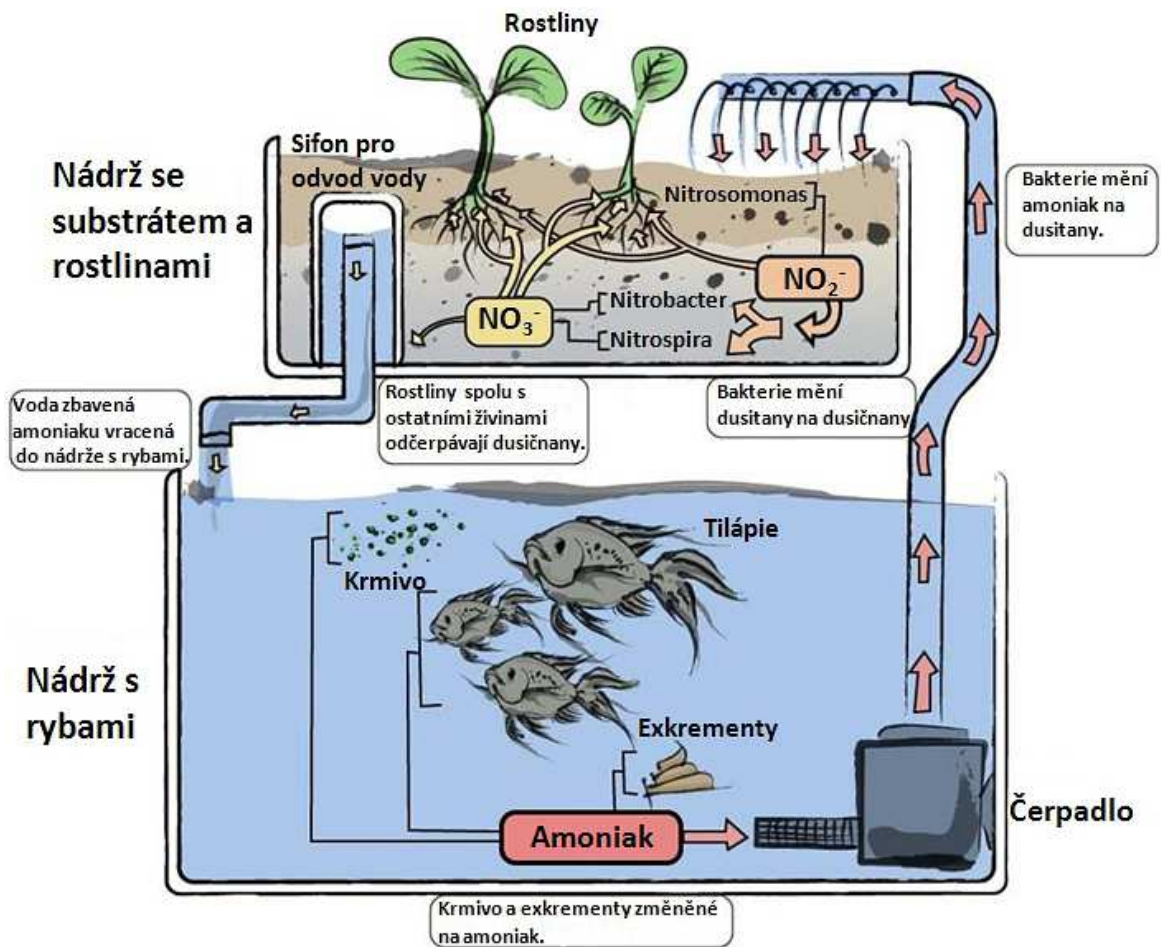
Obr. 18. Raft systém, varianta č. 1 (Wilson, 2012)



Obr. 19. Raft systém, varianta č. 2 (Jeffiers, 2012)

2.5. Znečištění v akvaponickém systému a jeho eliminace

2.5.1. Znečištění



Obr. 20. Koloběh odpadních produktů (upraveno podle Aquaponics Philippines, 2013)

V těchto recirkulačních systémech je vodní prostředí nejvíce ohrožováno odpadními produkty vzniklými metabolickými pochody ryb a to ve formě tuhých exkrementů, amoniaku a oxidu uhličitého (Kouřil a kol., 2008b). Tuhé nerozpuštěné látky jsou zde zastoupeny ve formě rybích exkrementů a zbytkovém nespotřebovaném krmivu, které zůstává ve vodním prostředí. Jako plynné látky lze označit hlavně látky dusíkaté a oxid uhličitý. Dusíkaté látky ve vodě vznikají rozkladem látek organického původu a dělí se do tří základních skupin. První skupinu lze označit jako amoniakální, tedy volný čpavek NH_3 , nebo vázaný čpavek ve formě amonných solí NH_4 . Druhou skupinu jako dusitanovou NO_2 tedy nitrity. A třetí skupinu jako dusičnanovou NO_3 , tedy nitráty (Štěch, 2007). Celkový dusík vylučovaný rybami je za normálních okolností tvořen z až 60 % ve formě amoniaku (Kouřil a kol., 2008a) (Obr. 20).

Amoniak NH₃

Amoniak je vysoce jedovatý plyn, jehož hodnota ve vodním prostředí v rozmezí 1 až 3mg×l⁻¹ může způsobit celkový úhyn obsádky ryb. Ryby se amoniaku zbavují přes žaberní aparát jako odpadní látky metabolismu bílkovin. Takto jsou ryby schopny vyloučit ze svého těla až 90 % celkového amoniaku. Problém nastává ve fázi, když je ho v okolním prostředí vysoká koncentrace. Ryby se jej nemohou zbavovat uvolňováním do vodního prostředí a amoniak se jim hromadí v těle. Tento děj trvá až do fáze zvané autointoxikace. Je to stav, kdy nahromaděný čpavek v tělech ryb, jako jejich vlastní metabolit, kterého se vlivem nepříznivých podmínek nemohou jinak zbavovat, nakumuluje do takové míry, že samotnou rybu jeho vysokou přítomností otráví (Štěch, 2007). Z tohoto důvodu, je potřeba v chovném systému hodnotu amoniaku sledovat a v případě jeho výkyvu do vyšších hodnot neprodleně provést opatření pro nápravu. Například výměnu části vody a případné odstranění zbytkového krmiva, či odkalení nečistot ze systému. Klinické příznaky otravou amoniakem u ryb se projevují jejich shromažďováním ve stínu u stěn nádrže, nepřijímáním potravy, prudkými trhavými pohyby a výskoky nad hladinu se svalovými křečemi. Mají tmavší zbarvení, ztrácí únikové reflexy a posléze hynou. Patologicko-morfologický nález se projevuje jako silně prokrvené tmavě červené žábry, které po poranění silně krváčí, může se projevit až nekróza respiračního epitelu (Velíšek, 2013).

Dusitany NO₂⁻

Vznikají přeměnou amoniaku, a pokud jsou ve vodě přítomny ve větším množství, tak indikují fekální znečištění. Pro ryby jsou prudce jedovaté. Mechanismus jejího účinku spočívá v tom, že se v krvi ryb naváží na hemoglobin a vytvoří tak methemoglobin, který není schopen vázat a přenášet kyslík. Tím pádem navodí organizmu kyslíkový deficit, který se projeví dušením ryby. Z tohoto důvodu je tedy potřeba hlídat hodnotu této sloučeniny v chovném systému a v případě výkyvu do nežádoucích hodnot učinit vhodná opatření k nápravě. Tedy opět nutná výměna části vody nebo pro krátkodobé zablokování mechanismu tvorby methemoglobinu použít chloridy (Štěch, 2007). Ty tvorbu methemoglobinu zastavují a ryby tak mohou i při vyšším obsahu dusitanů v systému krátkodobě přežít. Klinické příznaky otravy dusitany

u ryb se projevují jako malátnost, ztráta reflexů a orientace. Patologicko-morfologický nálezn se projevuje jako čokoládově hnědá barva krve a žaber (Velíšek, 2013).

Dusičnany NO_3^-

Jedná se o finální produkt oxidace organického dusíku, který je v aerobním prostředí stabilní. Ryby jej v obvyklých hodnotách pod $10 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ tolerují a nejsou k němu citlivé, ale při vysokých hodnotách kolem $50 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ a i více je nutné dbát zvýšené opatrnosti. Hrozí zde totiž riziko, že zpětně zredukuje na dusitany, které jsou pro ryby silně jedovaté. Takto vysoké hodnoty dusičnanů se mohou v akvaponickém systému vyskytnout v případě, že je v něm málo rostlin, které by dusičnany odčerpávaly.

Koloběh dusíku

Pro koloběh dusíku v chovném systému, který probíhá stejně jako v přírodních nádržích a tocích, je důležitá přítomnost mikroorganismů. Tyto mikroorganismy mineralizují organické dusíkaté látky jako například výkaly ryb, nespotřebované krmivo, odumřelé rostliny atd. deaminací na amoniakální dusík, uhlík a vodík (Wikipedia, 2013b). Oxidací amoniakálního a dusitanového dusíku za přítomnosti kyslíku získávají nitrifikační bakterie energii pro tvorbu nové biomasy a jako její stavební kámen využívají uhlík pocházející z oxidu uhličitého (Štěch, 2007). Tato oxidace amoniakálního dusíku v aerobním prostředí probíhá ve dvou krocích a nazývá se nitrifikace. V prvním kroku nejprve oxiduje amoniak pomocí bakterií např. rodu *Nitrosomonas* na dusitany a v druhém kroku jinými bakteriemi např. rodu *Nitrobacter* dále na dusičnany (Lellák a Kubíček, 1991). Po té pokračuje cyklus dusíku do anaerobního prostředí, kde se díky jevu zvaného denitrifikace a za pomoci anaerobních denitrifikačních bakterií např. rodu *Pseudomonas* redukuje z dusičnanů a dusitanů až na volný molekulární dusík. Ten pak může volně odcházet z vodního prostředí do atmosféry. Denitrifikace dosahuje nejvyššího účinku při pH v rozmezí od 7 do 8 a z toho důvodu je potřeba v chovném recirkulačním systému hlídat i tento parametr (Štěch, 2007). V akvaponických systémech je většina dusičnanů odčerpána rostlinami, které je využívají pro svůj růst.

Oxid uhličitý CO₂

Ten se dostává do vodního prostředí při rozkladu organické hmoty a při disimilačních procesech vodních rostlin a řas (Štěch, 2007). Tedy ve fázi, kdy vlivem nepříznivých podmínek neprobíhá fotosyntéza a rostliny si tak zajišťují energii potřebnou k zachování jejich životních funkcí rozkladem zásobních látek. Ty se rozkládají na látky jednodušší, přičemž uvolňují do vody oxid uhličitý a spotřebovávají z ní kyslík (Vlastník, 2004). Tento nepříznivý stav může nastat při silném rozvoji řas, které jsou při absenci světla například přes noc schopny spotřebovat značné množství kyslíku a uvolnit do vody veliké množství CO₂. Toto ohrožuje ryby jak už v ohledu k nízkým hodnotám kyslíku, tak jim i vysoké hodnoty oxidu uhličitého ve vodním prostředí působí jisté problémy s vydechováním a zbavováním se oxidu uhličitého jako jejich metabolitu přes žaberní aparát. Oxid uhličitý má úzkou vazbu na hodnoty pH. V průběhu fotosyntézy přes den je z vodního prostředí oxid uhličitý odčerpáván, čímž se zvyšuje hodnota pH do zásadité škály. Naopak v noci řasy spotřebovávají kyslík a uvolňují CO₂ a hodnota pH klesá směrem do kyselé škály (Štěch, 2007). V akvaponických systémech je oxid uhličitý odčerpáván rostlinami, které ho při fotosyntéze využívají pro tvorbu glukózy.

pH- záporný dekadický logaritmus molární koncentrace vodíkových iontů

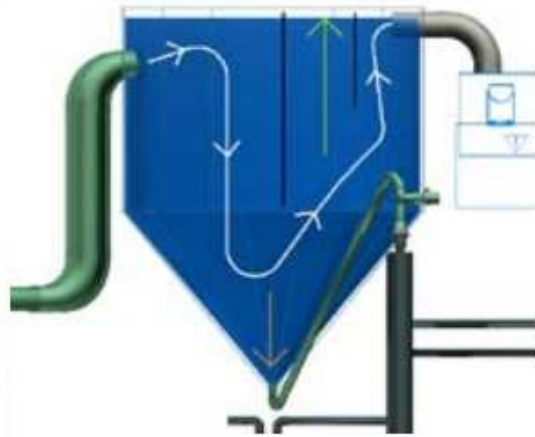
Rozsah hodnoty pH je od 1 do 14, kdy při hodnotě pH rovné 7 hovoříme o neutrálním pH. V rozmezí pH 1-7 se jedná o kyselé a 7-14 naopak zásadité prostředí. V recirkulačních systémech s biologickou filtrací, kde bývá množství organických látek a nedostatek vápníku se setkáváme s nízkým pH. To bývá spojené s procesem nitrifikace a disimilací. Naopak při denitrifikaci a intenzivní fotosyntéze hodnota pH roste. Těmto nežádoucím výkyvům můžeme zabránit zajištěním přísunu vápence do systému například ve formě drceného mramoru či vápence (Štěch, 2007). Optimální hodnota pro chov ryb se pohybuje v rozmezí pH 6,5 až 8,5. K poškození a úhynu ryb lososovitých dochází při hodnotách pH nad 9,2 a pod 4,8 a u ryb kaprovitých při pH nad 10,8 a pod 5 (Máchová a kol., 2012). V akvaponických systémech je optimální udržovat pH v rozmezí 6,8-7 (Bernstein, 2013).

2.5.2. Eliminace znečištění

Nejběžněji používaný a zároveň nejjednodušší způsob pro odstraňování nerozpuštěných látek z vody je jejich sedimentace v nádržích se speciálním tvarem (Obr. 21, Obr. 22). Tato nádrž musí mít dostatečně veliký objem, čímž se zajistí optimální zdržení vody, které je potřebné pro správnou sedimentaci. Nádrž je ve spodní části kónicky zúžená a na dně opatřena uzavíratelným otvorem s potrubím pro odvod usazených nečistot. Zaústění přívodu vody do nádrže je řešeno excentricky do boku nádrže tak, aby proud vody tvořil vír a tím pádem donutil odstředivou silou pohyb sedimentovaných částic ke stěnám nádrže. Zde jsou částice nečistot pomocí gravitační síly donuceny klesat a sedimentovat na dně nádrže. Tomuto jevu se dá napomoci ještě vhodně umístěnými lamelami, čímž se doba zdržení vody ještě prodlouží (Kouřil a kol., 2008b). Odvod vody zbavené nečistot je zajištěn přepadem v horní části nádrže, umístěným v jejím středu.



Obr. 21. Vzorek odkalovací nádrže do objemnějších recirkulačních systémů (Banat, 2014)



Obr. 22. Mechanický filtr pevných látek používaný v akvaponii (Nelson a Pade, 2007)

Odtud voda zbavená hrubých vysedimentovaných nečistot dále pokračuje do biologické fáze čištění, kde se z ní odstraní neusaditelné a rozpuštěné látky. V případě akvaponického systému tvoří tuto část filtrace kořenový systém rostlin a substrát, ve kterém jsou rostliny zasazeny. Tímto způsobem dochází jak k mechanické filtraci nerozpuštěných látek a jejich odbourávání biochemickou cestou, tak i k eliminaci živin jako například dusík a fosfor, které rostliny využívají na stavbu svých těl k zabudování do biomasy (Kouřil a kol., 2008b). Kořenový systém a substrát, ve kterém jsou rostliny zasazeny, poskytuje velkou plochu pro životní prostor mikroorganismů. Substrát je porézní, snadno propustný a díky tomu, že je periodicky zaplavovaný navozuje mikroorganismům ideální životní podmínky střídavou mokrou a provzdušňovací fází. V obohacování substrátu kyslíkem významně napomáhá i jeho transport rostlinnými pletivy přes kořenový systém rostlin (Adámek a kol., 2010). Vznikají zde tedy oxické a redukční podmínky, které jsou důležité pro nitrifikační bakterie a proces nitrifikace v aerobním prostředí. Díky nitrifikaci je amoniak, který vzniká při rozkladu bílkovin oxidován bakteriemi nejdříve na dusitany, a po té dále na dusičnany jak je popsáno v kapitole o koloběhu dusíku. Dusičnany jsou rostliny již schopny využívat a odčerpávají je tak ze systému, čímž udržují obsah dusíkatých látek ve vodním prostředí v rovnováze.

2.6. Nároky a zákonitosti pro správný chod akvaponického systému

2.6.1. Vhodně zvolené zatížení systému odpadními produkty

V akvaponickém systému existuje úzká spojitost mezi množstvím pěstovaných rostlin a schopností systému vyrovnávat se s organickým znečištěním. Pro správnou funkci a optimální chod systému je tedy důležité udržovat určitý poměr mezi počtem ryb a plochou osázenou rostlinami. Ryby potřebují pro zajištění optimálního růstu vhodné množství krmení, které nedovedou zcela a beze zbytku využít. Jeho část putuje zpět do vodního prostředí, které zatěžuje. Například retence dusíku a fosforu z krmiva v rybím organismu činí pouze 30 % dusíku a 32 % fosforu. Zbytek, tedy 70 % N a 68 % P putuje v různé formě zpět do vodního prostředí (Vejsada a Šrámek, 2012). Z toho vyplývá vysoké zatížení vody odpadními produkty z krmiva. Proto, aby byly rostliny schopny se s takovým zatížením vyrovnat, se udává maximální zatížení systému v poměru 60 až 100 g krmiva na 1m² plochy rostlin za den (Rakocy, 2007). Plocha určená pro pěstování rostlin nám limituje množství krmiva, které můžeme do systému vložit. Ve výsledku tedy dle krmného koeficientu množství ryb. Retenci krmiva samozřejmě ovlivňuje mnoho dalších faktorů, na které je potřeba brát ohledy. Kondice a zdravotní stav ryb, stresové faktory, teplota vody a její chemismus, optimálně zvolená krmná dávka a její rozvrstvení v průběhu dne. Dále může výrazně pomoci od zatížení systému odpadními produkty vhodně zvolené předčištění od hrubých nerozpuštěných látek. Podle těchto ukazatelů tedy určíme, zda se budeme přibližovat ke spodní hranici, nebo naopak k horní hranici doporučeného zatížení v rozmezí již zmíněných 60 až 100 g krmiva na 1m² plochy osázené rostlinami za den.

2.6.2. Plán chovu ryb a jejich generační rozvrstvení

U druhů ryb, které jsou k sobě at' už v rámci pohlaví nebo kvůli generační různorodosti agresivní, je vhodné učinit opatření k jejich separaci. Toho se dá dosáhnout různými způsoby. Jako první způsob můžeme zvolit rozložení obsádky ryb do více chovných nádrží. Pokud máme na počátku rozběhnutí akvaponického systému zajištěn přísun různých generací vhodného druhu ryb, tak je rozložíme podle počtu generací do nádrží (Obr. 23). To nám umožní během chodu akvaponického systému s menšími odstupy neustálou produkci tržních ryb. Vždy po slovení nádrže s odrostlými rybami ji znovu osadíme nejmladší generací a vytvoříme tím jakýsi koloběh produkce

ryb. Slabá stránka tohoto způsobu chovu ryb je ve větší prostorové náročnosti kvůli většímu počtu chovných nádrží. Jako druhý způsob chovu ryb v akvaponickém systému je možno použít systém s pouze jednou chovnou nádrží. V ní chováme ryby o různých věkových kategoriích pohromadě. V tomto případě je nutné každý měsíc nádrž složit a odebrat z ní největší tržní jedince, kteří se chovají dominantně a potravně ostatním konkurují. Samozřejmě je potřeba váhový úbytek v obsádce doplnit novou nejmladší generací o stejné celkové váze odstraněných ryb. Tedy i tento způsob nám umožní s menšími odstupy produkci tržních ryb. Má však jisté nedostatky. Jako jeden z nedostatků je nutnost časté manipulace s celou obsádkou v systému, což sebou může nést jisté riziko kusových ztrát. Dalším nedostatkem je skutečnost, že nejsme schopni identifikovat zakrnělé jedince, kteří v systému zůstávají dlouhou dobu a působí tím ztráty ať už v podobě spotřebovaného krmiva, nebo v záběru místa pro jiné perspektivní jedince (Rakocy, 2007).



Obr. 23. Tilápie (Sawyer, 2010)

2.6.3. Dotace důležitými živinami

Rostliny pěstované v akvaponickém systému potřebují pro svůj optimální růst dostatek živin. Ty jsou do systému dodávány v podobě rybího krmiva. Látky v krmivu obsažené jsou ale chudé na tři pro rostliny důležité živiny, které musí být do systému průběžně doplňovány. Jedná se o vápník, draslík a železo. Vápník a draslík se do systému může vpravit dávkováním sloučenin hydroxidu vápenatého a hydroxidu draselného, čímž se i upravuje hodnota pH (Rakocy, 2007). Železo lze do systému doplnit dávkováním chelátu železa (Rakocy a kol., 2004b).

2.6.4. Zajištění optimálního nasycení kyslíkem

Dostatečné nasycení vody kyslíkem je důležité pro všechny organismy, které s ní v akvaponickém systému přijdou do styku (Obr. 24). V tomto případě se jedná o ryby, rostliny a nitrifikační bakterie. Pro jejich maximální růst a zdraví je optimální nasycení vody kyslíkem rovno $5\text{mg}\times\text{l}^{-1}$ a vyšší. Je důležité, aby tato hodnota byla zachována v nádrži s chovanými rybami a i v místech, kde voda přichází ke styku s kořeny rostlin, tedy v substrátu. Zde navozuje ideální aerobní podmínky pro život a správnou funkci nitrifikačních bakterií, které zbavují vodu nebezpečného čpavku a dusitanů pomocí procesu zvaného nitrifikace (Rakocy, 2007).



Obr. 24. Aerace (Connolly a Trebic, 2010)

2.6.5. Odstraňování pevných nerozpuštěných látek

Přibližně asi 25 % krmiva, které dáváme rybám, je vyloučeno ve formě tuhých exkrementů. Pokud by bylo tak velké organické znečištění přivedeno přímo do hydroponické části systému, tak by docházelo k zanášení pórů v substrátu a k obalování kořenového systému rostlin. Tím by docházelo k snížení schopnosti rostlin přijímat kyslík, vodu a živiny a v konečném důsledku by docházelo k jejich pozvolnému chřadnutí. Kromě toho, je při rozkladných procesech pevných látek spotřebováván kyslík a roste obsah amoniaku. Z těchto důvodů je žádoucí, aby byly pevné nerozpuštěné látky před vstupem do hydroponické části systému v co možná největší míře odstraněny (Rakocy, 2007). Tohoto lze dosáhnout vhodně zvolenou filtrací, popřípadě vedením znečištěné vody přes odstředivou sedimentační nádrž.

2.6.6. Zvolení přiměřeného výkonu čerpadel

Vlivem velkého organického znečištění, které produkují ryby v chovné nádrži a i přes instalované předčištění a filtraci pevných nerozpuštěných látek před vstupem do hydroponické části systému se může stát, že se bude určitá část nečistot hromadit v substrátu. Zde díky mikrobiální činnosti probíhá její mineralizace, která k rozložení těchto částic vyžaduje určitý čas. Vlivem naddimenzovaného výkonu čerpadel používaných v systému k čerpání znečištěné vody by docházelo k nadměrnému zahlcování substrátu nečistotami a mikroorganismům by chyběl potřebný čas na jejich odbourávání (Obr. 25). Docházelo by tak k hromadění tuhých odpadních látek v sedimentu, čímž by se značně snížila jeho průtočnost a mohlo by tak docházet k nežádoucímu hromadění vody v médiu s rostlinami. To má za následek postupné zahnívání kořenů a chřadnutí rostlin. V substrátu se tím dále navodí anaerobní prostředí, které vede k odumírání nitrifikačních bakterií, které se začnou v systému hromadit a také ho nemalou měrou zatěžují. V konečné fázi tedy díky odumření velikého počtu mikroorganismů chybí potřebná síla k rozkladu organického znečištění, čímž se hromadění nečistot a ucpávání sedimentu jen urychlí (Rakocy, 2007).



Obr. 25. Čerpadlo (Hughey, 2005)

2.6.7. Vhodné naddimenzování dopravního potrubí

Vhodné je pro dopravu znečištěné vody z nádrže s rybami použití potrubí s velikou vnitřní světlostí (Obr. 26). Vysoké hodnoty organického znečištění v akvaponickém systému podporují růst vláknitých bakterií uvnitř potrubí a omezují tím tak jeho průchodnost. Dokonce i potrubí o vnitřní světlosti 10 cm dokáže růst vláknité bakterie omezit na průtok do takové míry, že dochází k výkyvům nad běžnou maximální hladinu vody v nádrži s rybami (Rakocy, 2007). Tento efekt, snížení průchodu potrubím díky nárůstům vláknitých bakterií se vzdáleností od nádrže s rybami klesá. Nejdůležitější je velká světlost potrubí tam, kde prochází nejvíce znečištěná voda. V našem případě tedy potrubí mezi nádrží s rybami a médiem pro hrubou filtraci pevných nečistot. Dále po proudu již není tento efekt tak výrazný díky filtraci a biochemickým pochodům, které postupně odbourávají živiny potřebné pro růst vláknitých bakterií (Rakocy, 2007).



Obr. 26. Potrubí (Gascontrol plast, 2014)

2.6.8. Zvolení vhodných a odolných organismů pro akvaponický systém

Akvaponický systém nás díky pěstování rostlin a souběžnému chovu ryb významně limituje v použití prostředků k hubení škůdců a choroboplodným zárodkům. Například pesticidy k ošetření rostlin a hubení hmyzu se nemohou používat z toho důvodu, že svou přítomností v systému působí toxicky na ryby, které dále díky obsahu těchto nežádoucích látek v těle nemohou být použity ke konzumaci. Naproti tomu léčiva podávaná rybám mohou poškodit prospěšné mikroorganismy a hromadit se v pěstovaných rostlinách, které je zabudovávají do své biomasy. Používání těchto látek v akvaponickém systému je tedy nežádoucí a z toho důvodu je na místě pro tyto systémy volit odolné organismy, které nejsou tak citlivé a vnímavé k nežádoucím vlivům okolí (Rakocy, 2007). Jako prevenci před případnými škůdci a choroboplodnými zárodky lze doporučit důsledné kontrolování chemizmu vody a v případě potřeby učinit včas vhodná opatření k nápravě. Dále do systému zavádět pouze zdravé jedince v dobré kondici, kterým budeme dávat kvalitní krmivo pro udržení jejich imunity na vysoké úrovni.

2.6.9. Zajištění dostatečné biologické filtrace

Po odstranění nerozpuštěných tuhých látek z vody následuje jako druhý krok v úpravě vody biologická filtrace. Ta pro svou správnou funkci potřebuje dostatečné zdržení vody, určitou plochu a substrát pro život mikroorganismů. Tyto podmínky v dostatečné míře zajišťuje médium i raftový systém. Problém nastává u NFT systému, který využívá k dotování rostlin živinami tenkého filmu vody, který omývá jejich kořenový systém. Díky této skutečnosti je zde velmi malá styčná plocha vody s životním prostorem nitrifikačních bakterií a ty tak nedovedou v dostatečné míře vodu amoniaku zbavovat. Zde je potřeba k zajištění optimální funkce nitrifikačních bakterií a přeměně amoniaku na dusičnany, které již jsou rostliny schopny využívat, dopomoci přídatným komponentem pro biologickou filtraci. Tento komponent umístíme před samotný trubkový či raftový systém, díky čemuž dosáhneme přeměny amoniaku na dusičnany ještě před stykem rostlin s vodou, které tak již mohou vodu dusíkatých látek zbavovat zabudováním do své biomasy (Rakocy, 2007).

2.6.10. Častá kontrola důležitého parametru pH

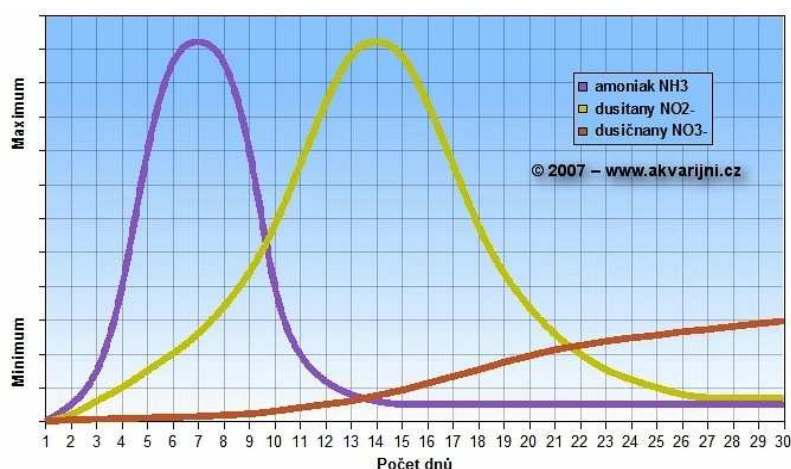
Hodnota pH je nejdůležitější parametr, který je potřeba v akvaponickém systému pravidelně hlídat (Obr. 27). S jeho hodnotou je totiž spojena celá řada životně důležitých pochodů ve vodním prostředí. Za jeden z nejdůležitějších procesů, které hodnota pH ovlivňuje, se považuje proces nitrifikace. Ta vykazuje nejvyšší účinnost při pH 8 (Tyson a kol., 2008) a její činnost prakticky ustává při hodnotě pH nižší než 6,0. Proces nitrifikace uvolňuje do vodního prostředí kyselinu, která hodnotu pH snižuje. Ta musí být opět přivedena do rovnováhy přidáním hydroxidu vápenatého a hydroxidu draselného, který kyselinu neutralizuje. pH také významně ovlivňuje rozpustnost živin ve vodě. Jeho optimální hodnota je pH rovno 6,5 nebo mírně nižší. Díky těmto skutečnostem musíme na jedné straně volit mezi kompromisní hodnotou, kterou vyžaduje proces nitrifikace a na druhé straně mezi hodnotou, kterou vyžaduje rozpustnost živin. Ideálně by se tedy měla hodnota pH v akvaponickém systému udržovat na hodnotě okolo pH 7 (Rakocy a kol., 2004b). Je-li pH příliš vysoké, tak se živiny ve vodě vysráží a rostliny je nejsou schopny v dostatečné míře odčerpávat, což snižuje jejich produkci. Při nízkých hodnotách pH se naopak v systému hromadí amoniak, který svou vysokou koncentrací působí nepříznivě na ryby. Z tohoto důvodu je důležitá každodenní kontrola hodnoty pH a včasné zareagování na její možné výkyvy (Rakocy, 2007).



Obr. 27. Kontrolní měření (Rakocy a kol., 2004a)

2.6.11. Zaběhnutí systému pro správnou funkci nitrifikačních bakterií

Biologická filtrace se od uvedení systému do provozu rozbíhá pozvolně v souvislosti s nástupem nitrifikačních bakterií. Po zahájení provozu recirkulačního systému se nejprve zvýší koncentrace amoniaku, poté přichází peak dusitanů a teprve poté nárůst dusičnanů (Obr. 28). Důvodem je to, že se na filtračních médiích musí nejdříve usídlit a namnožit mikroorganismy (aktivační doba). Aktivační doba je závislá na teplotě vody a jejich chemických vlastnostech. Bakterie se do vodního prostředí dostávají spadem z atmosféry nebo se mohou dotovat uměle z již namnožených vhodných kultur, čímž se výrazně sníží doba potřebná na jejich namnožení a zaběhnutí v systému. Aktivační doba pro přirozené zaběhnutí filtru se v létě pohybuje od 4 do 8 týdnů. Správná funkčnost filtru se pozná tak, že se na stěnách nádrží s vodou začne tvořit řasa. Pro jistotu si můžeme ještě přeměřit chemizmus vody, zda jsou parametry jako obsah amoniaku, dusitanů a hodnota pH v optimu. Po ujištění, že je vše v pořádku, tak můžeme v této fázi začít s pozvolným vysazováním ryb do systému. Nejdříve nasadíme malý počet ryb, na kterých budeme pozorovat jejich chování a zda je filtr schopen eliminovat znečištění, které produkují. V době, kdy dle kontrolovaných parametrů vody a přirozeně se chovajících ryb usoudíme, že vše funguje v pořádku, můžeme začít pozvolna dosazovat další ryby. Dobře zaběhnutý filtr i po vyschnutí rychle obnovuje kultury mikroorganismů, avšak musíme dodržovat jistá pravidla pro jeho správnou funkci. Pozor, zde musíme dávat zejména na používání dezinfekčních prostředků a použití antibiotik u ryb, které jsou schopny mikroorganismy vyhubit (Štěch, 2007). Ty se ale vzhledem k již výše uvedeným důvodům v akvaponickém systému stejně nesmí používat kvůli jejich možné kumulaci v organismu a rostlinách.



Obr. 28. Nástup nitrifikačních bakterií při zabíhání biofiltru (Vajbar, 2014)

2.7. Druhy ryb a organismů vhodných do akvaponického systému

V našich klimatických podmínkách jsme ve výběru vhodných organismů pro venkovní popřípadě skleníkové využití v akvaponii omezeni hlavně teplotou. Například pstruh duhový *Oncorhynchus mykiss* patří mezi studenododní ryby a dá se v našich zeměpisných podmínkách úspěšně chovat v těchto systémech díky vysokým letním teplotám pouze od nadmořské výšky cca 500m nad mořem (Kouřil a kol., 2008b). Naproti tomu například pro tyto systémy velice oblíbená a u nás nepůvodní tilápie nilská *Oreochromis niloticus* (Obr. 29) je teplomilný původem Africký druh ryby, který není schopen dlouhodobě snášet nižší teploty vody než 12 °C (Adámek, 1994). Z toho důvodu, je její venkovní popřípadě skleníkový chov při ideálních podmínkách omezen pouze na měsíce květen až konec září. Jako další vhodné organismy pro akvaponii můžeme také využít různé druhy koryšů a mlžů. Z koryšů se jedná hlavně o vhodné druhy raků a sladkovodních krevet. U mlžů je možno využít jejich schopnosti filtrovat a dočišťovat vodu (Backyard aquaponics, 2012a).



Obr. 29. Tilápie nilská (Shultz a kol., 2011)

2.7.1. Tilápie nilská

Jedná se o teplomilný africký druh ryby obývající řeky severní Afriky. V přirozených podmínkách se dorůstá délky až 60 cm a dosahuje hmotnosti až 4 kg. Vhodná teplota pro život je 18 až 28 °C, pro chov 26 až 30 °C (Kouřil, 2011). Je to všežravec schopný filtrace fytoplanktonu a zooplanktonu, příležitostný dravec a pojídač detritu. Dobře tráví vyšší podíl vlákniny a sacharidů. V dospělosti se orientuje převážně na býložravý způsob života (Mjoun a Rosentrater, 2010). Doporučené pH pro nejlepší rychlost růstu ryb se pohybuje v rozmezí pH 7 až 9 (Ross, 2000). Doporučená tvrdost vody je 10 – 25 °dGH (Kouřil, 2011). Optimální hodnota rozpuštěného kyslíku je $3\text{mg}\times\text{l}^{-1}$ a vyšší (Ross, 2000), ale vydrží i hodnotu $0,1\text{mg}\times\text{l}^{-1}$ (Magid a Babiker, 1975). Optimální hodnota amoniaku obsaženého ve vodě je $0,05\text{mg}\times\text{l}^{-1}$ a méně (El-Sherif a El-Feky, 2008). Vzhledem k jejich životním nárokům na vyšší teplotu, kterou v našich zeměpisných šířkách nelze celoročně zajistit jinak, než umělými podmínkami, je jejich venkovní chov omezen pouze na teplou část roku, kdy teplota vody přesáhne hodnotu 18 °C (Adámek, 1994). Tato omezující doba produkce se dá prodloužit umístěním nádrže pro chov ryb do skleníků, nebo chovem na oteplených vodách z vhodných zdrojů, které dovolují dokonce celoroční chov. Pro dosažení tržní velikosti ryb za omezující dobu teplých měsíců je potřeba mít zajištěn na konci května dostatek násady o vhodné velikosti, odchovanou v zimním a jarním období na oteplené vodě v intenzivních chovech. Tato ryba má velice dobré růstové schopnosti (Adámek, 1994). V našich podmínkách se chová optimálně při teplotě v rozmezí mezi 25 až 28 °C do tržní hmotnosti 200 až 800 g za 8 až 12 měsíců (Kouřil, 2011). Další výhodou této ryby je její vysoká odolnost vůči chorobám a nepříznivým podmínkám prostředí. Lze je úspěšně chovat i v organicky zatížených vodách z potravinářského průmyslu, živočišné výroby a i ve vodách z vegetačních čistíren (Adámek, 1994). Naproti tomu její slabá stránka je, že velice špatně snáší chladový stres (Adámek, 1994). Vzhledem k tomu, že je tilápie schopna trávit vyšší podíl vlákniny a sacharidů, je možno ji krmit méně nákladnými krmivy, které nejsou tak náročné na obsah kvalitních a drahých bílkovin (Mjoun a Rosentrater, 2010). Nároky tilápie na potravu se liší dle její velikosti a stáří. Například potrava pro plůdek o hmotnosti do 0,5 g by měla obsahovat 40 % proteinu a 11 % tuku, od 0,5 g do 35 g pak 30 % proteinu a 9 % tuku a tilápie o hmotnosti nad 35 g vyžaduje 25 % proteinu a 8 % tuku. Je schopna si přilepšovat i nárosty a vodními i suchozemskými rostlinami (Adámek, 1994). Jako doplněk stravy je možné pěstovat

přímo na vodní hladině retenční nádrže, nebo nádrže s rybami různé druhy okřehku. Tato rostlina obsahuje až 45 % proteinových složek a esenciální kyseliny. Mimo tyto výhodné vlastnosti pomáhá odčerpávat živiny z vody a díky stínu, který pod hladinou vytváří, zabraňuje růstu řas a snižuje stres ryb (Tezel, 2009). Kvalita masa těchto ryb je velice dobrá a v závislosti na způsobu chovu a výživě obsahuje toto maso okolo 20 % bílkovin, 2-6 % tuku a 1,5 % minerálních látek (Adámek, 1994). Při pořizování ryb do akvaponického systému je vhodné zvážit, zda použijeme oboupohlavní obsádku, kvůli případnému zajištění násad dalšího chovu, nebo zda se zaměříme pouze na celosamčí obsádku. Ta dosahuje dvakrát větší rychlosti růstu než samičí. Ve výsledku tedy docílíme kratší produkční dobu, větší kusovou hmotnost a efektivní využití financí vložených do krmiva (McGinty a Rakocy, 2007).

2.8. Rostliny a akvaponický systém

2.8.1. Životní nároky rostlin

Rostliny potřebují ke svému správnému růstu zajistit optimální životní podmínky, které zahrnují teplo, světlo, vláhu, živiny a vzduch (Dolejší, 1982). Ve skleníkovém akvaponickém systému je v dostatečné míře zajištěn přísun světla a tepla. Podstata těchto systémů dále zaručuje neomezený přísun vláhy obohacené o živiny i vzduchu, který je navíc přiváděn do kořenového systému rostlin díky periodickému zaplavování a vypouštění vody v substrátu. Voda používaná k zavlažování je bohatá na živiny obsažené v krmivu, které dáváme rybám a na látky vzniklé rybími metabolickými pochody. Různé koncentrace živin ve vodě se projevují i na minerálním složení rostlin (Pantanella a kol., 2012). Bohužel, zde ale nejsou v dostatečné míře zastoupeny tři pro rostliny velmi důležité prvky, které musíme do systému pro zajištění optimálního růstu rostlin dodávat. Jedná se o vápník, draslík a železo (Rakocy a kol., 2004b). Z důvodů, že akvaponický systém lze v našich zeměpisných podmínkách provozovat pouze v teplejších měsících roku, a že se často jedná o pěstované rostliny s dlouhou vegetační dobou, tak se zde přistupuje k rychlení zeleniny. To znamená, že se rostliny pěstují v uměle vytvořených podmínkách po dobu od vysetí až po sklizeň (Melichar, 1997). To nám umožňuje zajistit ideální podmínky pro vyklíčení a růst rostlin mimo jejich běžnou vegetační dobu a tím i možnost dodat čerstvou zeleninu na trh mimo přirozenou sezónní periodu.

2.8.2. Rostliny vhodné do akvaponického systému

2.8.2.1. Listová zelenina

Pro akvaponický systém se díky svým životním nárokům hodí především listová zelenina (Obr. 30). Ta klade velké požadavky na dostatek světla, pravidelnou závlivku a na zásobování dostatečným množstvím živin především ve formě dusíku (Dolejší, 1982). Této výhodné vlastnosti se v akvaponii využívá pro eliminaci dusíkatých látek z vody. Velice dobré výsledky lze dosáhnout například s vodním špenátem *Lpomoea aquatic* (Endut a kol., 2014).

Salát *Lactuca sativa*

Je velice přizpůsobivý k různým pěstitelským podmínkám, roste velice rychle a jeho pěstění se již osvědčilo v hydroponii (Pekárková, 1997). Pro správný růst vyžaduje slunné stanoviště, snadno dostupné živiny, z kterých preferuje hlavně dusík a bohaté a pravidelné zavlažování. Většinou se využívá sazenic z předpěstované sadby (Dolejší, 1982).



Obr. 30. Listová zelenina (Rakocy a kol., 2007)

2.8.2.2. Plodová zelenina

Tato zelenina ve většině případů pochází z tropických a subtropických oblastí, z čehož plyne, že je vysoce náročná na dostatek vláhy a tepla (Dolejší, 1982). Dlouhodobé teploty nižší než 10 °C zpomalují nebo úplně zastavují její růst a mráz ji ničí (Pekárková, 1997). Plodová zelenina má většinou dlouhou vegetační dobu s pomalým počátečním vývojem. Z tohoto důvodu je výhodné plodiny jako například paprika a rajče získávat předpěstováním a do systému, je sázet již jako sazenice. Urychlíme tím ranost sklizně přinejmenším o 2 až 3 týdny (Pekárková, 1997).

Paprika *Capsicum annuum*

Rozlišujeme papriku kořeninovou a zeleninovou. Zeleninová paprika je jednoletá rostlina, která je vzhledem k jejímu subtropickému původu náročná na vyšší teplotu. Pro její pěstování se hodí především slunné a dobře chráněné místo, které může být v sousedství rajčat (Pekárková, 1997). Na teplotu je však oproti rajčeti mnohem náročnější a o to více její kořeninová forma. Je to rostlina s dlouhým vegetačním obdobím 150 až 200 dní a vysokými nároky na pravidelnou závlahu. Má ráda i vysokou vzdušnou vlhkost (Dolejší, 1982).

Rajče *Solanum lycopersicum*

Jedná se o jednoletou teplomilnou rostlinu, která se dobře cítí na slunném a dobře chráněném místě, což ji předurčuje pro pěstování ve sklenících. Díky jejich dlouhé vegetační době 120 až 140 dní (Dolejší, 1982) je vhodné ji předpěstovávat a do systému použít již vzrostlé sazenice. Známe dvě základní formy této rostliny a to keříčková rajčata a rajčata tyčková. Keříčková rajčata jsou ranější forma a nejsou tolik náročné na lidskou práci. Jejich nevýhodou je, že jsou náchylnější k chorobám. Tyčková rajčata naproti tomu poskytují vyšší výnosy (Pekárková, 1997). Obě odrůdy mají rády pravidelnou závlahu ve formě podmoku, čímž se předchází omočení listů a plodů. Zabráňuje se tím šíření nežádoucích houbových chorob. Vyšší vzdušná vlhkost je nežádoucí, protože v ní rajčata hůře nasazují plody (Dolejší, 1982).

2.8.2.3. Košťálová zelenina

Pekingské zelí *Brassica pekinensis*

Pochází z přímořských oblastí ovlivněných monzunovým klimatem. Jde o jednoletou rostlinu, která v dobrých podmínkách roste velmi rychle (Pekárková, 1997). Není to náročná rostlina, ale ke svému růstu vyžaduje dostatek vláhy a vyšší vlhkost ovzduší. Má krátkou vegetační dobu 2 až 3 měsíce (Dolejší, 1982).

2.8.2.4. Aromatická zelenina

Bazalka pravá *Ocimum basilicum*

Původem z Indie, kde byla planou rostlinou a díky svým účinkům zastavujícím krvácení se využívala k léčivým účelům. Je jednoletá rostlina, která má ráda teplé, slunné a chráněné polohy. Během vegetace se může její nať seříznout až třikrát, (Kliková a Pavelková, 2000) je ale nutné vést řez asi 10 cm nad zemí, aby na následky řezu rostlina neuhynula a měla možnost znovu obrůst (Dolejší, 1982). U mladých rostlin je vhodné jejich pravidelné zaštipování, čímž se stimulují k růstu a snižujeme tím riziko, že vykvetou. Po vykvetení totiž rostlinkám dřevnatí stonek a hořknou lístky (Biggs a kol., 2004). V akvaponickém systému je dosahováno až trojnásobné produkce bazalky oproti jejímu standardnímu pěstování na záhoně (Rakocy a kol., 2004b). Během dvouleté studie pěstění bazalky v akvaponickém systému byla díky vhodně zvolené produkci a sběrné metodě dosažena produkce z původních 13 kg na m² za rok na 42 kg na m² za rok (Savidov a kol., 2007). Je dobré bazalku vysazovat v blízkosti rajčat, protože má příznivý vliv na jejich správný vývoj a posiluje jejich obranyschopnost proti nežádoucím chorobám a případným škůdcům (Kliková a Pavelková, 2000).

3. Materiál a metodika

Tento výzkum probíhal v obci Skály u Protivína. Na zahradě domu pana Mráze čp. 72 byl postaven skleník z polykarbonátových desek dodaný firmou Truhlářství - kovovýroba Rozboud Čeněk o rozměrech 5 m × 2,75 m × 2,2 m. Tento skleník byl jeho delší stranou patrnou na Obr. 31 situován na jihovýchod.



Obr. 31. Skleník (vlastní foto)

Ve skleníku byly vybudovány tři akvaponické systémy. Prvním systémem byl Médium systém využívající upravený design podle Hughey (2005). Druhým systémem byl NFT systém využívající kanalizační KG trubky. Třetím byl upravený Raft systém na principech designu autorů Rakocy a kol. (2004a). Pohon těchto systémů byl zajištěn standardním elektrickým vedením o napětí 220 voltů. Jako zdroj vody sloužila nedaleká zděná zemní nádrž zásobená vodou ze studně. Rozvod vzduchu do nádrží určených k chovu ryb a biofiltrů byl zajištěn díky kompresoru značky Sera air 550R plus o výkonu 8 w, 9,2 l×min⁻¹, který umožňoval napojení čtyř hadiček zakončených vzduchovacím porézním kamenem. Nádrž a žlab určené k chovu ryb byly dále zajištěny proti možnému úniku ryb sítěmi s velikostí ok 2×2 cm, které měly po obvodu všitou gumovou obrubu pro snazší uchycení po obvodu nádrží.

3.1. Médium systém



Obr. 32. Médium systém (vlastní foto)

Chovná nádrž

Tento systém se skládal z jedné velké kruhové a směrem ke dnu kónicky zúžené nádrže určené pro chov ryb (Obr. 33).



Obr. 33. Chovná nádrž, vpravo vpředu (Chromý, 2014)

Tato nádrž měla objem 600 litrů a byla po okraj zakopána do země. Tím byly eliminovány možné nežádoucí výkyvy teplot působící na vodu a ryby v ní. Z této chovné nádrže byla čerpána voda společně s odpadními produkty ryb pomocí čerpadla Aquaking HX 6530 o výkonu 50 w, $1750 \text{ l} \times \text{h}^{-1}$ za pomoci dvojvrstvé (uvnitř černá, zvenku zelená) zahradní hadice o průměru 25 mm a délce 7 m upevněné na konstrukci skleníku. Tato hadice byla zaústěna přes spojku a okroužek do plastového kbelíku, který tvořil vortex (Obr. 34).



Obr. 34. Zaústění do vortexu (vlastní foto)

Vortex

Byl tvořen plastovým kbelíkem o objemu 30 litrů. Zaústění do vortexu bylo díky vhodně pospojovaným varným trubkám o rozměru 25 mm a úhlových varných kolének nasměrováno tak, aby vypouštěná voda tvořila vír a odstředivou silou sedimentovaly nerozpuštěné nečistoty ve spodní části vortexu (Obr. 35).



Obr. 35. Směrování proudu a odvod předčištěné vody (vlastní foto)

Předčištěná voda zbavená hrubých nečistot byla z vortexu odváděna hladinovým přepadem vytvořeným spojením úhlového 90° varného kolena a trubky, která byla vyvedena přes stěnu vortexu pomocí spojky a okroužku do rozbočovače (Obr. 36).



Obr. 36. Rozbočovač (vlastní foto)

Rozbočovač

Z rozbočovače voda pokračovala dvěma směry. První směr zajišťoval napájení NFT systému, o kterém se zmíním později a druhý volně gravitačně padal do retenční nádrže (Obr. 37).



Obr. 37. Retenční nádrž (Sokov a. s., 2014)

Ventil varně napojený a umístěný na odvodu do retenční nádrže sloužil k regulaci množství vody přepouštěné do trubkového horizontálního systému (Obr. 38).



Obr. 38. Detail spoje rozbočovače a ventilu (vlastní foto)

Retenční nádrž

Voda se hromadila v 500l retenční nádrži (Obr. 37) až do fáze, kdy hladina dosáhla úrovně zhruba dvou třetin její výšky. V tomto bodě byl do nádrže vytvořen otvor a do něj byla vložena pomocí přechodky se závitem a navařovacího sedla s kovovým závitem vnitřní konstrukce z varných plastových trubek a úhlových kolének. Uvnitř prostoru nádrže konstrukce tvořila tvar písmena Z a na vtoku vody byla zajištěna uhelovou sítí zajištěnou gumičkou proti vniknutí řas a případných nečistot (Obr. 39).



Obr. 39. Vnitřní pohled do retenční nádrže (vlastní foto)

Na vnější straně nádrže konstrukce z varných trubek a úhlového kolena tvořila obrácené písmeno L, kterým voda gravitačně odtékala ven z retenční nádrže. Tato voda se hromadila v obráceně zavěšené 2l Pet láhvi, která měla ve dnu excentricky vytvořený otvor pro zavedení potrubí z výše popsané konstrukce a v uzavřeném víčku dole vyvrtaný otvor vrtákem o průměru 3 mm pro pomalý odtok nahromaděné vody. Tato lahev byla z poloviny zasunuta do plastové trubky o průměru 12 cm, která byla ukotvena v substrátu v bedýnce pod ní a vymezovala tak její ideální vertikální pohyb a zamezovala tak i možnému přístupu světla a tvorbě nežádoucích řas. Pet láhev byla

přípevněna přes ocelové lanko, které bylo protažené otvory vyvrtanými na dně láhve a zajištěné spínkou (Obr. 40).



Obr. 40. Detail vyústění z retenční nádrže a upevnění pet lahve (vlastní foto)

Lanko dále vedlo vzhůru skrz dřevěnou konstrukci uchycenou nad retenční nádrží přes pojezdová kolečka zašroubovaná v dřevěné konstrukci a skrz ji dovnitř retenční nádrže (Obr. 41).



Obr. 41. Lankový systém (vlastní foto)

Vypouštěcí zařízení

Uvnitř retenční nádrže byl na lanku zavěšen systém umožňující periodické vypouštění retenční nádrže (Obr. 42). Systém byl tvořen od shora nejdříve protizávažím navlečeným na lanku v podobě kovových matic a kousku varné trubky. Lanko bylo napojené pomocí spojky na trubku, která byla připojena na vypouštěcí ventil (Obr. 43) zabudovaný v otvoru ve dně retenční nádrže.



Obr. 42. Spoj s vypouštěcím ventilem (vlastní foto)



Obr. 43. Vypouštěcí ventil (Nývlt a Nývlt, 2014)

Celý systém byl pohyblivý, a když hladina v retenční nádrži dosáhla dvou třetin její výšky, tak začala voda volně odcházet skrz konstrukci z varných trubek a plnit obráceně zavěšenou Pet láhev na jejím vyústění. Pet láhev měla větší přítok vody, než byla schopna přes vyvrtaný otvor ve víčku vypustit a následkem toho se začala plnit. Tím úměrně rostla její váha až do hranice, kdy překročila sílu, kterou byl na druhé straně lanka držen vypouštěcí ventil v retenční nádrži v uzavřené poloze, a ten se tak zdvihl a otevřel. Voda tedy mohla z retenční nádrže volně odtékat do té doby, než se ventil opětovně zavřel. Tohoto jevu bylo dosaženo tak, že z Pet láhve pomalu unikala voda skrz vyvrtaný otvor ve víčku až do té fáze, že láhev ztratila svou potřebnou váhu k udržení ventilu v otevřené poloze a ten se tak znovu uzavřel. Retenční nádrž se začala vlivem čerpané přitékající vody opět plnit a koloběh se tak periodicky opakoval.

Zavlažovací konstrukce

Na odtoku od vypouštěcího ventilu byla připevněna konstrukce vytvořená z varných trubek, úhlových varných kolen, varných T-spojek a varných ventilů pro regulaci množství průtočné vody. Tato konstrukce měla hlavní osu na konci zaslepenou a šest otevřených postranních ramen. Na každé straně tři ramena opatřená regulačním ventilem. Voda tedy vytékala šesti rameny a její množství bylo regulováno pomocí uzavíracích ventilů (Obr. 44). Tím bylo dosaženo přibližně stejně silného proudu na výtoku ze všech ramen.



Obr. 44. Zavlažovací konstrukce (vlastní foto)

Bedýnky se substrátem

Voda po té zaplavovala šest bedýnek se substrátem, ve kterých byly zasazeny rostliny. Bedýnky byly plastové o rozměrech 45 cm × 70 cm × 30 cm zakoupené v Baumaxu. V každé bedýnce kromě prvních dvou v páru ve směru od retenční nádrže byly vyvrtány pomocí truhlářských vykrúžovacích vrtáků o průměru 25 mm čtyři otvory. První dva otvory byly ve spodní části asi 3 cm nade dnem uprostřed kratších protilehlých bočnic. Druhé dva otvory byly vyvrtány v horní části asi 3 cm od horního okraje bedýnky na téže straně jako spodní otvory, ale blíže k jedné z delších bočnic tak, aby se zrcadlově doplňovaly se sousední bedýnkou v páru a byly blíže k mezeře mezi nimi. První dvě bedýnky u retenční nádrže se lišily tím, že měly otvory vyvrtané pouze v jedné z kratších bočnic. Tedy každá dva. Jeden ve spodní části a jeden v horní. Takto připravené bedýnky se pak díky varným trubkám a varným přechodkám se závitem spojily do soustavy šesti bedýnek. Respektive do dvou soustav po třech bedýnkách spojených za sebou v horní a spodní části, které tak byly díky spoji pomocí varných trubek průtočné. Koncové bedýnky před vtokem do nádrže s rybami měly na přechodkách našroubovaných v otvorech bedýnek navařeny varné trubky pospojované díky varným úhlovým kolenům do tvaru písmene L. Ty končily v dostatečné vzdálenosti nad hladinou vody v nádrži s rybami, aby z nich padající voda čeřila hladinu a vodu v nádrži s rybami tím okysličovala (Obr. 44). Pro tento účel bylo do nádrže s rybami zavedeno i vzduchové čerpadlo s dopravní hadičkou zakončenou vzduchovacím kamenem s jemnými póry. Do bedýnek určených pro sadbu rostlin byly vloženy podélně půlené drenážní trubky o průměru 10 cm tak, aby pokryly celou délku dna bedýnky a byly schopny zakrýt vně jejich poloměru spodní otvory v kratších bočnicích (Obr. 45). To bylo důležité z toho důvodu, aby se substrát pro sadbu rostlin nedostal do spojovacího potrubí a tím ho neucpal. Po vložení drenážních trubek bylo možno do těchto bedýnek nasypat substrát, který byl v podobě jemného štěrku o frakci 5-10 mm, a dále keramzitu o stejné frakci. Substrát byl nasypán zhruba 5 cm pod horní spojovací otvory a přechodky v nich umístěných. Na přechodku byla navlečena uhelonová síťka, která byla zajištěna gumičkou a tvořila tak zábranu proti cestování substrátu při záplavě vodou do následující bedýnky.



Obr. 45. Půlené drenážní potrubí a spoje bedýnek (vlastní foto)

Takto sestavený systém byl připraven pro sadbu rostlin a po zaběhnutí nitrifikačních bakterií i pro pozvolné nasazování ryb.

3.2. NFT systém



Obr. 46. NFT systém (vlastní foto)

Rozbočovač

Popis složení tohoto systému začnu u již výše zmíněného výstupu vody zbavené hrubých vysedimentovaných nečistot z vortexu. Voda dále pokračovala do rozbočovače zhotoveného z varných trubek, varného kolénka, ventilů pro regulaci proudu a T spojky, která tvořila vlastní rozbočovač (Obr. 47).



Obr. 47. Detail rozbočovače (vlastní foto)

Ventily svou polohou určovaly, kolik vody bude přitékat do NFT systému, a kolik vody bude pokračovat dolů do retenční nádrže a tím zásobovat médium systém.

Filtrační nádrž

Voda ve směru NFT systému dále pokračovala přes okroužek a spojku s vnějším závitem do filtrační nádrže vytvořené z plastové bedny o rozměrech 40 cm × 60 cm × 30 cm (Obr. 48). Potrubí ústilo do plastové bedny ve středu jedné z jejích kratších bočnic asi osm centimetrů pod horním okrajem. Na protější straně byl zhotoven stejně umístěný otvor tvořící odvod vody z filtrační nádrže. Těmito otvory byla vymezena stálá hladina vody ve filtrační nádrži. Do této nádrže bylo vloženo filtrační médium v podobě 3 molitanových bloků o rozměrech 40 cm × 35 cm × 10 cm a dále sem byla zavedena hadička se vzduchovacím kamenem.



Obr. 48. Filtrační médium (vlastní foto)

Voda odtékala z filtrační nádrže skrz její stěnu, do které byl vložen okroužek a spojka (Obr. 49). Na spojku byla navlečena běžná tmavá zahradní hadice o průměru 25 mm a délce asi 1,2 m.



Obr. 49. Výtok z filtrační nádrže (vlastní foto)

Její konec byl zaveden do níže položeného děrovaného potrubí, kam voda volně gravitačně odtékala (Obr. 50).



Obr. 50. Zaústění do trubkové konstrukce (vlastní foto)

Horizontální systém

Toto potrubí bylo zhotoveno z PVC o průměru 11 cm a délky 2 m (Obr. 51). Byly v něm z vrchní strany po celé délce vyvrtány otvory pomocí vykrúžovacího truhlářského vrtáku o průměru 8 cm s rozestupy 3,5 cm. Celý systém se skládal z šesti děrovaných trubek, dvou kratších trubek bez vyvrtaných otvorů, dvou záslepek a jedenácti 90° kolének (Obr. 52). Všechny komponenty mohly být díky tomu, že měly vždy na jedné straně rozšířené hrdlo s těsněním pospojované pouhým zasunutím do sebe.



Obr. 51. Potrubí s hrdlem (Wavin ekoplastik, 2014)



Obr. 52. Koleno s těsněním (Triker a. s., 2014)

Vhodně vloženými 90° úhlovými kolénky se pak mohla celá soustava složit do vyspádovaného „hada“, který byl okapními objímkami přichycen na dřevěné konstrukci (Obr. 53).



Obr. 53. Potrubí (vlastní foto)

Dvě kratší trubky o délce 25 cm se vložily mezi patra horizontálně upevněných trubek a spolu s vzhůru natočenými hrdly kolének tak vytvořily prostor potřebný pro růst rostlin. Spodní a tedy poslední děrovaná trubka byla na nejnižším položeném bodě celé soustavy potrubí opatřena záslepkou.



Obr. 54. Odtok z trubkové soustavy (vlastní foto)

Vyústění z trubkové soustavy

V záslepce byl vytvořen otvor, kterým byla prostrčena spojka zajištěná okroužkem se závitem (Obr. 54). Na spojku byla navlečena další část standardní tmavé zahradní hadice o průměru 25 mm, která byla zajištěna stahovací objímkou. Hadice měla délku asi 6 m a její konec byl zaveden do nádrže určené pro chov ryb.

Celá soustava vytvořená z trubek tedy byla přes okapní objímky a samořezné šrouby připevněna na dřevěnou konstrukci tak, aby tvořila spád a voda, která do ní přitékala z nejvýše položené filtrační nádrže, volně gravitačně protékala celou soustavou potrubí a hadicí na jejím konci až do nádrže s rybami. Tam se voda míchala se znečištěnou vodou obohacenou o odpadní metabolické produkty z ryb a byla pomocí čerpadla hnána do vortexu pro vysedimentování hrubých nerozpuštěných nečistot. Tak se celý okruh, kterým voda procházela, uzavřel. V části NFT systému určené pro pěstování rostlin byly do otvorů v potrubí použity 0,5 l kelímky od jogurtu.

3.3. Raftový systém



Obr. 55. Raftový systém (vlastní foto)

Chovná nádrž

Tento systém se skládal z plastového žlabu zakoupeného u firmy C-plastik o rozměrech 40 cm × 40 cm × 300 cm, který byl využit jako chovná nádrž pro ryby. Tento žlab byl ze dvou třetin výšky zakopán do země, aby tlumil nežádoucí výkyvy teplot a jejich přímý dopad na ryby (Obr. 55). V jedné z jeho kratších bočnic v jejím středu těsně u dna byl již z výroby připraven otvor o průměru 7,5 cm, na který se nasadilo 90° koleno s potrubím, které jsou standardně nabízeny jako doplňkový sortiment ke žlabu. Koleno spolu s potrubím bylo otočeno vzhůru k hornímu okraji žlabu. V horní části potrubí ve výšce asi 38 cm od země byl zhotoven otvor pomocí truhlářského vykrūžovacího vrtáku o průměru 32 mm.

Vortex

Dalším komponentem byl vortex zhotovený z modrého plastového kbelíku zakoupeného v Baumaxu o objemu 50 l. Do jeho boku ve výšce asi tři čtvrtiny z celkové výšky kbelíku byly vyrobeny dva otvory naproti sobě.

Do prvního otvoru byla vložena spojka, která se zavedla i do otvoru sousedícího potrubí popsaného výše a zajistila se okroužkem. Na spojku uvnitř vortexu bylo navařeno 90° kolénko otočené do vodorovné polohy. Do něj se napojila krátká část varné trubky zakončená dalším 90° kolénkem tak, aby ve vodorovné ose tvořila pomyslné písmeno Z. Díky takto pospojovaným komponentům, vytvářela přiváděná voda do vortexu vír, kterým bylo docíleno sedimentování hrubých nečistot v jeho spodní části.

Uprostřed dna vortexu byl dále zhotoven otvor, do kterého byla vložena spojka se závitem zajištěná okroužkem. Do spojky byla navařena konstrukce vyrobená z varných trubek a dvou kolének s ventilem. Tato konstrukce byla zhotovena následujícím způsobem. Na spojku bylo navařeno 90° kolénko. Do něj byla zavařena krátká část varné trubky tak dlouhá, aby přesahovala poloměr dna asi o 5 cm. Na její konec bylo napojeno 90° kolénko otočené volným koncem vzhůru. Sem se opět napojila krátká část varné trubky zakončená regulačním ventilem, na jehož druhém konci byla hubice se závitem pro napojení běžné zahradní hadice. Celá tato konstrukce sahala zhruba do poloviny vortexu. To bylo důležité z toho důvodu, že tato výška končila pod úroveň hladiny vody ve vortexu vymezené vyrobeným přepadem. Bylo tedy možno po nasazení hadice na hubici nad ventilem jeho pouhým otočením do průtočné polohy samospádem toto zařízení odkalit a zbavit tak hrubých vysedimentovaných nečistot.

Druhý protější otvor v boku vortexu byl osazen spojkou s vnějším závitem, na kterou byla navařena krátká část trubky zakončené 90° kolénkem otočeným vzhůru. Tato sestava sahala do středu kbelíku představující vortex a tvořila přepad pro odvod vody zbavené hrubých nečistot (Obr. 56).

Filtrační nádrž

Na spojku s navařeným odvodem vody byla nasunuta sousedící plastová bedýnka tvořící filtrační nádrž. Tato bedýnka měla rozměry 45 cm × 70 cm × 30 cm. Uprostřed jedné z jejich kratších bočnic ve výšce asi 8 cm od horní hrany bedýnky byl vyvrtán otvor, kam ústila spojka z vortexu. Zde byla zajištěna okroužkem a spojila tak

obě nádrže do jednoho průtočného celku. Do této bedýnky byly vloženy 3 bloky hrubého molitanu o rozměrech 35 cm × 45 cm × 10 cm, které tvořily filtrační médium (Obr. 56). Dále sem byl zaveden hadičkou přívod vzduchu od čerpadla zakončen vzduchovacím kamenem s jemnými póry. V nejzazší části bedýnky bylo umístěno čerpadlo značky IDRA o výkonu 25 w, 400-1300 l×h⁻¹, na které byla napojena standardní tmavá zahradní hadice o průměru 25 mm. Tato hadice měla délku asi 6 m a čerpala vodu do žlabové části tohoto systému s raftovými médii.



Obr. 56. Filtrační část systému (vlastní foto)

Raftové nádrže

Žlabová část raftového systému se skládala ze tří žlabů. První spodní žlab určen pro chov ryb byl popsán výše. Další dva žlaby byly o něco větší a byly umístěny na železné konstrukci nad ním. Tyto žlaby byly zakoupeny od firmy C-plastik, spol. s r.o. a měly rozměry 40 cm × 20 cm × 400 cm (Obr. 57). Byly standardně od výrobce opatřeny otvory ve dnu s integrovaným těsněním po jejich obvodu, umístěny blízko jedné z kratších bočnic. Dále k nim bylo dodáváno jako doplňkový sortiment i potrubí pro odvod vody ze žlabu a rámečky se zavařenou síťovinou. Tyto rámečky se vkládaly do drážek zabudovaných ve žlabech již z výroby a vymezovaly tak přehrazením žlabu bezpečný prostor okolo otvoru pro odvod vody.



Obr. 57. Celkový pohled na žlabovou část systému (vlastní foto)

Do horního žlabu byla čerpána voda z filtrační části systému pomocí již zmíněné zahradní hadice. Hladina vody zadržené ve žlabu byla vymezena pouhým výškovým nastavením potrubí zasunutého do otvoru s těsněním ve dnu. To bylo vysunuto zhruba 5 cm pod horní okraj samotného žlabu a tvořilo tak vlastní přepad pro odvod vody do nižšího žlabu umístěného v ose pod ním (Obr. 58).



Obr. 58. Detail přepadu žlabu (vlastní foto)

Druhý dlouhý žlab o úroveň níž byl vybaven stejně. Pouze byl o 180° otočen tak, aby přepadová výpusť byla na druhé straně než v předchozím případě. Voda tak volně přepadem odcházela do spodního žlabu určeného pro chov ryb (Obr. 59).



Obr. 59. Druhý žlab, přepad (vlastní foto)

Díky mezeře vzniklé mezi spodním koncem přepadového potrubí z hořejšího žlabu a hladinou spodní chovné nádrže docházelo k čeření hladiny vody a tím i k jejímu okysličování (Obr. 60).



Obr. 60. Detail čeření hladiny (vlastní foto)

Voda tedy skrz žlabovou soustavu gravitačně docestovala až do spodního žlabu určeného pro chov ryb a celý okruh tak uzavřela.

Raftová média

Do horních dvou žlabů, určených pro pěstování rostlin, byla umístěna raftová média. Tato média byla zhotovena z polystyrenových desek o rozměru 100 cm × 40 cm a tloušťky 2 cm, do kterých byly vykružovacím vrtákem vyvrtány otvory o průměru 6 cm (Obr. 61). To nám umožňovalo do nich vložit proděravěné plastové kelímky určené pro sadbu rostlin.



Obr. 61. Raftové médium (vlastní foto).

Do raftových médií byly vloženy plastové kelímky o objemu 0,2 l standardně prodávané v prodejnách s potravinami (Obr. 62).



Obr. 62. Kelímek (ABUS s. r. o., 2014)

3.4. Testované organismy

3.4.1. Ryby

Jako testovaný organismus byla použita tilápie nilská *Oreochromis niloticus* (Obr. 63). Ryby byly zakoupeny v Tisové u Sokolova z chovu společnosti Rybářství Mariánské lázně, s.r.o. Tyto ryby měly počáteční průměrnou hmotnost 250 g. Cílem bylo, aby dosáhly konečné kusové hmotnosti 500 g a drželi jsme se finální doporučené konzervativní koncentrace ryb 30 g ryb na litr vody (15 kg v 500 l vody). Do systému tedy bylo nasazeno 30 ks ryb o průměrné hmotnosti 250 g a celkové hmotnosti 7,5 kg. Během pokusu byly ryby v měsíčních intervalech váženy pro kontrolu zdravotního stavu, přežití a váhového přírůstku. Ryby byly krmeny extrudovaným krmivem, vyrobeným firmou Trope a.s. (Tab. 1). Krmeny byly ručně jednou denně v krmné dávce 1 % hmotnosti obsádky. Vážení probíhalo za pomoci elektronické váhy značky Kern s přesností měření na 1 g.

Tab. 1. Živinné složení (v g×100 g krmiva⁻¹) použitého krmiva

Sušina	92,82
Dusíkaté látky	35,57
Lipidy	6,52
BNLV	39,11
Popeloviny	8,40
Vláknina	3,22



Obr. 63. Tilápie nilská (vlastní foto)

3.4.2. Rostliny

V našich systémech byly použity následující rostliny: bazalka pravá *Ocimum basilice* (Obr. 64), rajče jedlé *Solanum lycopersicum*, paprika *Capsicum annuum*, tykev obecná *Cucurbita pepo*, okurka setá *Cucumis sativus*, salát locika setá (*Lactuca sativa*), fazol obecný (*Phaseolus vulgaris*), pažitka pobřežní (*Allium schoenoprasum*), chilli papričky (*Capsicum* sp.), pepino gold (*Solanum muricatum*).



Obr. 64. Bazalka pravá (vlastní foto)

Všechny rostliny byly do systému sázeny z předpěstované sadby ve formě odrostlých sazenic. Byly buď předpěstovány ze semen v kontrolovaných podmínkách, nebo zakoupeny jako již předpěstované sazenice ze zahradnictví. Pro jejich sadbu do kelímků se využil standardně prodáváný substrát zakoupený ve specializovaných prodejnách. Odrostlá a sklizená bazalka pravá se měřila pomocí svinovacího metru pro stanovení průměrné délky a vážila na elektronické váze pro zjištění hmotnosti narostlé biomasy.

3.5. Metody využívané pro kontrolu chemických parametrů vody v systému

Chemizmus vody v systému byl kontrolován 3× týdně a to v dnech pondělí, středa a pátek. Měření probíhalo ve večerních hodinách kolem 17:00 hodiny před krmením ryb. V chovné vodě se sledovaly parametry, jako jsou: teplota, pH, obsah rozpuštěného kyslíku, množství amoniakálního dusíku a dusitanů.

3.5.1. Měření teploty, pH a obsahu rozpuštěného kyslíku

Měření teploty vody, pH a obsahu rozpuštěného kyslíku probíhalo za pomoci elektronického přístroje Insa multimetr MFD 79. Teplota vzduchu a vody v různých částech systémů byla kontinuálně měřena s hodinovým intervalem záznamu pomocí teplotního datalogeru Minikin (EMS Brno). Teplotní čidla byla umístěna do chovné nádrže ryb u Médium, NFT i Raftového systému. Dále do trubkové části NFT systému určené pro pěstování rostlin a raftové nádrže Raftového systému. Poslední čidlo bylo zavěšeno ve skleníku ve výšce 1,5 m pro sledování teploty okolního vzduchu.

3.5.2. Měření hodnoty volného amoniaku

Stanovení hodnoty volného amoniaku bylo vypočteno za pomoci zjištěné koncentrace amonných iontů. Tato koncentrace se odvozovala za pomoci Seignetovy soli, tedy 50% roztoku vinanudraselno-sodného a Nesslerova činidla. Dále k provedení stanovení bylo potřeba 50ml zkumavky, pipety, hodinek, tabulky s hodnotami volného amoniakálního dusíku v závislosti na hodnotě pH a teplotě vody a destičky s barevnou škálou pro orientační stanovení amoniakálního dusíku v $\text{mg} \times \text{l}^{-1}$. Stanovení probíhalo následovně. K 50 ml vzorku vody ze systému se přidaly pomocí pipety 2 kapky Seignetovy soli a 1 ml Nesslerova činidla. Vzorek se promíchal a nechal se 10 minut působit. Po této době se vyhodnotila intenzita zabarvení vzorku tak, že se destička s barevnou škálou položila na rovnou plochu a kolmo k ní se ve vzdálenosti asi 5 cm přiložila zkumavka. Pohledem skrz zkumavku na bílém podkladu v podobě destičky s barevnou škálou se vyhodnotilo její zabarvení a přiřadila se tak číselná hodnota označená pod příslušnou barvou. Tato číselná hodnota nám stanovila amoniakální dusík. 1mg amoniakálního dusíku je roven $1,29 \text{ mg NH}_4^+$ a proto jsme hodnotu námi

stanoveného amoniakálního dusíku vynásobili hodnotou 1,29. Vzniklý výsledek nám určil hodnotu celkového amoniaku, tedy 100% nasycení.

Z tabulky, která má uvedeny procentuální hodnoty volného amoniakálního dusíku v závislosti na teplotě a pH jsme vyčetli přiřazenou hodnotu. Tu jsme pak spolu se 100% nasycením vypočítaným výše dosadili do trojčlenky a dopočtem nám vyšlo skutečné nasycení vody v systému volným amoniakem NH_3 , který je pro ryby toxický.

3.5.3. Měření obsahu dusitanů

U stanovení dusitanů jsme postupovali následujícím způsobem. Nejdříve jsme díky použití chemických látek jako roztoku kyseliny sulfanilové a roztoku NED tedy N-(1-naftyl)-ethylendiamindihydrochlorid a dále za využití 10ml zkumavky s uzavíratelným víčkem, pipety, hodinek a tabulky s barevnou škálou určili obsah dusitanového dusíku. Postup byl následující. Do zkumavky s víčkem bylo odebráno 10 ml vzorku vody ze systému a pipetou se k němu přidalo 10 kapek kyseliny sulfanilové. Zkumavka se uzavřela, protřepala, a po té se chemikálie nechala 5 minut působit. Po pěti minutách se do vzniklého roztoku pipetou přidalo 10 kapek roztoku NED, roztok se protřepal a nechal se působit 10 minut. Během těchto deseti minut se vytvořilo zabarvení vzniklého roztoku, které je stálé 24 hodin. Toto zabarvení se vyhodnotilo tak, že jsme uzavřenou zkumavku drželi jednou rukou ve svislé poloze ve výšce očí. V druhé ruce rovnoběžně se zkumavkou ve vzdálenosti asi 5cm od ní jsme drželi tabulku s barevnou škálou tak, aby barva zkumavky vynikla na její bílé ploše. Pak jsme vybrali k ní nejbližší barevný odstín ze škály barev a poznamenali jsme si její hodnotu v $\text{mg} \times \text{l}^{-1}$. Tím jsme stanovili hodnotu dusitanového dusíku. Dále jsme díky skutečnosti, že se $1 \text{ mg NO}_2^- \text{-N}$ rovná hodnotě $3,28 \text{ mg NO}_2^-$ vypočetli vynásobením skutečnou hodnotu dusitanů.

3.6. Hodnocení systémů

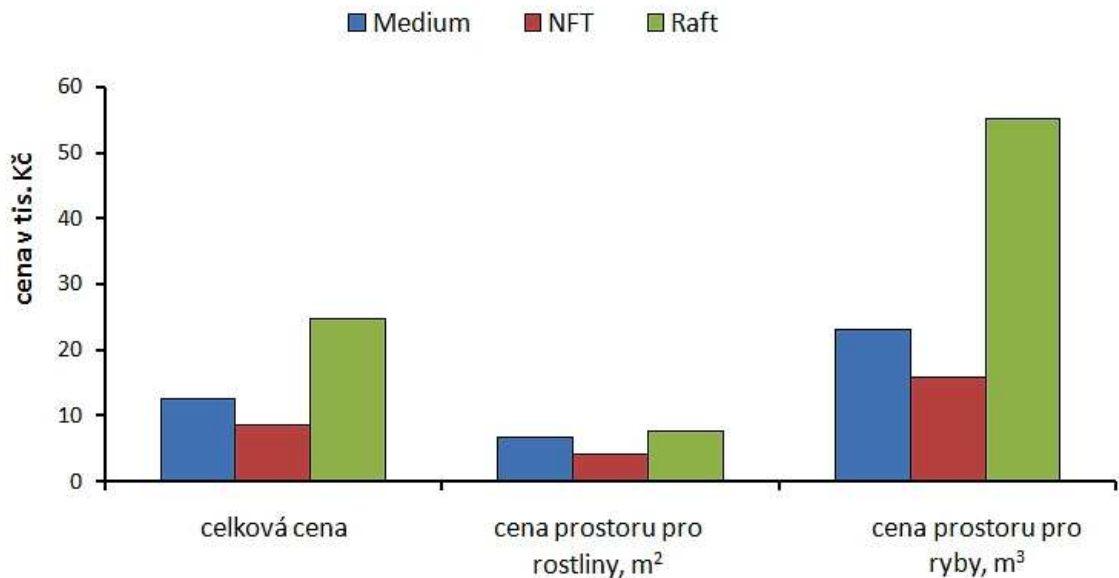
Jednotlivé kategorie hodnotící námi sestavené a testované systémy (Obr. 65) byly voleny tak, aby pomohly potencionálnímu zájemci o jejich výstavbu a provoz vybrat do jeho podmínek ten nejvhodnější ze systémů. Byly hodnoceny zejména ekonomické náklady na výstavbu jednotlivých systémů jako například ceny použitých komponentů, cena přepočtena na 1m^2 plochy systému určeného pro pěstování rostlin, cena 1m^3 určeného pro chov ryb a celková cena finálního systému schopného provozu. Další důležitý parametr našeho výzkumu byl množství použitých komponentů v jednotlivých systémech a náročnost jejich sestavení dle použitého nářadí a obtížnosti pracovních postupů. Dále prostorové nároky těchto akvaponických systémů a jejich porovnání dle prostoru určeného pro chov ryb a pěstování rostlin. Dalším významným parametrem byla poruchovost jednotlivých systémů ověřením v provozu a časová náročnost jejich obsluhy pro zajištění bezchybného chodu. V poslední řadě se přihlédlo k možné variabilitě použitých rostlin vzhledem k jejich prostorovým a životním nárokům.



Obr. 65. Celkový pohled na systémy (vlastní foto)

4. Výsledky

4.1. Cena



Graf 1. Porovnání 3 akvaponických systémů z hlediska ceny (v tis. Kč) celkového sestaveného systému, celková cena přepočtená na 1m² určený pro pěstování rostlin a celková cena přepočtená na 1m³ určený pro chov ryb

Nejdražší z těchto 3 systémů byl Raftový systém. Jeho cena byla ve všech hodnocených parametrech v porovnání s dalšími dvěma systémy vyšší. V porovnání se systémem NFT byla jeho celková cena a celková cena přepočtená na 1m³ prostoru určeného pro chov ryb dokonce téměř trojnásobná. Nejlépe z tohoto hlediska naopak vyšel již zmiňovaný NFT systém, jehož cena byla ve všech sledovaných parametrech nejnižší. NFT systém byl s malým odstupem následován Médium systémem, který byl v ohledu hodnocení kritériem ceny vhodnou alternativou mezi těmito dvěma výše zmíněnými akvaponickými systémy (Graf 1).

Pro lepší přehled přikládám do příloh tabulky s cenami jednotlivých komponentů, použitých při výstavbě námi vybudovaných systémů Příloha 1-3.

4.2. Pracovní náročnost výstavby a množství použitých komponentů

Médium systém

System se skládal ze 77 různých komponentů, které se musely pracně spojovat za využití rozmanitého nářadí. Při spojování varných plastových komponentů bylo použito i nářadí o vysoké provozní teplotě. Bylo zde také potřeba mnoho spojů dodatečně izolovat pro jejich lepší těsnost, aby nedocházelo k úniku vody ze systému. Vzhledem k velikému počtu komponentů a nutnosti využívání rozmanitých technik při jejich spojování do finálního celku, se sestavení tohoto systému jevílo jako značně náročné. Oproti ostatním systémům nemusel být zařazen biologický filtr.

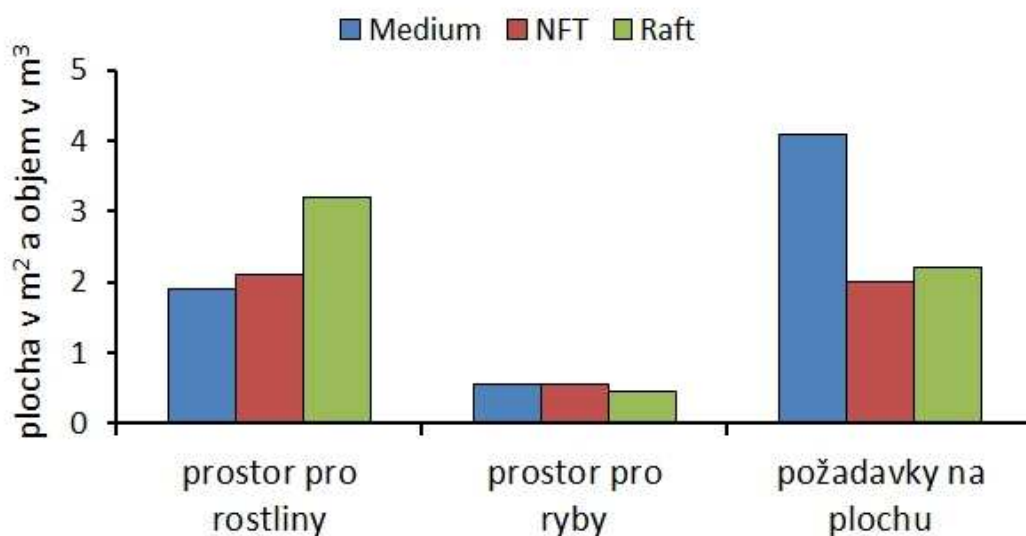
NFT systém

Část tohoto systému určená pro pěstování rostlin byla vystavěna z komponentů, které byly již z výroby opatřeny těsníciými spoji. Spojení těchto komponentů se provádělo pouze zasunutím jednoho dílu do druhého. U druhé části systému, která sloužila především pro mechanickou a biologickou filtraci a dopravu vody, již bylo použito více rozmanitých komponentů. Některé díly se spojovaly i pomocí vysokých teplot. Celkový systém se skládal celkem z 53 různých komponentů a jeho výstavba se tak jevíla jako středně těžká. Tento systém vyžadoval zařazení mechanické i biologické filtrace.

Raftový systém

První část tohoto systému skládající se z dvou raftových nádrží a jedné chovné nádrže nebyla díky vhodně zvoleným komponentům náročná na výstavbu. Při stavbě druhé části skládající se z vortexu a filtrační nádrže již bylo použito varných spojů za pomoci nářadí o vysoké provozní teplotě a dodatečné těsnění závitových spojů kvůli jejich lepší těsnosti. Celkový systém se skládal z 34 různých komponentů. Díky nejnižšímu počtu komponentů a jejich vhodné volbě nebyl tento systém nijak náročný na výstavbu. Tento systém vyžadoval zařazení mechanické i biologické filtrace.

4.3. Efektivita využití zastavěného prostoru

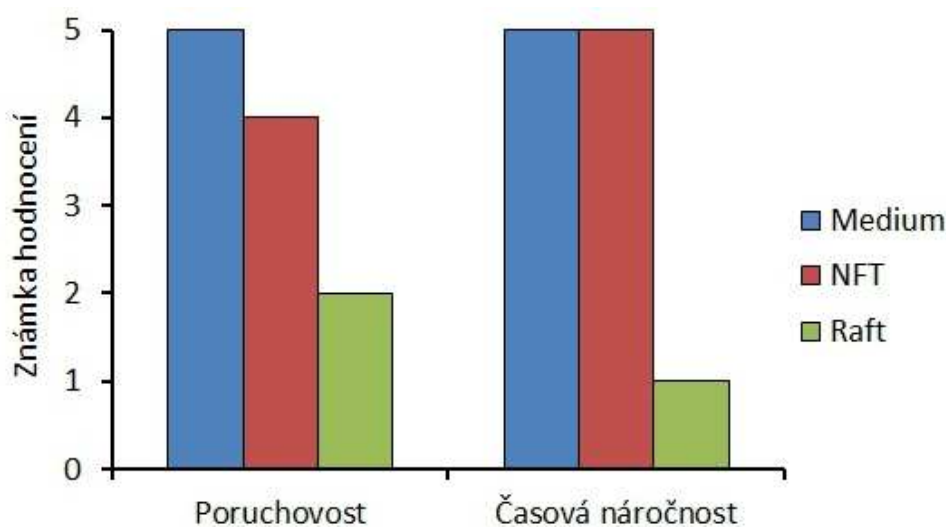


Graf 2. Prostorová náročnost celkových sestavených systémů (v m²), jejich prostor určený pro pěstování rostlin (v m²) a prostor určený pro chov ryb (v m³)

Médium systém má největší požadavky na zastavěnou plochu i přes to, že z námi testovaných systémů poskytuje nejmenší prostor vymezený pro pěstování rostlin. Nejlépe je na tom naopak Raftový systém, který sice vyžaduje pro celkový sestavený systém o něco málo větší plochu než NFT systém, ale zároveň poskytuje v porovnání s NFT a Médium systémem nesrovnatelně větší plochu určenou pro pěstování rostlin. I NFT systém poskytuje v porovnání k jeho celkové zastavěné ploše velice dobrý poměr k prostoru, který nabízí po pěstování rostlin. Z hlediska objemu vody, vymezeného pro chov ryb, nebyly mezi námi sestavenými akvaponickými systémy výrazné rozdíly. Médium systém a NFT systém dokonce využívaly totožné nádrže pro chov ryb a z toho důvodu v grafu vykazují srovnatelné hodnoty (Graf 2).

4.4. Poruchovost a časová náročnost obsluhy

Každý z námi sestavených a testovaných akvaponických systémů byl hodnocen z hlediska jeho spolehlivosti chodu v provozu a časové náročnosti obsluhy pro zachování nepřetržitého chodu. Hodnocení bylo realizováno pomocí číselné škály od 1 do 5, kdy známkou 1 byla hodnocena nejkladněji vnímaná vlastnost. Výsledky hodnocení jsou patrné z Grafu 3.



Graf 3. Hodnocení poruchovosti a časové náročnosti obsluhy pro zajištění bezporuchového chodu 3 akvaponických systémů. Hodnocení je realizováno pomocí číselné škály od 1 do 5, kdy 1 je nejlepší.

Nejporuchovější byl Médium systém. Vzhledem k tomu, že je velice špatně hodnocena i časová náročnost obsluhy pro zachování jeho bezporuchového chodu, tak se tento systém jeví jako nejméně spolehlivý v provozu. Na druhém místě v poruchovosti je NFT systém, který se v časové náročnosti obsluhy dokonce řadí na stejnou úroveň jako Médium systém a je tedy také málo vhodný pro nepřetržitý provoz. Naopak je tomu u Raftového systému, který je hodnocen nejlépe v obou námi sledovaných parametrech, a můžeme jej tedy doporučit jako spolehlivý (Graf 3).

Pro lepší představu vzniklých poruch na jednotlivých systémech a času potřebného k zajištění jejich nápravy a případné prevence uvádím, níže hodnocení každého námi sestaveného systému zvlášť.

Médium systém

U tohoto systému byly časté poruchy chodu periodického vypouštěcího zařízení u retenční nádrže. Jeho zablokování v otevřené poloze nebo poruchy spouštění vypouštěcího cyklu. Dále byly časté opakující se úniky vody ve spojích komponentů, ucpávání drenáže, spojovacího potrubí a hadic.

Díky výše zmíněným poruchám bylo potřeba každodenní kontroly. Zejména bezporuchovosti chodu spouštěče periodického zaplavování bedýnek se substrátem. Bylo to důležité pro zachování optimální funkčnosti celého systému. Jednou týdně bylo vhodné překontrolovat také průchodnost hadic pro dopravu vody a doplnit odpařenou část vody ze systému.

NFT systém

Často docházelo k tomu, že na výstupu z rozbočovače umístěného za vortexem se špatně reguloval proud vody určený pro zásobování NFT systému. Do horizontálně vysahovaných trubek určených pro pěstování rostlin tak teklo příliš málo vody, nebo voda nepřitékala vůbec. K tomu docházelo také díky zhoršené průchodnosti hadic pro dopravu vody.

Díky výše zmíněným skutečnostem byla nutná každodenní kontrola průtoku vody v trubkách, určených pro pěstování rostlin. Dále byla jednou týdně vhodná kontrola průchodnosti hadic pro dopravu vody a doplnění odpařené části vody.

Raft systém

Poruchy na tomto systému byly pouze v podobě částečného ucpání spojovacích komponentů mezi nádrží a vortexem a zhoršení průchodnosti hadice pro dopravu vody do horní raftové nádrže.

Tento systém nevyžadoval častou kontrolu kvůli jeho poruchovosti. Ta se omezovala pouze na týdenní doplnění odpařené části vody a kontrolu průchodnosti hadic určených pro dopravu vody.

4.5. Variabilita možností použitých rostlin

Médium systém

Tento systém umožňoval použití velikého počtu rozmanitých rostlin. Byl v tomto ohledu v podstatě nejuniverzálnějším z třech námi testovaných akvaponických systémů. Bylo zde možno pěstovat byliny, tykvovité rostliny, listovou, košťálovou a kořenovou zeleninu, ale také vyšší rostliny jako například plodovou zeleninu. U plodové zeleniny bylo potřeba do systému zabudovat i podpůrné konstrukce pro její správný růst.

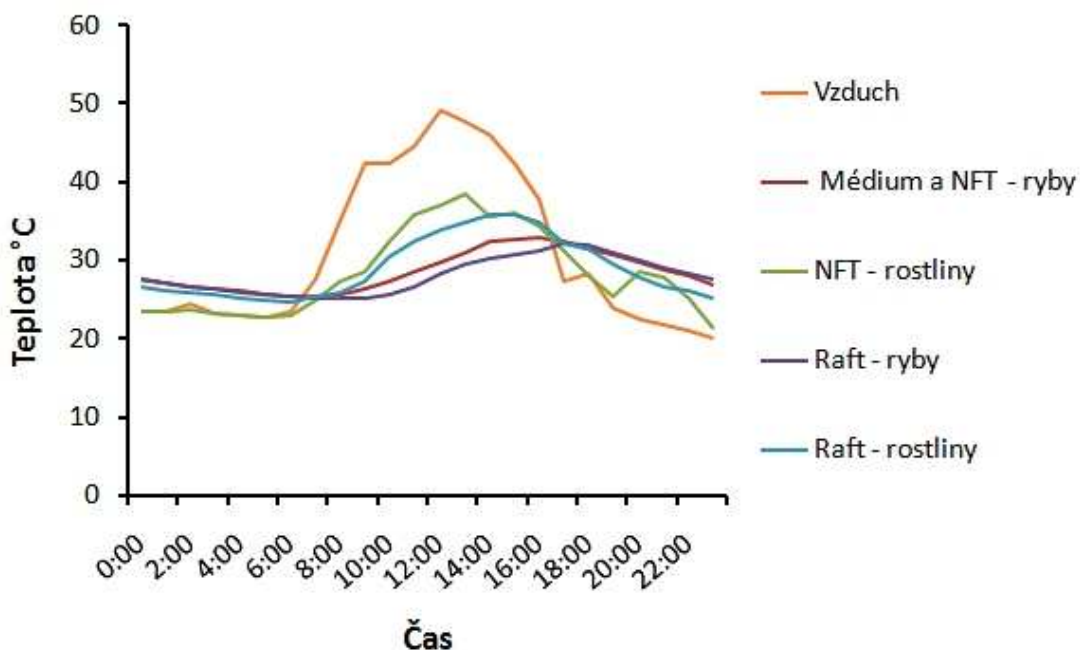
NFT systém

Výběr rostlin pro NFT systém se omezil pouze na nižší druhy rostlin. Byly zde pěstovány především různé byliny a drobná naťová a listová zelenina. Nejvíce zde však byla zastoupena bazalka pravá, se kterou bylo dosahováno velmi dobrých výsledků v podobě jejího růstu a dále pak petržel kadeřavá *Petroselinum crispum* pažitka pobřežní *Allium schoenoprasum*.

Raft systém

Volba rostlin do tohoto systému se také omezovala pouze na nižší druhy rostlin, které snášejí vysokou vlhkost v kořenovém systému. Převážně šlo o listovou a košťálovou zeleninu doplněnou o byliny v podobě bazalky pravé.

4.6. Stabilita teploty vody v systému



Graf 4. Změny teploty vody a vzduchu (C°) v průběhu 24 hodin na pěti námi určených místech. Jednalo se o teplotu vzduchu ve skleníku, teplotu vody v chovné nádrži Médium a NFT systému, teplotu vody v potrubí NFT systému určeného pro sadbu rostlin, teplotu vody v chovné nádrži Raftového systému a teplotu vody uvnitř raftových nádrží pro sadbu rostlin. Jde o časový výřez 24 hodin s kontinuálním záznamem teploty po 1 hodině.

Teplota vzduchu ve skleníku měla velký výkyv v průběhu 24 hodin v závislosti na denní době a intenzitě slunečního svitu, kdy vrchol této křivky byl dosažen mezi 12:00 a 14:00 hodinou (Graf 4). Je zde také patrná reakce vody v různých akvaponických systémech na tyto teplotní změny a jejich schopnost vyrovnat se s těmito nežádoucími výkyvy. Jako nejméně ovlivněná a tudíž nejvíce teplotně stabilní se jeví chovná nádrž Raftového systému. Velice dobrou stabilitu vykazovala také chovná nádrž ryb v Médium a NFT systému. V obou případech je velice dobře vidět pozvolný růst teploty a posléze i její pozvolné klesání bez nežádoucích prudkých změn. Dobrého plynulého nárůstu a klesání teploty vody bylo dosaženo i v raftových nádržích Raftového systému, i když zde již voda dosahovala poměrně vysokých teplot. Naopak jako naprosto nevhodný pro jeho prudkou reakci na měnící se okolní podmínky se jevil NFT systém, u kterého je velice dobře patrná jeho teplotní labilita.

Pro lepší přehled přikládám do příloh grafy se záznamem teplot v jednotlivých námi sledovaných částech akvaponických systémů. Příloha 4-8.

4.7. Vylepšení systémů

Médium systém

Pro výše uvedené poruchy periodického vypouštěcího zařízení z retenční nádrže a celkovou nespolehlivost systému vycházejícího z návrhu předlohy Hugheye (2005) byla navržena modifikace systému na základě předlohy vycházející z návrhu Hallama (2011). Výsledný model byl označen jako Médium systém-b (Obr. 67). Je zde použito objemnějších nádrží a spolehlivá vertikální drenáž za použití autosifonu (Obr. 7, Obr. 66).



Obr. 66. IBC kontejner použitý pro stavbu systému (vlevo), vertikální drenáž s autosifonem (vpravo), (vlastní foto)

U tohoto modelu je čerpadlo umístěno v nejnižše položené retenční nádrži (Obr. 67). Odvod vody z chovné nádrže je vytvořen přepadem v její vrchní části, čímž nedochází k nežádoucím výkyvům hladiny uvnitř ní. Je zde docíleno při srovnatelné zastavěné ploše jakou zabíral původní Médium systém větší plochy určené pro pěstování rostlin i většího objemu vody využitelného k chovu ryb. Tento systém je díky minimálnímu použití mechanických součástí velice spolehlivý v provozu. Vzhledem k velikému objemu vody, který zde koluje, se dá očekávat i jeho dobrá schopnost tlumit nežádoucí výkyvy teploty v reakci na okolní podmínky. Při výstavbě Médium systému-b bylo použito recyklovaných IBC kontejnerů (Obr. 66), což mělo příznivý vliv na celkovou cenu sestaveného systému.



Obr. 67. Celkový pohled na Médium systém-b (vlevo), vpředu 3 záhony pro pěstování rostlin, detail umístění retenční nádrž s čerpadlem (vpravo), (vlastní foto)

Raft systém

Modifikace Raftového systému spočívala v tom, že byla za filtrační část systému nově vložena retenční nádrž. Do ní bylo umístěno čerpadlo na dopravu vody a tím se zabránilo původnímu kolísání hladiny vody v nádrži biologického filtru. Bylo použito i jiného filtračního média v podobě plovoucích elementů (Obr. 68).



Obr. 68. Pohled na vortex, biologický filtr s plovoucími elementy a retenční nádrží pro umístění čerpadla (vlastní foto)

5. Diskuze

5.1. Médium systém

Vzhledem k velikému počtu komponentů, ze kterých se tento systém skládal, byla jeho výroba poměrně náročná. Množství použitých komponentů se také negativně promítlo v celkové ceně tohoto systému. Jeho výhodou naopak byla, stejně jako uvádí Bernstein (2013), Hallam (2009, 2010) a Nelson (2008) jeho velká variabilita ve volbě pěstovaných rostlin a prostor, který jim nabízel pro jejich životní nároky. Díky velikému objemu vody, který zde cirkuloval, také nedocházelo k významným výkyvům teplot vody, což mělo příznivý vliv na růst a metabolické pochody ryb a rostlin (Hallam, 2010). Samotná podstata funkčnosti Médium systému postavená na periodickém zaplavování substrátu určeného pro sadbu a pěstování rostlin, také významně napomohla rozmnožení bakterií potřebných k odbourávání organického odpadu vyprodukovaného rybami a amoniaku, který by se jinak ve vodě hromadil. Protože zaplavovaný substrát tvořil značný objem a byl vytvořen z porézních materiálů, na kterých byly usídlené nitrifikační bakterie, tak společně s kořenovým systémem rostlin poskytoval dostatečně velké filtrační médium, na jehož výstupu byla voda jak mechanicky tak i chemicky čistá, splňující všechny důležité parametry pro chov ryb. Tento fakt je ověřen měřením chemizmu vody a shoduje se tak se závěry Bernsteina (2013). Této kvality vody bylo docíleno bez nutnosti vkládat do systému další komponent v podobě biofiltru, který byl nedílnou součástí dalších dvou akvaponických systémů (Hallam, 2009). Byla zde přítomna pouze jedna menší kruhová nádrž tvořící vortex pro hrubé předčištění od tuhých nerozpuštěných látek. Celkový sestavený systém byl objemnější a z pohledu efektivnosti zabraného místa nebyl nijak úsporný. Každá ze tří pomyslných částí systému potřebovala vlastní plochu prostoru. První část v podobě chovné nádrže, byla téměř celá zakopána do země. Tímto bylo výhodně využito izolační schopnosti půdy, která tak tlumila střídání teplot působících na vodu uvnitř nádrže. Druhou část tvořily bedýnky se substrátem, které byly umístěny v párech po dvou sousedících bedýnkách ve třech řadách za sebou. Poslední třetí část systému tvořila kruhová retenční nádrž. Ta musela být umístěna na konstrukci na vyvýšeném místě, aby z ní mohla voda volně gravitačně odtékat (Hughey, 2005). Z toho je patrné, že každá část systému musela stát samostatně na jiném určeném místě a nemohlo se tedy využít přeskupení systému k ušetření prostoru k jiným účelům.

5.1.1. Postřehy z provozu

Zhoršení průchodnosti hadic pro dopravu vody

V průběhu pokusu bylo zjištěno, že se po cca měsíčním provozu Médium systému zhoršila průchodnost hadic určených pro dopravu vody z chovné do retenční nádrže. Bylo to zapříčiněno nevhodně zvolenou hadicí, která byla z transparentního materiálu. Díky tomu, že sluneční paprsky prostupovaly skrz tuto hadici, tak se v ní začaly tvořit nárůsty řas, které zhoršovaly její průchodnost a tím i kapacitu přepravené vody. Na stejný problém upozorňoval i Rakocy (2007). Tento problém byl vyřešen výměnou transparentní hadice za jinou, která byla z tmavého neprůsvitného materiálu. Do budoucna by bylo jistě vhodné volit i větší průměry těchto hadic či potrubí, aby při dlouhodobějším provozu, kdy může dojít k narůstání bakterií na jejich vnitřních stěnách, byl stále zajištěn optimální průtok vody. Ke stejnému názoru dospěl Rakocy (2007).

Nevhodný systém pro periodické vypouštění retenční nádrže

Dalším problémem byl nespolehlivý chod spouštěče periodického vypouštění vody z retenční nádrže. Tímto problémem se zabýval také Tezel (2009), který ve své práci popisuje různé varianty těchto zařízení, mimo jiné i obdobný systém jako v našem případě. Autorem námi použitého zařízení pro periodické vypouštění vody z retenční nádrže je Hughey (2005), který tento systém doporučuje jako jednoduchý, levný a spolehlivý. Nicméně z našich zkušeností z provozu je patrné, že se jedná o nespolehlivý systém, který díky velkému počtu mechanických částí potřebuje častou kontrolu funkčnosti a pro jeho správný chod také velmi častou údržbu. Ke stejným závěrům došel i Hallam (2011), který doporučuje jako nejvhodnější řešení tohoto problému použití jednoduchého autosifonu. Toto zařízení je složeno z minimálního počtu komponentů a není zde potřeba žádných mechanických prvků, které by zvyšovaly pravděpodobnost poruch. Tento autosifon byl také zabudován do nového námi sestaveného akvaponického Médium systému-b a dosahuje zde velmi dobrých výsledků v podobě bezproblémového chodu s minimální údržbou.

Nevhodný drenážní systém a volba substrátu

Dalším problémem bylo částečné ucpání spojovacího potrubí mezi bedýnkami se substrátem pro pěstování rostlin. Voda se začala v bedýnce hromadit a keramzitový substrát začal plavat na hladině. Díky tomu došlo k rozmělnění opory pro rostliny, k jejich zanoření do substrátu a následnému zahnívání. Částečné ucpání průchodů mezi bedýnkami bylo zapříčiněno nevhodně zvoleným drenážním systémem. Tento systém byl opět použit podle Hugheye (2005), který ho doporučuje jako jednoduchý, levný a spolehlivý. Další nevýhodou bylo také prorůstání drenážní trubky a spojovacích potrubí kořenovým systémem větších rostlin (např. tykev obecná *Cucurbita pepo*). Tento systém neumožňoval kontrolu průchodnosti a v případě ucpání musel být k vyčištění drenáže vyjmut celý obsah bedýnky. I v tomto případě se jako vhodnější alternativa jeví systém doporučovaný Hallamem (2011), který kombinuje autosifon s vertikálním drenážním systémem. Tento systém umožňuje jednoduchou kontrolu a vyčištění drenáže bez nutnosti vyjmutí substrátu.

Kolísání hladiny v chovné nádrži ryb

Velkým nedostatkem Média systému podle Hugheye (2005) je kolísání hladiny v chovné nádrži ryb. To může rybám způsobovat stres a v případě, že by došlo k havárii systému a voda by z něj unikala nepřetržitě, může dojít i k úplnému vyprázdnění chovné nádrže a úhynu celé obsádky. Vhodným řešením tohoto problému jsou tzv. CHOP (constanthead, one pump - stálá výška hladiny, jedno čerpadlo) systémy (Bernstein, 2013). V CHOP systémech není čerpadlo umístěno přímo v chovné nádrži, ale je v retenční nádrži, do které přitéká voda z chovné nádrže horním odtokem. Tím je dosaženo toho, že je hladina vody v chovné nádrži konstantní a ke kolísání dochází pouze v retenční nádrži. CHOP systémy jsou nejčastěji používány v komerčních kitech, kde se osvědčily jako robustní a bezporuchové (Hallam, 2011). Tento design jsme použili a v praxi ověřili díky výstavbě Médium systému-b vycházejícího z návrhu Hallama (2011).

5.1.2. Doporučení na závěr

Námi zvolená předloha Médium systému vycházející z návrhu Hugheye (2005) se v provozu jevila jako labilní a vyžadovala zvýšený dohled nad správnou funkcí jednotlivých komponentů. Především se jednalo o funkci periodického zaplavování substrátu a nutnosti kontroly hladiny vody v chovné nádrži. Naopak tomu bylo u Médium systému-b, který vycházel z předlohy Hallama (2011), který se v praxi jevil jako bezproblémový a můžeme jej tedy doporučit jako vhodný pro případné zájemce o výstavbu těchto systémů. Tento systém je dokonce i méně finančně náročný, protože využívá recyklované komponenty pro tvorbu nádrží použitých v systému.

5.2. NFT systém

Tento systém vyžadoval v porovnání s Médium systémem zařazení mechanické a biologické filtrace. Bylo to z toho důvodu, že v NFT systému nesnáší rostliny velké množství nerozpuštěných látek, které by se usazovaly na jejich kořenech a bránily tak výměně plynů a živin. NFT systém má také příliš malou plochu na to, aby měl dostatečnou nitrifikační kapacitu. Na stejný problém poukazuje i Nelson (2008). Výhodou tohoto systému je naopak malá zastavěná plocha při relativně velké ploše určené pro pěstování rostlin. Bylo toho docíleno umístěním horizontálního potrubí pro pěstování rostlin do pater nad sebe, čímž se mohl efektivně využít i prostor jinak nevyužitelný.

5.2.1. Postřehy z provozu

Nevhodné kruhové potrubí a nedostatečný proud vody

Během testování námi vytvořeného systému bylo zjištěno, že na trubkovou část určenou pro pěstování rostlin bylo zvoleno nevhodné potrubí. Jeho nevýhoda byla taková, že po vložení kelímku do otvoru vyvrtaného z vrchní strany potrubí vznikl mezi dnem kelímku, ve kterém byla zasazena rostlina a dnem potrubí prostor cca 8 mm. Rostliny tak nedosáhly svým kořenovým systémem až k tenkému filmu vody, který protékal potrubím. Bylo tedy zapotřebí sem vkládat rostliny s již rozvinutým kořenovým systémem, který prorůstal dnem kelímku až ke dnu potrubí, nebo bylo potřeba zvýšit průtok zmiňovaným potrubím, aby hladina dosáhla až ke kelímku

a omílala jej i s kořeny rostlin. Tohoto jevu však díky námi zvolené konstrukci dosáhnout nešlo, protože jsme byli omezeni jedním čerpadlem. To zásobovalo dva systémy a výsledný proud vody nebyl tedy dostačující, aby překonal zmiňovaných 8 mm. Myslím si tedy, že by bylo vhodné volit potrubí hranatého profilu s plochým dnem dostatečně širokým, aby voda mohla proudit volně kolem kelímků a kelímky jí nebránily v odtoku. Dospěli jsme tedy k názoru, že by pro případnou výstavbu NFT systému bylo vhodné volit konstrukci s čtvercovým profilem stejně jako u systému používaného Lennardem (2010).

Nežádoucí výkyvy teploty

Z dlouhodobého sledování teploty vody protékající uvnitř potrubí, bylo dále zjištěno, že zde dochází k velikým teplotním výkyvům. Bylo to zapříčiněno malým objemem vody protékajícím potrubím, které bylo ve dne vyhřáté do vysoké teploty a v noci naopak snadno předávalo malému objemu vody chlad. Toto mělo negativní dopad na pěstované rostliny. V našem systému byla pěstována převážně bazalka pravá, se kterou bylo dosahováno velmi dobrých výsledků v podobě jejího růstu a výnosů, ale bohužel bylo zjištěno, že rostlina má výrazně štiplavou chuť. To by mohlo být patrně zapříčiněno velkými výkyvy teploty vody, kdy Nelsonová (2008) uvádí optimální teploty pro růst bazalky pravé v akvaponických systémech mezi 20 až 24°C. Na tento negativní jev upozorňuje v souvislosti s NFT systémy i Hallam (2010), který doporučuje jako vhodnější systém pro komerční účely využívání raftových systémů.

5.2.2. Doporučení na závěr

Vzhledem k výše zmíněným skutečnostem se jeví jako ideální při výstavbě tohoto systému použití samostatného čerpadla, které by dodávalo dostatečně silný proud vody protékající horizontálním potrubím určeným pro pěstování rostlin. Dále by bylo vhodné volit potrubí, které má ploché dno a nabízí tak lepší kontakt kořenového systému rostlin s vodou bohatou na živiny. Vložením kelímků do potrubí by tak nevznikal hluchý prostor mezi ním a dnem potrubí.

Dopravní hadice či potrubí je důležité volit dostatečně naddimenzované a z neprůsvitného materiálu, který zabraňuje tvorbě řas a tím tak k nežádoucímu zmenšování kapacity potrubí.

Z důvodu velikých výkyvů teploty v průběhu dne není tento systém vhodný pro pěstování rostlin v prostorech, kde nejsme schopni vytvořit stabilní podmínky. Naopak Lennard (2010) tento systém doporučuje pro indoor systémy s kontrolovanými podmínkami.

5.3. Raftový systém

Stejně jako NFT, tak i Raftový systém vyžadoval zařadit mezi své komponenty mechanický a biologický filtr. Díky velkému objemu vody, který zde koloval, nedocházelo k tak výrazným teplotním výkyvům vody, což mělo příznivý vliv na růst rostlin a ryb stejně jako popisuje Hallam (2010). Celkový sestavený systém vzhledem k ploše, kterou zabíral, poskytoval veliký prostor pro pěstování rostlin. Poruchy se zde omezovaly pouze na částečné zarůstání nevhodně zvolených průhledných hadic pro dopravu vody řasou a částečné ucpání spojů mezi chovnou nádrží a vortexem. Tento spoj byl ucpán uhynulou rybou, která byla nasáta do vortexu a vzpříčila se ve spojovacích komponentech. Při budování nového systému by bylo jistě vhodné buď opatřit výstup z chovné nádrže mřížkou, aby bylo zabráněno rybám migrovat mezi nádržemi, nebo volit otvory a potrubí větších rozměrů. Umožnilo by to rybám cestovat mezi nádržemi, a tím by se dalo využít výhodné vlastnosti tilápií nilských, které jsou schopny předměty ve svém okolí zbavovat řasových a bakteriálních nárůstů. Tohoto efektu využíval Rakocy (2007), který ve svých akvaponických systémech záměrně umožňoval malému počtu tilápií menší velikosti vstup do spojovacích potrubí, aby je zbavovaly kolonií řas a bakterií, a tím ho udržovaly v neznečištěném stavu.

5.3.1. Postřehy z provozu

Malý prostor mezi patry raftových nádrží

V případě salátu a zelí, rostliny netvořily hlávky a jejich zbarvení mělo žlutavý nádech. To by mohlo být zapříčiněno tím, že mezi spodním a horním patrem námi sestaveného Raftového systému byl příliš malý volný prostor (pouze 40 cm). Díky tomu docházelo k zastínění spodního raftového žlabu tím horním a rostliny na takto vytvořený stín mohly reagovat růstem do větší výšky, než je běžné v optimálních podmínkách. Tento jev by mohl být také zapříčiněn nedostatkem železa. Hallam (2009)

tyto příznaky připisuje právě nedostatku pro rostliny dostupného železa. Doporučuje do nově zabíhaných systémů dodat na počátku chelát železa pro prevenci jeho deficitu.

Zabránění výkyvům hladiny vody v biofiltru

Díky výše zmíněné konstrukci námi vystavěného systému docházelo k nežádoucím výkyvům hladiny v biofiltrační nádrži. Pokud došlo k úniku vody ze systému ať už v podobě havárie nebo jejímu výparu, tak se výsledná ztráta projevila nejvíce v biofiltrační nádrži. To mohlo mít nepříznivý vliv na životní podmínky nitrifikačních bakterií usídlených na filtračním médiu, které díky výkyvu hladiny vody částečně zasychalo a mohlo následně snížit nitrifikační kapacitu systému.

5.3.2. Doporučení na závěr

Vzhledem k zvolení drahých komponentů při stavbě systému byla jeho finální cena vyšší, než u ostatních systémů. Při využití recyklovaných materiálů či jezírkové fólie by se cena pravděpodobně dala snížit na úroveň ostatních dvou systémů. Dále by bylo žádoucí použít pro dopravu vody neprůsvitné hadice kvůli zabránění tvorbě řas uvnitř ní. Potrubí tvořící spoje mezi jednotlivými nádržemi by bylo lepší volit o větším průměru, aby umožnilo malým rybám skrz něj cestovat a zbavovat ho kolonií řas a bakterií, které zhoršují jeho průchodnost. Při volbě menšího průměru potrubí by bylo naopak potřeba ho opatřit mřížkou proti zabránění vstupu ryb do něj a zabránit tak jeho případnému ucpání. Mezi patry raftových nádrží je potřeba vytvořit dostatečně veliký prostor, aby na rostliny mohlo dopadat dostatečné množství slunečního světla. Dále je potřeba do systému zabudovat ještě jednu menší retenční nádrž za vytvořený biofiltr, která by tlumila nežádoucí výkyvy hladiny v něm. Tato skutečnost je také ověřena v praxi při modifikaci námi vytvořeného systému a dosahuje se zde velmi dobrých výsledků.

6. Závěr

Po vybudování tří různých akvaponických systémů byla sledována jejich spolehlivost chodu v provozu. V tomto ohledu byl jako nejméně spolehlivý hodnocen Médium systém, který byl s určitými modifikacemi vystavěn na základě předlohy Hugheye (2005). Tento systém se v provozu jevil jako značně labilní, byl poruchový, především u spouštěče vyprazdňování retenční nádrže. Tato chyba se musela často kontrolovat a napravit. Jako velice vhodná alternativa se jeví návrh konstrukce vycházející z předlohy Hallama (2011), který byl námi vybudován letos na jaře a nyní je testován v provozu, kde dosahuje vynikajících výsledků. Jako druhý málo spolehlivý systém byl vyhodnocen NFT systém, u kterého byl problém především s výpadky zásobování vodou pro potrubí určené k pěstování rostlin. Bylo to zapříčiněno nevhodně zvoleným rozbočovačem, který rozděloval vodu určenou pro NFT systém a Médium systém. Toto by bylo možné vyřešit vybudováním samostatného zdroje přívodu vody do systému. Poslední a jako nejlépe hodnocený systém v jeho bezporuchovosti byl systém Raftový, který vykazoval spolehlivý chod.

Dále byla hodnocena schopnost systémů vyrovnávat se s vysokými výkyvy teplot působících na ně v závislosti na denní době a jejich tlumící efekt přímého dopadu na organismy produkované v nich. Zde byly prokázány velice dobré výsledky u Raftového a Médium systému. Bylo to zapříčiněno velkým objemem vody, který v nich cirkuloval a který se dokázal lépe a pozvolně vyrovnat s nežádoucími výkyvy teploty. Naopak velice špatných výsledků bylo dosaženo u NFT systému, který vykazoval prudkou reakci na vnější změny, a zejména v trubkové části určené pro pěstování rostlin teploty dosahovaly nežádoucích vysokých teplot. Do budoucna by bylo vhodné tento typ systému umístit do prostor, kde je možno zajistit stabilní podmínky, např. indoor systémy či skleníky s regulací teploty vzduchu.

Z hlediska efektivnosti zastavěné plochy vykazovaly velice dobré výsledky NFT systém a Raftový systém, u kterých bylo možno je sestavovat v horizontálních patrech nad sebou. Nejvíce prostorově náročný byl Médium systém, který vyžadoval umístění každé jeho rozdílné části určené pro chov ryb, pěstování rostlin a retenční nádrž na samostatné místo. V prostoru poskytovaném pro chov ryb nebyl ve zmiňovaných systémech veliký rozdíl. A však u plochy vyhrazené pro pěstování rostlin vynikal Raftový systém, s patrným odstupem následován NFT systémem. Oběma zmiňovaným

systemům napomohla možnost jejich výstavby v patrech. Nejmenší prostor pro pěstování rostlin opět nabízel Médium systém.

Byla také brána v potaz i náročnost výstavby jednotlivých systémů a množství použitých komponentů na jejich vybudování. Jako nejnáročnější na sestavení za použití velkého množství komponentů byl Médium systém. Po něm následoval NFT systém a jako nejméně náročný s malým počtem komponentů byl vyhodnocen Raftový systém. Bylo to díky výhodně zvoleným nádržím, které byly z výroby opatřeny vhodnými těsnícími doplňky.

V poslední řadě byl hodnocen potenciál jednotlivých systémů pro volbu různých druhů rostlin, kde jednoznačně vedl Médium systém, ve kterém bylo možno pěstovat velké množství rozmanitých druhů rostlin. U NFT a Raftového systému jsme byli omezeni prostorem a nosností použitých komponentů, což nás významně omezovalo na použití pouze menších druhů zeleniny a bylin.

Všechny tři námi sestavené systémy se podařilo zprovoznit a pěstovat v nich zeleninu souběžně s chovem ryb. Voda cirkulující uvnitř systémů splňovala všechny důležité parametry potřebné k chovu ryb, což poukázalo na správné zaběhnutí a funkci nitrifikačního procesu uvnitř systému a schopnost rostlin odebírat z vodního prostředí vyprodukované dusičnany. Během provozu nedošlo k žádnému většímu úhynu ryb, to se omezovalo pouze na jednotlivé kusy, které byly oslabené bojem mezi samci tilápií. Z rostlin zde bylo dosahováno nejlepších výsledků u bazalky pravé, která měla opakovaně velké nárůsty biomasy. Během provozu těchto systémů vyllynuly jejich možné modifikace vylepšující jejich správnou funkci, které bych teď rád shrnul.

Možné úpravy jednotlivých systémů pro zvýšení jejich efektivity:

Médium systém- pro řadu vylepšení a spolehlivý bezporuchový chod by bylo v budoucnu lepší volit Médium systém navržený Hallamem (2011), který využívá minimum mechanických prvků, díky čemuž je méně poruchový. Jedná se o tzv. CHOP systém, takže udržuje konstantní výši hladiny vody v nádrži pro chov ryb. Umožňuje také využít recyklace v podobě znovu využití nádrží určených na přepravu kapalin a tím chrání životní prostředí.

NFT systém- u tohoto systému by bylo výhodné oproti námi vybudované konstrukci volit samostatného čerpadla, které by zajistilo dostatečný proud v horizontálním potrubí určeném pro pěstování rostlin. Dále by bylo žádoucí vyměnit kruhový profil potrubí za potrubí s plochým dnem pro lepší kontakt vody bohaté na živiny s kořenovým systémem rostlin. V neposlední řadě je vhodné kvůli špatné schopnosti systému vyrovnávat se s výkyvy teplot volit tento systém do prostor s řízeným prostředím.

Raftový systém- mezi komponenty původně sestaveného systému by bylo nutno do budoucna vložit retenční nádrž, která by zabránila výkyvům hladiny v biofiltrační nádrži. To ve výsledku narušovalo správnou funkci nitrifikace. Pro vysokou cenu tohoto systému by bylo vhodné v budoucnu volit méně drahých komponentů.

7. Přehled použité literatury:

- ABUS s. r. o. 2014. Plastové kelímky. [online]. abusgastro.cz [cit. 2014-02-26]. Dostupné na WWW:<<http://www.abusgastro.cz/index.php?nid=5425&lid=cs&oid=3346386>>.
- Adámek, Z., 1994. Letní chov Tilápie a Sumečka afrického v rybnících. Edice Metodik, VÚRH JU Vodňany, č. 43, s. 3-7.
- Adámek, Z., Helešic, J., Maršálek, B., Rulík, M., 2010. Aplikovaná hydrobiologie. JU FROV, Vodňany, s. 174-179.
- Aquaponics Philippines, 2013. Aquaponics Diagram. [online]. aquaponicsphilippines.com [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<<http://aquaponicsphilippines.com/>>.
- Aquaponics systems, 2014. Aquaponics gardening.[online]. Aquaponicssystems.landscapeideasandpicture.com [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<<http://aquaponicssystems.landscapeideasandpicture.com/>>.
- Backyard aquaponics, 2012a. Importance of Fish. [online]. Backyardaquaponics.com [cit. 2014-03-08]. Dostupné na WWW: <<http://www.backyardaquaponics.com/guide-to-aquaponics/fish/>>.
- Backyard aquaponics, 2012b. Type of Systems. [online]. backyardaquaponics.com [cit. 2014-02-26]. Dostupné na WWW:<<http://www.backyardaquaponics.com/guide-to-aquaponics/running-of-the-system/>>.
- Backyard aquaponics, 2012c. What is aquaponics? [online]. backyardaquaponics.com [cit. 2014-02-26]. Dostupné na WWW:<<http://www.backyardaquaponics.com/guide-to-aquaponics/what-isaquaponics/>>.
- Banat, 2014. Odstředivka Tripod Vortex 120 cm. [online]. eshop.jezirkabanat.cz [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<<http://eshop.jezirkabanat.cz/product/odstredivka-tripond-vortex-120-cm:1588/>>.
- Baquedano, E., 1993. Aztec, Inca&Maya. Dorling Kindersley Book, London, s. 1-63.
- Bernstein, S., 2013. Aquaponic gardening. A step-by step guide to raising vegetables and fish together. New Society Publishers, Kanada, 256 s.
- Biggs, M., McVicarová, J., Flowerdew, B., 2004. Velká kniha zeleniny, bylin a ovoce. Volvox Globator, Praha, s. 308-308.

- Boutwelluc, J., 2007. Aztecs' aquaponics revamped. [online]. napavalleyregister.com [cit. 2014-03-05]. Dostupné na WWW:<http://napavalleyregister.com/lifestyles/home-and-garden/columnists/master-gardener/aztecs-aquaponics-revamped/article_b67bd13c-fd17-562f-a3a1-3862010ce144.html>.
- Boutwell, M., 2013. History of aquaponics. [online]. leafygills.com [cit. 2014-03-05]. Dostupné na WWW:<<http://www.leafygills.com/article/history-of-aquaponics/>>.
- Brook, R., 2013. The 3 aquaponics grow bed zones. [online]. homeaquaponicssystem.com [cit. 2014-03-05]. Dostupné na WWW:<<http://homeaquaponicssystem.com/basics/the-3-aquaponics-grow-bed-zones/>>.
- CIFT, 2009. Alternative Ag Ventures - Aquaponics. CIFT [online]. Center for Innovative Food Technology [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<<http://www.scribd.com/doc/189477071/Small-Articles-and-Information-Aquaponics>>.
- Connolly, K., Trebic, T., 2010. Optimization of a backyard aquaponic food production systém. [online]. Faculty of Agricultural and Environmental Sciences Macdonald Campus, McGill University, [cit. 2014-03-05]. Dostupné na WWW:<<http://backyardaquaponics.com/Travis/Aquaponics-Design.pdf>>.
- Dolejší, A., 1982. Zelenina na zahrádce. Státní zemědělské nakladatelství Praha, č. 4293, s. 14-181.
- El-Sherif, M.S., El-Feky, A.M., 2008. Effect of amonia on Nile Tilapia (*O.niloticus*) performace and some hematological and histological measures. Eighth International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Cairo, Egypt, October 12-14, 2008, pp. 513-530.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., 2014. Nitrogen budget and effluent nitrogen components in aquaponics recirculation system. Desalination and Water Treatment. 52, 744-752.
- Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, 2012. Extenzivní chov ryb. [online]. KZR, Praha, [cit. 2014-03-05]. Dostupné na WWW:<http://kzr.agrobiologie.cz/natural/data/datakava/2013_extenzivni_chov_ryb.pdf>.
- Gascontrol plast, 2014. PE Potrubí vodovodní tlakové. [online]. gascontrolplast.cz [cit. 2013-08-14]. Dostupné na WWW:<<http://www.gascontrolplast.cz/potrubi-vodovodni.html>>.
- Hallam, M., 2009. Aquaponics made easy!. Ecofilms Australia, Austrálie, DVD.
- Hallam, M., 2010. Aquaponics secrets. Ecofilms Australia, Austrálie, DVD.

- Hallam, M., 2011. DIY Aquaponics. Ecofilms Australia, Austrálie, DVD.
- Hallam, M., 2014. Tote Ponics Complete Kit–The ultimate recyclers Aquaponics kit. [online]. Murray Hallam's Practical Aquaponics, Austrálie [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<<http://www.practicalaquaponics.shopfactory.com/contents/en-us/p11.html>>.
- Hillyer, C.D., 2007. Is aquaponics the agriculture of the future? INFORM - International News on Fats, Oils and Related Materials. 18, 83-85.
- How to aquaponics at home, 2013. Aquaponics plants for your home [online]. [howtoaquaponicsathome.com](http://www.howtoaquaponicsathome.com) [cit. 2013-09-14]. Dostupné na WWW:<<http://www.howtoaquaponicsathome.com/aquaponics-plans-for-your-home/>>.
- Hughey, T., W., 2005. Barrel-ponics. [online]. a.k.a. Aquaponics in a Barrel [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<<http://www.aces.edu/dept/fisheries/education/documents/barrel-ponics.pdf>>.
- Chromý, H., 2014. Služby rybářství. [online]. [aquaculture.cz](http://www.aquaculture.cz) [cit. 2014-02-26]. Dostupné na WWW:<<http://www.aquaculture.cz/aquaculture/eshop/1-1-NADRZE-PVC-PP-LAMINAT/62-2-KADE-PLASTOVE/5/664-Kad-plastova-600-litru>>.
- Jeffiers, B., 2012. Business Savvy and Organic Certification Propel Aquaponics Operation in Tennessee. [online]. Seedstock, USA [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<<http://seedstock.com/2012/09/07/business-savvy-and-organic-certification-propel-aquaponics-operation-in-tennessee/>>.
- Kliková, G., Pavelková, Z., 2000. Pěstujeme bylinky. Grada publishing, s. 9-43.
- Kouřil, J., 2011. Intenzivní akvakultura- Tilapie nilská *Oreochromis niloticus*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod. České Budějovice, s. 2-12.
- Kouřil, J., Hamáčková, J., Stejskal, V., 2008a. Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb. Edice Metodik, VÚRH JU Vodňany, č. 85, s. 14-14.
- 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, s. 26-108.
- Laguna koi ponds, 2011. AquaPonics 60. [online]. [lagunakoi.com](http://www.lagunakoi.com) [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<<http://www.lagunakoi.com/AquaPonics-60-Aquaponics-sc-598.html>>.
- Lelák, J., Kubíček, F., 1991. Hydrobiologie. Univerzita Karlova Praha, s. 50-50.

- Lennard, W., 2010. A new look at NFT aquaponics. *Aquaponics journal*. 56,16-19.
- Máchová, J., Valentová, O., Kroupová, H., 2012. Základy hydrochemie- pH vody. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod. České Budějovice, s. 1-4.
- Magid, A., Babiker, M.M., 1975. Oxygen consumption and respiratory behaviour of free Nile fishes. *Hydrobiologia* 46, pp. 359-367.
- Making sense of things, 2011. Aquaponics in palestine. [online]. makingsenseofthings.info [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<<http://makingsenseofthings.info/2011/11/aquaponics-in-palestine/>>.
- McClellan, J., McClellan, L., 2012. Aquaponics, Integrated Vertical Tube Systém. [online]. brainright.com [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<<http://brainright.com/projects/aquaponics/>>.
- McGinty, A.S., Rakocy, J.E., 2007. Cage Culture Of Tilapia. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). 281, 56-84.
- Melichar, M., 1997. Zelinářství. Český zahrádkářský svaz, nakladatelství KVĚT, č. 30, s. 137-137.
- Mjoun, K., Rosentrater, K.A., 2010. Tilapia: Environmental Biology and nutritional requirements. [online]. North Central Agricultural Research Laboratory, USDA-Agricultural Research Service Michael L. Brown, Department of Wildlife and Fisheries Sciences, South Dakota State University [cit. 2014-03-08]. Dostupné na WWW:<http://pubstorage.sdstate.edu/AgBio_Publications/articles/fs963-02.pdf>.
- Nelson, R.L., 2008. Aquaponic Food Production – Raising fish and plants for food and profit. Nelson and Pade, Inc, Montello, pp 1-218.
- Nelson, R.L., Pade, J.S., 2007. Aquaponic equipment the clarifier. *Aquaponics journal*. 47, 30-31.
- Nichols, M.A., Savidov, N.A., 2012. Aquaponics: A nutrient and water efficient production system, pp. 129-132.
- Nývlt, J., Nývlt, J., 2014. Těsnění vypouštěcích ventilů WC. [online]. tesneninyvlt.cz [cit. 2014-02-26]. Dostupné na WWW:

<http://www.tesneninyvlt.cz/produkty/produkty/tesneni/tesneni-vypoust-ventilu-wc?limit=60&zobrazeni=obr&ord=z.cena_shop&smer=ASC>.

Open source Aquaponics, 2014. Here's the background and basic overview of Open Source Aquaponics! [online]. opensourceaquaponics.com [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<http://www.opensourceaquaponics.com/Open_Source_Aquaponics/About_OSA.html>.

Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., Marcucci, A., 2012. Aquaponics vs. Hydroponics: Production and Quality of Lettuce Crop, pp. 887-894.

Pearson, T., 2012. Aquaponics. [online]. The Aquaponics Gardening Community. [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<http://community.theaquaponicsource.com/photo/aquaponics-5-12-2012-002?xg_source=activity>.

Pekárková, E., 1997. Pěstujeme zeleninu. GRADA Publishing. s. 40-134.

Rakocy, J., 2007. Ten Guidelines for Aquaponic Systems. [online]. [Aquaponics.com](http://aquaponics.com) [cit. 2014-03-08]. Dostupné na WWW:<<http://aquaponics.com/media/docs/articles/Ten-Guidelines-for-Aquaponics.pdf>>.

Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, C., Thoman, E.S., 2004a. Update on Tilapia and Vegetable Production in the UVI Aquaponic System. [online]. University of the Virgin Islands. [cit. 2013-03-09]. Dostupné na WWW:<<http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/ista6web/pdf/676.pdf>>.

Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, C. Danaher, J., 2007. Design and Operation of the UVI Aquaponic System. [online]. University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station St. Croix, U.S. Virgin Islands. [cit. 2014-03-08]. Dostupné na WWW:<http://www.uvi.edu/files/documents/Research_and_Public_Service/WRRI/UVIAquaponicSystem.pdf>

Rakocy, J.E., Masse, M.P., Losordo, T.M., 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. SRAC, Publication No. 454, pp. 1-16.

Rakocy, J.E., Shultz, R.C., Bailey D.S., Thoman, E.S., 2004b. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae (ISHS)* 648, 63-69.

- Rogosa, E., 2013. How does aquaponic swork? [online]. growseed.org [cit. 2014-03-05]. Dostupné na WWW: <<http://www.growseed.org/aquaponics.html>>.
- Ross, L.G., 2000. Environmental fysiology and energetics. In: Beveridge, M.C.M., McAndrew, B.J. (Eds.) Tilapias: Biology and Exploitation, Fish and Fisheries Series 25, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp. 89-128.
- Savidov, N.A., Hutchings, E., Rakocy, J.E., 2007. Fish and plant production in a recirculating aquaponic system: a new approach to sustainable agriculture in Canada. Acta Horticulturae (IHS) 742, 209-221.
- Sawyer, J.D., 2010. Aquaponics Growing Fish and Plants Together. [online]. Colorado Aquaponics [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW: <http://www.coopext.colostate.edu/adams/gh/pdf/Intro_Aquaponics.pdf>.
- Shultz, R.C., Danaher, J.J., Rakocy, J.E., Bailey, D.S., 2011. Evaluation of a Swirl Separator in the University of the Virgin Island's Aquaponic System. [online]. University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station, Kingshill [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW:<https://www.was.org/documents/MeetingPresentations/AA2011/AA2011_0386.pdf>.
- Siemer, A., 2012. Deep water culture aquaponics explained (raft system). [online]. Aquaponics Junkies [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW: <<http://www.scoop.it/t/aquaponicsjunkies/p/3213072367/2012/11/05/deep-water-culture-aquaponics-explained-raft-system>>.
- Sokov a. s., 2014. Hospodářské nářadí. [online]. sokov.cz [cit. 2014-02-26]. Dostupné na WWW:<http://sokov.cz/index.php?p=eshop_productinfo&id=690473>.
- Somma, R., 2014. Aquaponics. [online]. flickr.com [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW: <<http://flickr.com/photos/14405058@N08/2552598398>>.
- Štěch, L., 2007. Koi. ALCEDOR Zliv, s. 51-80.
- Tezel, M., 2009. Aquaponics Common Sense Guide. [online]. San Antonio, TX, USA. [cit. 2013-09-14]. Dostupné na WWW: <http://backyardaquaponics.com/Travis/Aquaponics_Common_Sense_Guide.pdf>.
- The aquaponics garden, 2014. A little bit of history on Aquaponics. [online]. theaquaponicsgarden.com [cit. 2014-03-05]. Dostupné na WWW: <http://www.theaquaponicsgarden.com/ap_history.html>.

- Triker a. s., 2014. KGB kanalizační koleno. [online]. triker.cz [cit. 2014-02-26]. Dostupné na WWW:< <http://www.triker.cz/p-290100100870/Kgb-kanalizacni-koleno-87/>>.
- Tyson, R.V., Simonne, E.H., Treadwell, D.D., White, J.M., Simonne, A., 2008. Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters. Hort Science. 43, 719-724.
- Vajbar, M., 2014. Akvarijní začátky. [online]. akvarijni.cz [cit. 2014-02-26]. Dostupné na WWW:<<http://www.akvarijni.cz/zacatky.htm>>.
- Vejsada, P., Šrámek, J., 2012. Výživa ryb. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod. České Budějovice, s. 75-75.
- Velíšek, J., 2013. Ekotoxikologie- Příčiny poškození a otrav ryb. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod. České Budějovice, s. 7-12.
- Vlastník, T., 2004. Dýchání. [online]. Biology.webz.cz [cit. 2014-03-08]. Dostupné na WWW: <<http://www.biology.webz.cz/dychani.php>>.
- Wavin ekoplastik, 2014. WAVIN SOLIDWALL PVC SN 12. [online]. wavin.cz [cit. 2014-02-26]. Dostupné na WWW:< <http://www.wavin.cz/cz/54.rok-2013-ve-znameni-novinek-a-inovaci>>.
- Wikipedia, 2013b. Deaminace. [online]. cs.wikipedia.org [cit. 2014-03-08]. Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Deaminace>>.
- Wikipedia, 2014a. Aquaponics. [online]. en.wikipedia.org [cit. 2014-02-26]. Dostupné na WWW:<<http://en.wikipedia.org/wiki/Aquaponics>>.
- Wikipedia, 2014c. Ekologické zemědělství. [online]. cs.wikipedia.org [cit. 2014-02-26]. Dostupné na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ekologick%C3%A9_zem%C4%9Bd%C4%9Blstv%C3%BD>.
- Wilson, G., 2012. World's first Integrated Urban Aquaponics Conference and workshops. [online]. Aquaponics Network, Australia [cit. 2014-03-14]. Dostupné na WWW: <<http://www.cityfarmer.info/2011/05/24/world%E2%80%99s-first-urban-aquaponics-conference-and-workshops/>>.
- Woodard. S., 2011. Chinampa: Raised-bed hydrological agriculture. [online]. anthropogen.com [cit. 2014-03-05]. Dostupné na WWW: <<http://anthropogen.com/2011/04/24/chinampa-raised-bed-hydrological-agriculture/>>.

8. Přílohy

Příloha 1. Cena komponentů použitých v Médium systému. U vícekrát použitých komponentů je uvedena výsledná cena jejich vynásobením.

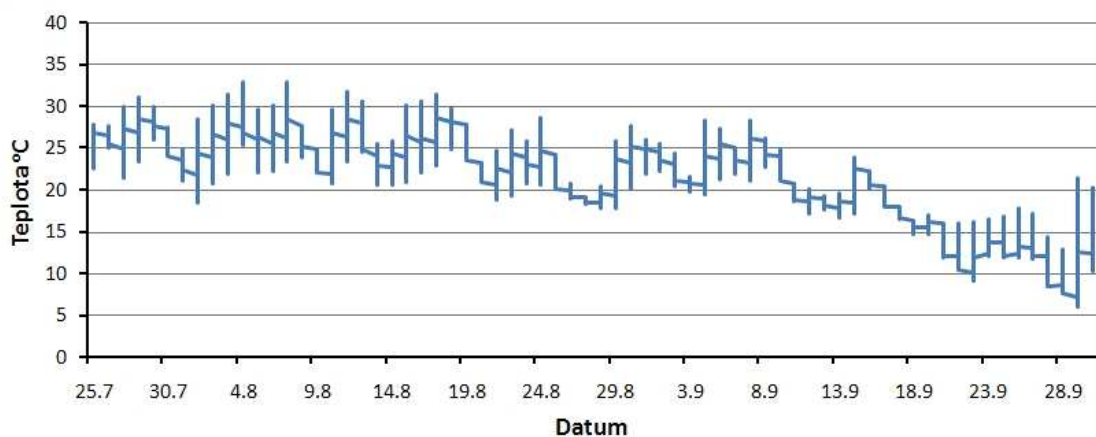
Komponent:	Cena:
Chovná nádrž 600l	3 000 Kč
Čerpadlo	1 000 Kč
Zahradní hadice 7m	100 Kč
Vortex	350 Kč
Retenční nádrž 500l	1000 Kč
Spalchovací systém	300 Kč
Bedýnky na substrát 6x	1020 Kč
Substrát 300l	1 800 Kč
Varné ventily 9x	1 350 Kč
Varné potrubí 6 m	120 Kč
Varné spojky se závitem 24x	1440 Kč
Varné koleno 90°19x	95 Kč
T- spojka 7x	42 Kč
Lanko 2m	300 Kč
Potrubí 1m	160 Kč
Pojzdová kolečka 2x	600 Kč
Drenážní potrubí 3m	90 Kč
Cena celkem:	12 767 Kč

Příloha 2. Cena komponentů použitých v NFT systému. U vícekrát použitých komponentů je uvedena výsledná cena jejich vynásobením.

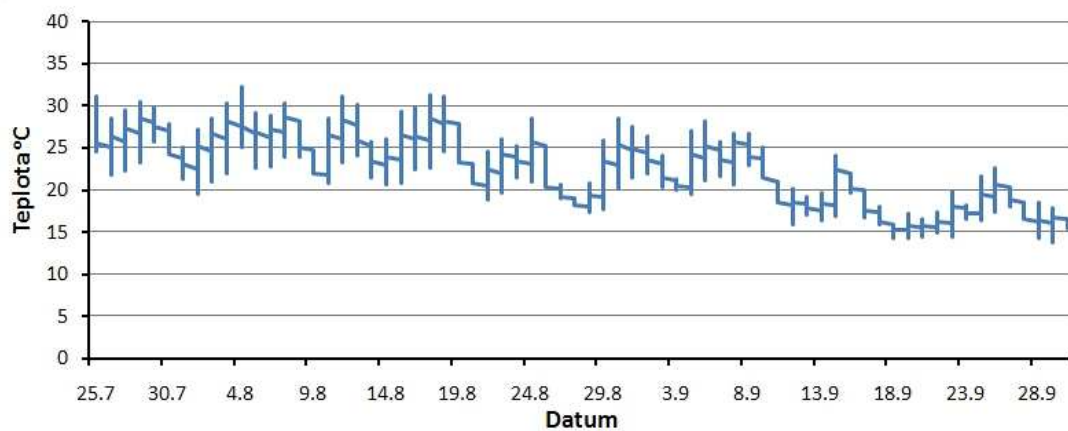
Komponent:	Cena:
Chovná nádrž 600l	3 000 Kč
Čerpadlo	1 000 Kč
Zahradní hadice 14m	200 Kč
Vortex	350 Kč
Filtrační nádrž	166 Kč
Molitanový blok	980 Kč
Potrubí 6x	930 Kč
Potrubí 2x	110 Kč
Okapní objímky 12x	900 Kč
Záslepka	15 Kč
Kolena potrubí 90° 11x	440 Kč
Varné koleno 90° 4x	20 Kč
Varné trubky 1m	20 Kč
Uzavírací varný ventil	150 Kč
T- spojka	6 Kč
Varné spojky se závitem 8x	480 Kč
Cena celkem:	8 767Kč

Příloha 3. Cena komponentů použitých v Raftovém systému. U vícekrát použitých komponentů je uvedena výsledná cena jejich vynásobením.

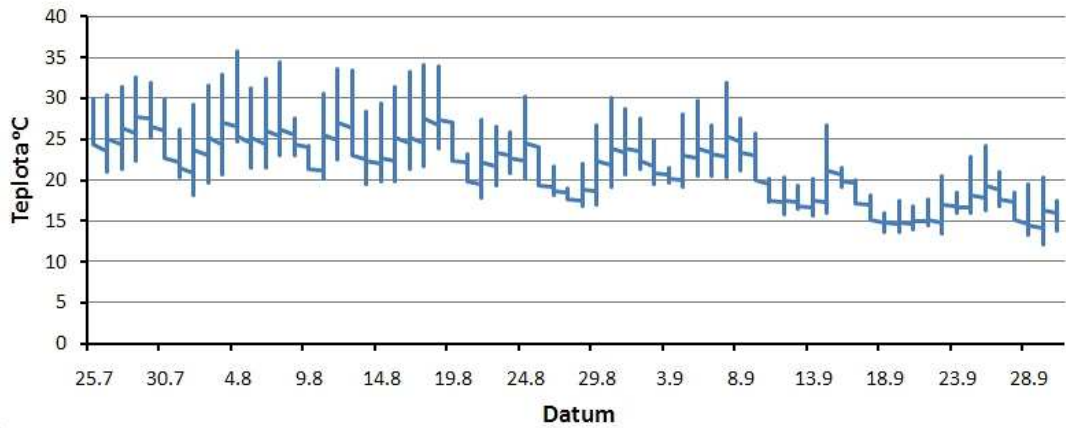
Komponent:	Cena:
Chovný žlab	8 420 Kč
Příslušenství k žlabům	200 Kč
Raftové žlaby 2x	12 300 Kč
Polystyrenové desky 6x	270 Kč
Zahradní hadice 6m	85 Kč
Vortex	350 Kč
Filtrační nádrž	170 Kč
Molitanový blok 3x	1 500 Kč
Čerpadlo	1 000 Kč
Varné potrubí 1,5m	30 Kč
Varné koleno 90° 5x	25 Kč
Uzavírací varný ventil 1x	150 Kč
Varné spojky se závitem 6x	360 Kč
Cena celkem:	24 860 Kč



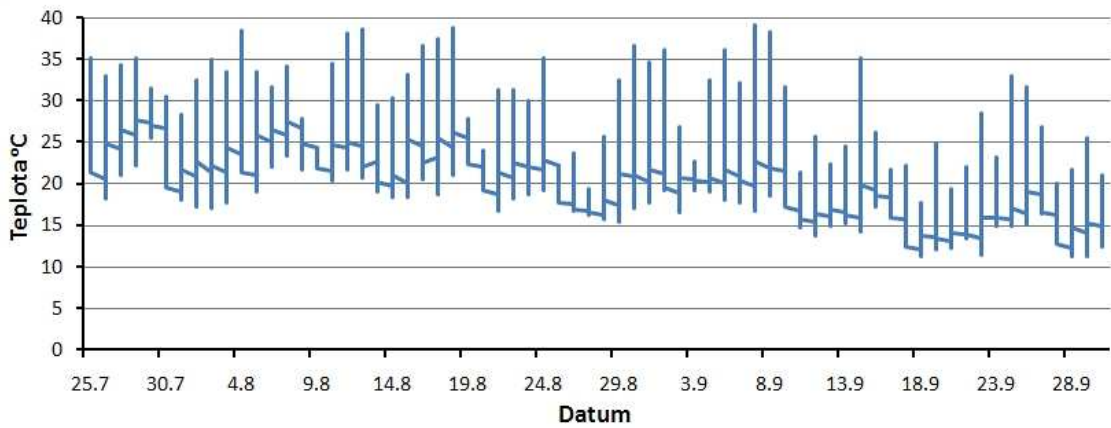
Příloha 4. Změny teploty vody (C°) v průběhu období od 25.7.2013 do 28.9.2013 v chovné nádrži Médium a NTF systému.



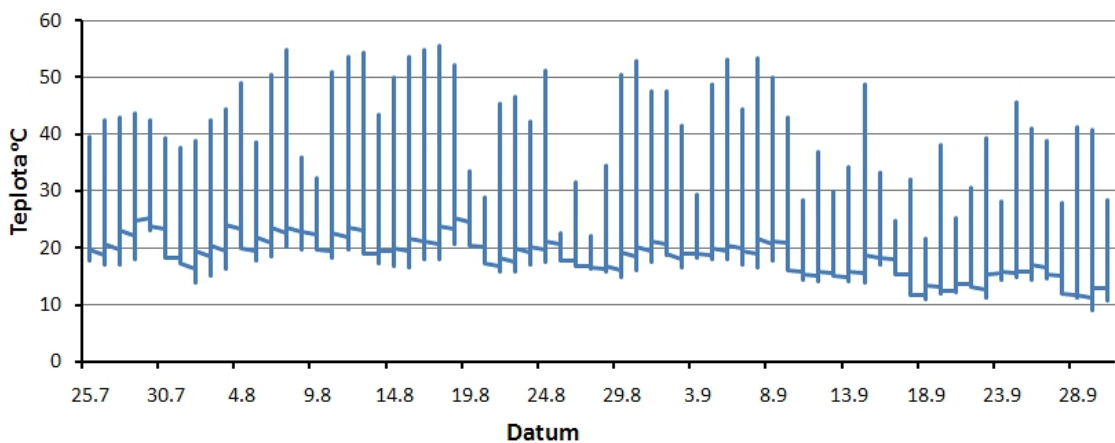
Příloha 5. Změny teploty vody (Co) v průběhu období od 25.7.2013 do 28.9.2013 v chovné nádrži Raftovéhoho systému.



Příloha 6. Změny teploty vody (C°) v průběhu období od 25.7.2013 do 28.9.2013 v raftové nádrži Raftového systému.



Příloha 7. Změny teploty vody (C°) v průběhu období od 25.7.2013 do 28.9.2013 v potrubí NFT systému.



Příloha 8. Změny teploty vzduchu (C°) v průběhu období od 25.7.2013 do 28.9.2013 ve skleníku.

9. Abstrakt

Chov ryb v akvaponickém systému

Cílem této práce byl vývoj modelů třech různých akvaponických systémů pro chov tilápie nilské *Oreochromis niloticus* a pěstování zeleniny a ověření jejich funkčnosti v praxi. Vytvořeny byly tyto systémy: Médium systém, který využíval jako substrát pro rostliny štěrk a keramzit (modifikovaná verze Barrelponics podle Hughey, 2005); NFT (trubkový) systém, který využíval tenkého filmu živinami obohacené vody tekoucí pod květináčky s rostlinami; Raft systém, který využíval polystyrenové rafty udržující květináčky s rostlinami na hladině vody (modifikovaná verze UVI systému podle Rakocyho a kol., 2004a).

Nejvíce poruchový byl Médium systém, zatímco nejméně poruchový byl Raft systém. Médium systém, poskytoval nejmenší plochu pro pěstování rostlin vzhledem k zastavěné ploše, naopak největší plochu pro rostliny poskytoval Raft systém. Médium systém umožňoval pěstování velké palety rostlin, zatímco NFT a Raft systémy umožňovaly pěstovat pouze nižší rostliny jako saláty, bylinky apod. NFT a Raft systémy vyžadovaly zařazení mechanické a biologické filtrace. NFT systém měl příliš velké výkyvy teploty vody, zatímco Médium a Raft systém byly teplotně velmi stabilní.

Největší nedostatky Médium systému byly: Kolísání hladiny vody v chovné nádrži, poruchový systém periodického zaplavování, ucpávání horizontální drenáže a spojovacího potrubí. Pro odstranění těchto nedostatků byl použit CHOP 2 koncept (Hallam, 2011), který využívá vertikální drenáž v kombinaci s autosifonem a oddělenou nádrží pro umístění čerpadla. Největším nedostatkem NFT systému byl velký výkyv teplot v průběhu 24 hodin. Pro odstranění tohoto nedostatku doporučujeme používat tento systém v indoor podmínkách či ve skleníku s regulovanou teplotou vzduchu. Největším dostatkem Raft systému bylo kolísání hladiny vody v biofiltru. Tento nedostatek byl odstraněn zařazením dodatečné nádrže pro umístění čerpadla.

Klíčová slova: bazalka pravá, Médium systém, NFT systém, Raftový systém, tilápie nilská

10. Abstract

Fish farming in aquaponic system

The aim of this work was to develop three different models of aquaponic systems for the culture of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* and growing vegetables and verify their functionality in practice. Following systems were developed: Media system, which used gravel and expanded clay as a substrate for plants (modified version of Barrelponics by Hughey, 2005); NFT (pipe) system, which used a flow of thin film of nutrient-rich water under the pots with plants; Raft system, which used styrofoam rafts keeping the pots with plants floating on the water (a modified version of the UVI system by Rakocy et al., 2004).

Most faulty was the Media system, whilst the least disturbances were in the Raft system. The Media system provided the smallest area for growing plants per built-up area, while the largest area for plants was provided by the Raft system. The media system allowed the cultivation of a large variety of plants, while Raft and NFT systems allowed growing only lower plants such as salads, herbs, etc. Raft and NFT systems required the inclusion of mechanical and biological filtration. NFT system showed too high fluctuations of water temperature, while Media and Raft systems were thermally very stable.

The biggest drawbacks of the Media system were: fluctuations in water levels in the fish tank, the faulty system of periodic flooding, clogging of horizontal drains and connecting pipes. To overcome these deficiencies CHOP 2 concept (Hallam, 2011) was used. The system uses vertical drainage in combination with autosifon and separate sump tank for the placement of pump. The biggest drawback of the NFT system was in large temperature fluctuations over 24 hours. To overcome this drawback, we recommend usage of this system in indoor conditions or in a greenhouse with controlled air temperature. The biggest drawback of the Raft system was fluctuation of water levels in the biofilter. This deficiency was removed by inclusion of an additional sump tank for the pump placement.

Keywords: Basil, Media system, NFT system, Nile tilapia, Raft system