

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Ústav akvakultury a ochrany vod

Bakalářská práce

Hobby akvaponie

Autor: Vojtěch Vondruška

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

Konzultant bakalářské práce: Ing. Radek Gebauer, Ph.D.

Studijní program a obor: zootechnika, rybářství

Forma studia: denní

Ročník: třetí

České Budějovice, 2020

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své 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 18. května 2020

Vojtěch Vondruška

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Janu Mrázovi, Ph.D. za poskytnutí odborné pomoci s řešenými problémy při pokusech, při tvorbě bakalářské práce a za velmi vstřícné a rychlé jednání. Dále bych rád poděkoval zaměstnancům ústavu akvakultury a ochrany vod za jejich přístup a odbornou pomoc při průběhu pokusů. V neposlední řadě bych rád poděkoval mé rodině za dlouhodobou podporu při studiu.

Tato práce vznikla za finanční podpory projektu CENAKVA, cíl Dlouhodobě udržitelná akvakultura s odpovědným hospodařením s vodou a živinami a NAZV projektu QJ1510119 Efektivní a dlouhodobě udržitelné využívání živin v intenzivní akvakultuře s využitím multitrofických systémů.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta rybnářství a ochrany vod
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch VONDRUŠKA**
Osobní číslo: **V17B028P**
Studijní program: **B4103 Zootechnika**
Studijní obor: **Rybnářství**
Název tématu: **Hobby akvaponie**
Zadávající katedra: **Ústav akvakultury a ochrany vod**

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 hobby systémů a vyvinout a v praxi otestovat modelový akvaponický hobby systém využitelný v domácnostech, terasách či zahradách.

V rámci vypracování BP bude v první řadě zpracována literární rešerše zaměřená na problematiku akvaponických hobby systémů. Hlavní kapitoly budou zaměřeny na specifika a potenciál akvaponických hobby systémů, dostupnost těchto systémů na trhu či použitelnost dílčích komponent dostupných na trhu, jejich design a princip fungování, praktickou obsluhu a řešení problémů, management škůdců a nemocí, monitoring a management živin a fyzikálně chemických vlastností vody.

Hlavní náplní práce bude vývoj a otestování modelového akvaponického hobby systému. 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 a akvariálních místnostech ÚAOV.

Práce bude finančně podporována projektem CENAKVA, cíl kvalita rybního masa a NAZV projektu QJ1510119 Efektivní a dlouhodobě udržitelné využívání živin v intenzivní akvakultuře s využitím multitrofických systémů.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby (do 10 stran)**

Rozsah pracovní zprávy: **30-50 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Bernstein, S., 2011. *Aquaponic Gardening: A Step-By-Step Guide to Raising Vegetables and Fish Together*. New Society Publishers, Gabriola Island, Canada, 258 s.

Graber, A., Junge, R., 2009. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination* 246: 147-156.

Lennard, WA., Leonard, BV., A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquaculture International* 14:539-550.

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., 2007. Ten guidelines for aquaponic systems. *Aquaponics Journal* 46: 14-17.

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A. 2014. Small-scale aquaponic food production. *Integrated fish and plant farming*. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* No. 589. Rome, FAO. 262 s.

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

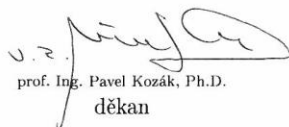
Ústav akvakultury a ochrany vod

Konzultant bakalářské práce: **Prshanti Divya Vani Dubbala**

Ústav akvakultury a ochrany vod

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. května 2019**


prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD
L.S.
Zabslí 728/II
389 25 Vodňany (2)


doc. Ing. Jan Mráz, Ph.D.
ředitel

V Českých Budějovicích dne 29. ledna 2018

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Literární přehled	11
2.1. Akvaponie.....	11
2.1.1. Výhody	12
2.1.2. Nevýhody	13
2.2. Historie akvaponických systémů.....	13
2.2.1. První směr	13
2.2.2. Druhý směr.....	13
2.2.3. Historie moderních systémů.....	13
2.3. Složky akvaponie.....	14
2.3.1. Vhodné druhy ryb	14
2.3.2. Vhodné druhy rostlin.....	16
2.3.3. Mikroorganismy	17
2.4. Hobby akvaponické systémy	19
2.4.1. Využití hobby systémů.....	19
2.4.2. Rozdíly mezi hobby a komerčními akvaponiemi.....	19
2.5. Části hobby akvaponických systémů.....	22
2.5.1. Chovná nádrž	22
2.5.2. Mechanická filtrace	23
2.5.3. Biologická filtrace	23
2.5.4. Hydroponický systém.....	24
2.5.5. Konstrukce hobby akvaponických systémů	31
2.6. Nároky pro správné fungování systému	33
2.6.1. Správné zvolení poměru krmiva a rostlin	33
2.6.2. Zajištění dostatečné aerace.....	34

2.6.3. Přidávání potřebných látek do systému.....	35
2.6.4. Častá kontrola pH.....	35
2.6.5. Předimenzování potrubí	36
3. Materiál a metodika	37
3.1. Analýza trhu	37
3.1.1. Dostupné systémy	37
3.1.2. Hodnocení systémů	41
3.2. Návrh modelového systému	44
3.2.1. Chovná nádrž	44
3.2.2. Pěstební záhony.....	44
3.2.3. Retenční nádrž.....	45
3.2.4. Výpočet rybí obsádky	45
3.2.5. Výpočet krmiva.....	45
3.2.6. Výpočet výkonu čerpadla.....	45
3.2.7. Výpočet potřeby aerace.....	46
3.2.8. Měření fyzikálně chemických vlastností vody.....	46
3.3. Sestavení modelového systému A.....	48
3.3.1. Chovná nádrž	48
3.3.2. Pěstební záhony.....	50
3.3.3. Retenční nádrž.....	53
3.3.4. Potrubí.....	53
3.3.5. Použité ryby	53
3.3.6. Použité rostliny.....	53
3.4. Sestavení vylepšeného systému B.....	54
3.4.1. Chovná nádrž	55
3.4.2. Pěstební záhony.....	56
3.4.3. Retenční nádrže.....	56

3.4.4. Potrubí	57
3.4.5. Použité ryby	57
3.4.6. Použité rostliny.....	58
4. Výsledky	59
4.1. Analýza prodáváných systémů	59
4.2. Navržené systémy.....	64
4.2.1. Ekonomické vlastnosti	64
4.2.2. Fyzikální a chemické vlastnosti vody systému A	66
4.2.3. Rostliny v systému A	68
4.2.4. Ryby v systému A	68
4.2.5. Fyzikální a chemické vlastnosti vody systému B	68
4.2.6. Rostliny v systému B	72
4.2.7. Ryby v systému B	72
5. Diskuse.....	73
5.1. Analýza trhu	73
5.2. Navržené systémy.....	77
6. Závěr	82
7. Přehled použité literatury	83
8. Seznam obrázků.....	86
9. Seznam tabulek.....	87
10. Seznam grafů	87
11. Abstrakt.....	89
12. Abstract.....	90

1. Úvod

Vzhledem k neustále rostoucí lidské populaci se také exponenciálně zvyšuje i spotřeba jídla a je tak vyvíjen tlak na vývoj nových metod při jeho produkci. Nové metody mají za cíl zajistit udržitelný způsob produkce potravin tak, aby nedocházelo k vyčerpání jak půdy, tak i oceánů. Nové metody vznikaly především v zemích, jež nemají dostatek půdy pro pěstování potřebného množství plodin a tím se staly průkopníky v nové éře pěstování. Nicméně v poslední době se nové postupy zavádí i v zemích, které dostatek půdy mají, ale s rostoucí spotřebou a nedostatkem vody dochází ke snižování produkce z klasického půdního zemědělství, zároveň dochází i ke snižování plochy úrodných půd z důvodu průmyslové zástavby. Jednou z prvních moderních metod je hydroponické pěstování rostlin v živném roztoku, jež zajišťuje pěstování rostlin bez potřeby půdy. Zajišťuje optimální podmínky pro rychlý růst rostlin, a také dochází k lepšímu využití prostoru, a především vody oproti klasickému půdnímu zemědělství (Wotton-beard, 2019). Důležitým faktorem při vývoji nových metod je fakt, že v posledních desetiletích značně stoupá i poptávka po rybách a tím dochází k postupnému drancování oceánů, zániku některých druhů ryb a následným úpadkům celého mořského ekosystému (Coll a kol., 2008). Proto došlo k obrovskému pokroku i v akvakultuře, jež je nejrychleji rostoucím odvětvím živočišné výroby za posledních 50 let. Velký pokrok nastal především v oblasti recirkulačních systémů, jež jsou schopny produkovat velké množství ryb s vysokou intenzitou a malou spotřebou vody (Kouřil a kol., 2008)

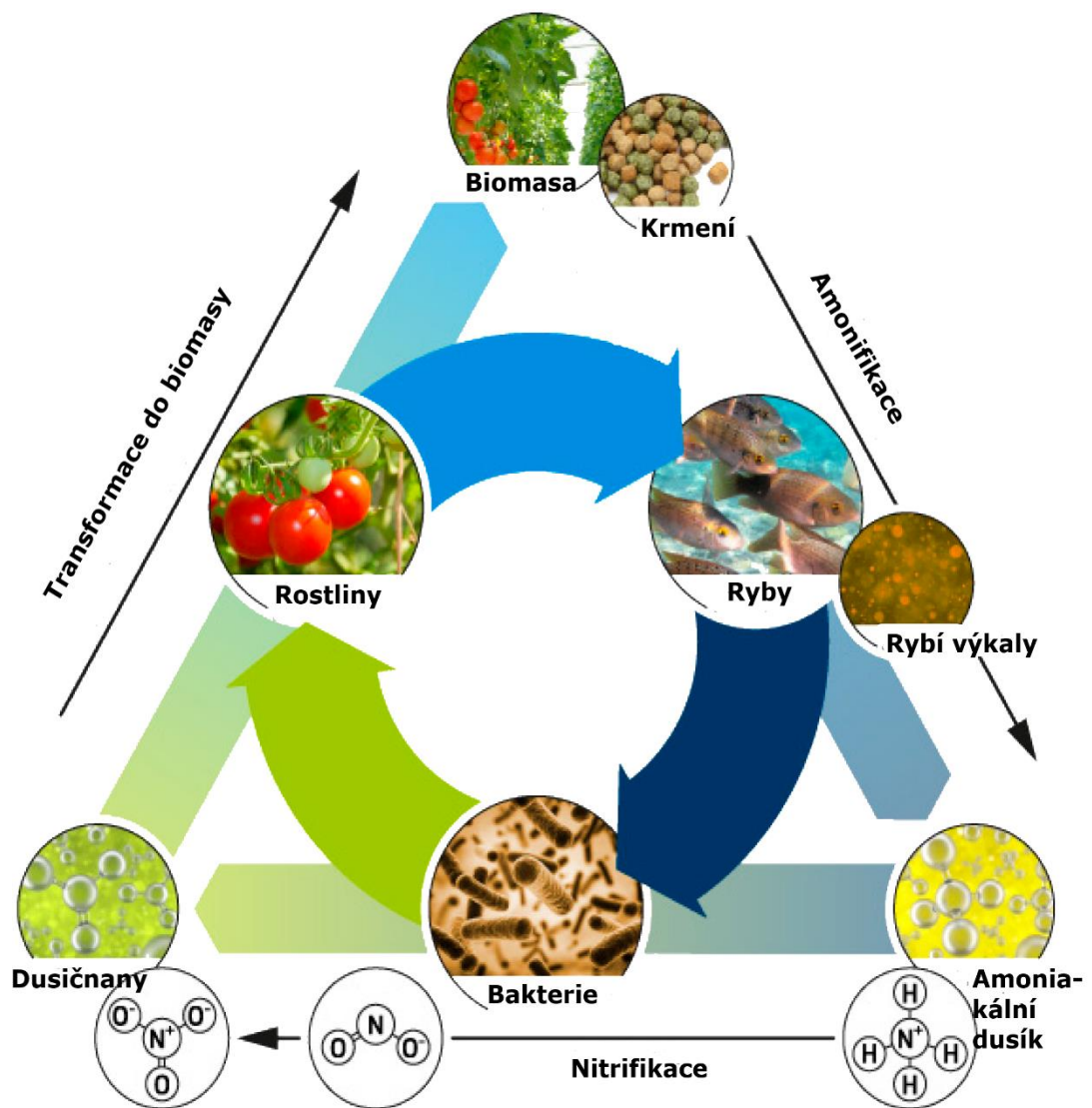
Zároveň ve vyspělých zemích nastala i změna v poptávce a stále častěji se do popředí prodeje dostávají potraviny s označením Bio, či potraviny od lokálních prodejců, což nahrává menším chovatelům a pěstitelům, a právě jednou z možností, jak vyřešit otázku udržitelného pěstování rostlin a chovu ryb, tak i potravin v bio kvalitě od lokálních prodejců, je kombinace hydroponického pěstování a recirkulační akvakultury zvaná akvaponie (Rakocy a kol., 2006; Bernstein, 2011; Somerville a kol., 2014).

Cílem této práce je analyzovat dostupnost hobby akvaponických a hydroponických systémů využitelných pro akvaponii, zhodnotit jejich možnosti při domácím pěstování a následně vytvořit a otestovat vlastní modelový hobby akvaponický systém pro využití na zahradách, terasách či balkónech. Následně bude modelový systém komplexně zhodnocen a budou navržena případná vylepšení.

2. Literární přehled

2.1. Akvaponie

Akvaponie je metoda využívaná pro produkci potravin kombinující recirkulační akvakulturu s hydroponií pro pěstování rostlin v symbiotickém vztahu (Bernstein, 2011). Jak hydroponie, tak i akvakultura mají své slabé stránky. Hydroponie vyžaduje přísun drahých živin pro růst rostlin, a také potřebuje časté čištění celého systému, což může způsobit problémy s jejich odpadem. Naopak u recirkulační akvakultury (RAS) je hlavní problém s nadbytečným množstvím živin rozpuštěných ve vodě (Backyard Aquaponics, 2012). Recirkulační systémy jsou navrženy tak, aby bylo možné na malém prostoru odchovat velké množství ryb s nízkými požadavky na objem vody. Voda je neustále čištěna od toxických látek a znovu pouštěna do systému. Zde se ale mohou netoxické živiny akumulovat a přeměnit na toxické (Rakocy a kol., 2006). Při pohledu na kombinaci těchto dvou metod se můžou negativa jednotlivých systémů změnit na pozitiva (Backyard Aquaponics, 2012). Kombinace těchto metod nám umožňuje využít nadbytečné živiny z akvakultury pro nahrazení umělých živin využívaných v hydroponii (Bernstein, 2011). Akvaponické systémy jsou tedy RAS, a navíc je přidána produkce rostlin bez půdy (Rakocy a kol., 2006). Místo půdy se používají jiné inertní substráty. Tyto substráty tvoří oporu pro rostliny, a především slouží k přivádění vody s rozpuštěnými živinami ke kořenům rostlin. Voda z nádrží s rybami putuje do filtrů, kde jsou odstraněny metabolické produkty ryb. Prvně mechanickým filtrem, odstraňující nerozpuštěnou hmotu a následně biologickým filtrem, poskytující místo pro růst bakterií, které přeměňují toxický amoniak na dusičnany procesem zvaným nitrifikace. Voda obsahující dusičnany a další rozpuštěné látky dále putuje k rostlinám, kde rostliny tyto rozpuštěné živiny využívají jako stavební látky pro tvorbu biomasy. Následně se čistá voda, která prošla kořenovým systémem rostlin, vrací do nádrží s rybami, viz Obr. č. 1. Tento proces umožňuje rybám, rostlinám a bakteriím vytvořit zdravý a fungující ekosystém pro každou složku (Somerville a kol., 2014)



Obr. č. 1: Koloběh živin (upraveno podle Zou, a kol., 2016)

2.1.1. Výhody

- Udržitelný systém pro produkci rostlin
- Produkce dvou produktů (zelenina a ryby) z jednoho zdroje dusíku
- Až o 90 % nižší spotřeba vody vůči konvenčnímu zemědělství
- Není potřeba využívání hnojiv a chemie
- Vyšší produkce z jednotky plochy
- Možnost využívání v místech, kde se klasické zemědělství provozovat nedá

2.1.2. Nevýhody

- Vyšší pořizovací náklady
- Nutnost zajištění neustálé dostupnosti elektřiny
- Potřebná základní znalost o rybách a pěstování rostlin

2.2. Historie akvaponických systémů

Kořeny akvaponických systémů sahají až do dob Aztéků, nicméně opravdový původ je stále diskutabilní. Historii akvaponií můžeme rozdělit do dvou vývojových směrů (Kledal a Thorarinsdottir, 2018).

2.2.1. První směr

První směr akvaponií pochází ze Střední Ameriky. Aztékové zde používali metodu vytváření nového zemědělského území pomocí ostrovů zvaných *Chinampa*. Ostrovy byly vytvářeny přímo v jezerech pomocí dřevěných kůlů, větví, rákosu a po okrajích vysazenými stromy. Plocha ostrova byla vyplněna organickým materiálem, na kterém se pěstovaly rostliny. Ostrovy byly široké 5-10 m a až 90 m dlouhé a uspořádané tak, aby mezi nimi byl prostor pro průjezd kánoí, ze kterých byly ostrovy obhospodařovány (Kledal a Thorarinsdottir, 2018).

2.2.2. Druhý směr

Druhý vývojový směr pochází z Číny, kde se na několika po sobě jdoucích rybnících chovaly ryby, drůbež a především rýže. V prvním rybníku byla umístěna drůbež, která se krmila, nespotřebované krmivo bylo dále unášeno vodou do dalšího rybníku s rybami. Veškeré výkaly, nespotřebované krmivo a další látky byly následně unášeny do rýžových polí, kde tyto látky podporovaly a zrychlovaly růst rostlin. (Kledal a Thorarinsdottir, 2018).

2.2.3. Historie moderních systémů

Na přelomu 60. a 70. let 20. století byla vedena diskuse na téma limitů pěstování. Vzhledem k celosvětové krizi s potravinami, zemědělstvím, znečišťováním vody, populačnímu růstu a dalších aspektů proběhlo velké množství experimentů za účelem najít udržitelný způsob pěstování, který zmenší vstupní náklady a bude dlouhodobě

udržitelný (Bradley, 2014). Akvaponie vznikla jako produkt postupně se rozšiřující akvakultury a jeho odpadového hospodářství (Dalsgaard a kol., 2013). Vůbec prvním, kdo přišel s pojmem akvaponie, byl New Alchemy Institute založený v roce 1969 a vedený trojicí John Todd, Nancy Jack Todd a William McLarney. Výsledkem jejich práce byl systém zvaný „The Ark“. Tento systém byl poháněn solárními panely a umožňoval pěstování ryb a zeleniny po celý rok (Bradley, 2014).

2.3. Složky akvaponie

Nejdůležitějším aspektem chovu ryb a rostlin v akvaponickém systému je teplota prostředí ve kterém je akvaponický systém umístěn. Proto při výběru ryb a rostlin vybíráme tak, aby jejich optimální podmínky pro zajištění růstu byly co nejvíce podobné (Bernstein, 2011).

2.3.1. Vhodné druhy ryb

Jedním z hlavních článků akvaponických systémů jsou ryby. Ryby svým metabolismem produkují potřebné živiny pro rostliny a mikroorganismy, bez nichž by nemohl systém fungovat. Pro akvaponické systémy se využívají především teplomilné druhy ryb (Love a kol., 2014), popsány níže.

Nejčastěji chovanou rybou v akvaponických systémech je tilápie nilská (*Oreochromis niloticus*). Je chována ve více než 50 % akvaponických systémů po celém světě (Love a kol., 2014). Tilápie je teplomilná ryba, která pro svůj optimální růst vyžaduje teplotu přes 20 °C, konkrétně 25-30 °C. Jako maximální hranice teploty je uváděna hodnota 40-44 °C a minimální 6,5-11 °C (Vachta a kol., 2014). Výhodou tilápie je její odolnost a nižší nároky na prostředí stejně tak, jako rychlost jejího růstu (Bernstein, 2011). Tržní hmotnosti se pohybují od 200-800 g, dosahuje jich nejčastěji ve věku 8-12 měsíců, nicméně v dobře fungujících systémech i za 6 (Kouřil, 2011). Tilápii je možné chovat ve velkých hustotách obsádky. DeLong (2009) uvádí hustotu obsádky 60-120 kg.m⁻³. Další výhodou je malá náročnost na kyslík oproti studenomilným rybám. Optimální hodnotou pro chov tilápie je 2,5-3,0 mg.l⁻¹ a více (Vachta a kol., 2014). Rakocy, (1989) uvádí, že optimálním minimem je 5,0 mg.l⁻¹. Vhodné pH pro chov tilápie je v rozmezí 6-9. Letální koncentrace amoniakálního dusíku (NH₃-N) je 0,6 – 2,0 mg.l⁻¹. U nás je její chov limitován teplotou, proto je při chovu tilápie potřeba použít skleník

nebo indoor hala, které zajistí dostatečné množství tepla pro její chov (Riche, M., a Garling, D., 2003).

Vhodným druhem je i keříčkovec červenolemý (*Clarias gariepinus*). Keříčkovec je stejně jako tilápie teplomilná ryba. V našem klimatickém pásmu je nemožné keříčkovce chovat celoročně ve venkovních nádržích bez oteplování vody. Keříčkovec je vysoce tolerantní na kvalitu vody. Díky své schopnosti využití nouzového dýchání za pomoci labyrintu je schopný krátkodobého přežití ve vodě s menším obsahem kyslíku, než jsou hodnoty těsně převyšující nulu (Kouřil a kol., 2013). Hůře ovšem snáší nižší teploty. Krátkodobě je schopný přežít pokles teploty pod 12 °C, ale dlouhodobě hyne v teplotě pod 15 °C, jako jeho nejvyšší teplotní maximum se uvádí 40 °C (Adámek, 1994). Z těchto důvodů je keříčkovec především chován ve vnitřních vytápěných RAS, kde je teplota vody v optimu 26-32 °C. Jeho chov je možné provozovat ve vysokých hustotách obsádky, až 250–400 kg.m⁻³ (Kouřil a kol., 2013).

Další vhodnou rybou k chovu v akvaponickém systému je kapr (*Cyprinus carpio*), případně koi kapr (*Cyprinus rubrofuscus*) Optimální teplota pro chov kapra se pohybuje v rozmezí 22 až 28 °C. V této teplotě dosahuje metabolismus kapra nejlepších výsledků. Kapr je schopný přežít teploty okolo 35 °C, nicméně tyto hodnoty už jsou rizikové především z důvodu obsahu kyslíku ve vodě. Zároveň je v těchto teplotách nutné omezit přísun krmiva, jelikož jeho trávení spotřebovává více kyslíku, než je kapr schopný přijmout. V letních měsících je potřeba zajistit dostatečný přísun kyslíku tak, aby hodnota rozpuštěného kyslíku ve vodě byla mezi 5 až 8 mg.l⁻¹ (Štěch, 2017). Na rozdíl od tilápie a sumečka je u kapra možné i přezimování, které ovšem přináší i riziko úhynu části obsádky (Hartmann a Regenda, 2014). Optimální pH prostředí je 6-8, nicméně kapr je krátkodobě schopný přežít i v hodnotách okolo 4 a 11,5 (Štěch, 2017).

V našich podmínkách je možné přemýšlet nad obsádkou pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*). Pstruh duhový je velice náročný na kyslík, dle Pokorného a kol. (1998) je optimální hodnota kyslíku 10–11 mg.l⁻¹ a k úhynu dochází při obsahu pod 5 mg.l⁻¹. Optimální teplota pro chov pstruha je od 8 do 18 °C (Příhoda, 2006). Nicméně je schopný přechodně snášet teploty okolo 25 °C (Vachta a kol., 2014). Optimální hodnota pH je 6,7–8,2 (Příhoda, 2006).

Další možnou volbou jsou ryby okounovité, především okoun říční (*Perca fluviatilis*). Maximální teplota, kterou okoun snese je dle Vachty (2014) 31 °C, optimální teplotou pro maximální růst je dle Kouřila (2008) 23 °C. Koncentrace kyslíku by při

chovu neměla klesnout pod 60% nasycení, což při optimálních teplotách činí okolo 5 mg.l⁻¹ na čemž se shoduje Vachta (2014) a Kouřil (2008). Dle Vachty (2014) je optimální pH v rozmezí 7,0 – 7,5 a dle Kouřila 6,0 – 7,5.

2.3.2. Vhodné druhy rostlin

Rostlinná produkce v akvaponických systémech ve většině případů převyšuje produkci z ryb (Bernstein, 2011). Nejčastěji pěstovanými, a nejlepšími rostlinami pro akvaponické systémy, jsou různé druhy listové zeleniny, bylinky a plodová zelenina. Po celém světě je pěstováno více než 150 druhů salátů, bylinek, zeleniny a menších keřů (Somerville a kol., 2014). Pro maximální růst a správnou výživu rostlin je potřeba 16 základních prvků. Tyto základní prvky jsou obsaženy v různých molekulách, které se vyskytují v systému. Nejdůležitější prvky nám zajišťuje voda a oxid uhličitý (H, C, O). Dalšími makroprvky jsou: dusík, draslík, vápník, hořčík, fosfor a síra. Neméně významné jsou i mikroprvky: chlór (Cl), železo (Fe), mangan (Mn), bor (B), měď (Cu) a molybden (Mo). Tyto prvky je důležité držet v optimálních poměrech, aby jejich koncentrace dosahovaly hodnot vhodných pro jednotlivé druhy rostlin (Rakocy a kol. 2016).

Salát (*Lactuca sativa*) je nejčastěji pěstovanou zeleninou v komerčních systémech, což kopírují i hobby systémy. V dnešní době existuje velké množství odrůd lišících se tvarem a barvou, a proto se v systémech mohou používat i jejich kombinace. Salát vyžaduje hodně slunečního svitu, a tak není potřeba ho ve venkovních hobby systémech zakrývat a různě chránit před světlem. Jako optimální pH pro pěstování salátů se udává hodnota 6-7. Dle velikosti je možné pěstovat 20-25 hlávek na 1 m² viz Obr. č. 2. Vhodná teplota pro saláty je v rozmezí 15-22 °C (Somerville a kol., 2014).



Obr. č. 2: Pěstování salátu v akvaponii (Somerville a kol. 2014)

Další velmi rozšířenou rostlinou v akvaponiích je bazalka pravá (*Ocimum basilicum*). Jedná se o jednoletou rostlinu s výškou až 60 cm. Pochází z Indie a dnes se přirozeně vyskytuje v Evropě, Asii a na Kavkaze (Mycák, 1953). Produkce bazalky v akvaponických systémech je až 3x vyšší než při pěstování v půdě. Zároveň i díky své ceně na trhu je bazalka jedním z nejčastějších druhů pěstovaných ve velkých komerčních systémech. Bazalka pro svůj růst vyžaduje teplotu mezi 18-30 °C, optimálně pak 20-25 °C. Dle velikosti pěstovaných rostlin je možné umístit 8-40 rostlin na 1 m². Její sklizeň probíhá od velikosti 15 cm a nastává po 4-5 týdnech (Somerville a kol. 2014).

Hlávkové zelí je další vhodnou rostlinou. Optimální pH pro pěstování hlávkového zelí je 6-7,2. Vhodná teplota vzduchu je 15-20 °C. Vzhledem k váze pěstovaného zelí je jeho pěstování omezeno jen na media bed systémy v hustotě 4-8 rostlin na 1 m² (Somerville a kol. 2014).

Rajče jedlé (*Lycopersicon esculentum*) je oblíbenou rostlinou pěstovanou ve všech typech akvaponií, nicméně je důležité zajistit dodatečnou oporu rostlinám. Rajče ke svému růstu vyžaduje hodně slunečního svitu a teplotu nad 10 °C, přičemž pod teplotou 8 °C dochází k zastavení růstu. Optimální teplota přes den je 22-26 °C, v noci 13-16 °C. Vzhledem k velikosti rajčat je možné na 1 m² pěstovat 3 až 5 rostlin. Rajče začíná plodit po 50-70 dnech a plodí 90-120 dnů v závislosti na odrůdě (Somerville a kol., 2014).

Vhodnými rostlinami do akvaponických systémů je i čeleď tykvovitých. Ta představuje vhodnou volbu do média bed systémů. Tyto systémy tvoří dostatečnou oporu pro plody, jako jsou různé druhy okurek, cuket a třeba vodních melounů. Čeleď tykvovitých potřebuje ke svému růstu větší množství dusíkatých látek a je tak třeba tyto druhy vhodně nakombinovat s ohledem na obsádku ryb. Optimální teplota pro čeleď tykvovitých je 24–27 °C a produkce ustává při 10-13 °C (Somerville a kol., 2014).

Především díky media bed systémům je možné v akvaponii pěstovat spousty dalších druhů jako je: špenát setý (*Spinacia oleracea*), libeček lékařský (*Levisticum officinale*), majoránku zahradní (*Origanum majorana*), lilek (*Solanum melongena*), brokolice (*Brassica oleracea var. botrytis italica*), mangold (*Beta vulgaris*) a mnoho dalších druhů plodové zeleniny, bylinek a listové zeleniny (Bernstein, 2011; Somerville a kol., 2013).

2.3.3. Mikroorganismy

Mikroorganismy jsou tvořeny různými bakteriemi, červy a dalšími organismy. Tato složka propojuje chov ryb a rostliny a je tak nezbytnou součástí bez které by akvaponické

systemy nemohly fungovat. Jejich úkolem je především přeměna toxického amoniaku produkovaného rybami na použitelné živiny pro rostliny a rozkladem organické hmoty na rozpuštěné látky (Bernstein, 2011; Somerville a kol., 2014).

Nitrifikační bakterie

V akvaponických systémech žijí stovky druhů bakterií, nicméně nejpodstatnějšími jsou rody *nitrosomonas*, *nitrospira* a *nitrobacter* zástupci nitrifikačních bakterií. Jsou prvními organismy, které je potřeba mít v systému při jeho zabíhání a do systému se dostávají přirozeně z okolí. Rychlost zabíhání biofiltru je možné urychlit přidáním přípravků obsahující spory nitrifikačních a denitrifikačních bakterií. Pro jejich optimální podmínky je důležité kontrolovat stav kyslíku a hodnotu pH (Bernstein, 2011). Nitrifikační bakterie se oproti ostatním množí poměrně pomalu a je tak důležité zabíhání systému, při kterém se tyto bakterie množí, neuspěchat. Tento proces trvá několik dní až týdnů, v závislosti na podmínkách a velikosti systému. Optimální hodnota kyslíku při tomto procesu je 4-8 mg.l⁻¹. Pro hodnoty pH se udávají hodnoty o něco vyšší (pH 7,2–8,2), než je požadovaná hodnota v celém systému. Jde tak o mírný kompromis mezi požadavky všech složek v systému. Optimální teplota pro bakterie je mezi 17 °C a 34 °C (Somerville a kol., 2014).

Heterotrofní bakterie a mineralizace

Dalšími důležitými bakteriemi jsou bakterie heterotrofní. Tyto bakterie využívají jako zdroj potravy organické látky, především odpadní látky z chovu ryb. Tyto látky obsahují velké množství proteinů, vitamínů, tuků a minerálů (Somerville a kol., 2014). Heterotrofní bakterie metabolizují a rozkládají pevné částice na rozpuštěné, čímž látky činní dostupné pro kořeny a rostliny samotné. Díky těmto bakteriím v akvaponii nechybí důležité látky a není je tak potřeba přidávat. Heterotrofní bakterie mají podobné nároky jako bakterie nitrifikační, nicméně jejich reprodukce je mnohem rychlejší. Vyskytují se v celém systému, hlavně pak v místech, kde se hromadí nejvíce organického materiálu (Bernstein, 2011; Rakocy, 2007).

Nežádoucí bakterie

V akvaponických systémech se vyskytují i nežádoucí mikroorganismy. Jedním z nich jsou bakterie, které redukuje sírany (SO₄²⁻). Tyto bakterie žijí v anaerobních podmínkách a získávají svoji energii redukcí síranů na sulfan (H₂S), který je extrémně toxický pro ryby (Somerville a kol., 2014). Problém může nastat v případě, kdy je

v systému nedostatečná mechanická filtrace a systém je zanášen pevnými částicemi, které vytváří anaerobní prostředí vhodné právě pro bakterie. Relativně nežádoucími bakteriemi jsou také denitrifikační bakterie žijící v anaerobním prostředí. Denitrifikační bakterie převádí dusičnany, přístupné rostlinám, na atmosférický dusík, který tak uniká ze systému, a může docházet k nedostatku dusíku pro rostliny (Bernstein, 2011). Poslední nežádoucí skupinou bakterií jsou patogenní bakterie, způsobující různé nemoci ryb a rostlin a mohou být přenosné i na člověka. Jedná se především o bakterie *Escherichia coli* a *Salmonella spp.* Proti těmto bakteriím je důležitá prevence a určité zásady hygieny. K systémům by neměla mít přístup zvířata jako ptáci, kočky a psi (Rakocy, 2016).

2.4. Hobby akvaponické systémy

2.4.1. Využití hobby systémů

Využití hobby akvaponických systémů najdeme většinou v místech našeho obydlení, ať už to jsou zahrady, terasy nebo balkóny. Hlavním účelem hobby systémů je produkce především rostlin a případně ryb pro domácí spotřebu. Na rozdíl od komerčních systémů je v hobby systémech pěstováno více druhů rostlin dle potřeby a není tolik dbáno na návrat počáteční investice. Hobby systémy jsou úspěšně používány po celém světě (Somerville a kol., 2014). Pro domácí využití můžeme použít několik druhů systémů lišících se svojí velikostí, náročností na sestavení a obsluhu, designem a umístěním. Nejčastěji používanou hydroponickou jednotkou v hobby systémech je „media bed“ systém. Obecně se dá říct, že hobby akvaponické systémy jsou malé, s nižší hustotou obsádky a menší plochou pro pěstování rostlin. Většinou systém tvoří jedna chovná nádrž a jedna, či více pěstebních ploch a celý koloběh vody je zajištěn pouze jedním čerpadlem (Palm a kol., 2018).

2.4.2. Rozdíly mezi hobby a komerčními akvaponiemi

Rozdílů mezi malými hobby a komerčními systémy je velké množství. V první řadě je hlavním rozdílem prvotní cíl stavby akvaponického systému. V hobby instalacích je cílem pěstování především tvorba rostlin v bio kvalitě pro domácí potřebu a pro zpestření našich jídelníčků, nikoliv však rychlý návrat investice. Domácí systémy mohou sloužit i jako forma zábavy a volnočasové aktivity stejně jako zahrádkářství, nejsou časově náročné a nevyžadují několikahodinové úkony každý den (Bernstein, 2011). Oproti tomu

komerční akvaponické haly jsou stavěny za účelem co největší kontinuální produkce po celý rok s finanční návratností investice a následným ziskem (Love a kol., 2014). Tomu odpovídají i rozdílné náročnosti v konstrukci jednotlivých systémů, které rovnoměrně souvisí i s výší počáteční investice na výstavbu. Většina hobby instalací je vytvářena z dostupných materiálů v našem okolí, jednotlivé prvky ani nemusí prvotně sloužit k akvaponickým či hydroponickým účelům, např. IBC kontejnery, které mohou po úpravě sloužit jako chovná nádrž i pěstební záhony, oproti velkým rybochovným zařízením převzatých z recirkulační akvakultury (Hughey, 2005; Bernstein, 2011). V komerčních systémech je vytvořeno více jednotlivých uzavřených recirkulací, kdežto v hobby systémech je koloběh pouze jeden. Výše počáteční investice u domácích systémů je v řádech tisíců, případně menších desetitisíců, kdežto u komerčních systémů počáteční cena za výstavbu dosahuje i desítek miliónů korun. Stejně tak velký rozdíl nákladů je i u provozu systému. V komerčních systémech je spotřebované množství elektrické energie na čerpání, ohřev, vytápění a monitoring mnohem vyšší vzhledem k celkové velikosti systému a nárokům na rychlou produkci. Tím vzniká i rozdílná výše ztráty investice při nevydařeném chovu. Hobby systémy svojí plochou zabírají několik m², maximálně však 50 m², kdežto komerční systémy většinou zabírají plochu jednoho a více hektarů. Proto je u komerčních systémů důležitý i výběr vhodné lokace haly, která nám zajistí dostatečný zdroj čisté vody pro doplňování vody v systému (Boxman a kol., 2017). Naopak u domácích systémů je celkový odpar vody malý a vodu jsme schopni doplňovat z vlastních zdrojů (Bernstein, 2011).

Dalším výrazným rozdílem jsou jednotlivé části systémů. Domácí akvaponie mají většinou pouze jednu chovnou nádrž, ve které se často chová jedna velikost ryb. To má za důsledek nerovnoměrnost v přísunu živin do systému v průběhu chodu. Při chovu malých ryb o velikosti 20 g je celkový přísun krmiva menší než u ryb o velikosti 500 g, a tím dochází k problémům s malým množstvím živin pro rostliny, respektive s velkým množstvím živin, které rostliny nedokážou spotřebovat. Dalším zásahem, do již zaběhnutého systému, je i výlov tržních ryb a následné nasazení menších ryb, tím dojde ke skokovému rozdílu v poměru živin a může docházet k problémům (Rakocy a kol., 2006; Bernstein 2011). Ve velkých systémech se využívá několika chovných nádrží, ve kterých jsou chované různé hmotnostní kategorie ryb, což zajišťuje rovnoměrný přísun látek do systému v průběhu roku (Boxman a kol., 2017). Nevýhodou venkovních domácích instalací je závislost na přírodních podmínkách a je omezen pouze na teplotu

část roku (Somerville a kol., 2014). Komerční systémy jsou v provozu celoročně, jsou v uzavřených halách, kde jsou podmínky upravovány vytápěním a umělým světlem, a tak mají rostliny i ryby neustále vhodné podmínky pro růst. Rozdílné jsou také typy hydroponických jednotek (Lennard, 2017). U domácích systémů je nejčastěji používaný medium systém, vzhledem k tomu, že je nejjednodušší na obsluhu a celkovou konstrukci systému. Ovšem ani domácí nutrient film technique (NFT) a Raft systémy, které vyžadují vlastní filtraci, nejsou výjimkou u zkušenějších pěstitelů (Bernstein, 2011). U velkých akvaponických farem se naopak setkáme nejčastěji s Raft a NFT systémem. Tyto jednotky jsou ve velkém měřítku jednodušší na obsluhu ať už při čištění systému, tak i sběru produkce. Raft a NFT systémy nezbytně vyžadují jak biologickou, tak mechanickou filtraci, jelikož jejich povrch nevytváří dostatečně velkou plochu pro potřebné bakterie a také hustota obsádky je podstatně vyšší než u malých systémů, to znamená i vyšší množství rozpuštěných látek (Goddek a kol., 2015). Filtrace v komerčních systémech jsou stejné filtrace, které jsou využívány v recirkulační akvakultuře při chovu ryb, a to vede k dalšímu nárůstu investic. Nejčastěji využívanou mechanickou filtrací v komerčních systémech jsou bubnové filtry, různé druhy sedimentačních nádrží, vortexy a mikrosítové filtry. V těchto systémech nestačí pouze jedna jednotka mechanické filtrace, skoro vždy jsou používány různé kombinace těchto druhů filtrů a bývají silně předimenzovány. Stejně tak je potřebné zajistit i dostatečnou biologickou filtraci. Velké množství ryb v systému vytváří i velké množství toxického amoniaku, a proto je potřeba i velkých biologických filtrací. Využívané jsou kombinace dvou typů biologických filtrací, skrápěných biofiltrů a ponořených biofiltrů. Obě tyto filtrace obsahují plastové elementy vytvářející dostatečný povrch pro nitrifikační bakterie (Boxman a kol., 2017; Lennard, 2017; Palm a kol., 2018). U hobby systému je filtrace podstatně jednodušší. Jak mechanickou, tak i biologickou filtraci je možné si jednoduše vyrobit doma z levných a dostupných materiálů na trhu a je možné vytvořit i prostorově nenáročnou kombinaci mechanické a biologické filtrace.

Rozdílné budou i pěstované druhy rostlin, především jejich kombinace, a také chované druhy ryb. V domácích hobby systémech pěstujeme rostliny dle naší potřeby a chutě, proto se v těchto systémech často kombinuje velké množství druhů rostlin. To může mít za následek vhodné podmínky pro jeden druh rostliny, nikoliv však pro druhý druh, který může následně strádat (Somerville a kol., 2014). U ryb je důležité si určit, zda chceme chovat ryby pro následnou konzumaci, nebo jen pro zábavu. Ryby určené ke

konzumaci jsou většinou chovány tak, že pěstujeme pouze jeden druh ryby. Pokud se ryby chovají pouze pro zábavu, nebo systém neumožňuje svojí velikostí odchov tržních ryb, běžně se chová i více druhů ryb v jedné nádrži (Bernstein, 2011). V komerčních systémech je v jednotlivých recirkulačních systémech pěstován často jeden druh rostliny stejně jako jeden druh ryb. Tím je možné zajistit optimální podmínky přímo pro daný druh rostliny, ať už se jedná o množství živin ve vodě, teplotu, kyslík, fotoperiodu a tím maximalizovat produkci. U ryb je možné se občas setkat s kombinací dvou druhů teplomilných ryb, které mají optimální podmínky podobné (Boxman a kol., 2017; Lennard, 2017; Palm a kol., 2018).

Další velký rozdíl je v obsluze a zajištění chodu těchto systémů. Hobby systémy jsou podstatně méně časově náročné, veškerou práci je schopný provádět jeden člověk. U komerčních systémů je potřeba zajistit určitý počet zaměstnanců dle velikosti systému. Tito zaměstnanci musí mít znalosti z oboru rybářství a zemědělství, pokud možno, tak i zkušenosti s hydroponickým pěstováním (Somerville a kol., 2014).

2.5. Části hobby akvaponických systémů

2.5.1. Chovná nádrž

Chovná nádrž určuje celkovou velikost akvaponického systému, proto je důležité před stavbou hobby systému promyslet typ a velikost systému, který chceme stavět. Dalším limitujícím faktorem jsou požadované druhy ryb. Pro malé akvaponické systémy umístěné v domácnostech s chovem akvariálních ryb stačí akvária. Pro intenzivnější chov větších ryb, typu tilápie, potřebujeme nádrž o objemu alespoň 190 l, přičemž Bernstein (2011) uvádí optimálně 1000 l. Chovné nádrže mohou být z různých materiálů, nejčastěji z plastu, laminátu, betonu s gumovou textilií apod. Pro hobby akvaponické systémy jsou často využívány různé nádrže jako plastové barely, sudy a IBC kontejnery, které jsou pro tento účel dále upravovány (Somerville a kol., 2014). Nicméně je důležité, aby splňovaly požadavky pro bezpečné pěstování a následnou konzumaci (Bernstein, 2011). Tvar nádrží musí být přizpůsoben tak, aby v nádrži nevznikaly mrtvé zóny bez kyslíku z důvodu nedostatečné cirkulace vody, proto je doporučován kruhový tvar (Somerville a kol., 2014).

2.5.2. Mechanická filtrace

Mechanická filtrace je umístěna hned za chovnou nádrž s rybami. Mechanická filtrace slouží k odstranění nerozpuštěných odpadních látek především z chovné nádrže. Jedná se o rybí výkaly, nespotřebované krmivo a další organické i anorganické pevné částice. Tyto pevné látky je nezbytné ze systému odstranit co nejrychleji, protože postupně dochází k jejich rozkladu za velké spotřeby kyslíku a dalšího uvolňování toxického amoniaku (Kouřil a kol., 2013). Zároveň nerozpuštěné látky postupně zanáší pěstební záhony, snižují celkový objem vody v systému a mohou vytvářet anaerobní prostředí pro rostliny (Somerville a kol. 2014). V hobby systémech se setkáme nejčastěji se sedimentační filtrací, případně s filtrem využívajícím mikrosítového materiálu. Sedimentační nádrže slouží ke zpomalení průtoku vody a tím dochází k usazování nerozpuštěného materiálu na dně této nádrže. Čím déle je voda v sedimentační nádrži, tím víc nerozpuštěného materiálu zůstane na dně, proto je důležité zvolit správnou velikost nádrže s ohledem na velikost systému a jeho rychlost cirkulace vody (Štěch, 2007). Sedimentačních nádrží je opět několik typů, může se jedna o tzv. *Clarifiers*, které jsou tvořeny kruhovou nádrží s přepážkami a kónickým dnem s vypouštěcím zařízením, nebo o vortexy, které fungují na principu odstředivé síly a následným horním přepadem vody dál do biologického filtru (Rakocy a kol., 2006)

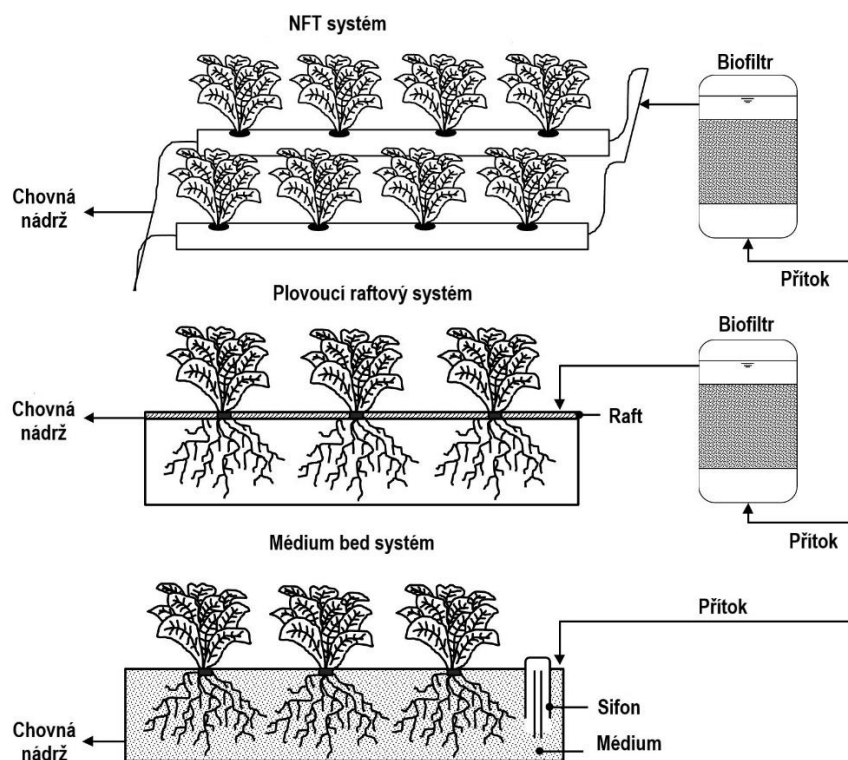
2.5.3. Biologická filtrace

Biologická filtrace bývá umístěna za filtrací mechanickou tak, aby nedocházelo k usazování nerozpuštěných látek právě v biofiltru. Účelem biofiltrace je přeměna toxického amoniaku, který je odpadním produktem ryb, na dusičnany přes dusitany pomocí nitrifikačních bakterií. Nejčastěji se jedná o bakterie *Nitrosomonas* a *Nitrobacter* (Rakocy a kol. 2006). Tyto bakterie se tvoří na povrchu různých materiálů, a proto je důležité jim zajistit dostatečně velkou plochu. Z tohoto důvodu se v biologických filtrech používají různá média. Jako média se používají různé plastové elementy, které jsou uzpůsobeny tak, aby při co nejmenším objemu měly co největší plochu. Při procesu oxidace amoniaku je spotřebováno velké množství kyslíku, proto je důležité do filtru umístit aeraci (Guerdat a kol., 2011). Teplota vody by se měla pohybovat v rozmezí 10–27 °C, kde pod 5 °C a nad 35 °C nitrifikační bakterie přestávají fungovat. Optimální rozmezí pH je 7-8, pod hodnotou pH 5 se nitrifikační činnost zastavuje (Štěch, 2007). (Rakocy a kol., 2006) udává jako optimální hodnoty pH mezi 6-9. V běžných hobby

instalacích je biologický filtr tvořen menší nádrží, která by měla mít objem alespoň šestinu objemu nádrže s vodou. Musí obsahovat okysličovací jednotku ve formě např. provzdušňovacích kamenů a alespoň 70 % objemu nádrže by mělo tvořit médium (Bernstein, 2011).

2.5.4. Hydroponický systém

Akvaponické systémy se liší především jejich hydroponickou jednotkou. Nejčastěji používaným typem hydroponické jednotky v malých hobby systémech jsou tzv. „media bed“ systémy. Dalšími častými druhy jednotek jsou NFT (Nutrient film technique) a Raft systém, který též využívá název DWC (Deep water culture) (Rakocy a kol., 2006). Rozdíly jsou viditelné na Obr. č. 3

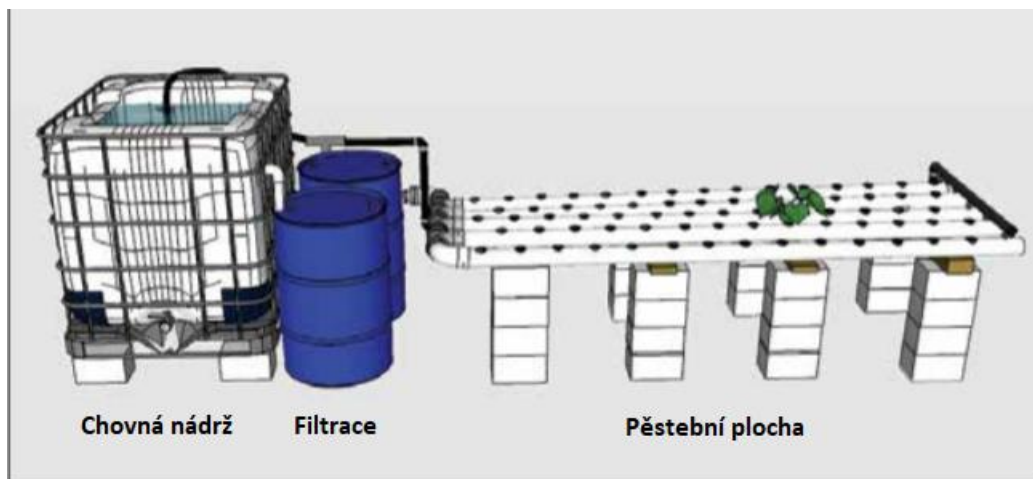


Obr. č. 3: Rozdíly mezi jednotlivým využitím hydroponických jednotek (Wongkiew a kol., 2017)

NFT systém

NFT systém je metoda hydroponického pěstování rostlin v horizontálně umístěných trubkách se spádem okolo 1 %, ve kterých protéká tenký film na živiny bohaté vody. V trubkách jsou vytvořeny otvory, ve kterých jsou umístěné košíčky vyplněné médiem. Kořeny rostlin jsou neustále v tenké vrstvě protékající vody (Obr. č. 4). Stejně jako

u raftového systému je nutné využívat mechanickou i biologickou filtraci (Lennard a Leonard, 2006). Mechanická filtrace odstraňuje pevné částice tak, aby nedocházelo k jejich usazování na kořenech rostlin, kde může dojít k uhynutí rostliny z důvodu mechanického poškození, nebo k zadušení rostliny. Zároveň potřebujeme i filtraci biologickou, jelikož NFT systém nezajišťuje dostatečně velkou plochu pro bakterie (Somerville a kol., 2014).



Obr. č. 4: Schéma NFT systému (Upraveno dle Somerville a kol., 2014)

Výhody

Hlavní výhodou NFT systému je jeho velká variabilita možností v konstrukci. Z toho důvodu může být NFT systém postaven takřka kdekoliv. Výhodou je také fakt, že NFT systém potřebuje jen malou retenční nádrž a v menších instalacích je možné retenční nádrž nepoužívat. Oproti ostatním systémům dochází v NFT k menšímu odparu vody (Goddek a kol., 2015; Lennard a Leonard, 2016).

Nevýhody

Nevýhodou NFT systému je malý prostor pro kořeny rostlin, to má za důsledek omezení možností výběru rostlin a je omezený pouze na menší rostliny (Obr. č. 5). Nevýhodou je i jeho nestabilita vzhledem k fyzikálním a chemickým vlastnostem vody z důvodu malého množství celkového objemu v systému. NFT systém potřebuje pro svůj chod samostatnou mechanickou a biologickou filtraci (Goddek a kol., 2015; Lennard a Leonard, 2016).

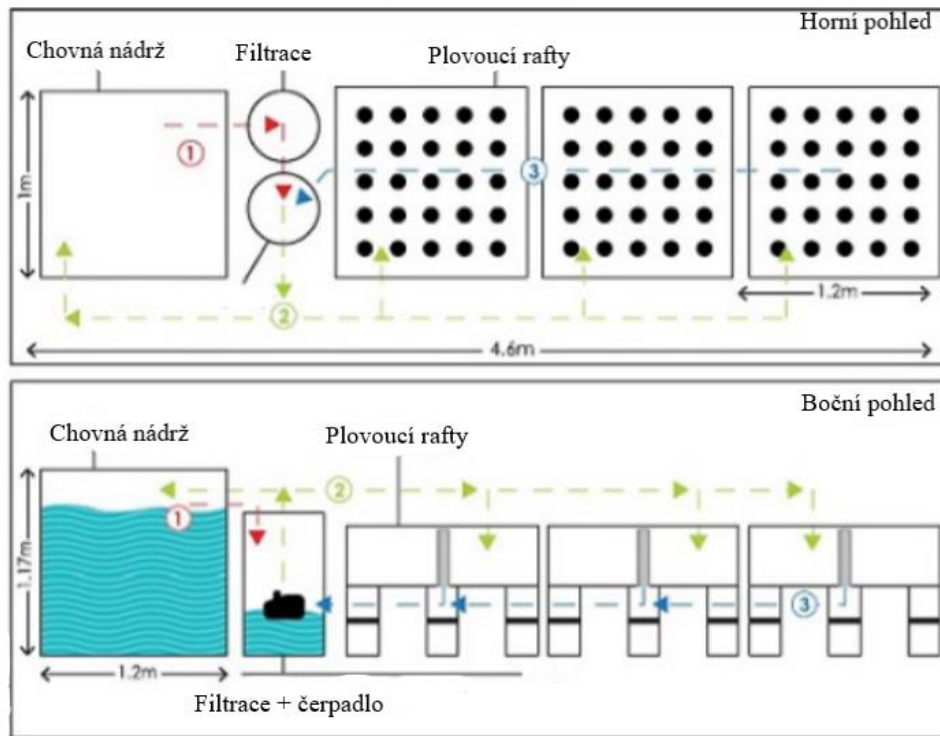


Obr. č. 5: NFT systém (Backyard aquaponics, 2012)

Plovoucí raftový systém (Deep water culture)

V metodě plovoucího raftového systému živinami obohacená voda putuje skrze dlouhé kanály, které mají hloubku okolo 20-30 cm a jsou několik metrů dlouhé. Kanály jsou tvořeny většinou inertním tlustostěnným plastem, nicméně existuje velké množství použitelných materiálů jako: upravené IBC kontejnery, dřevěné konstrukce, laminát a beton pokrytý fólií. Na rozdíl od NFT systému může být celková délka kanálu o dost vyšší vzhledem k objemu vody, který protéká kanály a poskytuje dostatek živin i rostlinám umístěným na konci systému. Na hladině jsou umístěné plovoucí rafty, ve kterých jsou vytvořené díry (Obr. č. 6) (Somerville a kol., 2014). Počet a velikost děr se určuje podle velikosti pěstovaných rostlin, čím větší rostliny, tím menší hustota děr. Častým materiálem pro plovoucí rafty je polystyren. Rostlinám tvoří oporu plastové košíčky umístěné v dírách na raftu. Košíčky jsou vyplněny pěstebním médiem, většinou se jedná o různé vaty. Kořeny rostlin prorůstají médiem i košíčkem a volně visí ve vodě. Voda z nádrží pro chov ryb proudí přes mechanickou a biologickou filtraci, obě tyto filtrace jsou v systému nezbytné (Connolly a Trebic, 2010). Plovoucí raftový systém je dnes hojně využíván v komerčně fungujících systémech, jelikož tato metoda umožňuje

pěstování velkého množství rostlin jako jsou saláty a bazalka (Obr. č. 7), a zároveň umožňuje mít vyšší obsádku ryb (FAO, 2015).



Obr. č. 6: Schéma raftového systému (upraveno podle FAO, 2015)

Výhody

Výhodou raftových systémů je především jejich snadná obsluha a čištění. Dalším plusem je, že raftové systémy jsou schopné přežít i krátkodobé výpadky elektřiny tím, že v raftech se voda zdržuje 1-4 hodiny. Stejně jako u NFT systému dochází k malému odpařování vody. Polystyrenové rafty působí jako ochrana před přehříváním vody, nebo naopak před náhlým poklesem teploty a udržují tak více stabilní teplotu (Somerville a kol., 2014).

Nevýhody

Nevýhodou je především omezení pěstování pouze menších rostlin. U velkých rostlin, jako jsou rajčata a papriky, dochází k lámání stonků a může dojít k přetížení raftu (Saaïd a kol., 2013). Raftový systém potřebuje zajistit dostatek rozpuštěného kyslíku v kanálech, tudíž je nutné zajistit aeraci jak v chovné nádrži, tak i přímo v kanále (Goddek a kol., 2015). Stejně jako u NFT systému je nutné zajistit dostatečnou filtraci, především mechanickou, jelikož kořeny rostlin jsou neustále ve vodě (Somerville a kol. 2014).

Pokud v kanálech teče nedostatečně mechanicky vyčištěná voda, dochází k usazování pevných částic na kořenech rostlin a k jejich postupnému uhnívání (Saaid a kol., 2013)



Obr. č. 7: Plovoucí raftový systém (Rakocy a kol., 2006)

Medium systém

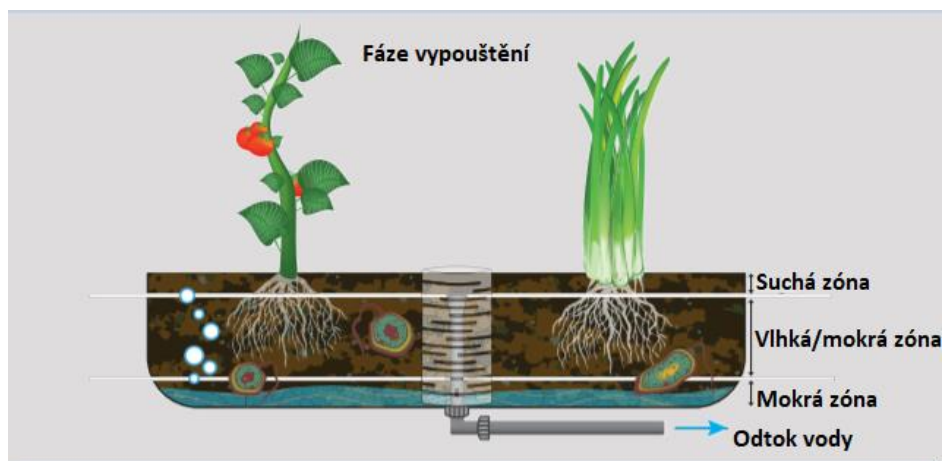
Médium systém je nejvíce využívaným hobby systémem na celém světě. Oporu pro rostliny tvoří pěstební médium, do kterého přitéká voda z chovných nádrží, a zajišťuje tak přísun živin a kyslíku (Obr. č. 8). Médium může být zaplavováno periodicky, případně i konstantně (Rakocy a kol., 2006). Výhodou toho systému je absence biofiltru, protože samotné médium vytváří vhodné podmínky a dostatečnou plochu pro bakterie a k následné přeměně amoniaku na dusičnany. Jako médium můžeme zvolit velké množství substrátů, každý má své výhody a nevýhody pro daný typ pěstovaných rostlin. Nejčastěji používanými substráty jsou různé štěrky, keramzit a hydroton (Sikawa a Yakupitiyage, 2010).



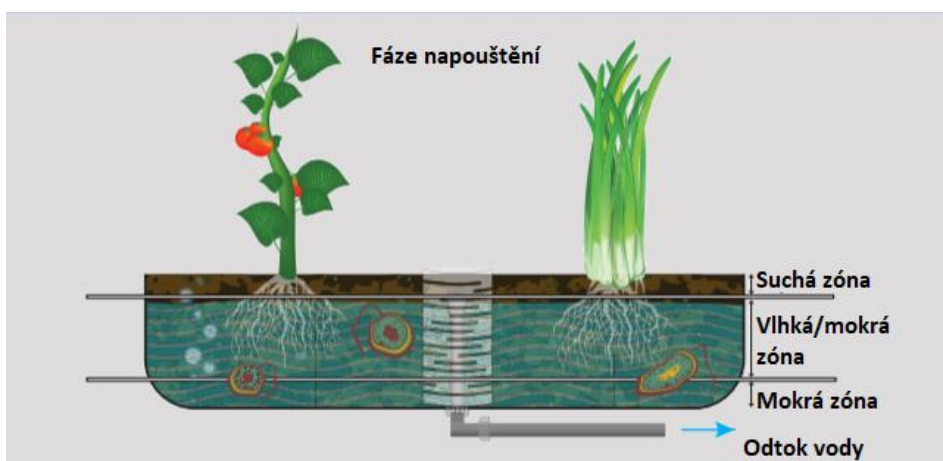
Obr. č. 8: Příklad media bed systému (Backyard aquaponics, 2012)

Flood and drain medium systém

V tomto systému jsou pěstební záhony zaplavovány periodicky několika cykly za hodinu. Princip spočívá v postupném napouštění vody do pěstebních záhonů a následném celkovém vypouštění (Rakocy a kol., 2006). Pro zajištění periodického zaplavování se používají časované spínače čerpadla, nebo zvonové sifony. Metoda flood and drain vytváří tři různé vrstvy záhonu a zajišťuje nám dostatečný přísun kyslíku pro rostliny i mikroorganismy. První zóna je suchá a její funkce je ochrana systému před velkými výpary vody, dále zabraňuje růstu řas, hub a bakterií na bázi kořenů, což může mít za následek poškození, či nemoci rostlin. Zóna je 2-5 cm hluboká (Bernstein, 2011). Druhá zóna je v různých fázích zaplavování pod vodou. Tato zóna zajišťuje výměnu plynů a vlhkosti a její hloubka je 10-20 cm (Bernstein, 2011). Druhá zóna je charakteristická nejvyšší biologickou aktivitou vzhledem k růstu kořenového systému, aktivitě bakterií a různých organismů. Třetí zóna je neustále pod vodou a je hluboká většinou 5 cm (Obr. č. 9 a 10). V této zóně se hromadí pevné, nerozpuštěné látky, které jsou zde pomocí heterotrofních bakterií rozkládány na menší části tak, aby následně mohli být využity rostlinami (Somerville a kol. 2014)



Obr. č. 9: Fáze vypouštění pěstební plochy (Somerville a kol., 2014)



Obr. č. 10: Fáze napouštění pěstební plochy (Somerville a kol., 2014)

Výhody

Hlavní výhodou media systému je absence samostatného biologického a v případě správného návržení systému i mechanického filtru. Jejich funkci plní pěstební záhony, které poskytují dostatečně vhodné podmínky pro růst nitrifikačních bakterií a mají dostatečnou mineralizační kapacitu, čímž slouží jako mechanická filtrace. Výhodou media systémů je také volnost ve výběru rostlin, jelikož v media bed systému můžeme pěstovat i velké druhy rostlin jako jsou například rajčata. Tento systém je nejvhodnější pro začátečníky (Rakocy a kol. 2006; Somerville a kol., 2014).

Nevýhody

Nevýhodou je váha celého systému, především pak pěstebních záhonů. Proto je nutné mít postavenou pevnou konstrukci na které je medium systém umístěn. V pěstebních záhonech se hromadí nerozpuštěné látky, mikroby a kořeny rostlin, které zůstanou po sklizni. Pokud je systém správně navržen, rychlost, kterou probíhá jejich mineralizace je stejná, nebo vyšší než rychlost usazování těchto částic. Pokud je systém navržen špatně a

kumulují se zde nerozpuštěné látky, dochází ke snížení celkového průtoku vody systémem a zároveň při nahromadění tohoto organického materiálu dochází k vytváření anaerobních zón, které hubí kořeny rostlin (Rakocy a kol. 2006; Somerville a kol., 2014).

2.5.5. Konstrukce hobby akvaponických systémů

Mini akvaponie

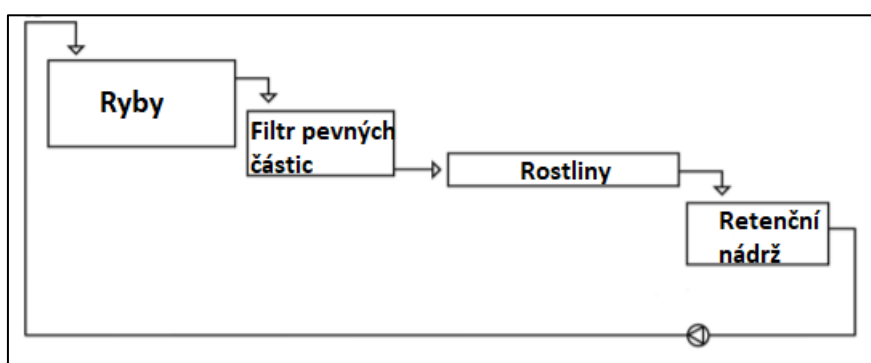
Nejjednodušším hobby systémem je systém využívající pouze akvárium, případně malou nádrž na ryby a většinou plovoucí, nebo na akváriu ležící jednotku pro pěstování rostlin (Obr. č. 11), která nebývá větší než 2 m² (Palm a kol., 2018). V mini akvaponiích se zpravidla pěstují klasické akvaristické ryby. V nejjednodušších verzích jsou rostliny umístěné přímo v akváriu na plovoucím raftu, většinou z polystyrenu nebo pěny. Další možností je vodu čerpat do hydroponické jednotky umístěné nad akváriem. Tyto systémy většinou používají akvaristické filtry (Bernstein, 2011). Mini systémy jsou používány pouze pro domácí využití, a především jako designový prvek. Mohou být také využívány k výkrmu malých stádií ryb, pro pozdější vysazení do většího systému, případně může sloužit jako izolační nádrž pro nemocné ryby. Neslouží k produkci ryb pro konzumaci. Výhodou těchto systémů je snadné sestavení z jednotlivých částí, dostupnost dílčích komponentů na trhu, a hlavně nízká cena. Nevýhodou je omezení užívání pouze na domácí podmínky z důvodu nestability teploty těchto systémů. Sklo špatně izoluje teplotu, a tak v noci dochází k rychlému ochlazení vody, naopak ve dne dochází k velkému přehřívání celého systému, čemuž napomáhá malý objem vody v systému (Bernstein, 2011).



Obr. č. 11: Mini akvaponický systém ECO-Cycle Aquaponics Kit

Malé hobby systémy

Tyto systémy jsou již o něco složitější, z pravidla používají menší sedimentační jednotku a retenční nádrž s čerpadlem. Voda pomocí gravitace teče z chovné nádrže v nejvyšším bodě systému do sedimentační a filtrační jednotky k rostlinám a následně končí v retenční nádrži, ze které se pomocí čerpadla vrací zpět do chovné nádrže viz Obr.č. 12 (Somerville a kol., 2014). Systém může být případně sestaven i v obráceném pořadí, kdy je chovná nádrž na nejnižším místě systému a nádrž retenční na nejvyšším bodě. Velikost těchto systémů se pohybuje do 10 m² a slouží především k produkci rostlin. Tyto systémy je možné provozovat venku i vevnitř, kde je možné zajistit produkci po celý rok (Palm a kol., 2018).

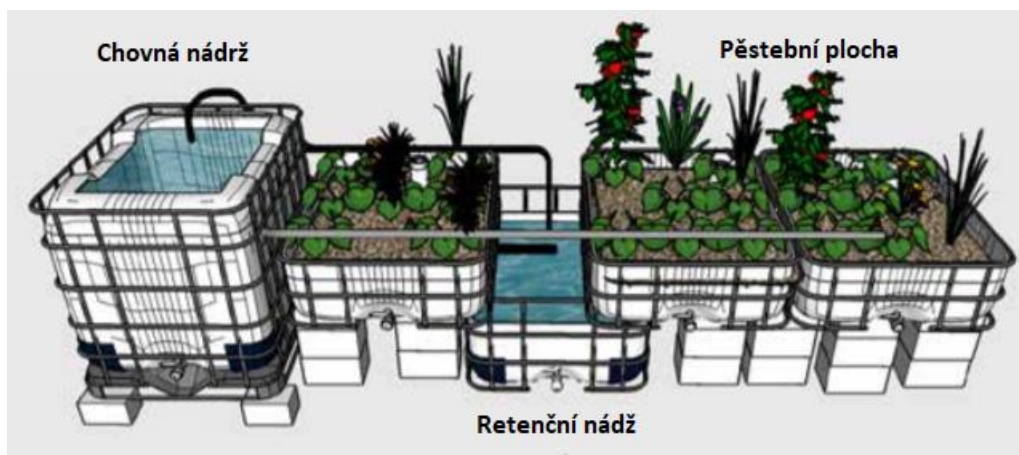


Obr. č. 12: Schéma malého hobby systému (upraveno dle Palm a kol., 2018)

Velké zahradní hobby systémy

Velké zahradní systémy jsou primárně stavěny za účelem produkce rostlin a ryb pro vlastní domácí spotřebu, případně i pro prodej na lokálním trhu (Somerville a kol., 2014). Velké zahradní systémy se svojí velikostí plochy pohybují do 50 m², přičemž distribuce vody je stále zajištěna pouze jedním čerpadlem (Palm a kol., 2018). Takto velké systémy není vždy možné umístit do vnitřních prostorů, a proto je limitujícím faktorem venkovní teplota. Proto je provoz takovýchto systémů omezen pouze na pozdní jaro, léto a začátek podzimu (Palm a kol., 2018). Systémy jsou často lokalizovány na malých zahradách přímo ve městech, nebo přímo na střešních plochách v zastavěných oblastech. Pro zajištění dostatečné teploty je vhodný skleník (Bernstein, 2011). Tyto systémy obsahují mechanickou, a v případě NFT a DWC systému i nutnou, biologickou filtraci. Nejčastěji používaným typem hydroponické jednotky je médium systém, který nám zajišťuje dostatečně velkou plochu pro bakterie a tvoří tak vlastní biofiltr (Rakocy a kol., 2006).

Produkční výhody media systému popsal Lennard a Leonard (2006), kde v porovnání s NFT systémem byla získána biomasa salátu (*Lactuca sativa*) o 20 % vyšší. Nejčastějším typem použitého materiálu jsou IBC kontejnery s objemem 1000 l, které po různých úpravách slouží jako nádrže pro ryby, retenční nádrž i pěstební plocha (Somerville a kol., 2014). Schéma velkého zahradního media systému najdeme na Obr. č. 13.



Obr. č. 13: Schéma media bed systému (Somerville a kol., 2014)

2.6. Nároky pro správné fungování systému

2.6.1. Správné zvolení poměru krmiva a rostlin

Ve správně postaveném systému závisí výpočet poměru ryb a rostlin na objemu spotřebovaného krmiva. Poměr je počítán v hmotnosti použitého krmení na plochu pěstebních záhonů. Optimální poměr se pohybuje v rozmezí 60-100 g krmiva na m² plochy (Rakocy, 2006). Optimálním poměrem jsme schopni zajistit maximální růst a lepší výsledky produkce rostlin. Při vyšších hodnotách dochází k akumulaci rozpuštěných látek, které nedokážou rostliny spotřebovat a může dojít k úhynu rostlin. Naopak při nižším poměru nebudou rostliny dostatek živin pro svůj správný vývoj a růst (Rakocy a kol., 2012). Optimální poměr ovlivňuje celá řada různých faktorů, takže vhodný poměr je značně variabilní. U NFT a médium systému je optimální poměr o 75 % nižší než u raftového systému na stejnou plochu (Lennard a Leonard, 2006). Dalšími ovlivňujícími faktory jsou: celkový objem vody v systému, druhy pěstovaných rostlin, chemické vlastnosti vody a odpařování vody ze systému (Rakocy, 2007).

Výpočet potřeby krmiva

Rybí obsádka je krmena každý den dle vypočítané denní krmné dávky (DKD). Vzhledem k velikosti ryb je doporučená DKD od 1,5 do 3 % (v závislosti na velikosti ryb) z celkové hmotnosti. Tato DKD bude na začátku vyšší – 3 % a postupně v průběhu růstu ryb se bude snižovat až na 1,5 % z celkové biomasy. KK neboli krmný koeficient, udává hmotnost krmiva potřebnou pro přírůstek ryb o 1 kg. Hodnota KK udávaná výrobcí krmiv a běžně dosahovaná v RAS je okolo 1 – na přírůstek 1 kg ryby je potřeba 1 kg krmiva.

2.6.2. Zajištění dostatečné aerace

Živé složky akvaponického systému vyžadují pro svůj život rozpuštěný kyslík ve vodě. Optimální koncentrace rozpuštěného O₂ je vyšší než 5 mg.l⁻¹ (Rakocy a kol., 2016). Je důležité, aby nedocházelo k deficitům a různým výpadkům dodávky kyslíku. Při výpadku kyslíku jsou ohroženy zejména ryby, ale i rostliny a mikroorganismy, především nitrifikační bakterie. Pokud nitrifikační bakterie nemají dostatek kyslíku, dojde k zastavení nitrifikace a skokového navýšení obsahu amoniaku (Somerville a kol. 2014). Spotřeba kyslíku je závislá na několika faktorech. Důležitými faktory jsou: druh a velikost chovaných ryb, teplota, množství spotřebovaného krmiva a denní aktivita ryb. (Bernstein, 2011).

Zajištění dostatečného obsahu rozpuštěného kyslíku můžeme provádět dvěma způsoby. Prvním způsobem je aerace, kde pomocí vzduchování vháníme vzduch do vody a pomáháme přirozenému rozpuštění kyslíku ve vodě (Vachta a kol., 2014). Nejčastěji je vzduch dodáván pomocí dmychadel, vzduchovacími čerpadly a kompresory. Rozdíl je pouze v tlaku potřebném pro dodávání kyslíku. Dmychadla vyžadují nejmenší tlak, kompresory potřebují více tlaku pro vhánění vysoce stlačeného vzduchu. Důležité je, aby byl překonán hydrostatický tlak (Kouřil a kol., 2013). Aerace postačí v menších systémech, kde není předimenzovaná obsádka.

Druhým způsobem je oxygenace, kterou používáme v intenzivních systémech, kde aerace nestačí (Kouřil a kol., 2013). Prokysličovací stanice vpouští kyslík pod velkým tlakem do vody (Vachta a kol., 2014). Podle Kouřila (2013) se využívají tři zdroje kyslíku. Prvním je stlačený plyný kyslík, který je dodáván v láhvích s tlakem 170-210 atmosfér. Druhým typem je tekutý kyslík a třetím je výroba na místě tlakovou absorpcí.

Výpočet potřeby aerace

Pro správné fungování metabolismu ryb je potřeba na každý kg spotřebovaného krmiva dodat 0,5 - 1 kg čistého O₂ (Somerville a kol., 2014; Lennard 2016). Pro výpočet potřeby vnosu kyslíku potřebujeme znát následující hodnoty: DKD, obsah čistého O₂ ve vzduchu, hmotnost 1 m³ vzduchu, standardizovanou účinnost přenosu kyslíku (SOTE), skutečnou efektivitu přenosu (FTE).

Příklad

V chovné nádrži o objemu 1000 l je obsádka o hmotnosti 40 kg. DKD této obsádky činí 2 % z celkové hmotnosti neboli 800 g krmiva.den⁻¹. Pro výpočet budeme počítat potřebu dodávky 0,5 kg na 1 kg spotřebovaného krmiva za den. V normálním vzduchu je obsaženo 21 % čistého vzduchu. Jelikož je vzduch těžší, než ostatní plyny na hmotnost tvoří 23 %. V jednom m³ je 1,2 kg vzduchu. Hodnota SOTE pro vzduchovací kameny o velikosti 6“ při hloubce 1 m je udávaná 5 % (He a kol., 2003). Hodnota FTE je v teplotě 20 – 25 °C a 4 mg.l⁻¹ rozpuštěného O₂ pohybuje okolo 50 %. Pro výpočet je potřeba znát průtok difuzéru. Následující vzorec je upravený dle Lennarda (2017) a počítá, jaký je reálný vnos kyslíku do systému za použití difuzéru o průtoku Q.

$$Q \text{ (max. průtok difuzéru m}^3\text{.h}^{-1}\text{)} \times \text{hmotnost vzduchu (kg.m}^3\text{)} \times \text{hmotnostní obsah O}_2 \text{ ve vzduchu} \times (\text{SOTE} \times \text{výška hladiny}) \times \text{FTE} = \text{kg O}_2\text{/h}^{-1}$$

2.6.3. Přidávání potřebných látek do systému

Rybí krmivo neposkytuje rostlinám všechny potřebné látky pro kvalitní růst. Je tedy nezbytné některé tyto látky do systému přidávat. Jedná se především o vápník, draslík a železo (Bernstein, 2011). Vápník (Ca) a draslík (K) jsou ve větších systémech dodávány při úpravě pH pomocí hydroxidu vápenatého (Ca (OH)₂) a hydroxidu draselného (KOH). Železo je přidáváno v chelátové formě tak, že je vázáno na organickou hmotu a nedochází k jeho vysrážení v roztoku (Rakocy a kol., 2007)

2.6.4. Častá kontrola pH

Pro správnou funkčnost systému musí být hodnota pH neustále v optimálních hodnotách. Hodnota pH je jeden z nejdůležitějších faktorů, takže potřeba časté kontroly je nutností (Bernstein, 2011). Jedním z procesů úzce souvisejících s pH je proces nitrifikace. Nitrifikace je nejúčinnější při hodnotách pH 7,5 a více a při hodnotách pH

pod 6 dochází k zastavení procesu (Štěch, 2007). Při procesu nitrifikace je pH snižováno, takže je důležité hodnoty pH znát a reagovat na ně přidáváním nejčastěji hydroxidu vápenatého ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) a draselného (KOH). Hodnota pH také ovlivňuje rozpustnost látek ve vodě a nejlepších výsledků dosahuje při hodnotách okolo 6,5. Proto je doporučovaná hodnota pH v systému neutrální, tedy nejbližze hodnotě 7 (Rakocy, 2007).

2.6.5. Předimenzování potrubí

Jedním z problémů spojených s akvaponií je zarůstání potrubí řasami (Rakocy, 2007). Proto je důležité potrubí udělat větší, než jaké by stačilo pro zajištění požadovaných průtoků. Také je třeba používat tmavé trubky místo trubek průhledných tak, aby nedocházelo k průniku světla dovnitř trubky (Somerville a kol., 2014). Čím více světla, čím vyšší teplo a čím více rozpuštěných organických látek je ve vodě, tím rychlejší růst řas v potrubí (Rakocy, 2007)

3. Materiál a metodika

3.1. Analýza trhu

Analýza probíhala porovnáním dostupných modelů akvaponických systémů prodávaných většinou na hydroponických e-shopech nebo na stránkách výrobců. Pro porovnání bylo vybráno 5 media bed hobby systémů a jedna kombinace media a raftového systému, které jsou dodávány jako hotový produkt (tab. č. 1). Vzhledem k váze celých systémů v některých není obsahem balení pěstební médium. U těchto systémů, kde médium není, byla dopočtena jeho cena v množství potřebného na zprovoznění. Toto množství bylo výrobcí uvedeno. Jeho cena byla počítaná ke dni 20.4.2020 a velikosti balení dle stránek www.higarden.cz.

3.1.1. Dostupné systémy

Tab. č. 1: Dostupné systémy na trhu a jejich výrobci

System	Výrobce
OFERA Cycle-Garden™ B900-8 Aquaponiksystem	OFERA – organic food era
OFERA Cycle-Garden™ Aquaponics 300	OFERA – organic food era
Medium Aquaponics Kit	Aqua Gardening
The AquaUrban Aquaponics System	Aquaponics source
Genesis 24	Endless Food Systems
Cropking aquaponic system	Cropking

OFERA Cycle-Garden™ B900-8 Aquaponiksystem (B900-8)

Tento systém je vyráběn rakouskou firmou OFERA. Je tvořen chovnou nádrží o objemu 900 l a osmi pěstebními záhony o celkové ploše 4,32 m² a výšce 21 cm. Systém je dodáván s nosnou dřevěnou konstrukcí, která je odolná vůči vlivům venkovního prostředí i v zimě viz obr. č. 14. Součástí kompletu jsou doplňky jako čerpadlo o výkonu 10 W, automatické sifony a návod na sestavení. Pěstební médium, kterého je třeba pro chod tohoto systému 800 litrů v kompletu není, což podstatně zvýší cenu funkčního systému. Cena toho systému je po přepočtu 68 223,- Kč. Pro započítání média je potřeba

k ceně připočíst částku 7 984,- Kč (800/50x499). Celková cena provozuschopného systému tak činí 76 207,- Kč.



Obr. č. 14: OFERA Cycle-Garden™ B900-8 (Ofera, 2020)

OFERA Cycle-Garden™ B300-2 Aquaponikanlage (B300-2)

Druhý model od firmy OFERA, který je založen na stejném principu, jen v menší velikosti (Obr. č. 15). Systém obsahuje chovnou nádrž o velikosti 300 litrů a dva pěstební záhony o celkové ploše 1,08 m² a výšce 21 cm. Systém je dodáván s čerpadlem o výkonu 10 W, automatickými sifony a návodem. Stejně jako systém B900-8 je bez pěstebního média, kterého je pro tento systém potřeba 200 l. Cena systému bez přidaného média je 24 543,- Kč. Po připočtení média v hodnotě 1 996,- Kč je celková cena 26 539,- Kč.



Obr. č. 15: OFERA Cycle-Garden™ B300-2 (Ofera, 2020)

Medium Aquaponics Kit

Tento systém je vyráběn firmou Aqua Gardening. Jedná se o jednoduchý systém, který je tvořen 500 l chovnou nádrží a pěstebním záhonem o ploše 0,8 m². Celý komplet obsahuje vše potřebné pro provoz systému. Systém neobsahuje automatický sifón, ale flood and drain technika je dosažena pomocí časovače, kterým je možno nastavit interval napouštění pěstebního záhonu. (Obr. č. 16). Celková cena tohoto systému je 17 731,- Kč.



Obr. č. 16: Medium Aquaponics Kit (Aqua Gardening, 2020)

The AquaUrban Aquaponics Systém (AquaUrban)

Medium systém vyráběný firmou AquaUrban obsahuje chovnou nádrž o objemu 227 l a pěstební záhon o ploše 0,7 m² (Obr. č. 17). Pěstební záhon funguje na principu flood and drain pomocí časovače stejně jako systém Medium Aquaponics kit. V ceně systému je zahrnuto i pěstební médium a celková cena systému činí 32 608,- Kč.



Obr. č. 17: The AquaUrban Aquaponics Systém (Aquaponic sourcetm, 2020)

Genesis 24

Tento systém je kombinací media bed systému s přidavným raftovým prvkem (Obr. č. 18). Celková pěstební plocha i s raftem činí 2,26 m², a objem nádrže je 557 l. Součástí systému je i zabudovaný vortex filtr. Součástí setu je vše potřebné pro sestavení a následné zprovoznění systému. Cena tohoto systému činí 50 234,- Kč.



Obr. č. 18: Genesis 24 systém (Endless food systems, 2020)

Cropking aquaponic system (Cropking)

System se skládá z hydroponické části o rozměru 2,97 m² a chovné nádrže o velikosti 770 litrů. Voda z chovné nádrže je čerpána pomocí airliftu do pěstebního záhonu, ve kterém je stálá hladina vody. V pěstebních záhonech je přidána vzduchovací konstrukce, která zajišťuje dostatečné okysličení vody na dně pěstebního záhonu. Přepadovou trubkou je voda následně vracena do chovné nádrže. Celý koloběh vody je tedy poháněn pouze airliftem a neobsahuje čerpadlo (Obr. č. 19). System je dodáván komplet se všemi potřebnými doplňky pro jeho provoz. Tento system je ze všech systémů nejdražší. Cena tohoto systému je 85 486,- Kč.



Obr. č. 19: Cropking systém (Cropking, 2020)

3.1.2. Hodnocení systémů

Systemy byly hodnoceny dle dostupných informací o daném produktu, které byly uvedeny prodejci či výrobcí systémů.

Cena za 1 m²

Celková cena byla přepočítána z původní měny, ve které je daný systém prodáván na koruny české. Kurz byl převzatý dne 23.3.2020 z kurzovního lístku ČNB. Při počítání ceny za 1 m² byl použit následující vzorec:

$$Cena\ za\ 1\ m^2 = \frac{Cena\ celková\ (Kč)}{Plocha\ pěstebních\ záhonů\ (m^2)}$$

Cena za 1 l vody v chovné nádrži

Celková cena byla přepočítána z původní měny, ve které je daný systém prodáván na koruny české. Kurz byl převzatý dne 23.3.2020 z kurzovního lístku ČNB. Při počítání ceny za 1 l v chovné nádrži byl použit následující vzorec:

$$\frac{Cena\ celková\ (Kč)}{Objem\ chovné\ nádrže\ (l)}$$

Poměr objemu chovné nádrže k ploše záhonů

Hodnocení poměru probíhalo nejprve výpočtem poměru u každého systému dle následujícího vzorce:

$$\frac{Objem\ chovné\ nádrže\ (m^3)}{Plocha\ pěstebních\ záhonů\ (m^2)}$$

Hodnota poměru byla následně porovnána v grafu s optimálním poměrem záhonů pro obsádku 25 kg.m⁻¹, který je dle Rakocyho (2012) a Somerville a kol. (2014) 200 l chovné nádrže na 1 m² pěstebních záhonů. Oba udávají i poměr mezi použitým krmivem a pěstební plochou a doporučují hodnoty 60-100 g krmiva na 1 m² plochy.

Biofiltrační kapacita pěstebních záhonů

Biofiltrační kapacitu jednotlivých systémů je třeba počítat dle množství produkovaného amoniaku rybami. Somerville a kol. (2014) uvádí, že 30 % proteinu z krmiva je zadrženo v těle a zbylých 70 % je rybou vyloučeno. Z vyloučených látek je 15 % ve formě výkalů a nestráveného krmiva, dalších 55 % tvoří amoniak a látky, které jsou na něj snadno degradovatelné. Navíc dalších 6 % dusíku je do systémů uvolněno z nerozpuštěných látek jako amoniak. Na amoniak tedy připadá celkem 61 % z proteinů vyloučených dusíků.

Při počítání biofiltrační kapacity byla jako výchozí hodnota DKD použita hodnota 1,5 % z celkové biomasy a maximální obsádka 25 kg.m⁻³. Obsah proteinu v modelovém

krmivu byl určen na 30 %, což je běžná hodnota u krmiv používaných v RAS při chovu tilápie. Z toho připadá 16 % na dusík. Na každý gram odpadního dusíku připadá 1,2 gramu amoniaku.

Nejprve je vypočteno množství spotřebovaného krmiva v daném systému za den podle vzorce:

$$25 \text{ (kg. m}^{-3}\text{)} \times \frac{\text{objem chovné nádrže (l)}}{1000} \times \frac{1,5 \% \text{ (DKD)}}{100 \% \text{ (celková biomasa)}} \times 1000$$

$$= \text{DKD (g)}$$

Následující vzorek vypočítá množství amoniaku (NH₃) vyloučeného z krmiva

$$\text{DKD(g)} \times \frac{30 \% \text{ (proteinu)}}{100} \times \frac{16 \text{ (g dusíku)}}{100 \text{ (g proteinu)}} \times \frac{61 \% \text{ (vyloučeného dusíku)}}{100 \% \text{ (celkového dusíku)}}$$

$$\times \frac{1,2 \text{ g NH}_3}{1 \text{ g dusíku}} = \text{NH}_3 \text{ (g)}$$

Biofiltrační kapacita každého systému byla počítána pro hydroton, který je použitý ve všech vybraných systémech. Pro tento výpočet je však potřeba počítat jen s hydrotonem, který je v mokré vrstvě – odečtením výšky suché vrstvy od celkové výšky hydrotonu. Specifická plocha povrchu pro bakterie je u hydrotonu dle Somervilla a kol. (2014) 200-250 m².m⁻³. Rychlost odstraňování amoniaku bakteriemi je závislá na typu biofiltru, objemu vody, teplotě, salinitě, pH, kyslíku a množství nerozpuštěných látek. Rychlost se pohybuje mezi 0,2 – 2,0 g NH₃.m⁻². Pro výpočet byla vybrána rychlost 0,6 g amoniaku m⁻².den⁻¹. Potřeba biofiltrační plochy byla počítána dle vzorce:

$$\text{Hmotnost amoniaku (g)} \times \frac{1 \text{ m}^2}{0,6 \text{ g amoniaku}} = \text{Potřebná plocha pro bakterie}$$

Vlastnosti jednotlivých systémů

Mezi vlastnosti dostupných akvaponických systémů byl zahrnut např. typ media bed záhonu, zda se jedná o systém flood and drain, či o průtočný systém. Dále zda je v ceně systému zahrnuté vzduchování pro ryby a vzduchování pěstebních záhonů. Také bylo zahrnuto, zda vyhovuje rozmístění přítoků a odtoků v pěstebních záhonech. Dále zda

system obsahuje retenční nádrž a jestli chovná nádrž odpovídá svojí výškou a tvarem vhodnému řešení.

Příslušenství dodávané se systémem

Do hodnocení dodávaného příslušenství se systémem byly vybrány základní potřeby pro start a udržování chodu systému. Jedná se o startovací živiny pro systém a rostliny, soupravu na testování fyzikálně-chemických vlastností vody, přípravky pro změnu pH a kultury bakterií, které výrazně napomáhají rychlejšímu zaběhnutí systému.

3.2. Návrh modelového systému

Cílem návrhu je vytvořit systém pro využití na balkónech, terasách či zahradách, který se dá sestavovat dle využitelnosti konkrétního prostoru. Jedná se o návrh především na balkon, proto je důležité předem vypočítat jeho rozměry. Je důležité, aby balkon i nadále zůstal využitelný i pro jeho další účely a je tak třeba využít prostor co nejefektivněji. Starší panelové domy mají šířku balkónu od 90 do 130 cm, novější panelové domy mají šířku balkónu 100-140 cm. Šířka záhonů a chovné nádrže je tak značně omezena dle dostupného prostoru.

3.2.1. Chovná nádrž

Chovná nádrž by opět měla co nejefektivněji zaplnit prostor – tudíž v případě balkónu je použití kruhových nádrží nevhodným řešením. U obdélníkových tvarů to ovšem znamená nutnost řešit problém s usazováním zbytků krmiv a rybích exkrementů v rozích nádrže (Bernstein, 2011). Objem chovné nádrže by měl tvořit 40–60 % z celkového objemu systému (Somerville a kol., 2014).

3.2.2. Pěstební záhony

Při vybírání pěstebních záhonů je třeba myslet především na jejich hloubku. Hloubka pěstebních záhonů pro media systémy by měla být mezi 30-35 cm. Horních 5 cm představuje suchou vrstvu, středních 15-20 cm představuje prostor, který je zaplavován a vypouštěn – zde dochází k rozvoji kořenů pěstovaných rostlin. Spodních 5 cm je trvale zatopená vrstva. Jejich délka závisí na délce balkónu a volném prostoru, který po vybudování systému na balkóně zůstane. Šířka záhonů je značně omezena šířkou balkónu a je tak nutné předem vypočítat počet a typ následně použitých záhonů.

3.2.3. Retenční nádrž

V retenční nádrži je v našem případě umístěno čerpadlo. Z tohoto důvodu je nutné retenční nádrže zvolit vhodně jednak objemem, ale i jejich hloubkou. Čerpadlo má určitou minimální hladinu, při které přestává plnit svou funkci. Tuto výšku pak následně odečteme od výšky maximální a vypočítáním objemu s touto výškou zjistíme, kolik je reálně využitelného retenčního prostoru. Objem retenčního prostoru by měl tvořit alespoň polovinu objemu pěstebních záhonů.

3.2.4. Výpočet rybí obsádky

V našem případě budeme počítat hustotu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) pro tilápii nilskou. Dle doporučených hodnot pro hustotu chovu dle Somerville a kol. (2014), a prvního roku testování systému, byla pro výpočty použita hustota obsádky $25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. V tomto pokusu je objem chovné nádrže 200 l a naše celková maximální biomasa ryb je tak 5 kg. Při cílové tržní hmotnosti 500 g a započtení 10% úmrtnosti nasadíme 11 ks ryb. Vzhledem k dostupnému nasadovému materiálu, který je použit z RAS systému v akvaponické hale o hmotnosti 200 g, tak bude počáteční biomasa 2,2 kg a cílová 5 kg.

3.2.5. Výpočet krmiva

Rybí obsádka je krmena každý den dle vypočítané denní krmné dávky (DKD). Vzhledem k velikosti ryb (200 g) je doporučená DKD 2 % z celkové váhy ($2,2 \times 0,02 = 44 \text{ g krmiva}\cdot\text{den}^{-1}$). Tato DKD se postupně snižuje, nicméně celkový objem krmiva roste vzhledem k růstu ryb. Na konci chovu bude DKD činit 1,5 % z celkové biomasy, což znamená $75 \text{ g}\cdot\text{den}^{-1}$.

3.2.6. Výpočet výkonu čerpadla

V hustotách obsádky $25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ je potřeba, aby se v chovné nádrži voda vyměnila 1 až 2 x za hodinu. Je třeba také počítat, že půlka výkonu čerpadla bude využita pro pěstební záhony. Při chovné nádrži o objemu 200 litrů je tedy nutné do nádrže dostat $400 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$. Stejný objem je nutné přivést do pěstebních záhonů ($400 \times 2 = 800 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$). Je však nutné počítat se ztrátou výkonu čerpadla především v potrubí, které rozvádí vodu a výšce čerpání. Budeme tak hledat čerpadlo s nastavitelným výkonem v rozmezí od 1000 do $2500 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$.

3.2.7. Výpočet potřeby aerace

Pro správné fungování metabolismu ryb je potřeba na každý kg spotřebovaného krmiva dodat 0,5 - 1 kg O₂. Hmotnost 1 m³ vzduchu je 1,2 kg a hmotnostní podíl čistého O₂ je 23 %. Standardizovaná účinnost přenosu kyslíku pro 6" vzduchovací kámen je 5 %. Průtok použitým 6" difuzérem je udáván 0,85 m³.h⁻¹. Skutečná efektivita přenosu (SOTE) je závislá na teplotě a na koncentraci již rozpuštěného kyslíku a salinitě. V případě, kdy voda v systému bude mít 20–25 °C a obsah rozpuštěného kyslíku bude 4 mg.l⁻¹, je skutečná efektivita přenosu (FTE) přibližně 50 %. Výpočtem zjistíme, kolik čistého kyslíku dodá daný difuzér. Dle výkonu a množství potřebných difuzérů následně vybereme odpovídající vzduchovací motor. Všechny hodnoty dosadíme do vzorce:

$$Q \text{ (max. průtok difuzéru } m^3.h^{-1}) \times \text{hmotnost vzduchu (kg.m}^3) \times \text{hmotnostní obsah } O_2 \text{ ve vzduchu} \times (SOTE \times \text{výška hladiny}) \times FTE = \text{kg } O_2/h^{-1}$$

$$0,85 \times 1,2 \times 0,23 \times (0,05 \times 0,8) \times 0,5 = 0,00469 \text{ kg } O_2.h^{-1} = 4,69 \text{ g.h}^{-1} \times 24 = 112,56 \text{ g } O_2.den^{-1}$$

Vybraný difuzér do vody dostane 112,56 g

Na konci odchovu je plánovaná DKD 75 g denně. Při přepočtení na potřebu kyslíku v poměru 1:1 je tedy potřeba dodat 75 g O₂.den⁻¹. Z výpočtu vidíme, že vybraný difuzér bude stačit jeden a bude potřeba vzduchovací motor o výkonu alespoň 0,85 m³.h⁻¹.

3.2.8. Měření fyzikálně chemických vlastností vody

Měření v obou systémech probíhalo třikrát týdně (pondělí, středa a pátek) ve 13:00. Měřenými parametry bylo pH, obsah rozpuštěného kyslíku (O₂.l⁻¹), teplota (°C), konduktivita (μS/cm) a u systému B i amoniakální dusík, dusitanový dusík a dusičnanový dusík.

Teplota, pH, kyslík a vodivost

Pro měření teploty, pH, rozpuštěného kyslíku a vodivosti byl použit multimetr HI-9828 od firmy Hanna Instruments. Tyto parametry byly měřeny v chovné nádrži.

Amoniakální dusík

Koncentrace amoniakálního dusíku ($\text{NH}_3\text{-N}$) byla měřena pomocí multiparametrového fotometru HI83215-02 od firmy Hanna Instruments. Pro toto měření je potřeba originální lahvička dodávaná s přístrojem o objemu 10 ml a příslušný reaktant. Pro zvolený typ měření – „ammonium low range“ byly potřeba dva: ammonium LR reagent A a ammonium LR reagent B.

Prvně byl 10 ml pipetou odměřen potřebný objem měřeného vzorku a použit jako tára v multimetru. Poté do něj byly přidány 4 kapky od každého z reaktantů. Následně byly složky důkladně promíchány a vzorek nechán po dobu 5 - ti minut potřebných pro proběhnutí reakcí. Následně byl vzorek vložen do přístroje, jenž po 4 minutách ukázal hodnotu $\text{NH}_3\text{-N}$ kterou již dál není třeba přepočítávat.

Dusitanový dusík

Dusitanový dusík byl stejně jako amoniakální dusík měřen pomocí multimetru od firmy Hanna Instruments. Postup měření byl, až na použitý reaktant, identický. Použitým reaktantem pro stanovení NO_2 byla reagent dusitanů. Opět bylo potřeba nejprve udělat táru pomocí čisté původní kapaliny. Po přidání reaktantů bylo potřeba roztok míchat po dobu alespoň pěti minut. Lahvička byla následně vložena do fotometru a po pěti minutách měření vyšla hodnota v jednotkách NO_2 . Tato hodnota byla následně přepočítána dle relativních atomových hmotností na $\text{NO}_2\text{-N}$. Poměr mezi NO_2 a $\text{NO}_2\text{-N}$ je uveden v následujícím vzorci

$$\text{NO}_2 = \text{NO}_2 - \text{N} \times 3.28443$$

Dusičnanový dusík

Dusičnanový dusík byl opět měřen pomocí fotometrie. Měřen byl opět v režimu „low range“ s maximální hodnotou 30 mg.l^{-1} . Při očekávaných koncentracích, které byly vyšší, než maximální možná hodnota bylo potřeba původní kapalinu naředit. Pro tento účel bylo použito ředění pomocí pipet a odměrných válců v dílech 1:9, tudíž 10% roztok původní kapaliny. Použitým reaktantem byl reagent dusičnanů LR, který funguje na bázi redukci kadmia. Po přidání reaktantu do lahvičky bylo potřeba roztok pořádně promíchat po dobu alespoň deseti minut, aby bylo měření co nejpřesnější. Po uplynutí pěti minut ve fotometru jsme dostali hodnotu $\text{NO}_3\text{-N}$, kterou není třeba již dále přepočítat.

3.3. Sestavení modelového systému A

Modelový systém A byl postaven na balkóně o šířce 80 cm a délce 250 cm v panelovém domě u pana Dovalila. Finální verze systému vzešla z hodnocení dostupných systémů a postupným vylepšováním jejich nedostatků. Systém byl tvořen z běžně dostupných komponentů, které jsou snadno k dostání tak, aby bylo možné systém kdykoliv a kdekoliv znovu postavit.

3.3.1. Chovná nádrž

Systém byl tvořen jednou chovnou nádrží o objemu 200 l. Její velikost a tvar byl vybrán tak, aby dokázal využít co nejvíce obdélníkovou plochu balkónu. Šířka této nádrže je 58,5 cm, výška 78 cm a délka 78,5 cm. Přítok byl zajištěn PPR potrubím o průměru 20 mm, které poskytovalo vodu jak chovné nádrži, tak pěstebním záhonům. Přítokové potrubí bylo přivedeno skrz otvor víka nádrže (Obr. č. 20 a 21) a ústilo nad vodní hladinou především k posílení aerace. Víko, dodávané společně s nádrží, posloužilo jako ochrana proti skákání ryb a částečnému zastínění vodní hladiny. Výška hladiny byla udržována pomocí dvou přepadových výpustí vytvořených z HT trubek o průměru 40 mm, které byly převedeny skrze stěnu pomocí vrapových těsnění, aby následně ústily do retenční nádrže. Každá výpuť měla vlastní otvor pro případ ucpaní jedné z děr, který ústil do odvodní trubky. Výpustní trubky byly vedeny až ke dnu tak, aby dokázaly nasát a odvést z chovné nádrže odpadní produkty ryb a zbytky krmiva. Tento způsob výpusti zajistil udržení hladiny v nádrži i při poruše systému a zabraňuje tak následnému úhynu ryb. V chovné nádrži byly umístěny dva 4“ difuzéry napojené na vzduchovací motorek Sera air 550R plus o výkonu 550 l.h⁻¹ a 8 W.



Obr. č. 20: Chovná nádrž (vlastní foto)



Obr. č. 21: Výpust a přítok (vlastní foto)

3.3.2. Pěstební záhony

Pěstební záhony byly vytvořeny ze dvou euro přepravek o rozměru 60x40x32 cm, které jsou dostatečně pevné, aby udržely vnitřní váhu média a vody. Přepravky splňují požadavky pro styk s potravinami a jsou chemicky nezávadné. Pro přepravky bylo nutné vytvořit nosnou konstrukci, která vytváří prostor pod záhony pro retenční nádrž. Při konstrukci je důležité myslet na manipulační prostor s čerpadlem v retenční nádrži. Konstrukce byla vytvořena ze smrkových trámů o rozměru 50x50 mm. Příklad do záhonů byl zajištěn PPR potrubím o průměru 20 mm, které vede z retenční nádrže, kde je napojené pomocí redukce na čerpadlo. V potrubí jsou umístěny odbočky z T tvaru, na které je následně napojený regulační kohout, kterým je možné nastavit vhodný přítok vody do záhonů a ovlivňovat tím dobu zdržení vody v záhoně (Obr. č. 22 a 23). Zbylá voda, která v potrubí zůstala, pokračovala dál do chovné nádrže.

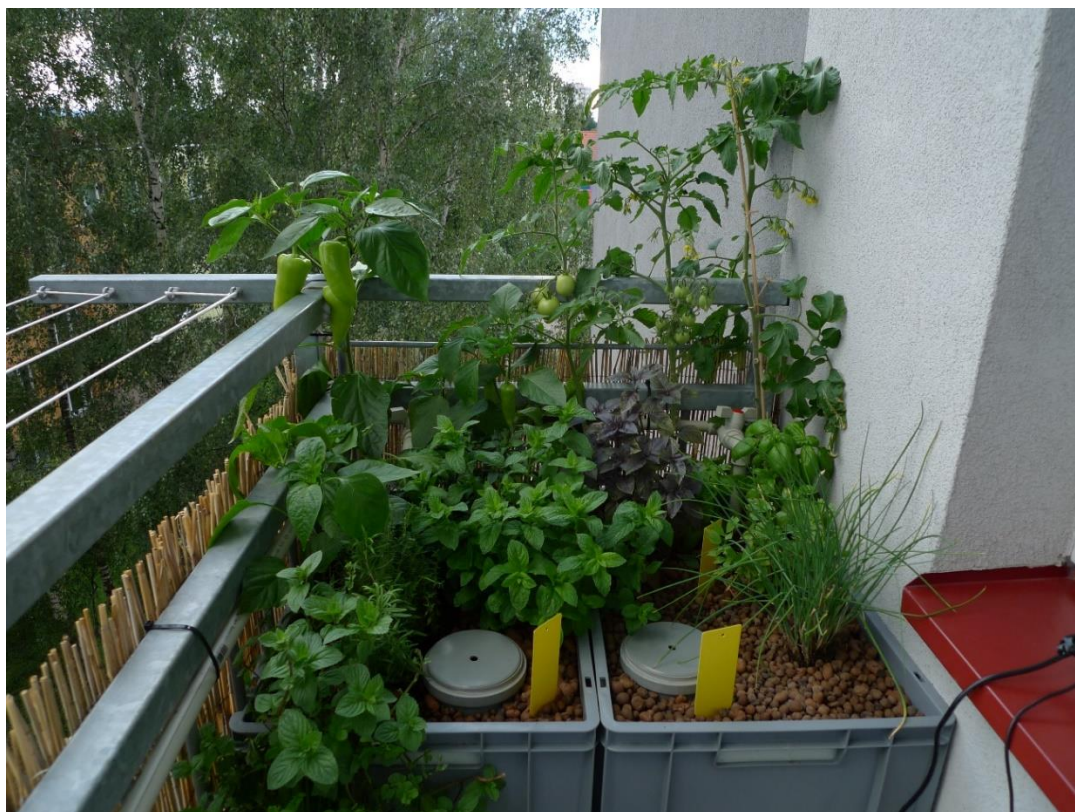


Obr. č. 22: Přívodní kohouty (vlastní foto)



Obr. č. 23: Přívodní kohouty (vlastní foto)

V záhonech byly jako médium použity kuličky expandovaného jílu – hydrotonu o průměru 8-16 mm a celkovém objemu 140 l. To zajistilo dostatečně velkou plochu pro nitrifikační bakterie (Obr. č. 24). V přepravce byl vytvořen otvor, do kterého je zaústěn automatický sifón pomocí průchodky. Automatický sifon zajišťuje periodické zaplávání záhonů a odvádí vodu pomocí podtlaku do retenční nádrže. Automatické sifony byly tvořeny ze třech částí. Vnější kryt sifonu byl vytvořen z HT trubky o průměru 110 mm a výšce 30 cm. Do krytu bylo uděláno dostatečné množství děr v takové velikosti, aby se do sifonu nedostaly kuličky hydrotonu. Prostřední část sifonu tvořila HT trubka o průměru 50 mm a výšce 25 cm. V této trubce na její spodní části byla vytvořena jedna řada otvorů a zároveň připojena hadička pro nasátí vzduchu a porušení podtlaku v sifonu při vypuštění nádrže. Poslední – výpustní část byla tvořena PPR trubkou o průměru 20 mm. Na horní straně byla vytvořena násoska z PPR redukce 20-25 mm. Na spodní straně byl umístěn závit napojený na propustku (Obr. č. 25 a 26).



Obr. č. 24: Pěstební záhony v provozu (vlastní foto)



Obr. č. 25: Vnitřní a vnější trubka automatického sifonu (vlastní foto)



Obr. č. 26: Automatický sifon (vlastní foto)

3.3.3. Retenční nádrž

Retenční nádrž byla tvořena jednou, stejnou přepravkou jako pěstební záhony. Její objem tedy činil 70 litrů. V retenční nádrži bylo umístěno srdce celého systému – čerpadlo Marine DC pump s výkonem 25 W a čerpací kapacitou 2500 l.h⁻¹ s nastavitelným výkonem. Na čerpadlo bylo napojená zahradní hadice o průměru 20 mm.

3.3.4. Potrubí

Rozvod vody v tomto systému obstarává 20 mm PPR trubka na které jsou nejprve napojeny pěstební záhony a zbylý průtok vody je distribuován do chovné nádrže.

Odvodní potrubí bylo tvořeno z trubek s označením HT DN32 a průměru 32 mm. Funkce tohoto potrubí je odvod vody z chovné nádrže do retenční.

3.3.5. Použité ryby

Jelikož v letních dnech byla očekávaná teplota vody v nádrži okolo 30 °C, byly použity dva druhy teplomilných ryb: keříčkovec červenolemý o velikosti 600 až 1000 g a tilápie nilská o velikosti 400 až 500 g. Nejdříve byl do systému nasazen jeden keříčkovec pro zjištění optimální funkčnosti a zaběhnutí systému. Následně bylo dosazeno 6 ks keříčkovce v celkové hmotnosti 4706 g. Finální dosazení proběhlo měsíc po nasazení keříčkovce, a to 6-ti kusy tilápie, o celkové hmotnosti 2551 g. Celková biomasa činila 7357 g.

3.3.6. Použité rostliny

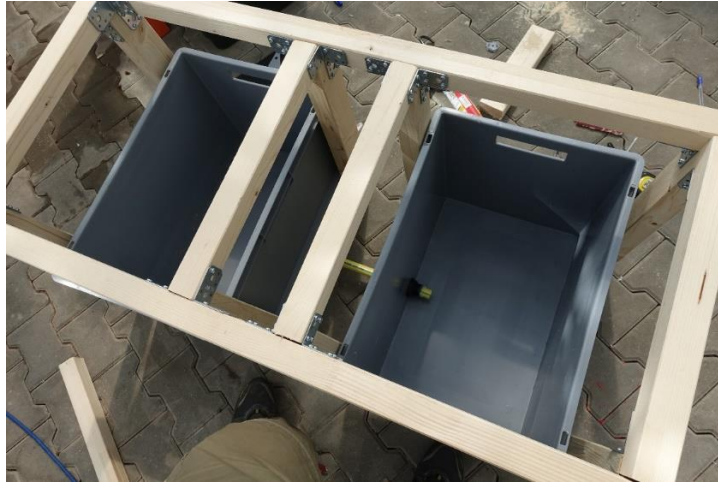
Díky media bed systému, který umožňuje větší výběr rostlin, byly rostliny co nejvíce různorodé tak, aby se odhalily případné nedostatky pěstebních ploch. Vybrány byly druhy: rajče jedlé, paprika, pažitka pobřežní (*Allium schoenoprasum*), bazalka pravá, rozmarýn lékařský (*Salvia rosmarinus*), okurka setá (*Cucumis sativus*), máta peprná (*Mentha × piperita*), libeček lékařský (*Levisticum officinale*) a petržel zahradní (*Petroselinum crispum*). Pro výsadbu byly použity předpěstované sazenice. Pro vyšší rostliny, zejména rajče a papriku, bylo nutné umístit oporné tyče tak, aby po nich rostliny mohly pnout do výšky (Obr. č. 27).



Obr. č. 27: Rostliny (vlastní foto)

3.4. Sestavení vylepšeného systému B

Tento systém byl vystaven v nově vybudované akvaponické hale v areálu Jihočeské univerzity. Tato hala zajistila optimální podmínky pro pěstování a chov ryb i mimo sezónu. Systém byl sestaven dle předlohy prvního systému. Po zjištění všech nedostatků a prostorů k vylepšení u prvního systému byly tyto poznatky aplikovány do inovace při stavbě druhého systému. Pro tento systém bylo nutné vytvořit pevnější konstrukci která unese větší zatížení a zároveň umožní přístup pro manipulaci s čerpadlem. Nosná konstrukce byla sestavena z dřevěných hranolů o průměru 4,5 x 4,5 cm a 3,8 x 6,5 cm. Tato konstrukce musí zvládnout zátěž necelých 200 kg a nesmí dojít k žádnému pohybu (Obr. č. 28).



Obr. č. 28: Nosná konstrukce pěstebních záhonů (vlastní foto)

3.4.1. Chovná nádrž

Chovnou nádrž i v druhém systému tvořila stejná, 200l nádrž, se stejným řešením výpusti, jako u předchozího systému. Na přívodu vody byla vytvořena děrovaná trubka o průměru 20 mm tak, aby přitékající voda pohybovala vodou v nádrži a usazené pevné látky byly nasáty výpustním zařízením. Zároveň trubka byla odnímatelná pomocí závitu, aby bylo možné trubku pravidelně čistit od rozvíjejících řas. Tato nádrž byla zakryta víkem dodaným s chovnou nádrží. Ve víku byly vytvořeny otvory tak, aby víko nezabraňovalo výměně plynů v chovné nádrži a redukovalo dopad světla na vodní hladinu (Obr. č. 29).



Obr. č. 29: Chovná nádrž s přívodním potrubím a děrovaným víkem (vlastní foto)

3.4.2. Pěstební záhony

Pro druhý systém byly zvoleny stejné přepravky o velikosti 60x40x32 cm jako v prvním systému. Tyto přepravky byly použity tři a došlo tím ke zvýšení pěstební plochy na 0,72 m². Každá z nádrží byla osazena automatickým sifonem, stejně jako u předchozí verze (Obr. č. 30).

3.4.3. Retenční nádrže

Po zjištění nedostatečné velikosti retenční nádrže u prvního systému, byly pomocí průchodek a zahradní hadice vytvořeny dvě spojené nádrže z euro přepravek o velikosti 60x40x42 cm a celkovém objemu 176 litrů (Obr. č. 30 a 31). V retenční nádrži bylo umístěno stejné čerpadlo Marine DC pump o výkonu 25 W s možností nastavení výkonu.



Obr. č. 30: Pěstební záhony a retenční nádrže (vlastní foto)



Obr. č. 31: Spojení retenčních nádrží

3.4.4. Potrubí

Rozvodní potrubí v tomto systému bylo řešeno jiným způsobem, a to na dva okruhy. V retenční nádrži těsně za čerpadlem byla umístěna hadicová rozdvojka, která oddělila okruh napájení pěstebních záhonů a chovné nádrže, a to z důvodu eliminace ztráty tlaku v potrubí. Další výhodou byla možnost uzavření přítoku vody do jedné z částí systému v případě poruchy. Rozvodné potrubí bylo tvořeno zahradní neprůsvitnou hadicí o průměru $\frac{3}{4}$ coulu a PPR potrubím o průměru 20 mm.

Odvodní potrubí vedoucí z chovné nádrže do retenční bylo tvořeno HT trubkami s označením DN32 o průměru 32 mm.

3.4.5. Použité ryby

V navrženém systému B byly chovány tilápie (*Oreochromis niloticus*) z RAS systému v akvaponické hale (Obr. č. 32). Kusová hmotnost těchto tilápií se pohybovala okolo 250 g.



Obr. č. 32: Nasazená tilápie (vlastní foto)

3.4.6. Použité rostliny

V pěstebních záhonech byly použity rostliny: bazalka pravá, rajče jedlé keříčkovité, paprika, petržel zahradní (*Petroselinum crispum*) a majoránka zahradní (*Origanum majorana*) (Obr. č. 33)



Obr. č. 33: Zasazené rostliny (vlastní foto)

4. Výsledky

První část výsledků je zaměřena na porovnání dostupných akvaponických systémů z ekonomického hlediska. U produktů prodávaných v zahraničí byla přepočtena cena dle aktuálního kurzu ke dni 24.3.2020.

Hodnocenými parametry byly parametry, které většinou určují, zda si zákazník systém pořídí či nikoliv, a to ekonomické. Výsledkem hodnocení je cena za využitelnou pěstební plochu, cena za 1l vody v chovné nádrži. V případě, že systém byl dodáván tak, že není možné ho hned uvést do provozu, byla cena za chybějící komponent dopočítána. Druhá část výsledků je spojena s následně navrženými systémy.

4.1. Analýza prodávaných systémů

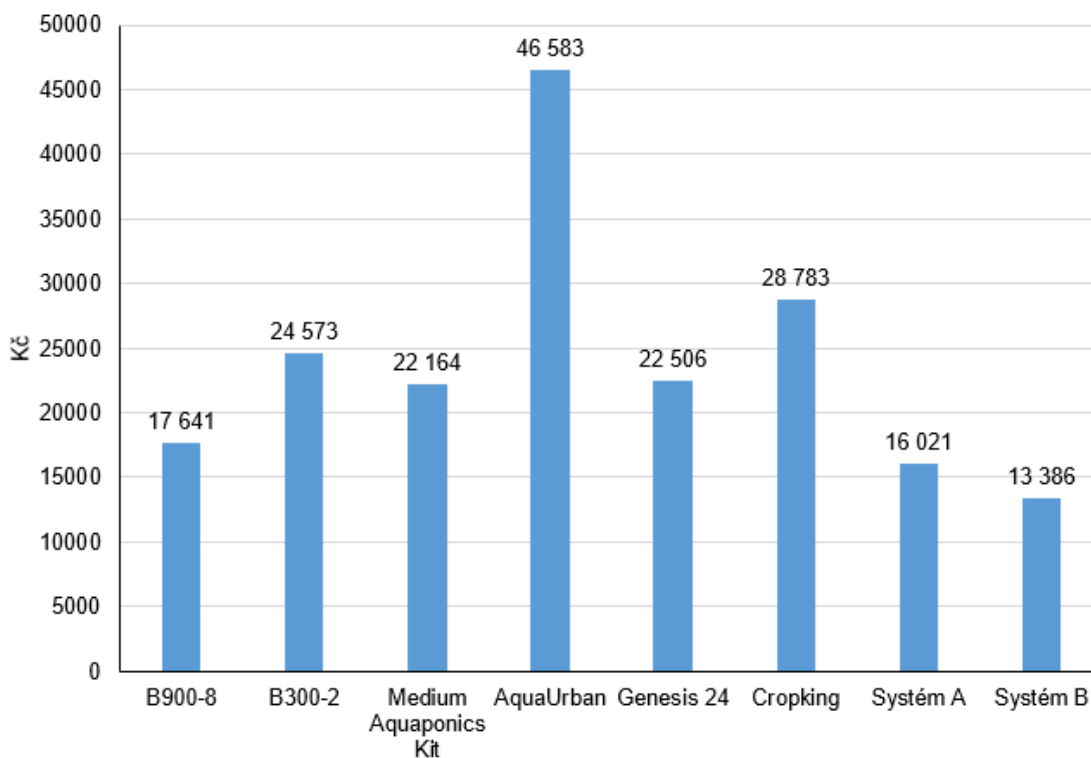
Ekonomické rozdíly mezi systémy najdeme v tabulce č. 2. Porovnání cen přepočtených na stanovené parametry ukázalo velké rozdíly mezi jednotlivými produkty. Celkově nejdražším z hodnocených systémů byl systém od firmy Cropking, ovšem po následném přepočtení do více vypovídajících údajů vyšel jako nejdražší systém od firmy Aquaponic source-The aquaurban Aquaponic systém, a to v obou počítaných parametrech.

Tab. č. 2: Seznam porovnání ekonomických vlastností akvaponických systémů dostupných na trhu

Systém	Cena celková	Plocha (m ²)	Objem chovné nádrže	Cena za 1 m ²	Cena za 1 l v chovné nádrži
B900-8	68 222,7 Kč	4,32	900	15 792,3 Kč	75,8 Kč
B300-2	24 542,7 Kč	1,08	300	22 724,7 Kč	81,8 Kč
Medium aquaponics set	17 731,3 Kč	0,8	500	22 164,1 Kč	35,5 Kč
Aquaurban	32 608,1 Kč	0,7	227	46 583,0 Kč	143,6 Kč
Genesis 24	50 234,1 Kč	2,23	529	22 526,5 Kč	95,0 Kč
Cropking	85 486,1 Kč	2,97	770	28 783,2 Kč	111,0 Kč

Cena za 1 m²

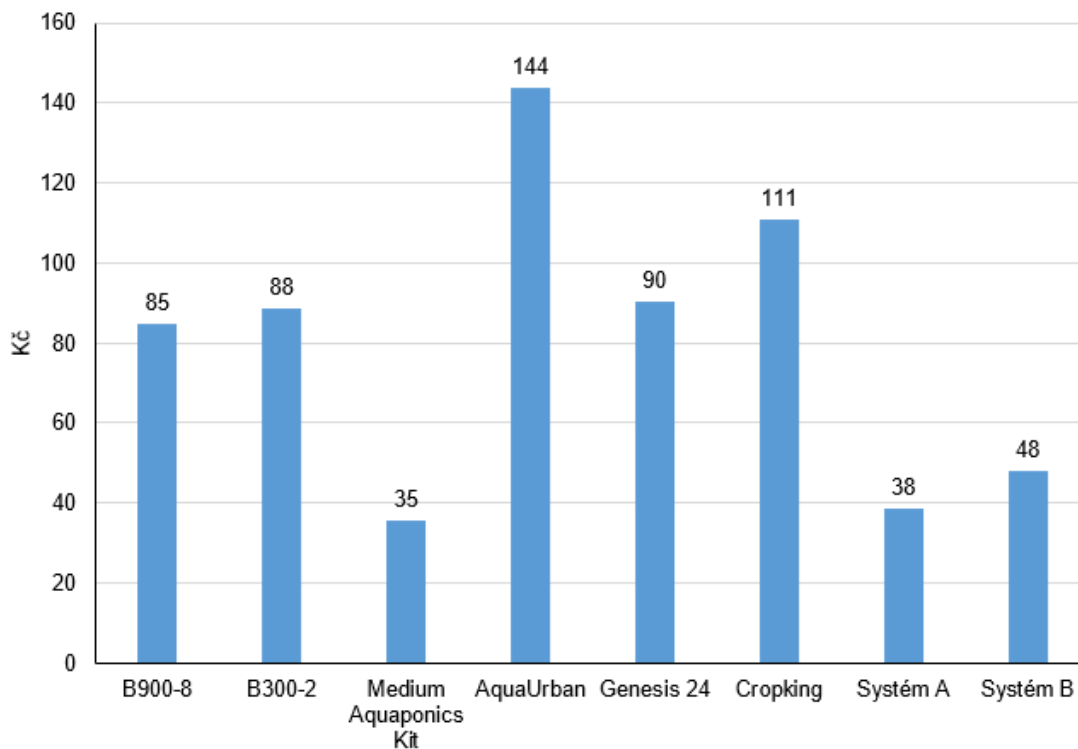
Nejdražší ze systémů v přepočtu na plochu je systém AquaUrban. Tento systém je oproti ostatním téměř 2krát dražší a oproti navrženým systémům A a B je dražší 3krát. Systém s nejlevnější plochou na trhu je OFERA B900-8. V porovnání s navrženým systémem A je jeho cena jen nepatrně vyšší. V porovnání se systémem B je cena za 1 m² vyšší o 4 255,- Kč.



Graf č. 1: Porovnání akvaponických systémů dostupných na trhu dle ceny v přepočtu na 1 m²

Cena za 1 l vody v chovné nádrži

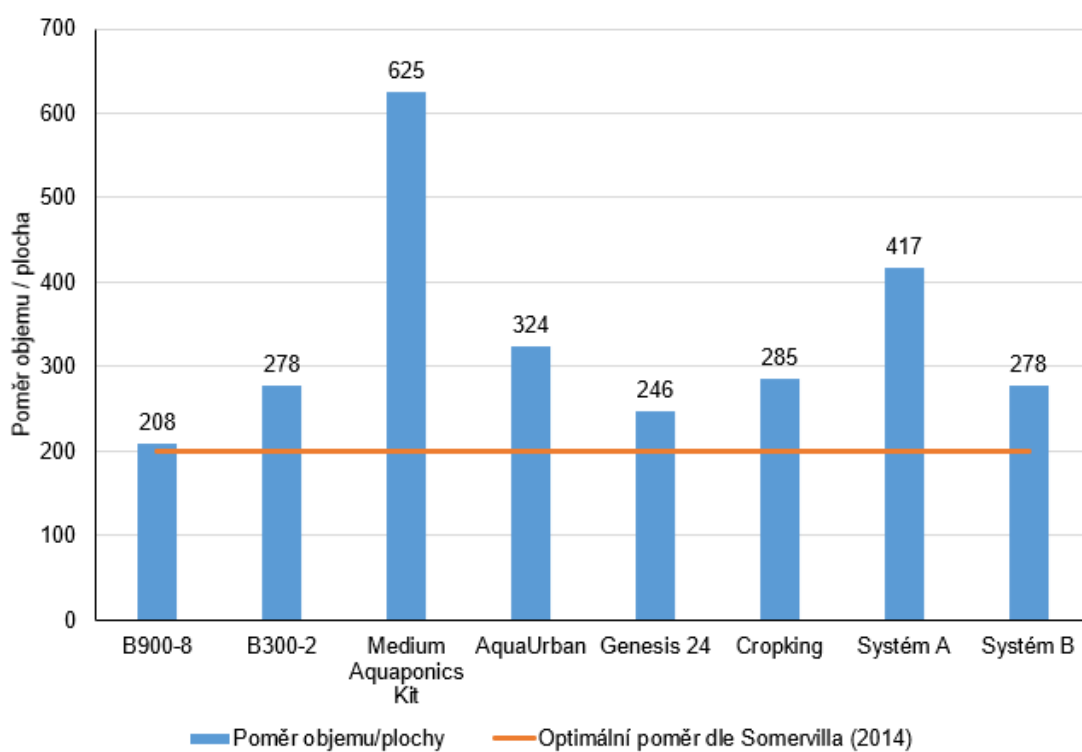
V přepočtu ceny na jeden litr vody v chovné nádrži, je stejně, jako u ceny za plochu, nejdražší systém The AquaUrban Aquaponics System. Oproti navrženým systémům A a B je opět až 3krát dražší. Ze systémů dostupných na trhu v přepočtu na litr je nejlevnější systém Medium Aquaponics Set, který je díky svému objemu dokonce levnější než navržené systémy.



Graf č. 2: Porovnání akvaponických systémů dostupných na trhu dle ceny v přepočtu za 1 l vody v chovné nádrži

V grafu č. 3 jsou zobrazeny hodnoty poměru v porovnání s optimální hodnotou. Nejlepší poměr ze všech systémů má systém OFERA Cycle-Garden™ B900-8 Aquaponiksystem, který v podstatě přesně odpovídá optimální hodnotě dle Somerville a kol. (2014). Naopak nejhůře zvolený poměr při návrhu systému byl zvolen u systému Medium Aquaponics Set od firmy Aqua Gardening, který optimální hodnotu překročil víc než 3x. Navržený systém A překročil tuto hodnotu dvojnásobně. Druhý navržený systém hodnotu také překročil, ale nepatrným rozdílem.

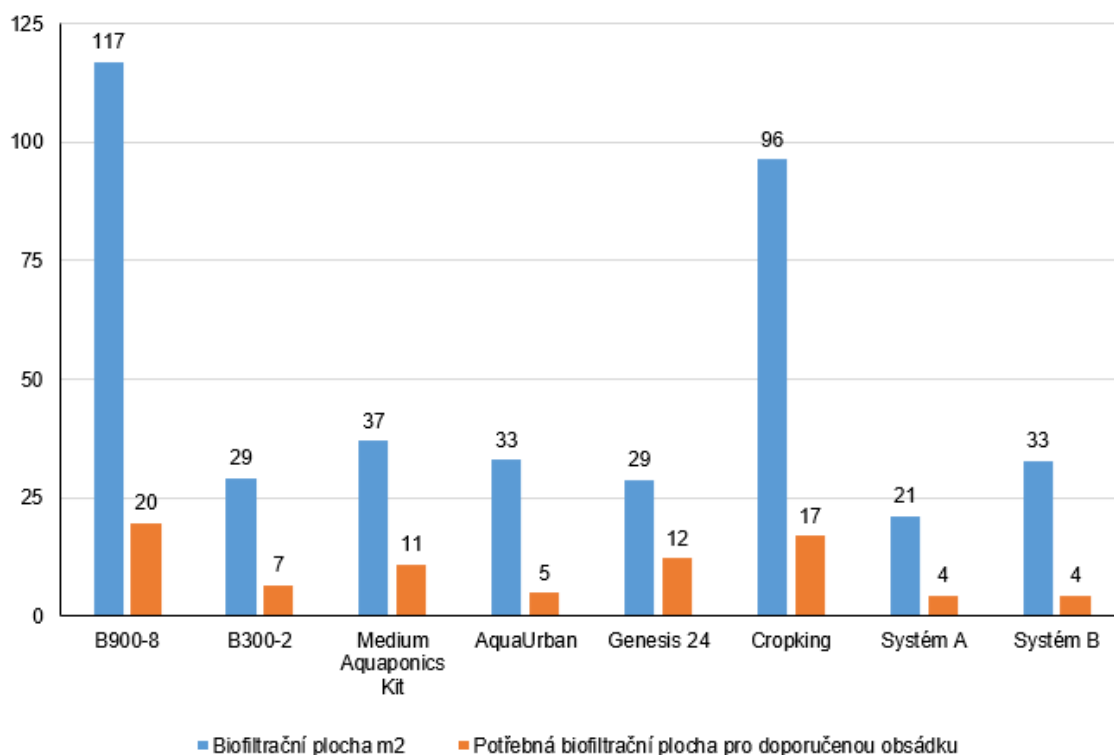
Poměr objemu chovné nádrže k ploše záhonů



Graf č. 3: Poměr objemu chovné nádrže (l) k ploše záhonů (m²). Hodnota u každého hodnoceného akvaponického systému je porovnána s optimální hodnotou poměru objemu pro obsádku 25 kg.m⁻³ dle Somervilla a kol. (2014)

Při srovnání biofiltrační kapacity je z grafu č. 4 vidět, že všechny systémy mají dostatečně velkou plochu potřebnou pro nitrifikační bakterie i po přepočítání pouze na vlhkou část pěstebního média.

Biofiltrační kapacita pěstebních záhonů



Graf č. 4: Srovnání skutečné biofiltrační kapacity akvaponických systémů na trhu dle plochy hydrotonu s potřebnou biofiltrační plochou dle Somervilla a kol. (2014), přepočítáno na daný systém

Vlastnosti jednotlivých systémů

Tab. č. 3: Srovnání vlastností jednotlivých akvaponických systémů dostupných na trhu

Systém	Typ záhonu	Vzduchování	Vzduchování záhonů	Vhodné řešení přítoku a odtoku	Retenční nádrž	Vhodná chovná nádrž
B900-8	Flood and drain	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
B300-2	Flood and drain	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Medium Aquaponics kit	Flood and drain	Ano	Ne	Ano	Ne	Ne
AquaUrban	Flood and drain	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
Genesis 24	Flood and drain	Ano	Ne	Ano	Ne	Ne
Cropking	Stálá hladina	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano
Systém A	Flood and drain	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano
Systém B	Flood and drain	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano

Příslušenství dodávané se systémem

Dodávané příslušenství v ceně systémů se podstatně lišilo u každého ze systémů. Rozdíly jsou uvedeny v Tab. č. 4.

Tab. č. 4: Příslušenství, které je dodáváno v ceně akvaponického systému

Systém	Startovací živiny	Souprava pro testování vody	Přípravky pro změnu pH	Bakteriální kultury	Semena rostlin
B900-8	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
B300-2	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Medium Aquaponics kit	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne
AquaUrban	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne
Genesis 24	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano
Cropking	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne

4.2. Navržené systémy

4.2.1. Ekonomické vlastnosti

Seznam a ceny použitých komponentů

Tab. č. 5: Cena a počet jednotlivých komponentů sestaveného akvaponického systému A

Komponent	Cena (Kč)	Ks	Cena celkem (Kč)
Chovná nádrž	598	1	598
Pěstební nádrž	325	2	650
Retenční nádrž	325	1	325
Médium – hydroton	499	3	1497
Autosifon	117	2	234
Konstrukce	510	1	510
Zahradní hadice 1 m	69	1	69
Plastový T kus 20 mm	48	1	48
PPR kohout 20 mm	135	2	270
PPR 90° koleno 20 mm	5	6	30
PPR T kus 20 mm	5	3	15
PPR trubka 20 mm 2 m	57	2	114
PPR záslepka 20 mm	5	1	5
HT koleno DT32	42	5	210
HT T kus DT32	42	3	126

HT trubka DT32 1 m	76	5	380
Gumové průchodky	55	2	110
Hadicová spona	29	1	29
Čerpadlo	1890	1	1890
Vzduchování	580	1	580
Celkem		44	7690

Sestavený systém A se skládal celkem ze 44 komponentů. Celková cena činila 7 690,- Kč (Tab. č. 5).

Tab. č. 6: Cena a počet jednotlivých komponentů sestaveného akvaponického systému B

Komponent	Cena (Kč)	Ks	Cena celkem (Kč)
Chovná nádrž	598	1	598
Pěstební nádrž	325	3	975
Retenční nádrž	399	1	399
Médium – hydroton	499	4	1996
Autosifon	117	3	351
Konstrukce	840	1	840
Zahradní hadice 1 m	69	4	276
Plastový T kus 20 mm	48	1	48
PPR kohout 20 mm	135	3	405
PPR 90° koleno 20 mm	5	5	25
PPR T kus 20 mm	5	3	15
PPR trubka 20 mm 2 m	57	1	57
PPR záslepka 20 mm	5	1	5
HT koleno DT32	42	5	210
HT T kus DT32	42	3	126
HT trubka DT32 1 m	76	4	304
Gumové průchodky	55	2	110
Hadicová spona	29	1	29
Čerpadlo	1890	1	1890
Vzduchování	580	1	580
Celkem		49	9638

Sestavený systém B se skládal celkem ze 49 komponentů a jeho finální cena činila 9 638,- Kč (Tab. č. 6). Tato cena byla následně přepočítána na jednotlivé parametry tohoto systému (Tab. č. 7).

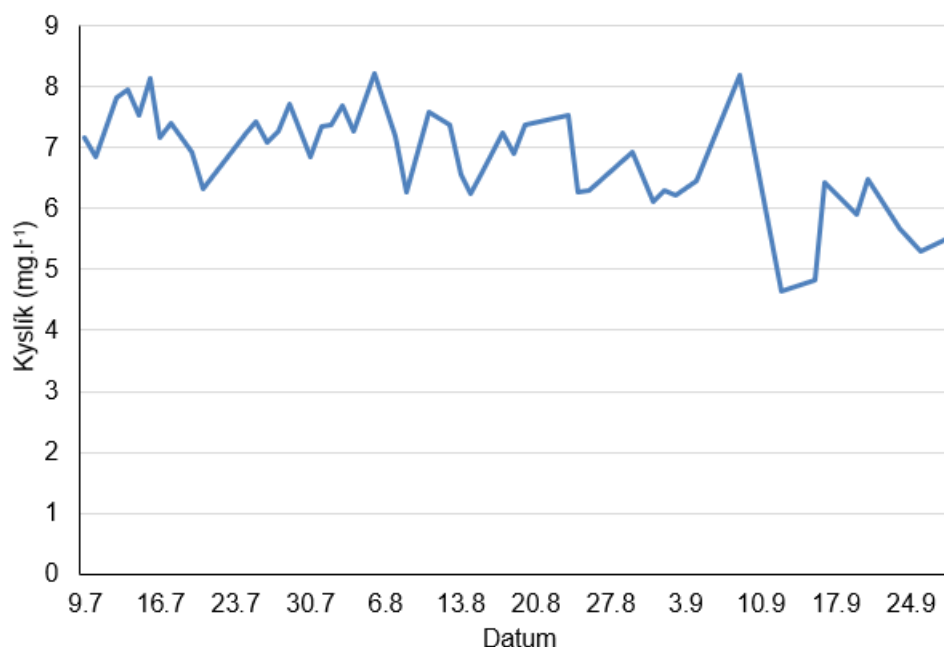
Tab. č. 7: Ekonomické přepočty navržených akvaponických systémů A a B

	Cena	Pěstební plocha (m ²)	Objem chovné nádrže (l)	Cena za m ²	Cena za 1 l
Systém A	7690	0,48	200	16 020,8 Kč	38,45 Kč
Systém B	9638	0,72	200	13 386,1 Kč	48,19 Kč

4.2.2. Fyzikální a chemické vlastnosti vody systému A

Kyslík

Z průběžného měření kyslíku vyšla jako nejnižší naměřená hodnota obsahu kyslíku 4,65 mg.l⁻¹, a to při nasazení plné obsádky (Graf č. 5).

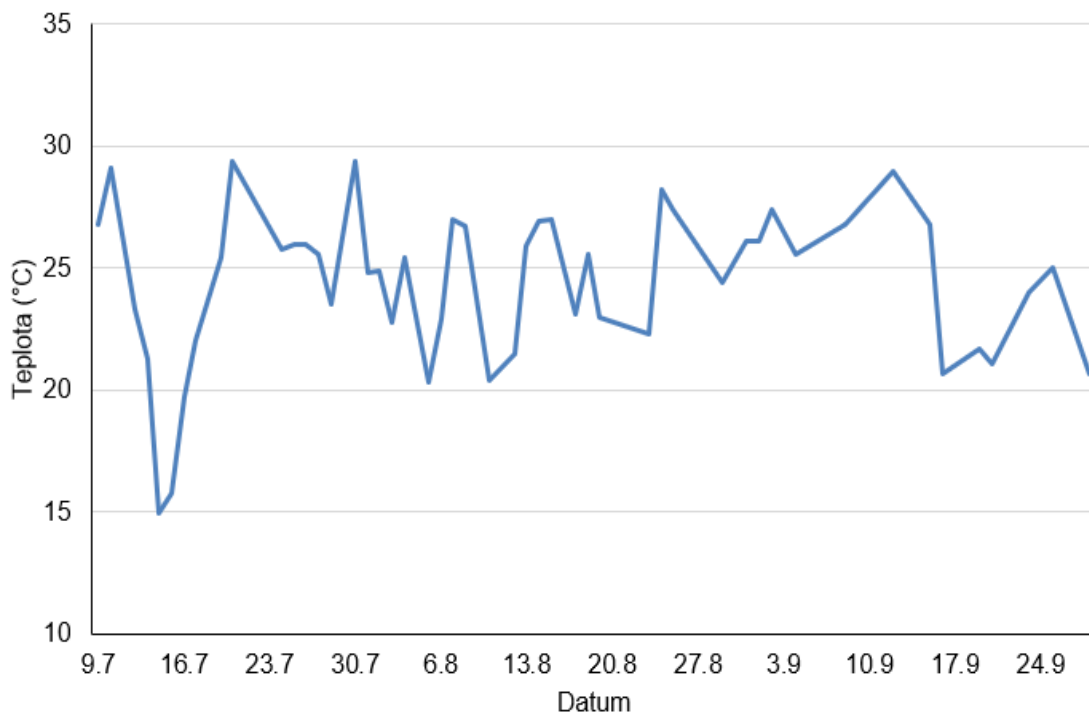


Graf č. 5: Průběh měření hodnot rozpuštěného kyslíku ve vodě (mg.l⁻¹) v chovné nádrži akvaponického systému A

Teplota vody

Teplota byla ovlivňována vlivem okolního prostředí, nicméně nedocházelo k prudkým změnám teploty v průběhu dne. Maximální naměřená teplota v systému byla 29,4 stupňů, tato teplota byla dosažena dvakrát, a to 20. a 30. července. Díky orientaci balkónu na jižní stranu a vhodnému okolnímu prostředí nedocházelo k přehřátí systému

v poledních hodinách a maximální teploty byly naměřeny až v podvečerních hodinách, kde byl systém i nadále ohříván povrchem zdi domu.



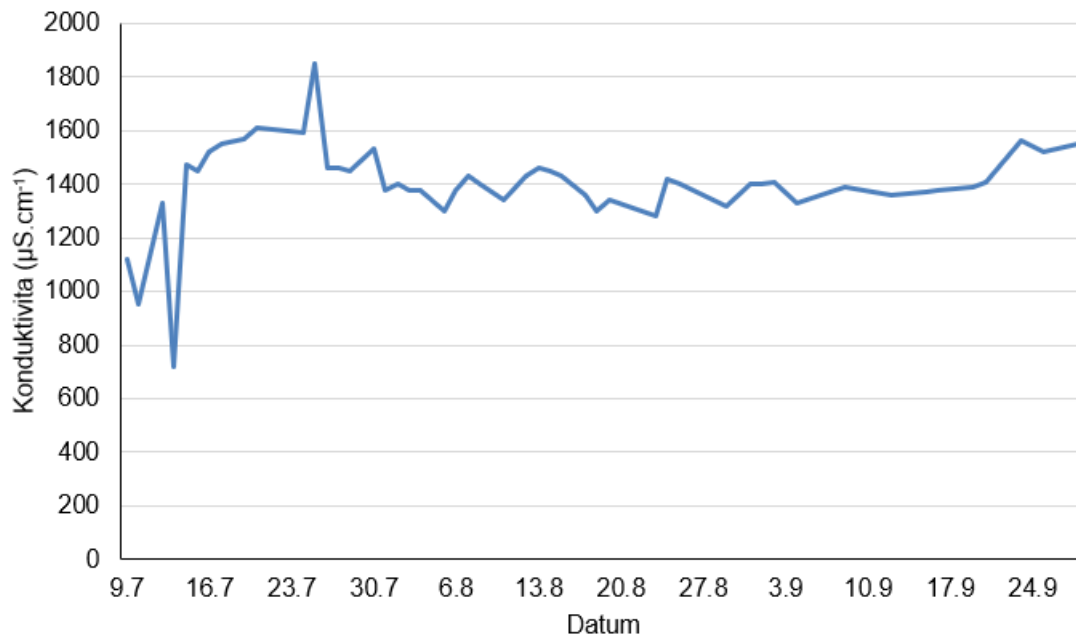
Graf č. 6: Průběh měření teplot (°C) vody v chovné nádrži v akvaponickém systému A

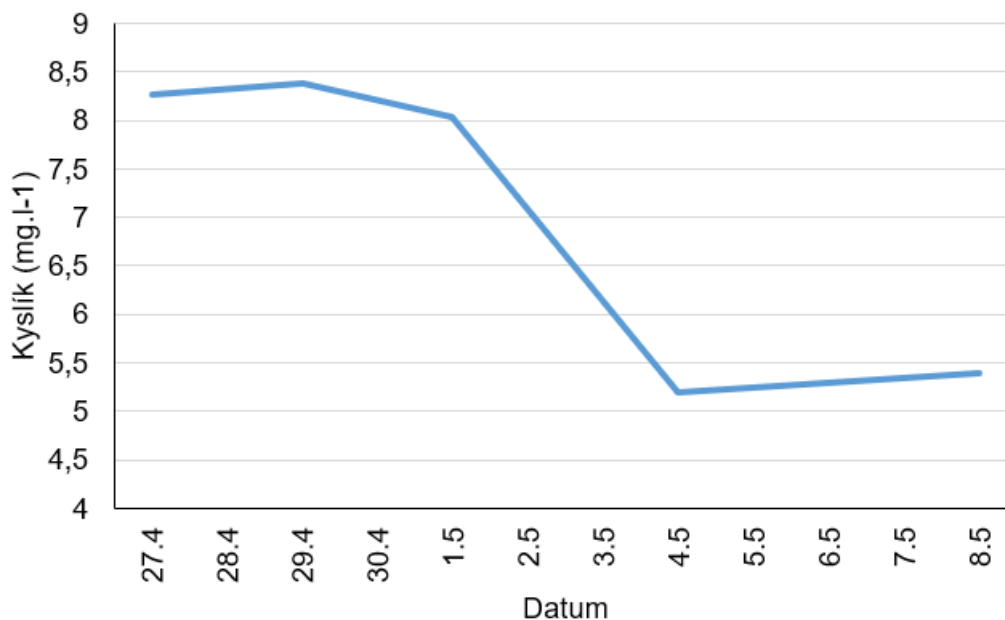
pH

Hodnota pH u systému A byla po napuštění systému mírně přes 8. V průběhu pokusu se vlivem nitrifikace postupně snižovala až k hodnotě 5,2. Hodnota pH byla upravována pomocí vápna či hydroxidu draselného. Do nasazení plné obsádky bylo pH upravováno pouze jednou. Po nasazení ryb bylo nutné pH upravovat každý druhý den.

Konduktivita

Konduktivita vody z počátku výrazně kolísala. Po zaběhnutí systému se ustálila mezi hodnotami 1300 až 1500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Na konci pokusu se hodnota začala zvyšovat viz Graf č. 7.

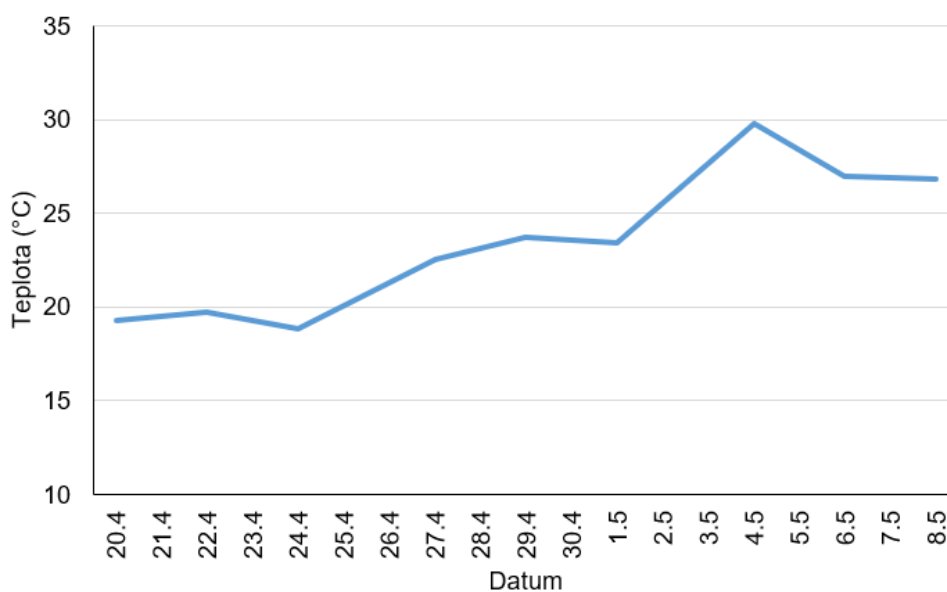




Graf č. 8: Průběh měření hodnot kyslíku (mg.l⁻¹) v akvaponickém systému B

Teplota vody

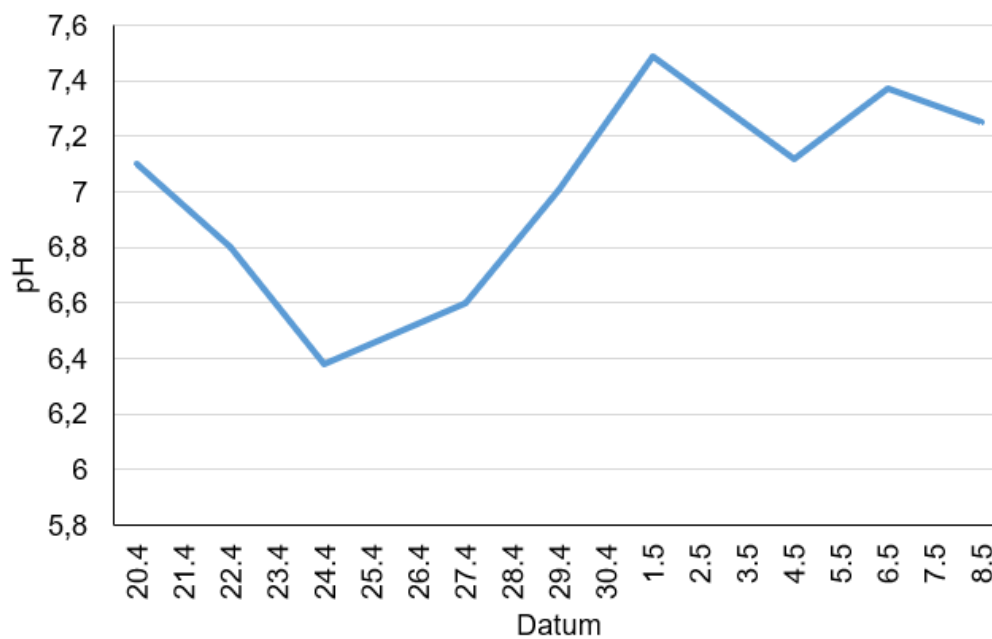
Teplota vody byla ovlivněna především okolním vzduchem ve skleníku (graf č. 9). Hodnoty byly měřeny ve 12:00, kdy teplota ve skleníku dosahovala až 35 °C. Dne 1.5 bylo také přidáno topítko s nastavenou teplotou 26 °C, aby byl omezen noční výkyv teploty.



Graf č. 9: Průběh měření teploty (°C) v akvaponickém systému B

pH

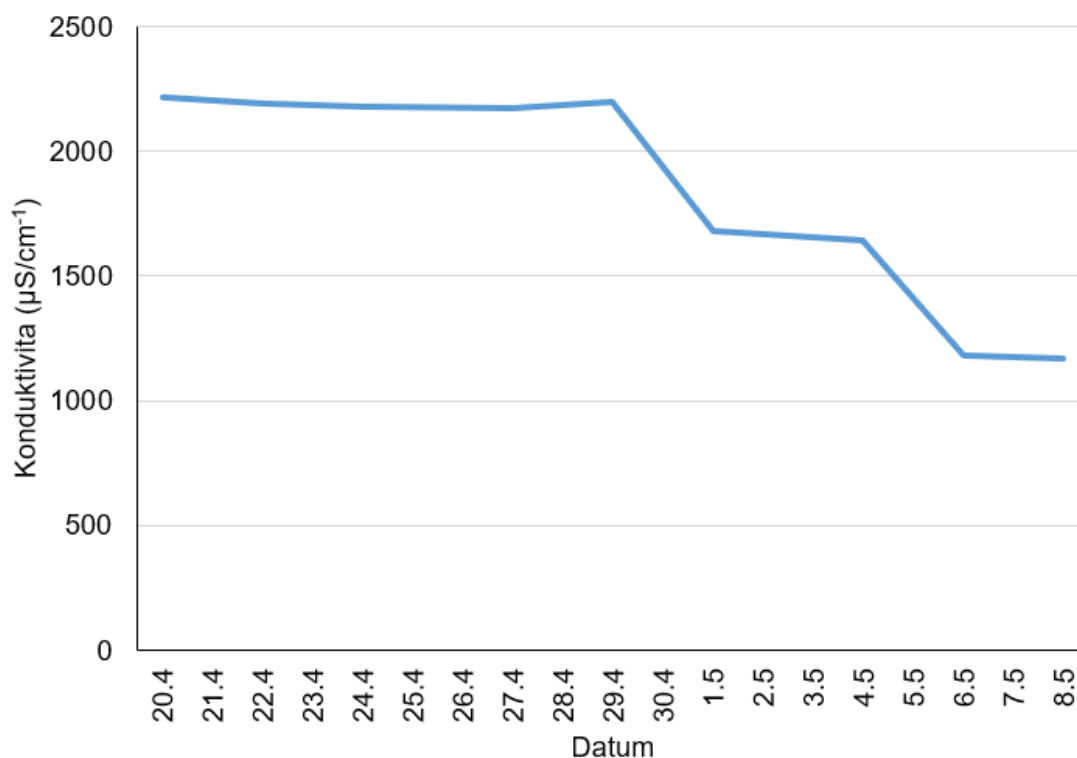
Hodnota pH v průběhu měření kolísala mezi hodnotou 6,4 až 7,5 (viz graf č. 10).



Graf č. 10: Průběh měření hodnot pH v chovné nádrži akvaponického systému B

Konduktivita

Z počátku měření se hodnota konduktivity držela nad hladinou 2000 a poté začala klesat až na 1200 (viz graf č. 11).



Graf č. 11: Průběh měření konduktivity ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) v akvaponickém systému B

Amoniak (N-NH_3), dusitaný (N-NO_2^-) a dusičnaný (N-NO_3^-)

Měření amoniaku, dusitanů a dusičnanů probíhalo v období od 20.4. do 8.5. Počáteční hodnota amoniaku byla $0,60 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, dusitanů $0,26 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ a dusičnanů $206 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Po naměření hodnot byla dorovnána hladina N-NH_3 na $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ pomocí chloridu amonného (NH_4Cl). Po dvou dnech od přidání bylo naměřeno $2,81 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ N-NH_3 , $2,35 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ N-NO_2^- a $201 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ N-NO_3^- . a hladina N-NH_3 byla opět dorovnána na $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Po dalších dvou dnech byly naměřeny hodnoty $0,76 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ N-NH_3 , $0,33 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ N-NO_2^- a $209 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V průběhu dalších dnů hodnoty N-NH_3 klesly pod $0,76 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ a na úplném konci měření hodnota činila $0,33 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Hodnoty N-NO_2^- klesaly stejně až do předposledního dne měření, kdy byla naměřena hodnota $1,12 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V poslední den klesla na hodnotu $0,13 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Hodnot N-NO_3^- bylo dosaženo díky přísadku hnojiv na počátku pokusu a postupně klesaly na $60 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

4.2.6. Rostliny v systému B

V systému B z pěti zasazených druhů rostlin prosperovaly čtyři (paprika setá, rajče jedlé, bazalka pravá, majoránka) (Obr. č. 34) a vykazovaly nadstandartní růst. Petržel zastavila svůj růst po přidání do pěstebního záhonu.



Obr. č. 34: Pohled na pěstební záhony na konci pokusu

4.2.7. Ryby v systému B

V průběhu pokusu došlo k úhynu celkem pěti kusů tilápie nilské, vždy v prvních dvou dnech od nasazení.

5. Diskuse

5.1. Analýza trhu

Z porovnání dostupných systémů je zřejmé, že všechny prodávané systémy jsou drahé. Při porovnání dalších kritérií jsou některé i funkčně nevhodně postavené.

Zásadním problémem všech dostupných flood and drain systému je fakt, že žádný z nich neobsahuje retenční nádrž. Retenční nádrž je důležitá z toho důvodu, že právě zde dochází ke kolísání hladiny při napouštění a vypouštění pěstebních záhonů (Somerville a kol., 2014). V případě, že v systému tato jednotka chybí, dochází ke kolísání hladiny v chovné nádrži. Toto kolísání může způsobit kolísání hladiny až o půlku výšky chovné nádrže, a to v žádném případě není žádoucí s ohledem na chov ryb. Tuto nevýhodu absence retenční nádrže popisují i Bernstein (2011), Hallam (2014) a Rakocy a kol. (2016). Somerville a kol. (2014) však uvádí, že v systémech s chovnou nádrží o objemu do 200 l není retenční nádrž potřeba. U systémů konstantně průtočných je retenční nádrž vhodným doplňkem, ale nutná není. Absence retenční nádrže také znamená riziko v případě poruchy systému, například ucpání odtokové trubky z pěstebního záhonu. Následně dojde k úniku vody přes pěstební záhon ze systému a tím postupně dojde k vypuštění chovné nádrže jejím neustálým čerpáním do pěstebního záhonu.

OFERA Cycle-Garden™ B900-8 Aquaponiksystem

Systém OFERA Cycle-Garden™ B900-8 je největším systémem ze všech hodnocených, je tedy určen pro zahradní využití. Výhodou tohoto systému je především správné zvolení poměru objemu vody v chovné nádrži vůči pěstební ploše, která v podstatě kopíruje optimální poměr udávaný Somervillem a kol. (2014). Nedostatků však tento systém má mnoho. Prvním velkým nedostatkem tohoto systému je především výška pěstebních záhonů, která je pouze 21 cm. Optimální výška pěstebního záhonu je 30–35 cm tak, aby byl v záhoně dostatečný objem média pro ukládání a následnou mineralizaci nerozpuštěných látek (Rakocy 2007; Bernstein 2011; Somerville a kol., 2014). Stejně tak u chovné nádrže, která má sice odpovídající objem, ale má nedostatečnou výšku vodní hladiny. To při kombinaci s kolísáním hladiny způsobí problémy s přehříváním a obsahem rozpuštěného kyslíku i po přidání vzduchování – malá výška vodní hladiny sníží efektivitu přenosu kyslíku do vody. Dalším nedostatkem tohoto

systemu je řešení přítoku a odtoku do pěstebního záhonu. Pokud je přítok takto veden příliš blízko odtokového sifónu, dochází k nerovnoměrnému usazování kalů. Tím dochází k vytváření zón, kde se kaly kumulují a mohou v kombinaci s nízkým záhonem dosáhnout úrovně kořenů rostlin. To může zapříčinit špatný přístup kořenům ke kyslíku a jejich následné odumírání.

Velkou výhodou oproti ostatním systémům je možnost regulace přítoku do pěstebních záhonů a nastavení tak optimální frekvence napouštění a vypouštění.

Podstatnou výhodou je také cena v přepočtu na plochu. Tato cena byla ze všech hodnocených produktů na trhu nejnižší, v ceně za jeden litr byl systém na druhém místě, nicméně je potřeba říct, že v obsahu celého kompletu se nevyskytují další potřebné přísady pro chod systému, především vzduchování, souprava pro testování vody, přípravky pro změnu pH a startovací dávka bakterií. Toto příslušenství je možné dokoupit na stránkách výrobce, což následně zvýší cenu kompletně fungujícího systému.

OFERA Cycle-Garden™ B300-2 Aquaponikanlage

Tento systém je tvořen stejnými pěstebními záhony jako větší verze B900-8. Obsahuje menší počet záhonů a menší chovnou nádrž. Stejně jako u předchozího je relativně správně zvolený poměr mezi objemem vody v nádrži vůči pěstební ploše. Je tvořen stejnými pěstebními záhony o výšce 21 cm, které dle Rakocyho (2007), Bernstein (2011) a Somerville a kol., (2014) by správně měly být 30-35 cm vysoké.

Na rozdíl od větší verze B900-8 obsahuje ještě nižší chovnou nádrž, ve které se při současném napuštění náhonů bude hladina pohybovat na velice nízké výšce a může tím dojít k přehřátí vody, úbytku kyslíku a následnému úhynu ryb.

Stejně, jako u předchozího systému, je velkým problémem absence retenční nádrže, která by redukovala kolísání výšky už tak dost nízké hladiny v chovné nádrži. A stejný problém je i s umístěním přítoku a odtoku do pěstebního záhonu.

Tento systém je v přepočtu na parametry o něco dražší než jeho větší verze, což je způsobené započítanou prací a náklady na výstavbu.

Medium Aquaponics Kit

Tento jednoduchý systém nepoužívá automatické sifony pro zaplavování a vypouštění pěstebního záhonu, ale je řešen pomocí časovače, který určuje, v jakém

cyklu se bude voda napouštět. Voda ze záhonu konstantně odtéká, ale při napouštění dojde k většímu přítoku než odtoku a záhon se napustí.

Proporce tohoto systému v hodnocení podle optimální hodnoty (Somerville a kol., 2014) vyšly jako nejhorší ze všech. Byla zvolena příliš malá velikost pěstební plochy pro tak velký objem nádrže. Díky špatně zvolenému poměru objemu a plochy, v kombinaci s průtočným systémem bez vzduchování je tak tento systém nejhorší ze všech i svou funkčností. To při použití doporučené obsádky dle Somervilla a kol. (2014) bude způsobovat problémy s nadměrným usazováním kalů v pěstebním záhonu. Kvůli těmto kalům bude docházet k jejich usazování na kořenech rostlin, a to může mít za důsledek postupné odumírání rostlin z důvodu nedostatku kyslíku. Z toho důvodu bude nutné opakovaně čistit pěstební médium a pěstební záhon. (Bernstein, 2011; Somerville a kol., 2014).

Řešením by mohlo být snížení obsádky ryb na pětinu toho, co udává Bernstein (2011) a Somerville a kol. (2014) za optimální.

Cena za pěstební plochu je v průměru všech testovaných systémů. Naopak díky velkému objemu chovné nádrže je tedy cena za 1 l vody v ní nejnižší ze všech systémů.

V obsahu balení tohoto systému je obsaženo vzduchování se vzduchovacími kameny do chovné nádrže, startovací živiny a souprava pro testování chemických vlastností vody.

Z těchto nevhodných parametrů a nedostatků se jedná o nejméně vhodnou variantu ze všech hodnocených systémů.

The AquaUrban Aquaponics Systém

Akvaponický systém od firmy Aqua Urban je elegantním řešením pro místa s malým prostorem. K systému je dále možné dokoupit pojízdnou konstrukci, takže je možné s celým systémem manipulovat i v jeho provozu. Tuto výhodu nabízí jen tento systém. Je tvořen prefabrikovanými komponenty, které obsahují potřebné otvory pro hadice, vzduchování, a zároveň pěstební záhon obsahuje kryt proti médiu, což usnadňuje manipulaci s automatickým sifonem a zabraňuje kuličkám hydrotonu sifon ucpat. Systém funguje na bázi postupného napouštění a vypouštění pomocí časového spínače, který jednou za hodinu po dobu patnácti minut napustí pěstební záhon.

Nicméně přítok a odtok z pěstebního záhonu je přímo vedle sebe, to znamená usazování kalů poblíž a bude docházet k nerovnoměrnému rozprostření po dně pěstebního záhonu. Při výšce hladiny cca 45 cm a při započítání úbytku hladiny při napuštění záhonu

dojde ke snížení hladiny pod 40 cm, což bude značně rizikové pro chované ryby z důvodu přehřátí a nedostatku kyslíku.

Proporce tohoto systému jsou zvoleny relativně správně. Dle optimální hodnoty podle Somervilla a kol. (2014) by záhon měl být nepatrně větší.

K systému je dodáváno: vzduchování, startovací živiny, souprava pro testování vody a přípravky na ovlivnění pH vody.

Z dostupných porovnání ekonomických vlastností systému zjistíme, že se jedná o nejdražší systém v přepočtu na plochu i objem chovné nádrže. Cena za plochu je až 2x vyšší, než je průměr systémů na trhu. Tento fakt by mohl odradit potencionální zákazníky a zájemce o akvaponické produkty od koupi tohoto systému, který na svou cenu neodpovídá požadovaným vlastnostem pro správný chod systému. Bonusem jsou online videa s návodem na sestavení, videokurzy řešící problémy při chodu tohoto systému.

Genesis 24

Systém z řady Genesis je zajímavým produktem na trhu s akvaponickými systémy. V kombinaci s přídatným raftovým prvkem tvoří pěkné, kompaktní řešení pro zahradní i balkónové systémy. Přídatné prvky se dají dále dokupovat a rozšiřovat, takže jeho velikost je variabilní a dá se přizpůsobit do potřebných rozměrů. Jako jediný ze systémů obsahuje i vortex, ve kterém se usazují pevné, nerozpuštěné látky. Vortex pro samotný medium systém potřeba není, ale v kombinaci s přídatnými raftovými prvky je jeho použití vhodným řešením (Bernstein, 2011; Somerville a kol., 2014).

Námi vybraný typ systému s jedním přídatným raft systémem splňuje doporučení potřeby pro správnou činnost dle Somervilla a kol. (2014). Nicméně poměr se bude měnit v závislosti na vybrané variantě, či dokoupení dalších raftových prvků.

Velkou nevýhodou tohoto systému je přístup k chovné nádrži díky malému otvoru, to způsobí nepříjemnosti při výlovu ryb.

Cena tohoto systému v přepočtu na plochu a objem vody je v průměrných hodnotách všech systémů. S ohledem na řešení systému, nedostatky, jeho optimálními proporcemi, pěkným vzhledem a průměrnou cenou, je to jeden z lepších systémů na trhu.

Cropking aquaponic system

Tento systém patří k největším hodnoceným systémům. V přepočtené ceně na 1 m² pěstební plochy a v přepočtu na 1 l vody v chovné nádrži je tento systém druhým nejdražším. Proporce tohoto systému jsou zvoleny správně dle Somervilla a kol. (2014).

Tento systém však disponuje mnoha prvky, které z něj dělají funkčně nejlepší systém ze všech systémů na trhu. I když se nejedná o flood and drain systém, tak zde nebude docházet k odumírání kořenů rostlin, protože pěstební záhon je na dně osazen vzduchovací konstrukcí a chovná nádrž má výpustní zařízení na dně. V případě průtočného systému je kolísání v chovné nádrži minimální a je způsobené pouze výparem vody. Velkou výhodou je také to, že systém nepotřebuje čerpadlo. Celý koloběh vody je poháněn pouze airliftem, který do vody dodává potřebné množství vzduchu a zároveň vytváří proud vody, který pohybuje s objemem v chovné nádrži. Chovná nádrž navíc obsahuje komponent, který pomocí přítokové vody a vzduchování pomáhá roztáčet vodu v chovné nádrži, a zároveň vylepšuje účinnost vzduchování tím, že prodlužuje dráhu vzduchové bubliny a tím zvyšuje účinnost přenosu kyslíku do vody. Nerozpuštěné částice se usazují na dně chovné nádrže, kde jsou pomocí výpustního zařízení odebírány. Tento systém obsahuje i skimmer, který slouží k odstranění zbytků proteinů, které nezůstaly v pěstebním záhoně. Tyto částičky se usazují na stěnách airliftové trubky a pomocí bublin jsou vytlačovány ven do připravené nádoby. V ceně systému jsou zahrnuty startovací živiny, souprava pro testování fyzikálně-chemických vlastností vody a startovací bakteriální kultury pro rychlejší zaběhnutí biofiltrační schopnosti pěstebního média.

5.2. Navržené systémy

Oba navržené systémy byly navrhovány dle zjištěných nedostatků u systémů prodávaných na trhu. Prvním, a nejzásadnějším nedostatkem systémů, je absence retenční nádrže (Bernstein, 2011; Hallam, 2014 a Rakocy a kol., 2016). V obou námi sestavených systémech byla umístěna retenční nádrž, kde následně docházelo ke kolísání hladiny při napouštění záhonů, či při výparu vody. Hladina v chovné nádrži zůstala vždy na stejné hladině, což je zásadní vylepšení oproti prodávaným systémům.

Kromě systémů z řady OFERA a Cropking žádný další systém neobsahoval regulaci přítoku vody do pěstebních záhonů. Vše je tedy závislé na výkonu čerpadla. Tyto regulace

byly umístěny do obou navržených systémů a s jejich pomocí je možné nastavit rychlost cyklu napouštění a vypouštění.

Stejně jako u všech dostupných systémů na trhu i oba tyto systémy disponují dostatečně velkou plochou pro nitrifikačních bakterií díky hydrotonu a je tedy vidět, že hydroton je perfektním druhem média pro tyto systémy s nevýhodou jeho ceny, na čemž se shodují i Bernstein (2011), Hallam (2014) a Dovalil (2014).

Velkou výhodou sestavených systémů i přes fakt, že bylo použito výrazně více komponentů, je jejich cena. Systémy jsou výrazně levnější než dostupné systémy na trhu, s výjimkou přepočtu ceny na litr systému Medium Aquaponics Kit, u kterého je levná cena v přepočtu způsobena velikým a zároveň nevhodně zvoleným objemem chovné nádrže.

Navržený systém A

Systém A byl vytvořen na konkrétní balkón o šířce 80 cm.

Poměr pěstebních záhonů vůči objemu chovné nádrže u tohoto systému se příliš nepodobal optimálním hodnotám dle Somerville a kol. (2014). To bylo způsobeno především malou šířkou balkónu. Tento problém byl v provozu řešen snížením maximální obsádky ryb, aby rostliny stíhaly z vody odčerpávat živiny a záhony stíhaly odbourávat nerozpuštěné látky.

Prvním, a největším nedostatkem, byla malá kapacita objemu retenční nádrže, která z celkového objemu 274 l tvořila pouze 74 l. Volba této malé nádrže neumožňovala systém nechat běžet několik dní bez dolévání vody. Pokud by se hladina nádrže dostala do té fáze, že by nedokázala naplno napustit pěstební záhony, nedošlo by tak k jejich vypuštění. To by znamenalo uhnívání kořenů ve vodě, která v záhonu zůstala a mohlo by dojít k odumření rostlin.

Další nevýhodou systému bylo napojení celého přítokového potrubí na jeden okruh z PPR trubek, kde v jejich svárech docházelo k zúžení potrubí a tím ke ztrátě tlaku. To při nutnosti zajistit dostatečný průtok v chovné nádrži zvyšovalo nároky na výkon čerpadla a jeho spotřebu.

Z měření rozpuštěného kyslíku ve vodě bylo zjištěno, že se hodnota ke konci chovu snižovala stejně jako pH. V tomto případě již však hodnoty odpovídaly doporučeným hodnotám dle Vachty (2014) a v nejnižších naměřených hodnotách byly jen o 0,5 mg.l⁻¹ nižší, než je doporučená hodnota podle Somerville a kol. (2014). Měření teploty ukázalo,

že je vhodný pro chované druhy ryb a teplotní maxima/minima byly v rozmezí doporučených hodnot dle Kouřila (2011), Somervilla a kol. (2014) a Vachty (2014). Hodnota konduktivity byla ovlivňována přidáváním živin do systému na začátku pokusu a aktuálním celkovém objemu vody. Z průběhu křivky je patrné, jak rostliny postupně odebírají živiny a snižují tím konduktivitu vody. Po nasazení ryb a započetí krmení začala hodnota vodivosti stoupat a překročila optimální konduktivity dle Somervilla a kol. (2014) která je $1500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. To může značit přesazení systému rybami, které produkují více rozpuštěných látek, než jsou rostliny schopny odčerpat.

V průběhu pokusu vykazovaly rostliny velice rychlý růst a velkou plodnost, což ukazuje optimální množství živin produkovaných rybami. Petržel a libeček v systému dobře nerostli, to bylo pravděpodobně způsobeno přesazením ze startovacího substrátu do pěstebního záhonu.

Navržený systém B

Druhý navržený systém byl navržený po dvouletém provozu prvního systému. Byly odstraněny nedostatky a vylepšeny některé části tak, aby se provoz systému ještě vylepšil.

Zásadním vylepšením bylo zvětšení pěstební plochy o 33 % přidáním třetího pěstebního záhonu. Poměr plochy a objemu tak byl v optimálním rozpoložení dle Somervilla a kol. (2014).

Dalším vylepšením systému bylo zvětšení retenčních nádrží a zvýšením jejich objemu o víc než dvojnásobek oproti systému A. Systém tak mohl běžet podstatně delší dobu bez dopouštění vody.

Z měření hodnot je patrné, že se stejně, jako u předchozího systému snížil obsah rozpuštěného kyslíku po přidání ryb. Tentokrát však bylo použito vzduchování s odpovídajícím výkonem a hodnota neklesla pod hladinu $5,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, což splňuje optimální hodnoty podle Vachty (2014) i Somervilla a kol. (2014). Stejně jako u systému A můžeme říct, že teplota vody v chovné nádrži se pohybovala v doporučených hodnotách dle Kouřila a kol. (2011), Somervilla a kol. (2014) a Vachty a kol. (2014). Hodnotu pH bude potřeba měřit po delší časový horizont pro relevantní výsledek. Z grafu můžeme vidět, že hodnota pH se ze začátku snižovala, to bylo způsobeno přidáváním amoniaku pro zaběhnutí biofiltru. Po přidání rybí obsádky dojde k dalšímu snížení a bude potřeba hodnotu pH upravovat pomocí přidávání látek, které popisují Rakocy (2007), Bernstein (2011) i Somerville a kol. (2014). Vodivost byla z počátku pokusu ovlivněna přidáním hnojiv. Z průběhu křivky je patrné, že rostliny postupně odebírali rozpuštěné

látky. Po nasazení ryb křivka konduktivity stále klesá, což svědčí o tom, že systém není přesazen rybami a je zde kapacita pro zvýšení obsádky. Výkyvy v křivce jsou způsobeny výměnou vody při problému s rybami. Z průběhu měření N-NH_3 , N-NO_2^- a N-NO_3^- je patrné, že na počátku měření nebyl systém ještě plně zaběhnut. Proto bylo důležité pokračovat v přidávání amoniaku v podobě chloridu amonného (NH_4Cl) a doplňovat hladinu amoniakálního dusíku na 5 mg.l^{-1} , jelikož v tu dobu v systému nebyl jiný zdroj dusíkatých látek. Po prvním měření bez vysoké hladiny N-NH_3 a N-NO_2^- bylo zřejmé, že bakterie jsou již schopny transformovat amoniak přes dusitany na dusičnany. V tomto bodě byly do systému nasazeny ryby, které následně nahradily chlorid amonný jako zdroj dusíku pro rostliny. Po přidání ryb však dále klesají hodnoty dusičnanů, které jsou ze systému odebírány rostlinami. Proto bude potřeba zvýšit obsádku ryb tak, aby se přísun dusičnanů rovnal jeho spotřebě. Zaběhnutí systému proběhlo díky přidání vody z RAS poměrně rychle, v domácích podmínkách, kde bude k dispozici pouze dešťová či vodovodní voda bude zaběhnutí systému trvat podstatně déle, Bernstein (2011) a Somerville a kol. (2014) udávají dobu zabíhání systému 3 až 5 týdnů.

V průběhu pokusu čtyři druhy rostlin (rajče jedlé, paprika setá, bazalka pravá a majoránka) vykazovaly nadstandartní růst. První tři zmiňované rostliny rostly ještě rychleji než v systému A. To však bylo pravděpodobně způsobeno lepšími podmínkami a vyšší teplotou v akvaponické hale kde byl systém postaven. Denní teplota zde dosahovala až $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Stejně jako u systému A se nepodařilo pěstování petržele.

Při prvním nasazení tří kusů tilápie došlo k úhynu dvou kusů během prvních 24 hodin od nasazení. Ryby nevykazovaly známky nedostatku kyslíku, autointoxikace amoniakem a ani další případné projevy otravy či nemoci. Proběhla výměna vody, aby byl vyloučen obsah toxických látek v systému. Po dvou dnech byly přidány opět tři kusy tilápie nilské k původní přeživší tilápii. Do 48 hodin od nasazení došlo opět k úhynu tří nových kusů tilápie. Tyto úhyny byly způsobeny agresivním chováním přeživšího kusu, o kterém mluví i Barreto a kol. (2011). Náhlé agresivní chování u tilápie je dle něj způsobeno změnou prostředí a zlepšením podmínek, kdy ryba dostane větší volnost a začne se chovat velice agresivně a teritoriálně. Z tohoto důvodu byl agresivní kus vyloven a následně nasazeno deset nových kusů tilápie nilské o stejné velikosti a zbarvení. Od té doby k žádnému úhynu nedošlo.

System je i nadále testován v provozu a dosahuje perfektních výsledků v produkci, nicméně pro hodnocení produkce tohoto systému je nutné provést dlouhodobější měření výtěžnosti rostlin a ryb.

6. Závěr

V rámci bakalářské práce se podařilo zhodnotit dostupné systémy na celosvětovém trhu, zhodnotit vhodnost zvolených proporcí, porovnat ekonomické vlastnosti systémů a zároveň navrhnout vlastní systém, který byl následně ještě upraven a vylepšen. U prodáváných systémů bylo zjištěno velké množství nedostatků, které v praxi způsobí problémy při provozu systému a mohou následně odradit uživatele od jeho dalšího využívání. Jednalo se především o nevhodně zvolené komponenty, absenci retenční nádrže či špatně řešené pěstební záhony. Navíc bylo zjištěno, že většina systému je značně drahá na to, aby některé nesplňovaly ani základní požadavky pro správný chod akvaponického systému. Navržené a otestované systémy tak mohou posloužit jako předloha pro výstavbu těchto hobby systémů v domácím prostředí z běžně dostupných komponentů. Výstavba dle této předlohy umožní domácímu staviteli sestavit systém, který bude levnější a lepší než dostupné systémy na trhu. Zároveň je možné z této předlohy při zachování těchto poměrů systém nadále upravovat do konkrétních podmínek dle velikosti balkónu, zahrady či terasy.

Tato práce by mohla pomoci rozvoji konceptu akvaponie a jejímu rozšíření mezi širší veřejnost a navržené systémy posloužit jako odrazový můstek pro další vylepšování.

7. Přehled použité literatury

- Adámek Z., 1994. Letní chov tilápie a sumečka afrického v rybnících. Editace Metodik, VÚRH, Vodňany, č. 43.
- Aqua Gardening, 2020. Medium Aquaponics Kit. [online]. aquagardening.com.au [citace ze dne 17.4.2020]. Dostupné na WWW: <https://www.aquagardening.com.au/medium-aquaponics-kit>
- Aquaponic Source, 2020. The Aquaurban Aquaponic System. [online]. theaquaponicsource.com [citace ze dne 17.4.2020]. Dostupné na WWW: <https://www.theaquaponicsource.com/shop/complete-systems/home-scale-systems/aquaurban-sleek-aquaponics-system/>
- Backyard aquaponics, 2012. What is aquaponics? [online]. backyardaquaponics.com [cit. 2019-04-25]. Dostupné na WWW: <http://www.backyardaquaponics.com/guide-to-aquaponics/what-is-aquaponics/>
- Barreto, R. E., Carvalho, G. G. A., Volpato, G. L. 2011. The aggressive behavior of Nile tilapia introduced into novel environments with variation in enrichment. *Zoology*, 114(1), 53-57.
- Bernstein, S., 2011. *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. New society publishers.
- Boxman, S. E., Zhang, Q., Bailey, D., Trotz, M. A. 2017. Life cycle assessment of a commercial-scale freshwater aquaponic system. *Environmental Engineering Science*, 34(5), 299-311.
- Bradley, K. 2014. *Aquaponics: a brief history*. Milkwood Permaculture Blog.
- Coll, M., Libralato, S., Tudela, S., Palomera, I., Pranovi, F. 2008. Ecosystem overfishing in the ocean. *PLoS one*, 3(12).
- Connolly, K., Trebic, T. 2010. Optimization of a backyard aquaponic food production system. Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Macdonald Campus, McGill University, BREE, 495.
- Cropking, 2020. Aquaponic system [online]. cropking.com [citace ze dne 20.4.2020] Dostupné na WWW: <https://www.cropking.com/system/aquaponic-system>
- Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drengstig, A., Arvonen, K., Pedersen, P. B. 2013. Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural engineering*, 53, pp. 2-13.
- DeLong, D., Losordo, T.M., Rakocy, J.E., 2009. *Tank Culture of Tilapia*. SRAC Publication No. 282.
- Endless Food Systems, 2020. Genesis 24. [online]. endlessfoodsystems.com [citace ze dne 20.4.2020] Dostupné na WWW: <https://www.endlessfoodsystems.com/shop/aquaponics-systems/genesis-24-kit>
- FAO, 2015, Deep Water Culture Aquaponic Unit: Step by Step Description, [online] Fisheries and Aquaculture Departments in FAO, [cit. 2019-07-13] ID 8397, Dostupné na: <http://www.fao.org/3/CA2549EN/ca2549en.pdf>
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K., Jijakli, H., Thorarinsdottir, R. 2015. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.

- Guerdat, T. C., Losordo, T. M., Classen, J. J., Osborne, J. A., DeLong, D. 2011. Evaluating the effects of organic carbon on biological filtration performance in a large scale recirculating aquaculture system. *Aquacultural engineering*, 44(1), 10-18.
- Hallam, M. 2014. *Aquaponic Gardening: Book of Plans*.
- Hartman, P. a Regenda, J. 2014. *Praktika v rybníkářství*. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod. ISBN 978-80-7514-009-8.
- He, Z., Petiraksakul, A., Meesapya, W. 2003. Oxygen-transfer measurement in clean water. *J. KMITNB*, 13(1), 14-19.
- Higarden, 2020. Mother Earth Hydroton 50 l. [online]. Higarden.cz [citace ze dne 20.4.2020] Dostupné na WWW: <https://www.higarden.cz/mother-earth/mother-earth-hydroton--50l/>
- ECOLIFE Conservation ECO-Cycle Aquaponics Indoor Garden System with LED Light Upgrade. 2019. [online]. Amazon.com [citace ze dne 18.7.2019] Dostupné na WWW: https://www.amazon.com/Ecolife-ECO-Cycle-Aquaponics-Indoor-Upgrade/dp/B00LMMNVWO?ref_=fscpl_pl_dp_1
- Hughey, T. 2005. Aquaponics for developing countries. *Aquaponics Journal*, 38, 16-18.
- Kledal, P. R., Thorarinsdottir, R. 2018. Aquaponics: A Commercial Niche for Sustainable Modern Aquaculture. In *Sustainable Aquaculture*, pp. 173-190. Springer, Cham.
- 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., Drozd B., Prokešová M. a Stejskal V., 2013: Intenzivní chov keříčkovce jihoafrického-sumečka afrického (*Clarias gariepinus*). Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod. České Budějovice.
- Kouřil, J., Hamáčková J. Stejskal V., 2013: Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod. České Budějovice.
- Kouřil, J., Hamáčková, J., Stejskal, V. 2008. Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech.
- Lennard, W. 2017. Commercial aquaponic systems: integrating recirculating fish culture with hydroponic plant production. Wilson Lennard.
- Lennard, W. A. a Leonard, B. V. 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14(6), 539-550.
- Love, D. C., Fry, J. P., Genello, L., Hill, E. S., Frederick, J. A., Li, X., Semmens, K. 2014. An international survey of aquaponics practitioners. *PloS one*, 9(7).
- Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., Thompson, R. E. 2015. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, pp. 67-74.
- Mycák, V. 1953. Pestovanie liečivých, aromatických a koreninových rastlín.

- Ofera, 2020. OFERA Cycle-Garden™ B300-2. [online]. ofera-aquaponics.com [citace ze dne 17.4.2020]. Dostupné na WWW: <https://ofera-aquaponics.com/produkt/ofera-cycle-garden-b300-2-aquaponikanlage/>
- Ofera, 2020. OFERA Cycle-Garden™ B900-8. [online]. ofera-aquaponics.com [citace ze dne 17.4.2020]. Dostupné na WWW: <https://ofera-aquaponics.com/produkt/ofera-cycle-garden-b900-8-aquaponiksystem/>
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., Kotzen, B. 2018. Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture international*, 26(3), 813-842.
- Pokorný, J., Adámek, Z., Dvořák, J., Šrámek, V. 1998. *Pstruhařství*. Informatorium, Praha.
- Příhoda, J., 2006. Chov lososovitých ryb. *STYLE*, Slovensko, 209 s
- Rakocy, J. 2007. Ten guidelines for aquaponic systems. *Aquaponics J*, 46, 14-17.
- Rakocy, J. E. 1989. Tank culture of tilapia, Southern Regional Aquaculture Center Pub. 282
- Rakocy, J. E. 2012. Aquaponics: integrating fish and plant culture. *Aquaculture production systems*, 1, 343-386.
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., Losordo, T. M. 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture. *SRAC publication*, 454(1), 16.
- Rakocy, J., Masser, M. P., Losordo, T. 2016. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture.
- Riche, M., Garling, D. 2003. Feeding tilapia in intensive recirculating systems.
- Saaid, M. F., Yahya, N. A. M., Noor, M. Z. H., Ali, M. M. 2013. A development of an automatic microcontroller system for Deep Water Culture (DWC). In 2013 IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and its Applications (pp. 328-332). IEEE.
- Sikawa, D. C., Yakupitiyage, A. 2010. The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L) by using hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) pond water: Potentials and constraints. *Agricultural water management*, 97(9), 1317-1325.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A. 2014. Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (589), I.
- Štěch L. 2007. KOI, ALCEDOR
- Troníčková, E. 1985. *Zelenina*. Artia.
- Vachta R., Nusl P., Smékal D., Lepič P. a Buřič M., 2014: *Recirkulační systémy*. První. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie Vodňany. ISBN 978-80-87096-19-2.
- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J. W., Khanal, S. K. 2017. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76, pp. 9-19.
- Wootton-Beard, P. 2019. Producing fodder crops using hydroponics.

8. Seznam obrázků

Obr. č. 1: Koloběh živin (upraveno podle Zou, a kol., 2016).....	12
Obr. č. 2: Pěstování salátu v akvaponii (Somerville a kol. 2014).....	16
Obr. č. 3: Rozdíly mezi jednotlivým využitím hydroponických jednotek (Wongkiew a kol., 2017).....	24
Obr. č. 4: Schéma NFT systému (Upraveno dle Somerville a kol., 2014).....	25
Obr. č. 5: NFT systém (Backyard aquaponics, 2012).....	26
Obr. č. 6: Schéma raftového systému (upraveno podle FAO, 2015).....	27
Obr. č. 7: Plovoucí raftový systém (Rakocy a kol., 2006).....	28
Obr. č. 8: Příklad media bed systému (Backyard aquaponics, 2012).....	29
Obr. č. 9: Fáze vypouštění pěstební plochy (Somerville a kol., 2014).....	30
Obr. č. 10: Fáze napouštění pěstební plochy (Somerville a kol., 2014).....	30
Obr. č. 11: Mini akvaponický systém ECO-Cycle Aquaponics Kit.....	31
Obr. č. 12: Schéma malého hobby systému (upraveno dle Palm a kol., 2018).....	32
Obr. č. 13: Schéma media bed systému (Somerville a kol., 2014).....	33
Obr. č. 14: OFERA Cycle-Garden™ B900-8 (Ofera, 2020).....	38
Obr. č. 15: OFERA Cycle-Garden™ B300-2 (Ofera, 2020).....	38
Obr. č. 16: Medium Aquaponics Kit (Aqua Gardening, 2020).....	39
Obr. č. 17: The AquaUrban Aquaponics Systém (Aquaponic source™, 2020).....	40
Obr. č. 18: Genesis 24 systém (Endless food systems, 2020).....	40
Obr. č. 19: Cropking systém (Cropking, 2020).....	41
Obr. č. 20: Chovná nádrž (vlastní foto).....	49
Obr. č. 21: Výpust a přítok (vlastní foto).....	49
Obr. č. 22: Přívodní kohouty (vlastní foto).....	50
Obr. č. 23: Přívodní kohouty (vlastní foto).....	50
Obr. č. 24: Pěstební záhony v provozu (vlastní foto).....	51
Obr. č. 25: Vnitřní a vnější trubka automatického sifonu (vlastní foto).....	52
Obr. č. 26: Automatický sifon (vlastní foto).....	52
Obr. č. 27: Rostliny (vlastní foto).....	54
Obr. č. 28: Nosná konstrukce pěstebních záhonů (vlastní foto).....	55
Obr. č. 29: Chovná nádrž s přívodním potrubím a děrovaným víkem (vlastní foto).....	55
Obr. č. 30: Pěstební záhony a retenční nádrže (vlastní foto).....	56
Obr. č. 31: Spojení retenčních nádrží.....	57

Obr. č. 32: Nasazená tilápie (vlastní foto)	58
Obr. č. 33: Zasazené rostliny (vlastní foto)	58
Obr. č. 34: Pohled na pěstební záhony na konci pokusu	72

9. Seznam tabulek

Tab. č. 1: Dostupné systémy na trhu a jejich výrobci.....	37
Tab. č. 2: Seznam porovnání ekonomických vlastností akvaponických systémů dostupných na trhu.....	59
Tab. č. 3: Srovnání vlastností jednotlivých akvaponických systémů dostupných na trhu	63
Tab. č. 4: Příslušenství, které je dodáváno v ceně akvaponického systému.....	64
Tab. č. 5: Cena a počet jednotlivých komponentů sestaveného akvaponického systému A.....	64
Tab. č. 6: Cena a počet jednotlivých komponentů sestaveného akvaponického systému B.....	65
Tab. č. 7: Ekonomické přepočty navržených akvaponických systémů A a B	66

10. Seznam grafů

Graf č. 1: Porovnání akvaponických systémů dostupných na trhu dle ceny v přepočtu na 1 m ²	60
Graf č. 2: Porovnání akvaponických systémů dostupných na trhu dle ceny v přepočtu za 1 l vody v chovné nádrži.....	61
Graf č. 3: Poměr objemu chovné nádrže (l) k ploše záhonů (m ²). Hodnota u každého hodnoceného akvaponického systému je porovnána s optimální hodnotou poměru objemu pro obsádku 25 kg.m ⁻³ dle Somervilla a kol. (2014)	62
Graf č. 4: Srovnání skutečné biofiltrační kapacity akvaponických systémů na trhu dle plochy hydrotonu s potřebnou biofiltrační plochou dle Somervilla a kol. (2014), přepočítáno na daný systém	63
Graf č. 5: Průběh měření hodnot rozpuštěného kyslíku ve vodě (mg.l ⁻¹) v chovné nádrži akvaponického systému A	66
Graf č. 6: Průběh měření teplot (°C) vody v chovné nádrži v akvaponickém systému A	67
Graf č. 7: Průběh měření konduktivity (μS.cm ⁻¹) v akvaponickém systému A.....	68

Graf č. 8: Průběh měření hodnot kyslíku (mg.l^{-1}) v akvaponickém systému B	69
Graf č. 9: Průběh měření teploty ($^{\circ}\text{C}$) v akvaponickém systému B	69
Graf č. 10: Průběh měření hodnot pH v chovné nádrži akvaponického systému B	70
Graf č. 11: Průběh měření konduktivity ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) v akvaponickém systému B	71

11. Abstrakt

Hobby akvaponie

Cílem této bakalářské práce bylo analyzování hobby akvaponických systémů prodávaných na trhu a následné navržení, sestavení a otestování vlastního akvaponického hobby systému, využitelného na balkónech, terasách a zahradách. Pro analýzu a hodnocení trhu bylo vybráno 5 media bed systémů a jedna kombinace media a raftového systému. Media bed systémy byly vybrány z důvodu lepší využitelnosti v hobby systémech oproti Raft a NFT systémům, především díky menší náročnosti při obsluze, variabilitě při výběru rostlin a možnosti absence filtrů.

Prvně byl proveden monitoring dostupných akvaponických media bed hobby systémů na trhu. Následně proběhlo jejich zhodnocení vypočítáním finanční náročnosti na jednotlivé parametry systému a zároveň proběhlo komplexní hodnocení vyváženosti jednotlivých komponentů dle dostupné literatury.

Z dostupných výsledků hodnocení jednotlivých systémů je patrné, že všechny systémy jsou značně drahé. Všechny z produktů splňují kritéria pro správný chod biofiltru v podobě pěstebního média. Proporce poměru velikosti pěstebních záhonů vůči objemu chovné nádrže se u systému Medium Aquaponics kit značně liší od doporučených hodnot. Ostatní systémy se této hranici blížily. Tyto systémy však mají spousty nedostatků v podobě absence retenční nádrže, špatné řešení přítoku a odtoku, nepoužívání metody flood and drain, neregulovatelný přítok do záhonů atd.

Všechny zjištěné nedostatky byly promítnuty do návrhu a stavby modelových systémů, které přináší lepší využití finančních investic i při optimalizování funkčnosti. První modelový systém byl zhodnocen dle praktičnosti a nedostatků při jeho provozu a byl vylepšen v podobě navržení a sestavení druhého systému, který aktuálně vykazuje bezproblémový chod.

Klíčová slova: media bed systém, rajče, tilápie nilská, pěstování rostlin, chov ryb

12. Abstract

Hobby aquaponics

The aim of this bachelor thesis was analysing hobby aquaponics systems available on the market and then designing, assembling and testing own aquaponics hobby system which can be used on balconies, terraces and gardens. Five different media beds and one combination of media bed and raft systems were selected for analysis and evaluation. Media bed systems were chosen because of better usability in hobby aquaponics compared to Raft or NFT systems, especially due to less demanding operation, higher variability in the selection of plants and possibilities of filters absence.

Firstly monitoring of media bed hobby aquaponics systems available on the market was done. Subsequently their evaluation was made by calculating financial demands on the individual parameters of the systems and comprehensive evaluation of the balance of their components according to the available literature.

According to available results from the research of all individual systems is apparent that all systems are quite expensive. All products meet the criteria for the right flue of biofilter as growing media. Proportion ratio size of the growing bed to the volume of breeding tank in Medium Aquaponics kit system is significantly different from the recommended values. Other systems were getting closer to this limit. However, these systems have many lackings in the form of absence of a retention tank, poor solution of inflow and outflow, not using the flood and drain method, unregulated inflow into growing beds, etc.

All identified shortcomings were reflected in design and construction of model systems, that provide better utilization of financial investments even when functionality was optimized. First model system was evaluated according to practicality and shortcoming in its work and was improved by design and construction of the second model system that curently indicate smooth run.

Keywords: media bed system, tomato, nile tilapia, plants production, fish farming