

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Ústav akvakultury a ochrany vod

Diplomová práce

Stav komerčních akvaponických farem v České republice

Autor: Bc. Vojtěch Vondruška

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

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

Studijní program a obor: Zemědělská specializace, Rybářství a ochrana vod

Forma studia: denní

Ročník: 2.

České Budějovice, 2022

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

V Českých Budějovicích dne 9. 5. 2022: _____

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Janu Mrázovi, Ph.D. za poskytnutí odborné pomoci s řešenými problémy a za velmi vstřícné a rychlé jednání. Dále bych rád poděkoval zaměstnancům ústavu akvakultury a ochrany vod, především pak Ing. Radku Gebauerovi Ph.D. 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 OP rybářství CZ.10.2.101/2.1/0.0/19_016/0000985 Optimalizace technologie akvaponické farmy pro zvýšení produkce ryb a zlepšení kvality vody.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta rybářství a ochrany vod

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Vojtěch VONDRUŠKA
Osobní číslo: V20N007P
Studijní program: N4106 Zemědělská specializace
Studijní obor: Rybářství a ochrana vod
Téma práce: Stav komerčních akvaponických farem v České republice
Zadávající katedra: Ústav akvakultury a ochrany vod

Zásady pro vypracování

Cílem diplomové práce bude jednak vypracovat literární rešerši zaměřenou na problematiku komerčních akvaponických systémů a na analýzu stavu komerčních akvaponických farem v ČR. V rámci vypracování DP bude v první řadě zpracována literární rešerše zaměřená na problematiku komerčních akvaponických systémů. Hlavní kapitoly budou zaměřeny na specifika a potenciál komerčních akvaponických systémů, jejich design a princip fungování, kalkulace kapacit technologických celků, management různých typů systémů, výhody a nevýhody jednotlivých typů systémů a jejich dopad na ekonomiku farmy. Hlavní náplní práce bude screening a analýza stavu komerčních akvaponických farem v ČR. Budou identifikovány a detailně popsány jednotlivé farmy, jejich design, kapacity a hlavní produkované druhy. Budou vytipovány jejich výhody a nevýhody a technické nedostatky. Detailně bude popsán technický stav akvaponické farmy Aquaponic farm, s.r.o., budou vytipovány technické nedostatky tohoto systému, ve spolupráci s firmou Aerolux, s.r.o. budou navržena a zrealizována vylepšení na jednom ze 4 systémů. Bude porovnáno fungování původního a vylepšeného systému v praxi. Zjištěná data budou porovnána s dostupnou literaturou. Na závěr bude provedeno komplexní zhodnocení sledovaných systémů a stavu akvaponických farem v ČR a budou navržena opatření pro jejich vylepšení. Práce bude probíhat na farmě firmy Aquaponic farm, s.r.o. v Řisutech a v laboratořích ÚAOV. Práce bude finančně podporována projektem OP rybářství CZ.10.2.101/2.1/0.0/19_016/0000985 Optimalizace technologie akvaponické farmy pro zvýšení produkce ryb a zlepšení kvality vody.

Rozsah pracovní zprávy: 50-70 stran
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam doporučené 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.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.M., (Eds) 2019. Aquaponics Food Production Systems. Springer, Cham, Switzerland, 619 s.
- Graber, A., Junge, R., 2009. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. Desalination 246: 147-156.
- Lennard, W., 2017. Commercial aquaponic systems: integrating recirculating fish culture with hydroponic plant production. Wilson Lennard, 375 s.
- 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 diplomové práce: doc. Ing. Jan Mráz, Ph.D.
Ústav akvakultury a ochrany vod
Konzultant diplomové práce: Ing. Radek Gebauer, Ph.D.
Ústav akvakultury a ochrany vod
Datum zadání diplomové práce: 8. ledna 2021
Termín odevzdání diplomové práce: 2. května 2022

U 2. 
prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD
Zátiší 720/II
389 25 Vodňany


Ing. Jan Kašpar
ředitel

V Českých Budějovicích dne 25. ledna 2021

Obsah

1. Úvod	9
2. Literární přehled	10
2.1. Akvaponie	10
2.2. Komerční akvaponické systémy	11
2.3. Způsob zapojení akvaponických systémů	12
2.3.1. Propojené systémy	13
2.3.2. Nepojené systémy	13
2.4. Části komerčních akvaponických systémů	14
2.4.1. RAS	14
2.4.2. Hydroponické systémy	20
2.5. Umístění a typy akvaponických farem	26
2.5.1. Indoor	27
2.5.2. Skleníky	27
2.5.3. Outdoor	28
2.5.4. Kombinace	28
2.6. Management akvaponického systému	29
2.6.1. Teplota	29
2.6.2. Kyslík	29
2.6.3. pH	30
2.6.4. Zdroj vody	31
2.6.5. Kontrola klimatických podmínek v hydroponické části	32
2.7. Kalkulace komerčních farem	34
2.7.1. Kalkulace obsádky a spotřeby krmiva	34
2.7.2. Kalkulace potřeby chovného objemu	35
2.7.3. Kalkulace průtoků	35

2.7.4. Kalkulace mechanické filtrace	36
2.7.5. Kalkulace vzduchování	36
2.7.6. Poměr rostlin a krmiva	37
2.7.7. Kalkulace mineralizační jednotky	38
2.7.1. Kalkulace ceny svícení.....	38
3. Materiál a metodika	39
3.1. Akvaponické farmy v ČR.....	39
3.2. Akvaponická farma Řisuty	40
3.3. Technický stav původního systému	42
3.3.1. Chovná část.....	42
3.3.2. Pěstební část.....	43
3.4. Popis experimentu	44
3.4.1. Ryby v experimentu	45
3.4.2. Měřené parametry a použité přístroje	45
3.4.3. Porovnání schopnosti biologické filtrace	45
3.4.4. Produkce kalů.....	45
3.4.5. Spotřeba vody	46
3.4.6. Produkční vlastnosti chovné části	46
3.4.7. Produkční vlastnosti a živinové složení vody v pěstební části	46
3.4.8. Statistické hodnocení a grafické porovnání	47
4. Výsledky	48
4.1. Akvaponické farmy	48
4.1.1. Akvaponická farma Flenexa	48
4.1.2. Akvaponická farma Lážovice	49
4.1.3. Akvaponická Farma Kaly	51
4.1.4. Akvaponická Farma Heršpice	53
4.1.5. Akvaponická farma v Lánově	55

4.2. Kritické body původního systému v Řisutech.....	58
4.2.1. Výměna vody v nádržích	58
4.2.2. Konstrukce nádrží	58
4.2.3. Vzduchování	59
4.2.4. Filtrace	60
4.2.5. Pěstební část.....	62
4.3. Optimalizovaný akvaponický systém v Řisutech.....	63
4.3.1. Výměna vody v nádržích	63
4.3.2. Konstrukce nádrží	63
4.3.3. Vzduchování	64
4.3.4. Filtrace	65
4.3.5. Pěstební část.....	67
4.4. Porovnání původního a optimalizovaného systému v Řisutech.....	68
5. Diskuse	76
5.1. Stav komerčních akvaponických farem v České republice.....	76
5.2. Akvaponická farma Řisuty	79
6. Závěr	83
7. Přehled použité literatury	84
8. Seznam obrázků.....	89
9. Seznam tabulek.....	90
10. Seznam grafů	91
11. Abstrakt.....	92
12. Abstract.....	93

1. Úvod

Akvaponie je z dnešního moderního pohledu udržitelná technologie, která by v budoucnu mohla pomoci řešit některé z celosvětových výzev. Vzhledem k neustále rostoucí lidské populaci a spotřebě potravin, znečišťování životního prostředí, úbytku zemědělských ploch a změn hydrologických podmínek v krajině je potřeba vyvinout nové, a především k přírodě šetrné, způsoby pro získávání potravin. Akvaponie však nemusí představovat pouze zdroj kvalitních a k přírodě šetrných potravin, může se stát i ekonomicky zajímavým oborem vzhledem k rostoucí ceně vody, hnojiv, energie a dalších nezbytných vstupů pro tradiční zemědělství (Goddek a kol. 2019; Lennard, 2017).

Akvaponické systémy jsou v podstatě kombinací akvakulturních recirkulačních systémů (RAS) různým způsobem propojených s hydroponií. Naprostá většina živin, které využijí rostliny v hydroponické části pochází právě z recirkulačního chovu ryb a nedochází tak k vypouštění na živiny bohaté vody do recipientu. Oproti konvenčnímu zemědělství lze v akvaponických systémech ušetřit až 90 % vody a zároveň zde nedochází k využití půdy. Toho lze využít výstavbou těchto farem přímo v místě spotřeby produktů a snížit tak uhlíkovou stopu při přepravě (Bernstein, 2011).

Přestože jsou akvaponické systémy stále v raných fázích vývoje, a vědecké podklady často chybí, je akvaponie jedním z nejrychleji rostoucích odvětví v zemědělství po celém světě a výjimkou není ani Česká republika. V posledních letech vzniklo v Česku několik komerčních farem, ale zdaleka ne všechny se setkaly s efektivní finanční návratností. Často se farmy stavěly designem tzv. jednosmyčkového typu využívaného u hobby systému, který, jak se poslední dobou ukazuje, není vhodný pro velké komerční instalace.

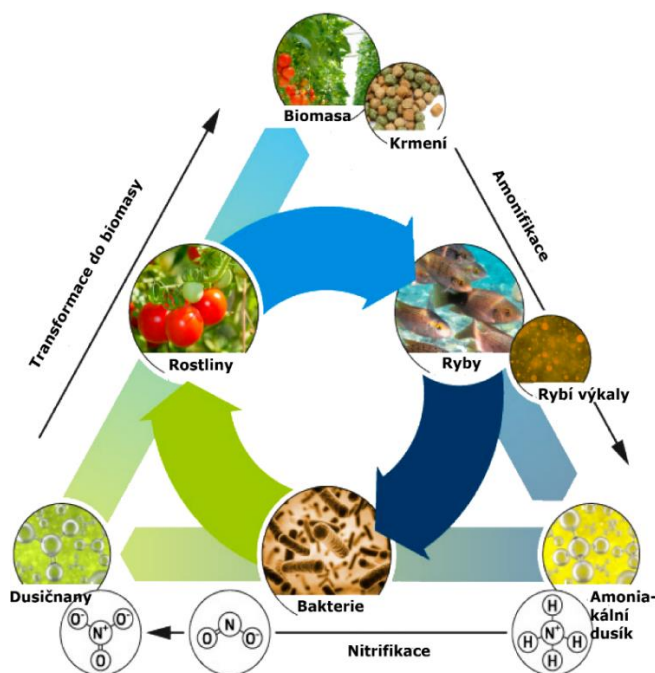
Cílem této práce je vypracování rešerše zabývající se problematikou komerčních akvaponických systémů, popsání jednotlivých typů, principů, kalkulací, specifík a jejich potenciálu. Dále byl proveden screening akvaponických farem na území České republiky s úkolem popsat jednotlivé farmy dle hlavních chovaných a pěstovaných druhů, designu, principu fungování a dalších parametrů s následným zhodnocení stavu akvaponických farem v Česku. Hlavní část práce se zabývá akvaponickou farmou v Řisutech, která byla detailně popsána. Dále byly vytipovány kritické body a ve spolupráci s firmou Aerolux s.r.o. byl jeden ze systému optimalizován. Následně byl tento optimalizovaný systém porovnán s jedním z původních systémů.

2. Literární přehled

2.1. Akvaponie

Akvaponie z produkčního hlediska je integrovaný systém kombinující chov ryb v recirkulačním zařízení s hydroponickým pěstováním rostlin v živném roztoku. Základní princip akvaponie je využitelný takřka kdekoliv a v jakékoliv velikosti a nemusí být ani ovlivněn člověkem. Princip využití živin vyprodukovaných rybami a využitých rostlinami najdeme takřka kdekoliv v přírodě.

Tradiční recirkulační systémy pro chov ryb produkují odpad ve formě metabolitů z ryb a nespotřebovaného krmiva. Tyto odpadní produkty, které by normálně nebyly jinak využity, je možné efektivně využít jako vstup živin do hydroponické jednotky. Rostliny v hydroponické části pro tvorbu biomasy využívají živiny obsažené ve vodě a vodu částečně čistí pro její další využití zpět v chovné části a umožňují ušetřit více vody (Rakocy a kol., 2006). Nedílnou součástí akvaponického koloběhu jsou však heterotrofní a nitrifikační bakterie. Nitrifikační bakterie přeměňují toxický amoniak, který je produktem rybího metabolismu při přeměně bílkovin, a procesem nitrifikace z toxického amoniaku vznikají dusitany a v další fázi dusičnany. Heterotrofní bakterie zase rozkládají organické látky na dále využitelné živiny. Voda bohatá na živiny následně putuje do hydroponické jednotky, kde jsou tyto živiny a další látky využity rostlinami (Somerville a kol., 2014). Akvaponický cyklus je znázorněn na obr. č. 1.



Obr. č. 1 Akvaponický koloběh živin (upraveno dle Zou, a kol., 2016)

2.2. Komerční akvaponické systémy

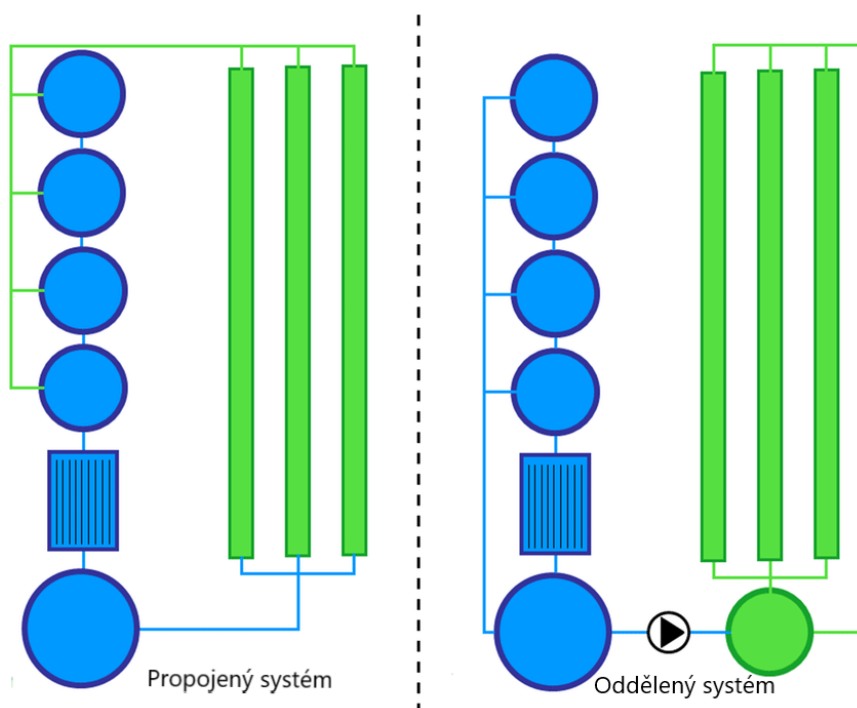
Zatímco malé hobby akvaponické systémy jsou celosvětově velmi populární již desítky let (Junge a kol., 2017; Turnšek a kol., 2020), komerční akvaponické farmy zažívají teprve ranná stadia vývoje a postupně expandují na trh (König a kol., 2018). Hlavním cílem komerčních akvaponických farem je maximalizace produkce a především ekonomická profitabilita. Tyto systémy vyžadují vysoké investiční náklady a také kladou důraz na co největší odbornost a znalost této problematiky, především kvůli vysoké míře rizika spojeným s provozem a ekonomikou těchto farem. Komerční akvaponické farmy jsou ve většině případů alespoň částečně automatizované a nároky na plnou automatizaci se postupně zvyšují. Farmy zaměřené na celoroční produkci a kontinuální příjem jsou stavěny v plně kontrolovatelných klimatických podmínkách, často využívající moderní skleníky či různé indoor instalace. Často je využíváno alternativních zdrojů energie, které pomáhají snižovat finanční výdaje na energii. Maximálního výnosu je dosahováno především mírou intenzifikace (produkce rostlin na plochu, ryb na objem vody, efektivním využití hydroponické části, maximální obsádka ryb) a zároveň ušetřením na vstupních nákladech jako je spotřeba energie, využití tepla, chlazení, přídatná hnojiva aj. (Love a kol., 2015). Oproti tradiční hydroponii dokáže akvaponický systém ušetřit až 62,8 % hnojiv (Monsees a kol., 2019). Avšak z ekonomického hlediska je u akvaponických farem několik problémů v závislosti na jejich designu a principu fungování. Prvním problémem je fakt, že samostatné nezávislé recirkulační a hydroponické systémy jsou efektivnější než klasické jednosmyčkové akvaponické systémy (Graber a Junge, 2009; Palm a kol., 2018). V samostatně stojících hydroponických a recirkulačních systémech není potřeba pracovat s podmínkami, které poskytují kompromis podmínek jako u jednosmyčkového akvaponického systému, případně i u nevhodně stavebně řešeného vícesmyčkového systému a je tak možné se zaměřit na co nejefektivnější podmínky pro daný druh rostlin, nebo ryb. V takovýchto systémech se sice dá ušetřit na hnojivech oproti samostatně stojící hydroponické jednotce, ale úspory bývají nižší než ušlý zisk z chybějících optimálních podmínek (Delaide a kol., 2016; Lennard, 2017).

2.3. Způsob zapojení akvaponických systémů

V současné době můžeme komerční akvaponické systémy rozdělit do dvou skupin. Prvním a tradičním typem akvaponických systémů jsou napřímo propojené jednotky RAS systému s hydroponickou částí, kde voda z RAS jde přímo do hydroponické části. Po průchodu hydroponickou jednotkou se opět vrací k rybám. Jedná se o takzvaný jednosmyčkový „one loop“, nebo „coupled“ systém. Tento, z hobby akvaponických instalací převzatý, způsob je nejen v České republice, ale i na světě nejpoužívanější, vzhledem k jeho nižším investičním nákladům a jednoduššímu managementu (Palm a kol., 2019).

Druhým, novějším a modernějším typem jsou farmy, kde hydroponická jednotka a RAS, tvoří samostatné oddíly a je různými způsoby propojena. Jedná se o tzv. vícesmyčkový „multi-loop“, nebo „decoupled“ systém. Výhodou těchto systémů je především možnost ovlivňovat jednotlivé části systému a vytvořit tak optimální podmínky pro všechny biologické složky v celém konceptu akvaponie. Nevýhodou jsou větší náklady na výstavbu (Goddek a kol., 2019).

Na obr. č. 2 můžeme vidět základní schémata obou systémů, nicméně každý systém má své specifika a jednotlivé designy se mohou lišit.



Obr. č. 2 Schéma dvou typů akvaponických systémů (upraveno dle Monsees a kol., 2017)

2.3.1. Propojené systémy

Voda v plně propojených systémech je konstantně sdílena mezi RAS a hydroponickou jednotkou bez větších ztrát vody kromě evapotranspirace rostlin, výparu a spotřebované vody mechanickou filtrací. Ztráta vody v propojeném systému je v průměru 1,5 % celkového objemu denně (Lennard, 2017). Propojené systémy jsou využívány v takřka jakékoliv velikosti, od malých hobby systémů až po velké, komerční farmy. Současný trend a vývoj však od těchto systémů v komerčních farmách ustupuje. V komerčních akvaponických farmách je snaha využívat i částečné přihnojování hnojivy, nicméně množství a koncentrace jsou značně omezeny především tolerancí chovaného druhu ryby, jelikož veškerá voda se po průchodu hydroponií v jednosmyčkovém systému vrací ihned zpět k rybám (Palm a kol., 2018). Dalším problémem přihnojování vody před vstupem do hydroponické jednotky je fakt, že může přinášet živinové výkyvy v celém systému v závislosti na schopnosti retence živin rostlinami (Goddek a kol., 2019). Propojené farmy jsou však méně variabilní vzhledem k výběru rostlin a ryb. V propojených farmách je jen malá možnost, jak ovlivnit prostředí ať už vody, nebo vzduchu tak, aby vyhovovala buď rybám, nebo rostlinám. Většinou tak dochází ke kompromisu vůči optimálním podmínkám pro rostliny a ryby, což může vést k případným produkčním ztrátám a menšímu výnosu. Propojené farmy jsou také náročné na balancování jednotlivých částí. Pokud bude v systému málo rostlin, mohou se živiny v systému kumulovat. Naopak pokud bude rostlin moc, budou živiny chybět (Baganz a kol., 2022).

2.3.2. Nepropojené systémy

Nový a moderní způsob zapojení akvaponických systémů spočívá v rozdělení jednotlivých složek akvaponického systému do různých smyček. V nepropojených systémech má RAS i hydroponie svůj vlastní okruh vody. RAS by v případě takovéto farmy měl fungovat jako samostatná jednotka nezávisle. Stejně tak hydroponická část by měla fungovat jako tradiční hydroponie s využitím hnojiv nezávisle na chovné části. To umožňuje naplánovat produkci do různých cyklů tak, aby ekonomická rentabilita celé farmy byla stabilní. Část s chovem ryb tak může běžet celoročně, kdežto hydroponická část může být přes zimu zavřená z důvodu vysokých nákladů na vytápění a světlo. Takovéto akvaponické farmy jsou propojeny jednosměrným ventilem a je snadné ovlivňovat množství vody pouštěné do hydroponické části. Do hydroponické části je tak

možné pouštět na dusík bohatou vodu z RAS, ale s nedostatečným obsahem dalších živin. V případě přidání řídicí jednotky na doplňování chybějících látek můžeme ještě zvýšit potenciál a ekonomiku hydroponie, a zároveň tak neohrozit ryby v případě, že voda již není vrácena zpět do chovné části (Mráz a kol., 2018). Nespornou výhodou nepropojených akvaponií je především možnost nastavit optimální podmínky pro všechny části systému a maximálně tak využít produkční potenciál jak ryb, tak i rostlin. Stejně tak je možné v případě problémů s hygienou v chovu (nemoci, paraziti atd.) využít léčebných prostředků s tím, že použitá voda se nedostane do části s rostlinami a stejně tak v případě aplikace postřiků na rostliny zase k rybám (Lennard, 2017, Palm a kol., 2019). Mimo to je možné přidat další smyčky, například mineralizační jednotku, která může celý systém ještě více zefektivnit (Goddek a kol., 2019).

Nevýhodou nepropojených či vícesmyčkových systémů jsou však pořizovací náklady na infrastrukturu, které jsou podstatně vyšší než u spojených, jednosmyčkových systémů (Goddek a kol., 2016).

2.4. Části komerčních akvaponických systémů

2.4.1. RAS

Recirkulační akvakulturní systémy umožňují chov a produkci ryb v hustých obsádkách s několikanásobným využitím stejné vody. K tomu je však nutné provést několik kroků úpravy vody tak, aby splňovala optimální podmínky pro život chovaných organismů a bylo ji možné znovu využít v chovu. V první řadě je důležité z vody odstranit zbytky exkrementů, krmiv a případně uhynulých ryb pomocí různých mechanických filtračních zařízení. V následujícím kroku je nutné provést biologickou filtraci ve formě oxidace amoniaku ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) přes dusitany (NO_2^-) na méně toxické dusičnany (NO_3^-). V neposlední řadě je potřeba vodu opět obohatit kyslíkem. V různých typech RAS systémů se však jejich koncepce a použité technologie mohou lišit, v některých mohou být přidány UV dezinfekce, ozonizace, odplynovací stanice, denitrifikační jednotky atp. (Lennard, 2017).

Chovné nádrže

V praxi se používají nádrže z několika materiálů jako je plast, laminát, gumová textilie a mnoho dalších. Jednotné specifikum pro materiál však není, důležité je, aby materiál nezpůsobil mechanické poškození rybám a zároveň splňoval hygienické požadavky (Bernstein, 2011). Důležitější je však jejich tvar a velikost, které mohou být rozhodujícím faktorem pro úspěšnost chovu. Nejvíce se osvědčily kruhové nádrže, které poskytují nejlepší dynamiku proudění vody a na rozdíl od různých obdélníkových nádrží nedochází k usazování kalů v rozích (Somerville a kol., 2014). Obdélníkové konstrukce mají nedokonalé proudění a nedochází tak k rovnoměrné výměně vody ve všech částech nádrže. To může způsobovat lokální zóny bez dostatečného množství kyslíku a zároveň k nánosu sedimentů. Nicméně i kruhové nádrže musí být navrženy tak, aby co nejefektivněji odváděly kaly. Přítok nádrže by měl být umístěn po straně nádrže tak, aby svým tlakem vytvářel krouživý pohyb vody v nádrži a pomáhal tak usazovat nerozpuštěné látky uprostřed dna nádrže. Ještě lepšího výsledku odstranění nerozpuštěných látek lze dosáhnout kombinací bočního přítoku a kónického tvaru dna (Davidson a Summerfelt., 2004). Důležitou částí je i odtok nádrže, který může být řešen různými způsoby. V případě usazování nerozpuštěných látek budeme volit středový odtok ze dna nádrže, lze však použít i postranní, externí či kombinaci těchto odtoků (Mráz a kol., 2018).

Mechanická filtrace

Úkolem mechanické filtrace je z vody odstranit co nejrychleji a nejefektivněji nerozpuštěné látky. Nerozpuštěné látky mohou být původem z nespotřebovaného krmiva, rybích výkalů, uhynulých ryb a případných dalších vstupů organické hmoty do systému. V akvaponických systémech je vhodná mechanická filtrace často klíčem k úspěchu. Při nedostatečném odstranění organických látek hrozí jejich proniknutí až k hydroponické části, kde způsobuje problémy v podobě usazování kalů na kořínkách rostlin a může dojít k jejich zahnívání (Somerville a kol., 2014). Mechanická filtrace bývá umístěna přímo za chovnou částí, jelikož je nutné tyto látky z vody odstranit co nejrychleji, aby nezačalo docházet k jejich rozkladu a následné zvýšené spotřebě kyslíku či uvolňování dalších látek (Kouřil a kol., 2013). Ryby, podobně jako většina zvířat, produkují poměrně velké množství výkalů. Lennard (2017) udává hodnotu 25-35 % z hmotnosti přijatého krmiva v závislosti na druhu, frekvenci krmení a kvalitě krmení. Ve velkých RAS systémech a akvaponiích s velkou biomasou ryb je tak denní tvorba

nerozpuštěných látek vysoká (např. systém s 10 tunami ryb denně a DKD 2 %, vyprodukuje 50 kg nerozpuštěných látek v 5 % sušině, což je 1000 kg ve vlhkém stavu. To je velká zátěž na mechanickou filtraci a je tak potřeba ji správně sestavit a nadimenzovat.

Vzhledem k tomu, že různé nerozpuštěné látky mají jiné vlastnosti, především velikost, je optimální použít více druhů mechanických filtrů. Dle Mráze a kol. (2018) můžeme nerozpuštěné látky rozdělit do následujících skupin.

- Sedimentující – velikost části větší než 100 μm
- Suspendované – velikost částic mezi 30 až 100 μm
- Jemné – menší než 30 μm

Výběr mechanické filtrace však záleží na stupni intenzifikace farmy. Čím menší farma, tím spíše je možné využít pouze sedimentační nádrže vzhledem k jejich nenáročnosti na obsluhu a nízké počáteční investici. S narůstající intenzitou chovu je však potřeba zapojit výkonnější filtrace. Nejvíce využívaným typem v RAS systémech jsou bubnové filtry (Thorarinsdottir, 2015). Ve velkých komerčních farmách je potřeba zapojení více druhů mechanické filtrace tak, aby se v koloběhu filtrace nerozpuštěné látky odstraňovali od největších po nejmenší, z důvodu možnosti zanášení jemných filtrů částicemi, které z vody můžeme separovat snadno.

Sedimentační nádrže, vortexy, čiríče

Pro odstranění největších, sedimentujících látek je možné použít několik druhů mechanických filtrů, které fungují na bázi gravitace, usazování a odstraňování usazených látek na dně nádrží. Klasická sedimentační nádrž usazuje nerozpuštěné látky na dně pomocí snížení rychlosti proudění. Nerozpuštěné látky jsou následně odstraňovány ze dna výpustním kohoutem. Účinnost sedimentační nádrže je závislá na objemu protékané vody a obecně platí, že čím menší je průtok, tím lépe látky sedimentují. Pro optimální sedimentaci je potřeba, aby doba zdržení byla alespoň 15–30 minut (Lennard, 2017). Mráz a kol. (2018) udává, že minimální velikost nádrže by měla činit třetinu z celkového objemu chovné nádrže. Pro ještě větší účinnost sedimentace je možné tuto nádrž rozdělit do několika částí, kde každá má vlastní, horní přepad do další části. Nicméně Lennard (2017) udává, že se pomocí sedimentace dokáže odstranit maximálně 55 % nerozpuštěných látek.

Podobným principem funguje i vortex filtr. Vortex filtr je tvořen z kruhových nádrží s kónickým dnem. Pomocí přívodu vody je voda ve vortexu roztáčena a díky vytvořené odstředivé síle se nerozpuštěné látky dostávají ke straně nádrže, a následně gravitačně padají ke dnu, kde je následně možné je výpustním kohoutem vypustit. Odtok vody z vortexu je opět horním přepadem.

Sítové filtry

Ve větších RAS či akvaponických systémech jsou tyto druhy filtrace nepostradatelné. Sítové filtry používají různé druhy materiálů, většinou však uhelón o různé velikosti ok v závislosti na tom, jak velké částice z vody je v daném systému potřeba odebrat. Je proto důležité brát v úvahu, jaký typ hydroponického systému je používán a dle jeho požadavků tak vybrat typ mechanické filtrace, případně velikost ok v sítových filtrech.

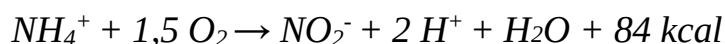
Bubnové filtry

Pro standartní účely RAS se nejčastěji používají bubnové filtry s hustotou ok mezi 40–200 μm . V akvaponických systémech využívajících metodu DWC je adekvátní využívat velikost ok mezi 80 až 100 μm , pro NFT 40–80 μm (Lennard, 2017). Princip bubnové filtrace spočívá v tom, že na hřídeli je umístěn buben tvořený z konstrukce s vyměnitelným filtračním materiálem. Tato hřídel společně s bubnem je umístěna uvnitř nádrže a pomocí hladinového spínače je v intervalech spínán a čištěn tryskami vně bubnu. Voda k čištění je do bubnu přiváděna vnitřní částí a přečištěná voda odtéká skrze síta ven. Zachycené pevné látky tak zůstávají uvnitř bubnu a jsou odváděny mimo systém odkalovacím kanálem (Kouřil a kol., 2013).

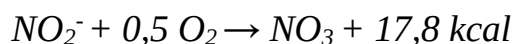
Biologická filtrace

Biologická filtrace je klíčovým prvkem akvaponických systémů. Její umístění je vždy za mechanickou filtrací, aby nedocházelo k sedimentaci nerozpuštěných látek v biofiltru. Biologická filtrace je hlavním důvodem úspory vody v recirkulačních systémech, vzhledem k tomu, že vodu zatíženou toxickými metabolity není možné bez biofiltrace následně využívat v chovu ryb (Timmons a Ebling, 2010). Principem biologické filtrace je převod toxického amoniaku vylučovaného rybami na netoxické dusičnany pomocí aerobních nitrifikačních bakterií, které z této přeměny získávají energii (Rakocy a kol., 2006). V první fázi procesu nitrifikace bakterie rodu *Nitrosomonas* sp. Přeměňují toxický amoniak na dusitany (NO_2^-). V druhé fázi jsou přeměněny stále ještě toxické dusitany na málo toxické dusičnany (NO_3^-) pomocí bakterií *Nitrobacter* a *Nitrospina*.

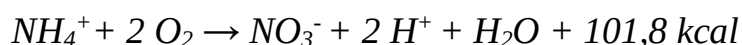
Nitrosomonas spp.



Nitrobacter a *Nitrospira* spp.



Celkem



Bakterie, které se zúčastňují procesu oxidace amoniaku však pro svůj život potřebují dostatečně velkou plochu různých biofiltračních elementů. Tyto elementy jsou většinou tvořeny z plastu a jsou konstruovány tak, aby jejich plocha byla co největší v poměru s objemem a měly by tvořit 70 % objemu biofiltrační nádrže (Bernstein, 2011). Vzhledem k tomu, že při oxidaci amoniaku dochází k velké spotřebě kyslíku, je důležité do biofiltru umístit výkonnou aeraci. Optimální teplotní rozpětí pro činnost nitrifikačních bakterií je mezi 10–27 °C. Při teplotách pod 5 °C a nad 35 °C přestávají nitrifikační bakterie fungovat. Optimální pH pro správnou činnost biofiltru je 6,5 – 8,0 (Somerville a kol., 2014).

Mineralizace

Obecně se v systémech díky nutnosti zapojení mechanické filtrace ztrácí velké množství z celkových živin využitelných pro rostliny. Jedním z cílů akvaponických farem, a především těch nepropojených, je docílit mineralizace těchto nerozpuštěných látek, a následného využití živin rostlinami a ušetřit tak na případných přídavných hnojivech.

V nerozpuštěných látkách se soustředí největší množství potenciálních živin pro rostliny (Neto a Ostrensky, 2013). Možnost jejich znovuvyužití v akvaponické vodě pomocí přírodní mineralizace může zvýšit soběstačnost a ekonomickou stránku akvaponické farmy, a ještě snížit už tak nízkou spotřebu vody (Goddek a kol., 2015).

Mineralizace kalů probíhá běžně i v RAS a hydroponiích, nicméně je to nežádoucí a nekontrolovatelný proces, při kterém dochází rozpadem organických látek ke spotřebě kyslíku. V kontrolovaných podmínkách můžeme zajistit mineralizaci těchto látek v různých mineralizačních nádržích či jímkách (Lennard, 2017). Mineralizaci můžeme rozlišit na anaerobní a aerobní.

Anaerobní mineralizace je přírodě blízký proces, kdy jsou nerozpuštěné látky rozkládány na jejich základní molekuly či atomy pomocí bakterií v anaerobním prostředí (Lennard, 2017). Nevýhodou tohoto procesu jsou ale jeho plynné produkty, především H_2S a N_2 . Ty následně při nedostatečném utěsnění nádrže z vody unikají a voda tak přichází o část živin, a navíc produkuje skleníkové plyny.

Aerobní mineralizace je podobný proces, jen probíhající v prokysličeném prostředí, kde heterotrofické aerobní bakterie a mikroorganismy rozkládají složitější látky na látky, které jsou přístupné rostlinám jako živiny. Aerobní mineralizace také produkuje H_2S a N_2 , ale v minimální množství. Důležitou součástí těchto jímek je vzduchování, Mráz a kol. (2018) udávají, že nasycení kyslíkem by nemělo klesnout pod 80 %. Doba mineralizace těchto kalů je závislá především na teplotě vody. Při teplotě vody 20 °C je tato doba okolo 30 dní. Je však důležité sledovat obsah rozpuštěných látek. Ten by neměl překročit 3000 mg. l⁻¹. Při využití injekce čistého O_2 a zvednutí nasycení vody ke 100 % je však možné mineralizovat vodu i s větším obsahem nerozpuštěných látek.

2.4.2. Hydroponické systémy

Hydroponické systémy využívají metodu pěstování rostlin v roztoku vody obohaceném o specifické živiny v závislosti na pěstovaném druhu a stádiu rostlin. Stejně tak jsou tyto jednotky využívány v akvaponických systémech. V akvaponii je možné použít několik typů hydroponických systémů a stejně tak velké množství médií, které mohou být použity. Jejich výběr však záleží především na druhu pěstovaných rostlin, environmentálních podmínkách, množství místa a v neposlední řadě na dostupnosti financí. V současné době je v akvaponických farmách po celém světě nejvíce používán systém DWC a NFT pro produkci listové zeleniny a menších druhů rostlin. Dalším používaným typem je tzv. DRIP systém využívající kapénkové závlahy, nicméně v České republice tento systém v akvaponii rozšířený není.

Deep water culture (plovoucí raftový systém)

Metoda DWC (Deep water culture) je nejjednodušším a společně s NFT nejpoužívanějším typem hydroponické jednotky v komerčních akvaponických systémech, které využívají monokulturní produkci. Při produkci rychle rostoucích rostlin (bazalka, různé druhy salátů, pak choi atd.) je tento systém takřka bezúdržbový, nicméně pro pěstování větších rostlin (rajčata, okurky, papriky atd.) není úplně vhodný vzhledem k velké hmotnosti a velikosti rostlin. Tyto rafty jsou tvořeny nádržemi, která dosahuje výšky vodní hladiny 5-15 cm (Os a kol., 2019), 20-30 cm (Maucieri a kol., 2019) případně až 50 cm (Mráz a kol., 2018). V těchto nádržích obdélníkového tvaru jsou na hladině umístěny plovoucí rafty s otvory pro hydroponické košíky. Rafty jsou většinou tvořeny z polystyrenu, případně speciálních hydroponických raftů viz. obr. č 3. Otvory jsou umístěny v různé vzdálenosti od sebe v závislosti na velikosti a druhu pěstované rostliny (Mráz a kol., 2018). Je ale také důležité zvolit vhodnou výšku polystyrenového raftu k vazbě na velikosti sazenic tak, aby kořínky dosáhly do vody a zároveň raft unesl váhu všech rostlin před sklizní. V raftové hydroponii jsou kořeny rostlin neustále ve vodě, je tak nutné zajistit alespoň 4-5 mg/l⁻¹ rozpuštěného O₂ ve vodě pomocí vzduchování umístěného na dno nádrží. Kompletní výměna vody by měla proběhnout mezi 1-4 hodinami, ideálně 30 % objemu za hodinu, nezávisle na velikosti systému (Somerville a kol., 2014). Při použití DWC je však nutné zajistit dostatečnou mechanickou i biologickou filtraci. Při nedostatečné mechanické filtraci může docházet k usazování

kalů na kořenech rostlin, následné hnilobě a odumření rostlin. Dalším problémem může být zanášení pěstebních nádrží a tvorbě prostředí pro rozpad organických látek s následným úbytkem kyslíku. Vzhledem k absenci pěstebního média, případně jen jeho malého množství v košíčkách, systém nemá dostatečnou plochu pro nitrifikační bakterie a je potřeba zapojit i biologický filtr před vstupem vody do DWC systému. Nespornou výhodou DWC oproti NFT je fakt, že je využíván mnohem větší objem vody a nedochází tak k velkým výkyvům teploty vody a obsahu živin. Z tohoto důvodu je možné tyto DWC systémy dělat dlouhé až 10 metrů, protože dokážou dobře distribuovat živiny po celé ploše (Maucieri a kol., 2019; Somerville a kol., 2014; Os a kol., 2019).



Obr. č. 3 DWC systém (Wiscon group, 2022)

NFT

V současné době je „*Nutrient film technique*“, neboli NFT, hojně využívaný a oblíbený druh hydroponického systému, který je možné využívat jak v hobby instalacích, tak i ve velkých komerčních farmách. Výhodou NFT oproti DWC je možnost lepšího využití prostoru, především vertikálního. Tyto systémy je možné stavět různě zavěšené i v několika patrech a nabízí spoustu dalších možností, jak využít prostor. Tyto systémy jsou většinou tvořeny z PVC trubek či různě tvarovaných kanálů s vytvořenými otvory pro rostliny na horní straně. V trubkách gravitačně proudí živný roztok s výškou vodní hladiny 1-2 cm. Optimální spád trubek by měl být 1 % (Os a kol., 2019; Mráz a kol., 2018). Ve vodě obohacené o živiny je pouze okolo 10 % z kořenového systému rostliny, zbylých 90 % umožňuje kořenům přijímat atmosférický kyslík a není tak potřeba přidávat vzduchování. Stejně jako u DWC je potřeba zajistit dokonalou mechanickou filtraci, u NFT je problém se zanášením kořenů ještě větší vzhledem k mnohem menšímu objemu vody. Důležitý je však výběr průměru trubek, či jiných NFT kanálů. Vždy je potřeba určit si druh pěstované rostliny a následně s ohledem na velikost kořenového systému volit průměr. Pro rychle rostoucí listovou zeleninu s malými kořeny je optimální průměr o cca 15 cm (Somerville a kol., 2014). V případě velkých systémů farmy využívají NFT kanály, které jsou široké i desítky centimetrů. V takovém případě je možné využít NFT i pro rajčata a další plodovou zeleninu. Délka jednoho NFT kanálu, do kterého vstupuje voda po mechanické a biologické filtraci, by neměla překročit 10–20 metrů v závislosti na průměru trubky a celkovém průtoku. Nicméně slabou stránkou NFT systému je především distribuce živin po celém délce systému. Hodnoty průtoků jsou udávány v hodnotách 1-2 l/min (Somerville a kol., 2014; Mráz a kol., 2018; Os a kol., 2019), nicméně průtok je potřeba řešit individuálně u každého systému v závislosti na jeho průměru, délce, druhu a počtu pěstovaných rostlin. Rychleji proudící voda zajistí, že rostliny na konci toho systému mají stále dostatek živin pro svůj růst. Další nevýhodou NFT systému je malý objem vody na velkou plochu, což způsobuje velké teplotní výkyvy mezi dnem a nocí, a to může způsobovat problémy v kořenovém systému rostlin. Příklad využití NFT viz obr. č. 4.



Obr. č. 4 (Wellgain Greenhouse, 2022)

Media bed

Media bed systémy jsou bezesporu nejpoužívanějším a nejoblíbenějším typem hydroponické jednotky v malých hobby systémech, především díky možnosti úplné absence mechanické a biologické filtrace. Pokud je systém správně navržen a jeho proporce odpovídají optimálnímu poměru mezi velikostí pěstebních nádrží a spotřebovaným krmivem, tak použité médium zajišťuje dostatečnou plochu pro nitrifikační bakterie a zároveň tato pěstební část slouží jako mineralizační složka pro opětovné využití kalů (Bernstein, 2011; Somerville a kol. 2014). Nicméně v komerčních systémech se moc nepoužívá. Ve větším měřítku jsou tyto systémy finančně nákladné, samotné médium jako např. hydroton je poměrně drahé a je podstatně složitější tento systém udržet při velkých obsádkách ryb (Lennard, 2017). Jako médium může být využit štěrky, kuličky expandovaného jílu (hydroton/keramzit), perlit a podobně viz obr. č. 5. Je však důležité, aby médium, pokud možno vůbec neovlivňovalo pH. Toto médium je periodicky zaplavováno a vypouštěno v optimálně 15minutových cyklech. V těchto systémech se využívá tzv. zvonového sifonu, který slouží jako výpustní zařízení. Nejdříve hladina vody postupně stoupá do úrovně vnitřní, přepadové trubky v sifonu. Následně se pomocí podtlaku vytvořeného v sifonu vypustí celou nádrž a po dosažení spodní úrovně vnější vnitřní trubky se nasátím vzduchu podtlak, který nádrž vypouští přeruší a nádrž se začne opět zaplavovat. Tyto sifony jsou však značně nestabilní a může často docházet k jejich poruchám, především při zarůstání kořeny rostlin nebo při nadměrném zanešení

kaly. Toto periodické zaplavování vytváří v pěstební nádrži 3 zóny. První, horní vrstva, vysoká cca 5 cm funguje jako ochrana před slunečním zářením a zabraňuje tak nadměrnému růstu řas, přehřátí vody v nádrži a také jako ochrana před nadměrným výparem vody. V druhé vrstvě dochází k periodickému napouštění a vypouštění, takže se střídá suchá a mokrá fáze. V této zóně je největší biomasa kořenů a mikroorganismů. Poskytuje optimální aerobní podmínky pro nitrifikační bakterie a stejně tak zde poskytuje optimální podmínky pro kořeny rostlin a případných dalších mikroorganismů. Třetí, spodní vrstva, která je vysoká cca 5 cm je neustále pod vodou. Při absenci mechanické filtraci se nerozpuštěné látky ukládají právě zde. Pokud je však systém správně vybalancován, tak je možné zde docílit optimální míry mineralizace nerozpuštěných látek díky přítomným bakteriím a mikroorganismům, a převést tak ještě větší množství odpadních látek z chovu ryb k rostlinám (Somerville a kol., 2014; Mráz a kol., 2018).



Obr. č. 5 Media bed systém (Practical Aquaponics, 2022)

Drip

Metoda kapénkové závlahy (anglicky „Dripping system“ příp. „Drip“) je pravděpodobně nejpoužívanější typ systému ve velkých komerčních hydroponiích pěstujících plodovou zeleninu (rajče, paprika a okurka), případně ovoce. V akvaponických systémech se však kapénková závlaha zatím moc nepoužívá, ale do budoucna můžeme čekat jejich větší rozvoj i v akvaponii. Rostliny zakořeňují v různých substrátových kostkách, rukávcích či pytlích a jsou jištěny pomocí konstrukcí či provázků které vedou ke stropu. Jako substrát jsou většinou použity kostky z minerální anorganické vaty (Grodan, Rockwool), případně organická kokosová vlákna, viz obr. č. 6. Do těchto kostek je pomocí hadiček a případných hydroponických zavlažovacích jehel přiváděn živný roztok. Roztok, který rostlina nevyužije, je následně gravitačně sbírán kanály a vrácen zpět, například do retenční nádrže. Velkým problémem u těchto systému v akvaponii je zanášení a zarůstání těchto jehel a substrátových kostek. Je tudíž nutné zařadit dokonalou mechanickou filtraci, která dokáže odseparovat nerozpuštěné látky do takové velikosti, jež by mohly zanášet zavlažovací a kořenovou část. Živný roztok k rostlinám není pouštěn kontinuálně, nýbrž zavlažování probíhá v různých intervalech řízených časovačem na čerpadle. Drip systém tak poskytuje relativně levnou a efektivní variantu pro růst dlouhodobě plodících rostlin. Nicméně vzhledem k malému průtoku vody skrze kořenový systém rostlin, je potřeba do systému zařadit i řídicí jednotku, která bude monitorovat obsah živin, případně konduktivitu tak, aby rostliny měli dostatečné množství potřebných látek.



Obr. č. 6 Drip systém (Goldlocki, 2002)

Aeroponie

Aeroponie jsou nejnovějším typem hydroponických systémů, jež poskytují perfektní prostředí pro růst bylinek a menších rostlin (bazalka, petržel, koriandr). Nicméně stejně jako u drip systémů je jejich zapojení v akvaponii zatím spíše výjimkou, především vzhledem k pořizovací ceně a problematickému zapojení do akvaponie. Aeroponické systémy jsou tvořeny ze dvou částí. Spodní nádrže pro živný roztok, případně i jeho odtok a horní části pro rostliny. Rostliny však nejsou volně ve vodě jako u DWC systému, ale jsou pouze postříkovány živným roztokem pomocí rozprašovacích trysek, viz obr. č 7 (Maucieri a kol., 2019).



Obr. č. 7 Aeroponie (GroAdvisor, 2022)

2.5. Umístění a typy akvaponických farem

U akvaponických farem se setkáváme s dvěma, či třemi hlavními typy různých instalací. Indoor a skleníkové farmy se využívají v komerčním měřítku, kdežto outdoor farmy se využívají především pro menší hobby instalace či pro lokální sezónní produkci, v případě sezónní produkce s lokálním prodejem je však můžeme zařadit mezi komerční farmy. Každá z typů instalací má však své výhody a nevýhody. Ekonomický rozbor je však značně rozdílný především díky různým konstrukčním požadavkům na různé druhy rostlin.

2.5.1. Indoor

Základní rozdíl mezi indoor pěstováním a skleníkem je především v tom, že vnitřní pěstební prostory jsou závislé čistě na umělém světle. Obvykle jsou tyto systémy stavěny v bývalých výrobních prostorech, skladech a podobně. Tyto budovy jsou na rozdíl od skleníků často lépe odizolované od okolního prostředí a je tak možné ovlivňovat veškeré podmínky uvnitř pěstební a chovné části, a zároveň snížit náklady na případné vytápění. Vzhledem k možnosti naprosté, především teplotní, izolace od venkovního prostředí jsou farmy umístěné v indoor prostoru lépe kontrolovatelné vzhledem k prostředí (teplota, cirkulace vzduchu, vlhkost) a především je možné tyto typy farem stavět v extrémních podmínkách, kde jsou teplotní výkyvy větším problémem než světlo. Zároveň také poskytují efektivní obranu před různými škůdci a plísněmi (Graamans a kol., 2018).

Pěstování v těchto uzavřených prostorech je finančně nákladné a celkové náklady na provoz složené ze spotřeby energie na svícení, větrání, klimatizaci a odvlhčovačů často způsobuje, že indoor farmy nejsou v současné době výdělečné. Náklady na svícení jsou podstatně vyšší než náklady na topení. V případě indoor farem naopak může být problém s vysokou teplotou produkovanou právě osvětlením.

Indoor farmy oproti skleníkům s přisvětlením pro prodloužení dne jsou schopny využít i vertikální prostor místnosti a zvýšit tak produkci z jednotky plochy. V případě, že indoor farma využívá i vertikálního prostoru, jsou používány DWC a NFT systémy, ve kterých je nejčastěji produkován jeden typ listové zeleniny, či bylinek. Oproti skleníkům jsou méně efektivní v produkci plodové zeleniny, které nelze vzhledem k jejich velikosti a váze pěstovat v několika úrovních nad sebou (Proksch a kol., 2019).

2.5.2. Skleník

Skleník slouží především k ochraně před vnějšími přírodními vlivy a chrání tak pěstované rostliny. Zároveň umožňuje kontrolovat a optimalizovat vzdušné klima, především teplotu a vlhkost. Možnost ovlivnění těchto parametrů umožňuje manipulaci s podmínkami za cílem dosažení vyšší produkce rostlin (Pokluda a Kobza, 2011). Skleník na rozdíl od vnitřních vertikálních farem není schopný využít víc než jednu horizontální vrstvu, což ho činí méně efektivním při přepočtu na pěstební plochu. Na rozdíl od světla se u celoroční produkce rostlin ve skleníku spotřebuje podstatně větší množství energie na produkci tepla (Eaves a Eaves, 2016). Stěny skleníků neposkytují dostatečnou izolační funkci a v chladném období přes ně uniká velké množství tepla. Důležitým bodem

je porozumění tomu, co skleník opravdu nabízí z možností klimatické kontroly. V případě špatně konstruovaného, špatně navrženého či špatně využitého skleníku se pozitivní efekt na produkci nemusí vůbec projevit a nedosáhne tak své finanční návratnosti. Náklady na skleník jsou sice vysoké, ale v případě skleníku se nedoporučuje šetřit. Například nizozemské hydroponické skleníky s výškou stěny 8 metrů tvořené z dvou – až tří vrstev skla poskytují plnou kontrolu nad prostředím (topení, chlazení, ventilace atd.). Kdežto levné skleníky tvořené většinou z různých přetahů, polykarbonátu, jednoduchých vrstev skla nedokážou tyto důležité funkce poskytnout a nemusí tak být docíleno pozitivního efektu skleníku. Hlavním faktorem pro efektivitu skleníku je především jeho plocha a celkový jeho celkový objem. Obecně platí, že čím je skleník objemově větší a stěny vyšší, tím stabilnější teplotní vlastnosti poskytne (Lennard, 2017).

Skleník ale není optimálním místem pro chov ryb, především z důvodu rychlých změn teploty a přímého světla. V chovu ryb je potřeba mít stabilní teplotu po celý rok, což skleník v žádném případě nezaručuje, proto je lepší kombinace indoor haly, či budovy pro chov ryb se skleníkovou přístavbou pro pěstování rostlin.

2.5.3. Outdoor

Venkovní instalace akvaponického systému v našich zeměpisných podmínkách nejsou vhodné z hlediska komerčních akvaponických farem jako takových. Mohou být využity jako zdroj sezónních plodin např. u restaurací, domovů atd. Takové systémy však nesplňují měřítko komerčních akvaponických systémů, ale spadají spíše do kategorie hobby. I tak ale venkovní instalace mohou být využity u komerčních akvaponických farem s tím, že voda z této části se již nevrátí do uzavřené části z důvodu ochrany vnitřní části před patogeny zvenčí. Problém komerčního měřítka ve venkovních farmách je především neschopnost ovlivnění vnějších podmínek a žádné obrany proti škůdcům.

2.5.4. Kombinace

Kombinovaný design akvaponického systému, kde je hydroponická část umístěna ve skleníku, a chovná část v uzavřené indoor části, je pravděpodobně nejlepším řešením jak z hlediska managementu farmy, tak její ekonomiky. Problémy však mohou nastat při regulaci teplot jednotlivých částech v závislosti na způsobu zapojení akvaponické farmy. Dá se předpokládat, že teplota ve skleníku bude v letních měsících vyšší než v chovné indoor části, naopak v zimních bude nižší. Problém s ohříváním vody nastává především

u NFT systémů, kde se malá vrstva proudící vody snadno a rychle prohřeje. To může teplotním režimem komplikovat chov ryb především v jednosmyčkových systémech kde se těžko ovlivní např. průtok hydroponickou částí, případně uzavření zpětného přítoku z hydroponické části zpět do chovných nádrží. Tento problém je mnohem menší u raftových či instalací s médiem, kde je objem vody vyšší a nemá tak velké teplotní výkyvy. Je však potřeba s těmito vlivy počítat už při samotné výstavbě akvaponického systému a předejít případným komplikacím.

2.6. Management akvaponického systému

2.6.1. Teplota

Teplota je fyzikální parametr, který ovlivňuje celý akvaponický systém. V závislosti na teplotním režimu farmy přistupujeme k výběru rostlin a ryb. Somerville a kol. (2014) udává jako optimální teplotu v akvaponickém systému v rozmezí 18-30 °C. Každý druh ryby i rostliny má však své optimální rozhraní teplot pro svůj maximální růst a efektivní produkci. Tyto teploty může být složité zkombinovat v rovnici ryby-bakterie-rostliny. Teplota pro teplomilné ryby se obvykle pohybuje mezi 22-32 °C a pro studenomilné mezi 12-18 °C. V propojených farmách hraje teplota vody zásadní roli v úspěšnosti celého systému. Největším problémem je příliš velký ohřev vody v letních měsících po průchodu hydroponickou jednotkou a následném vrácení vody zpět do rybochovné části. To způsobuje teplotní výkyvy v průběhu dne a může docházet k nepříznivému vlivu na rybí obsádku (Goddek a kol., 2019). Čím vyšší je teplota vody, tím menší množství rozpuštěného kyslíku ve vodě a zároveň i vyšší toxicita amoniaku.

Rostliny jsou na rozdíl od ryb více tolerantní k náhlým změnám teploty.

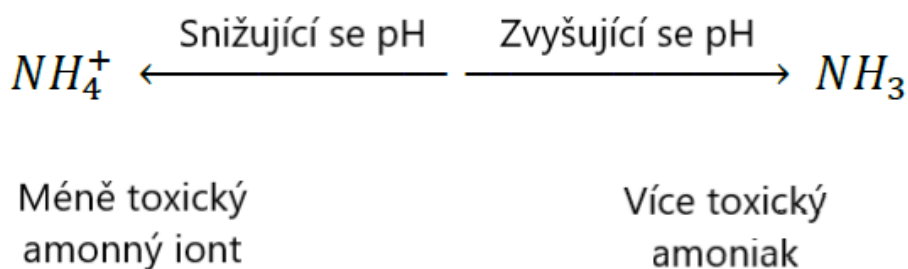
2.6.2. Kyslík

Kyslík je jeden z nejdůležitějších parametrů vody ve všech rybochovných objektech. V akvaponii na něm záleží všechny jeho části: ryby, rostliny a bakterie. Často je však podceňována účinnost vzduchování a přenosu kyslíku do vody. Z toho důvodu je nízký obsah kyslík nejčastějším přímým, či nepřímým důvodem úhynu obsádek v akvakultuře (Lennard, 2012). Rozpustnost kyslíku ve vodě se stoupající teplotou klesá. Je tak důležité dopředu přesně vypočítat potřebu kyslíku při maximální možné teplotě s ohledem na maximální velikost obsádky ryb a chovaném druhu ryby. Optimální obsah kyslíku v celém akvaponickém systému by neměl být pod 5mg.l⁻¹ a jeho optimální hodnoty jsou

okolo 8 mg. l⁻¹ (Somerville a kol., 2014). Nicméně je potřeba také zohlednit jaký druh ryby je chován. Tilápie, sumeček a třeba kapr jsou schopni tolerovat nižší obsah kyslíku, nicméně by neměl klesnout pod 3 mg. l⁻¹ především díky ztrátě účinnosti nitrifikačních bakterií. V komerčních systémech by měl být zajištěn kontinuální monitoring rozpuštěného kyslíku, aby bylo možné rychle zareagovat na případné poruchy vzduchování, případně na zhoršenou kvalitu vody.

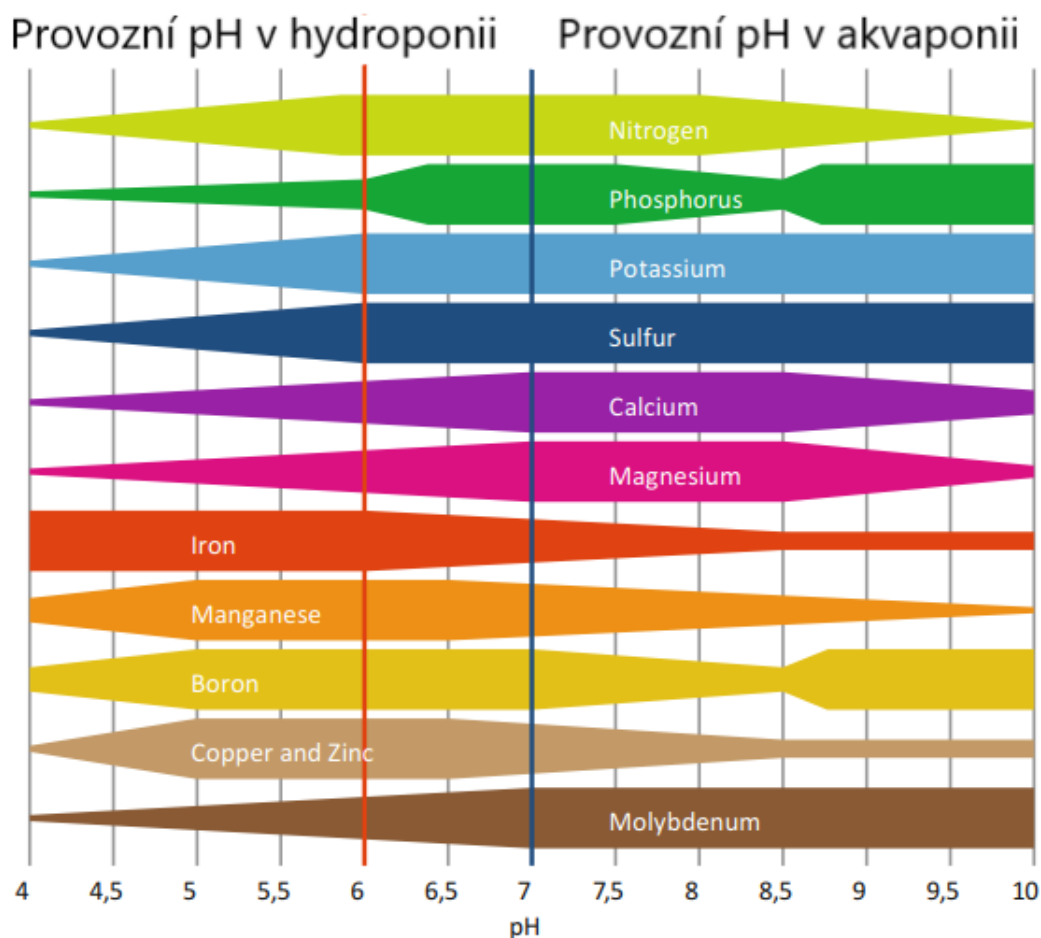
2.6.3. pH

Hodnota pH je dalším důležitým parametrem, který by ve velkých akvaponiích měl být monitorován konstantně. Kyselost, či zásaditost vody přímo ovlivňuje její vlastnosti (obr. č. 8), především poměr méně toxického amonného iontu (NH₄⁺) a více toxického NH₃ (Pitter, 2009).



Obr. č. 8 Toxicita amoniaku v závislosti na pH vody (upraveno dle Thorarinsdottir, 2015)

Optimální pH je však rozdílné pro jednotlivé složky akvaponie. Pro chov ryb se optimální hodnota pH pohybuje v rozmezí 7-7,5 (Kouřil a kol., 2008; Pokorný a kol., 1998). Optimální hodnota pro nejvyšší efektivitu nitrifikačních bakterií je 6–8,5. Hodnota optimální pH pro biofiltr bývá o něco vyšší než pro chov ryb (Somerville a kol., 2014). Problém s pH však nastává v hydroponické části, kde se optimální hladiny pro většinu rostlin pohybují mezi 6-7, často i méně. Vyšší hodnoty pH inhibují vstřebávání některých živin viz obr. č. 9 (Resh, 2016).



Obr. č. 9 Dostupnost jednotlivých živin v závislosti na pH s vyznačením provozních pH hydroponie a akvaponie (Upraveno dle Goddek a Lennard., 2019)

2.6.4. Zdroj vody

Voda je klíčovým prvkem všech akvaponických systémů, je sdílena mezi všemi komponenty a je tak nutné znát kvalitu čerstvé vody, která do systému vstupuje. Obsah vstupních živin, minerálů, organických a chemických látek stanovuje výchozí pozici pro kalkulaci toho, co bude následně potřeba do vody přidáno v několika možných vstupech. Hlavním vstupem látek do akvaponických systémů je krmivo, úprava pH a přídavná hnojiva. Klasická krmiva pro chov ryb jsou vyráběna pro zajištění všech potřebných látek pro růst ryb, ale složení živin neodpovídá požadavku rostlin na optimální složení živin (Rakocy a kol., 2006). Z toho důvodu akvaponické systémy, které jsou závislé na přístupu živin pouze z rybího krmiva, mají často dobrou produkci ryb, ale málokdy funkční a efektivní produkci rostlin. Z důvodu nedostatečných živin pro rostliny v rybím krmivu je potřeba do vody přidávat potřebné látky (Lennard, 2017; Rakocy a kol., 2006). Nejčastěji chybějícími prvky jsou vápník (Ca), draslík (K) a železo (Fe). Vlastnosti průtokové vody

mohou být i negativní pro akvaponický systém, hlavně kvůli možnému vyššímu obsahu sodíkových iontů (Na^+), který se v systému může nadále kumulovat. Sodík působí problémy rostlin s příjmem draslíku, který ovlivňuje aktivitu enzymů (Mořková a kol., 2014). Ze všech těchto důvodů je důležité znát parametry využívané přítokové vody v akvaponickém systému. Lennard (2017) a Rakocy a kol. (2004) uvádí jako nejlepší a nejbezpečnější zdroj vody dešťovou, případně vodu předem upravenou (např. reversní osmózou). Dalšími zdroji mohou být spodní vody nebo často využívaná voda z řádu. Spodní vody často obsahují vysoké množství látek, které nebudou rostliny schopny využít, nebo případně látky které v systému nejsou vůbec potřeba a jejich kumulací můžeme celý systém ohrozit. U kohoutkové vody je potřeba hlídat koncentrace látek, které se do vody přidávají za účelem její sterilizace (chlor, chlornan sodný, oxid chloričitý a chloramin).

2.6.5. Kontrola klimatických podmínek v hydroponické části

Teplota a vlhkost

Skleník i indoor farmy často bojují s vysokými teplotami, skleník mimo zimní sezónu, indoor farmy po celý rok. Vysoké teploty mohou být pro rostliny škodlivé, především v období, kdy rostliny nemají dostatek světla. Způsobují problémy jako tenké stonky, zmenšení květu, zpoždění kvetení nebo špatnou násadu plodů.

Světlo

Světlo je jedna z nejdražších a nejdůležitějších položek provozu akvaponického, či hydroponického systému. Světlo působí prostřednictvím specifických fotoreceptorů (fytochromy, kryptochromy, fototropiny a UVR8) citlivých na různé vlnové délky světla a ovlivňuje fyziologické a chemické procesy v rostlinách (Ouzonis a kol., 2015). Největšího významu světlo nabývá především v uzavřených indoor farmách bez vstupu slunečního svitu, nicméně v našich zeměpisných podmínkách je pro zajištění dostatečného světla potřeba používat dosvit i ve skleníkových farmách v závislosti na ročním období, případně i v sezónních dnech kdy je zataženo.

Dnes se běžně využívají 2 druhy světél s podkategoriemi:

HID (*high intensity discharge*) světla jsou typy žárovek, které jsou hermeticky uzavřené a naplněné plynem, který při vznícení vytváří světlo. HID světla se dále dělí

v závislosti na použitém plynu na HPS (*high pressure sodium*) vysokotlaká sodíková a MH neboli halogenidová. Každá z těchto žárovek má však různé využití vzhledem k rozdílnému spektru světla. HPS žárovky mají červenou a oranžovou barvu světla a jsou tak vhodné pro kvetoucí fázi růstu, kdežto MH má spektrum převážně modré a hodí se tak pro vegetační fázi růstu (Resh, 2016). HPS světla jsou stále používána extenzivně ve sklenících především díky jejich ceně. Bohužel ve většině případů ani kombinace těchto dvou typů HPS lamp neprodukuje vhodné spektrum světla a jejich využití v indoor farmách je malé. Další nevýhodou těchto světel je nadměrná produkce tepla a tím vysokou energetickou náročností. Jsou vhodné pro prodloužení denního režimu ve sklenících (Lennard, 2017).

LED (*Light emitting diodes*) svítidla využívají přímo elektrickou energii přetvořenou na světlo v různém spektru barev a vlnových délek. V posledních letech se tento druh světel rozvinul a na trhu začíná dominovat hlavně kvůli lepší efektivitě (množství produkovaného světla/spotřeba elektrické energie) ve srovnání s jinými typy osvětlení. LED diody jsou zároveň schopny lépe směřovat světlo přímo na rostliny a produkovat méně nevyužitého světla emitovaného do okolního prostředí. LED světla se prodávají v rozmezí vlnových délek 200-4000 nm a je tak snadné vybrat vhodný typ pro zvolenou rostlinu, případně její vývojovou fázi. To je hlavní výhoda LED světel, protože pokud známe optimální světelnou frekvenci pro pěstovanou rostlinu, můžeme cíleně svítit jen spektrem světla, které daná rostlina potřebuje a ušetřit tím na energii. Pořizovací cena LED osvětlení je vysoká, ale spotřeba energie nižší (Davis a Burns., 2016).

Skleník

Skleník po dobu letního a slunečního období poskytuje dostatečné množství propuštěného světla. To ovšem neplatí pro dny, kdy je zataženo a pro období, kdy se zkracuje délka světelné části dne je potřebné umělými světly prodloužit dobu svitu. Nicméně ve skleníku je ekonomická zátěž na světlo podstatně nižší než u indoor farem, kde je veškeré potřebné světlo dodáváno díky elektrické energii.

Při zataženém počasí, či nedostatku denního světla, se plodové zelenině (rajče) nevytváří dostatečné množství cukru v listech a listy postupně žloutnou, neplodí a nerostou. Stejně tak při nedostatku světla může být problém nadbytek dusíku, který může rostlinu poškodit (Resh, 2016).

Ventilace

Ventilace v pěstebních částech je často podceňovaná a nedostatečná ventilace může způsobovat velké problémy. Rostliny ze svého bezprostředního okolí přes den přijímají CO₂ pro fotosyntézu a pro její správnou funkci je potřeba poskytnout jeho dostatečné množství. Pokud je ventilace a proud vzduchu v okolí rostlin nedostatečný, dochází k snížené účinnosti fotosyntézy a jejich růst se zpomaluje. Dalším efektem nedostatečné ventilace v okolí rostlin při jejich transpiraci je zvyšování vlhkosti vzduchu, která může způsobovat větší riziko houbových a plísňových nemocí rostlin.

Nejlevnějším řešením ve skleníku je pasivní ventilace díky zvýšené teplotě vzduchu ve skleníku. Pasivní ventilace je řešena ventilátory umístěnými ve spodních částech skleníku pro přívod čerstvého vzduchu, kdežto pro odvod teplého vzduchu je ventilace řešena střešními otvory či okny. V chladném podnebí, či mimo letní systému je potřeba zapojit aktivní ventilaci, jelikož pasivní ventilace přestává být natolik efektivní (díky poklesu teplot, snížení slunečné aktivity a snížením rozdílů mezi venkovním prostředím a vnitřním).

2.7. Kalkulace komerčních farem

2.7.1. Kalkulace obsádky a spotřeby krmiva

Kalkulace obsádky a spotřeby krmiva je důležitou věcí pro správné fungování především propojených systémů. V propojených systémech je důležité, aby se voda po průchodu hydroponickou částí vracela zpět k rybám s co nejmenším obsahem především dusičnanů. Proto je potřeba správně propočítat obsádky tak, aby daná obsádka produkovala optimální množství rozpuštěných látek. V případě velkého množství rozpuštěných látek, a malého množství rostlin, se budou hodnoty neustále zvyšovat a časem bude nutné vodu bohatou na dusičnany vypouštět pryč ze systému stejně tak, jako je to běžné v RAS systémech. V případě malého množství rozpuštěných látek nebudou mít rostliny dostatek látek pro svůj růst.

Hustota obsádky ryb je počítána v kg.m⁻³ vody a je mezidruhově hodně variabilní viz. tab. č.1 s nejčastějšími druhy ryb v akvaponických systémech.

Tab. č. 1 Nejčastěji chované ryby v akvaponických systémech

	Max. hustota obsádky (kg.m ⁻³)	Min. tržní velikost (g)	Doba chovu (měsíce)
Sumeček africký	250 – 400	700	6-8
Tilápie nilská	60 - 120	300	4-6
Pstruh duhový	50 - 90	250-300	5-7

Pro následující výpočty použijeme příklad s cílem produkce 1 tuny pstruha duhového o tržní velikosti 350 g za 10 měsíců. Finální obsádka bude cca 2 500 ks ryb. Pro přesnější výpočet můžeme započítat i úmrtnost ve výši 5 % a tudíž je potřeba 2 625 ks ryb jako nasadového materiálu. Pro kalkulaci obsádky a spotřeby krmiva použijeme hodnotu hustoty obsádky 50 kg.m³. Pro násadu použijeme ryby o velikosti 20 g a počáteční biomasa celé obsádky tak činí: $2\,625 \times 20 / 1000 = 52,5$ kg.

DKD (denní krmná dávka) bude z počátku vyšší, okolo 5 % což při počáteční biomase bude 2, 625 kg krmiva za den. Hodnota DKD bude v průběhu chovu klesat a konečná hodnota bude 2 % s klesajícím DKD a růstem ryb se však zvyšuje celkové množství spotřebovaného krmiva. To znamená že při koncové produkci jedné tuny bude DKD činit 20 kg krmiva za den. Při použití kvalitního krmiva se v chovu pstruha duhového běžně dosahuje hodnoty FCR (*Feed conversion ratio*) okolo 1. Celkově tak tedy budeme zvyšovat biomasu z počátečních 52,5 kg na 1000 kg – přírůstek biomasy o 947,5 kg. Při hodnotě FCR 1 tak spotřebujeme 947,5 kg krmiva v průběhu desetiměsíčního odchovu do tržní velikosti.

2.7.2. Kalkulace potřeby chovného objemu

V případě pstruha duhového, kde je počítáno s hustotou obsádky 50 kg.m³ a finální obsádkou 1000 kg, bude potřeba celkem 20 m³ využitelného prostoru pro chov ryb bez započítání ostatních částí systému.

2.7.3. Kalkulace průtoků

Kalkulace v průtoku rybí částí je ovlivněna především hustotou chovaných ryb. Pro nižší obsádky do 15 kg.m³ je doporučená výměna celé nádrže jednou za 2 hodiny. Pro obsádky do 50 kg.m³ je doporučená výměna vody jednou za hodinu a pro vyšší hustoty od 50 kg.m³ dvakrát za hodinu. Výměna vody však záleží nejen na hustotě, ale i na druhu chované ryby a jejích specifických požadavcích.

Při výběru čerpadla je důležité brát v potaz to, do jaké výšky potřebujeme vodu dostat. Výrobce většinou udává maximální výšku, do které lze čerpat, nicméně s rostoucí výškou rapidně klesá výkon čerpadla.

Pro příklad se pstruhem duhovým budeme počítat s objemem nádrží 5 000 l, při cílové biomase 1 000 kg a hustotě 50 kg.m³ bude potřeba celkový objem vody v nádrží 20 m³. Při objemu nádrží 5 m³ tak budou potřeba 4 nádrže.

Příkladová farma bude v horizontální rovině a maximální čerpaná výška h bude ve výšce 1,5 metru. Aby se voda v nádržím vyměnila 1x za hodinu, bude potřeba minimální výkon ponorných čerpadel 20 000 litrů vody za hodinu. Budeme počítat s 10% rezervou pro případ ztráty výkonu třením. V této kategorii se na trhu vyskytuje spousta výrobců, jejichž čerpadla poskytují dostatečný výkon pro tuto potřebu.

2.7.4. Kalkulace mechanické filtrace

Rybí metabolity představují cca 25 % z celkové hmotnosti přijatého krmiva (Somerville a kol., 2014). Při maximální možné obsádce jedné tuny a koncovém DKD 2 % bude denní přísun 20 kg ze kterého vznikne 50 kg nerozpuštěných látek. Pro určení správné velikosti mechanické filtrace je potřeba znát průtok vody systémem, v našem případě se pstruhem je to 20 m³.hod⁻¹. V případě bubnového filtru je potřeba počítat s větší rezervou alespoň dvojnásobku potřebného průtoku, pro ukázkový systém tak bude třeba bubnový filtr s průtokem 40 m³.hod⁻¹.

2.7.5. Kalkulace vzduchování

Pro příklad: V nádrži o objemu 3000 l je celková obsádka o hmotnosti 150 kg. DKD této obsádky činí 1,5 % z celkové hmotnosti což činí 2250 g krmiva.den⁻¹. Pro výpočet budeme počítat potřebu dodávky 1 kg na 1 kg spotřebovaného krmiva. V normálním vzduchu je obsaženo 21 % čistého O₂. 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 .

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

Po úpravě vzorce můžeme vypočítat potřebný výkon vzduchovacího zařízení v závislosti na potřebě dodávky O_2 do vody.

$$\text{Potřebný výkon} = \frac{\text{Potřeba } O_2}{\text{hm. vzduchu} \times \text{hm. obsah } O_2 \times SOTE \times \text{hloubka} \times FTE \times \text{čas}}$$

Potřebný výkon	X m ³ .min ⁻¹
Potřeba kyslíku	kg O ₂ .hod ⁻¹
Hmotnost vzduchu	1,2 kg.m ³
Obsah O ₂ ve vzduchu	0,23 kg O ₂ .kg ⁻¹ vzduchu
SOTE	Standart Oxygen Transfer Efficiency
Hloubka	[m]
FTE	0,5 (50% efektivita přenosu)
Čas	[min]

2.7.6. Poměr rostlin a krmiva

Poměr množství rostlin vůči spotřebovanému krmivu je důležitým parametrem především v jednosmyčkových systémech. V jednosmyčkových systémech je potřeba volit správný poměr z toho důvodu, že voda po průchodu hydroponickou částí se vrací zpět k rybám. V případě, že rostliny neodčerpají dostatečné množství živin z vody hrozí, že se živiny začnou v systému kumulovat a způsobovat problémy v chovné, tak i pěstební části. V případě, kdy je naopak v systému více rostlin, než by bylo vhodné, dochází k deficitu živin a pomalejšímu růstu. Ve vícesmyčkových systémech je potřeba správného poměru menší nebo žádná, protože po průchodu hydroponickou částí se voda vracet k rybám nemusí (Lennard, 2017; Goddek a kol., 2019).

Při kalkulaci poměru je vstupním parametrem spotřebované množství krmiva. Rakocy a kol. (2006) uvádí, že na 1 m² pěstební plochy připadá 60–100g krmiva pro DWC. Lennard a Leonard (2006) uvádí optimálně 45–75 g krmiva pro Media bed a NFT systémy.

Při použití předchozího případu v kapitole 2.7.1 a maximální DKD denně 25 kg, bude potřeba $1 \times 25\,000/100 = 250\text{ m}^2$ pěstební plochy. Při produkci 25 ks.m^{-2} salátů za měsíc, je možné na této ploše vyprodukovat $6\,250 \times 12 = 75\,000$ ks salátů ročně.

2.7.7. Kalkulace mineralizační jednotky

Pro výpočet potřeby objemu mineralizační jednotky předpokládáme, že v místě budou optimální podmínky pro mineralizaci. Mineralizace probíhá nejefektivněji při teplotách nad $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, při 100 % nasycení vody kyslíkem a ve vodě s méně než $3\,000\text{ mg.l}^{-1}$ nerozpuštěných látek. V takovém případě trvá mineralizace okolo 30 dní.

Pro kalkulaci objemu mineralizační jednotky je potřeba znát hodnotu denního přísunu vody s nerozpuštěnými látkami z chovné části. V případě že denní přísun bude 1000 l, bude potřeba mineralizačních nádrží o objemu 30 m^3 (30 dní $\times$ 1 000 l). Je možné taky využít pravidlo kde platí, že na 2 kg spotřebovaného krmiva.den⁻¹ je potřeba objem 1 000 l (Lennard, 2017).

2.7.1. Kalkulace ceny svícení

Pro kalkulaci spotřeby energie je potřeba znát výkon a dosah světél udávaný v m² a potřebnou dobu osvětlení pro pěstovaný druh rostlin.

Pro příklad cenové náročnosti svícení použijeme jako modelový případ osvětlení s LED na plochu ve skleníku a indoor o velikosti čisté pěstební plochy 1000 m^2 pro produkci salátů a listové zeleniny při použití raftových hydroponických systémů. V raftovém systému je možné na 1 m^2 vypěstovat 25 kusů salátů / 30 dní. Celková produkce tak činí $1000 \times 25 = 25\,000$ ks salátů za 30 dní, 300 000 ks za rok. Jedno z nejčastěji používaných hydroponických světél Spider Farmer SE 7000 poskytuje osvětlení pro plochu $2,32\text{ m}^2$ s výkonem 730 W. Pro farmu tak bude potřeba 431 kusů těchto světél a celkový výkon bude představovat 314 kWh. V indoor farmách je optimální světelný režim pro saláty 10-12 hodin. Při délce 11 hodin denně bude roční spotřeba energie na svícení 1 260 710 kWh. S cenou jedné kWh 5,- bude celková roční cena za provoz osvětlení 6 303 550,-. Při roční produkci 300 000 salátů tak bude náklad ve formě svícení na jeden salát 21,-.

3. Materiál a metodika

3.1. Akvaponické farmy v ČR

V rámci diplomové práce byl vypracován seznam a základní, veřejně dostupný popis současných akvaponických farem na území České republiky. K vyhledání akvaponických farem bylo použito internetových vyhledávačů s využitím klíčových slov „Akvaponický systém“, „Komerční akvaponický systém“, „Akvaponie v ČR“. Využito bylo také několik článků v médiích a osobních kontaktů. Cílem bylo nalézt všechny akvaponické farmy, které splňují měřítko komerčního systému, především jejich velikostí ale také finančním ziskem jako jedním z hlavních cílů.

Pro zjištění bližších informací byl posílán jednatelům či majitelům farem internetovou korespondencí dotazník dotazující se na detailnější informace, viz. tab. č. 2

Tab. č. 2 Farmám posílaný dotazník

Dotazovaný parametr	Jednotka
Objem chovných nádrží	(m ³)
Druh chovaných ryb	druh
Počet chovných nádrží	ks
Objem retenční nádrže v RAS	(m ³)
Objem biologického filtru	(m ³)
Typ mechanického filtru	
Výměna vody v nádrži	x objemu vody za 1 hod
Umístění chovné části	(indoor, outdoor nebo skleník)
Produkce pěstovaných rostlin	kg.rok ⁻¹ , případně ks.rok ⁻¹
Druh pěstovaných rostlin	
Typ hydroponického záhonu	NFT, DWC nebo Media bed
Umístění hydroponického systému	(indoor, outdoor nebo skleník)
Maximální (plánovaná) produkce chovaných ryb	kg.rok ⁻¹

3.2. Akvaponická farma Řisuty

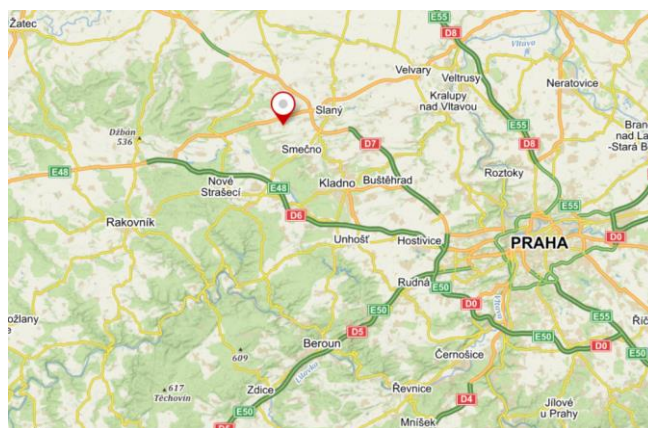
V další části byla detailně popsána akvaponická farma v Řisutech, která je z velké části stavěna stejným způsobem jako několik dalších akvaponických farem v České republice. Byly nalezeny kritické body původního systému, navrženo vylepšení a ve spolupráci s firmou Aerolux s.r.o. byla přestavěna. Tato přestavba může pomoci i ostatním farmám které jsou stavěné ze stejných komponentů a mají stejné problémy k zajištění finanční návratnosti těchto farem.

Akvaponická farma Aquaponic park s.r.o. v Řisutech nedaleko Slaného byla postavena v roce 2018 firmou Aquaponické Farmy s.r.o. Tento akvaponický systém je umístěn v bývalé skladovací, uzavřené hale bez přístupu vnějšího světla (Obr. č. 10 a 12). Hlavním chovaným druhem ryb je pstruh duhový a v menší míře je zde zastoupen i chov násadových jeseterů. Plánovaná původní roční produkce však nekoresponduje s reálnou produkcí ryb a ani rostlin.

V první fázi optimalizace akvaponické haly v Řisutech bylo zmonitorováno celkové rozložení haly (Obr. č 13), zdroje vody a elektřiny a následně proběhl monitoring současných parametrů, jež jsou kritické pro celkový chod systému. Proběhlo měření výměny vody v chovných nádržích a posouzení jejich samočistící schopnosti. Byla zjištěna vzduchovací kapacita všech kompresorů, proběhla kontrola mechanické a biologické filtrace, zda je kapacitně správně dimenzována a byl celkově posouzen stav této farmy. Na základě prvotních dat byly vytipovány limitující části tohoto systému a bylo komplexně zhodnoceno, že pro správnou optimalizaci bude potřeba systém rozpojit a vytvořit dvousmyčkový systém. Na základě zjištěných nedostatků byly navrženy úpravy původního systému, které byly následně provedeny v rámci jednoho ze systémů. Po provedených změnách byl systém zaběhnut a byla posouzena jeho celková funkčnost, navrženy další možné úpravy pro vylepšení. Po celkovém dokončení přestavby jednoho systému byl následně experimentálně porovnán v chodu s jedním z původních systémů, kde byly především sledovány produkční vlastnosti systémů (produkce ryb, kvalita vody). V průběhu experimentu byly sbírány data o rozdílech v chodu systémů a následně v poslední fázi byly vyhodnoceny produkční přínosy optimalizací.



Obr. č. 10 Hala s akvapponickým systémem v Řisutech

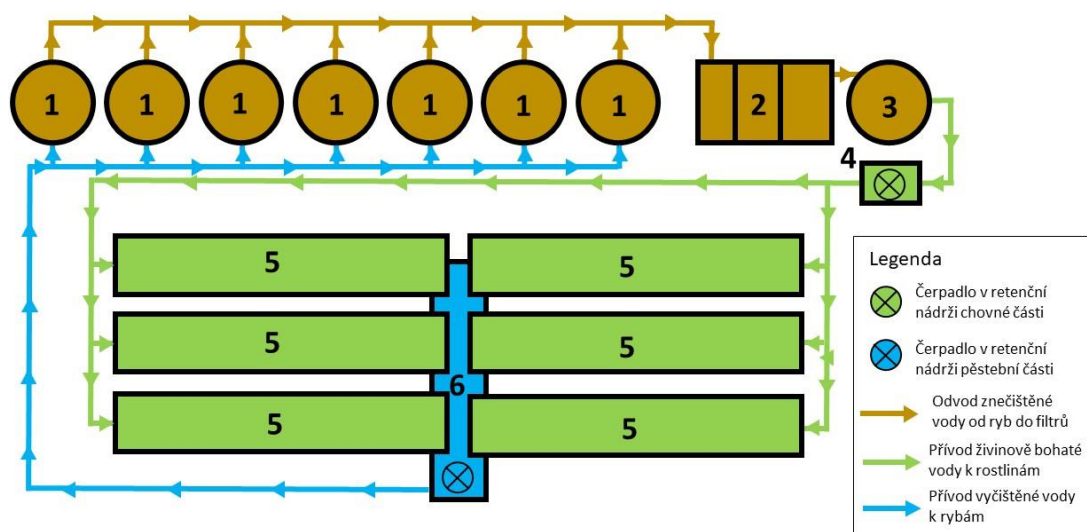


Obr. č. 11 Lokalizace akvapponické farmy v Řisutech (Google Maps, 2022)



Obr. č. 12 Vnitřní část akvapponické farmy v Řisutech (vlastní foto)

3.3. Technický stav původního systému



Obr. č. 13 Schéma původního systému akvaponické farmy v Řisutech, kde 1-chovné nádrže, 2-filtrace hrubých nečistot s rašlovými pytlí a kartáči, 3-filtr Nexus, 4-retenční nádrž s čerpadlem v chovné části, 5-pěstební záhony, 6-retenční nádrž s čerpadlem v pěstební části

3.3.1. Chovná část

Původní akvaponický systém byl složen ze čtyř samostatných, jednosmyčkových systémů a hydroponickou jednotkou tvořenou raftovými systémy. Každý z těchto systémů obsahoval sedm chovných kruhových nádrží o průměru 1,9 m, výškou hrany 1,2 m a výškou vodního sloupce 1 m s celkovým objemem 2 800 l viz obr. č. 14. Celková kapacita jednoho systému pro chov ryb tak činila 19,6 m³ a celkový rybochovný objem farmy byl 78,4 m³. Vzduchování pro celý systém bylo zajištěno jedním vzduchovacím kompresorem (Hailea ACO-500) o výkonu 275 l.min⁻¹. Pro každý systém byl také instalován průtokový ohříváč od firmy Aqua Forte s výkonem 3000 W s maximálním průtokem 20 m³.hod⁻¹.

Každý systém měl vlastní filtraci, která byla umístěna v oddělené místnosti od hlavního prostoru (obr č. 15). Voda po průtoku filtračním zařízením následně odtéká přepadá do retenční nádrže s rozměrem 100x50x60 cm s objemem cca 0,28 m³. V retenční nádrži je umístěno čerpadlo DM-22000 S Vario od firmy Aquaforte s maximálním výkonem 200 W, zajišťující pohyb vody směrem do hydroponické části umístěné na druhé straně haly.



Obr. č. 14 Chovná část původního systému (vlastní foto)



Obr. č. 15 Místnost s původní mechanickou a biologickou filtrací (vlastní foto)

3.3.2. Pěstební část

Pěstební část v Řisutech je situována ve stejné, uzavřené a světlu nepřístupné hale jako část chovná. Využíváno je Raft systémů, které jsou uspořádány vertikálně ve třech patrech (obr. č. 16). Rozměry jednoho hydroponického žlabu jsou 470x115x10,5, s objemem 560 l a s kapacitou 228 pěstebních míst pro rostliny. Osvětlení je řešeno 10W LED pásky a na každý jeden hydroponický žlab je jich umístěno 54 ks s celkovou spotřebou 540 W pro jeden pěstební žlab. Vzduchování hydroponických žlabů bylo zajištěno vzduchovacím kompresorem Hailea ACO-009E o výkonu $140 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Na jeden chovný systém připadá celkem 18 pěstebních záhonů s celkovým objemem $10,2 \text{ m}^3$ vody a jednou retenční nádrží o objemu $0,26 \text{ m}^3$ s umístěným čerpadlem DM-22000 S Vario.

Voda do hydroponické části haly je čerpána z retenční nádrže umístěné za filtračním zařízením, přes celou halu do hydroponických raftů, kde gravitačně proudí až do hydroponické retenční nádrže, ze které je následně čerpána do chovné části přes průtokový ohřívač. Celkem se tedy v hale nachází 72 pěstebních hydroponických žlabů.



Obr. č. 16 Pěstební část (vlastní foto)

3.4. Popis experimentu

V rámci experimentu pro porovnání původního a optimalizovaného systému byly sledovány fyzikálně-chemické vlastnosti vody, produkce kalů ze systému, spotřeba vody a produkční parametry. V počátku experimentu bylo rozhodnuto o nepoužívání průtokových ohřívačů, u kterých byla v obou systémech značná tepelná ztráta, u původního systému, v důsledku větší denní výměny vody, byla ztráta ještě vyšší.

Experiment byl rozdělen do dvou etap. První etapa probíhala od 1 do 76 dne. V první etapě byla zvolena nízká krmná dávka pro nižší FCR z důvodu nezkušenosti s provozem daného systému. V druhé etapě, která trvala 80 dní již byla krmná dávka vyšší.

3.4.1. Ryby v experimentu

V rámci experimentu byl použit pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*), vzhledem k tomu, že se akvaponická farma orientuje především na chov právě pstruha. Do obou testovaných systémů bylo nasazeno po 2000 ks ryb s ohledem na to, aby případná finální obsádka tržního pstruha (300–400 g) v chovných nádržích byla okolo 50 kg.m³. Celková biomasa na konci cyklu by měla činit 600-800 kg ryb v jednom systému. Ryby byly krmeny krmivem *Supreme 21* od firmy Coppens. V počátku experimentu (do 76. dne) byly ryby krmeny pouze poloviční DKD uvedené výrobcem.

3.4.2. Měření parametry a použité přístroje

Pro porovnání vlastností původního a optimalizovaného systému byly každodenně měřeny a zaznamenávány fyzikálně-chemické vlastnosti vody – teplota, obsah rozpuštěného kyslíku, nasycení kyslíkem, pH a EC pomocí multimetrů Milwaukee MW802 a Voltcraft DO-101. Dvakrát týdně pak byl měřen obsah jednotlivých forem dusíku (NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N) pomocí spektrofotometru HI 83200.

3.4.3. Porovnání schopnosti biologické filtrace

Při výpočtu pro porovnání schopnosti odbourání amoniaku mezi jednotlivými systémy byl použit vzorec:

$$X = \text{spec.povrch} \times \text{množství elementů} \times \text{schopnost odbourání amoniaku}$$

Kde specifický povrch biofiltračních elementů činil 750 m² na m³ a schopnost odbourání amoniaku 0,57 g.m².den.

Následně byla kapacita odbourání amoniaku daným biofiltrem porovnána s produkcí amoniaku daného systému při maximální biomase s krmnou dávkou 2 % a maximální hustotou obsádky 50 kg.m³. Odchovný prostor činil v původním 19,6 m³ a optimalizovaném 15 m³.

3.4.4. Produkce kalů

Produkce kalů byla měřena na začátku a na konci etap vždy po 24 hodinách jejich usazování ve filtrech. V optimalizovaném systému byly kaly odebírány z radiálního filtru, v původním systému byly kaly odebrány z filtru hrubých nečistot. Obsah ve filtrech byl promíchán a odebrán vzorek pro objemové stanovení pomocí sedimentačního válce

podle Imhoffa. Stanovení sušiny proběhlo vysušením vzorku při 105 C° dokud váha vzorku nebyla konstantní. Z výsledků byla následně vypočítána produkce kalů v jednotlivých systémech v jednom produkčním cyklu.

3.4.5. Spotřeba vody

Spotřeba vody byla, stejně jako kaly, měřena na začátku a na konci etapy experimentu. Následně byla dopočítána celková spotřeba vody v průběhu jednoho produkčního cyklu.

3.4.6. Produkční vlastnosti chovné části

Pro porovnání produkčních vlastností původního a optimalizovaného systému byla hodnocena hmotnost ryb, specifická rychlost růstu (SGR) a konverze krmiva (FCR). V první etapě, do 76. dne, byla zvolena nízká krmná dávka (dle poskytnutého formuláře výrobcem krmiva) z důvodu nezkušenosti s konkrétním systémem a možnými problémy při prvním zprovoznění optimalizovaného systému. Ve druhé fázi experimentu, který trval 80 dní, byla již zvolena vyšší krmná dávka pro optimální růst. Experiment byl dokončen po dosažení kusové hmotnosti 350 g.

$$FCR = \frac{F}{(W_t - W_0)}$$

F.....spotřeba krmiva za sledované období [kg]

W_t.....hmotnost obsádky na konci sledovaného období [kg]

W₀.....hmotnost obsádky na začátku sledovaného období [kg]

$$SGR = \frac{100 \times (\ln W_t - \ln W_0)}{T-1}$$

W_t hmotnost obsádky na konci sledovaného období [kg]

W₀ hmotnost obsádky na začátku sledovaného období [kg]

T interval sledovaného období [dny]

3.4.7. Produkční vlastnosti a živinové složení vody v pěstební části

Po kompletním zaběhnutí optimalizovaného systému, včetně mineralizačních jednotek, byly dvakrát měsíčně odesílány vzorky vody na rozbor kompletního živinového složení – N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo, Na. Pěstební nádrže byly osazeny

celkem 3 960 kusy sazenic salátů odrůdy Bremex. Do pěstební části původního systému byla zasazena polovina v rašelinových tabletách (jiffech) jež doporučil dodavatel systému. Do pěstební části v optimalizovaném systému byly sazenice vysazeny v sadbovacích kostkách Grodan, který je běžně využívanou součástí hydroponických farem. V optimalizovaném systému, který je dvousmyčkový a voda se zpět nevrací k rybám, bylo využito komerčních hydroponických hnojiv pro dosažení optimálních nutričních požadavků pro salát dle Resh (2016). Osvětlení pěstebních žlabů bylo zajištěno původními led pásy s výkonem 540 W, pro jeden pěstební žlab s fotoperiodou 8 hodin světlo a 16 hodin tma. Saláty zde byly po dobu dvou měsíců a na konci bylo 50ks z každého systému zváženo.

3.4.8. Statistické hodnocení a grafické porovnání

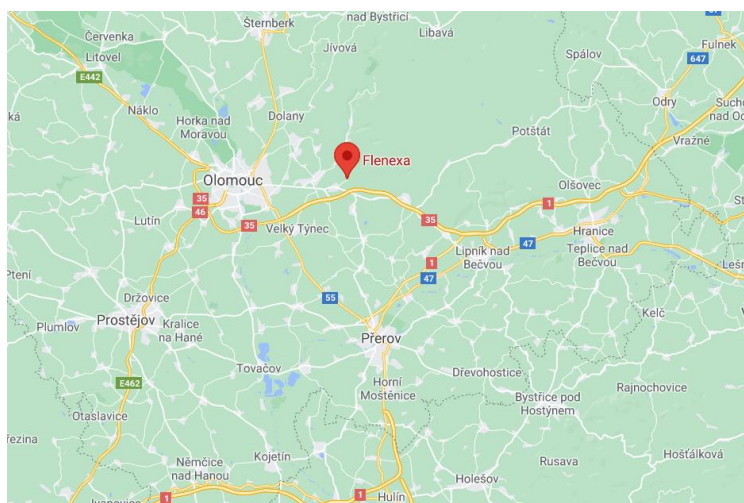
Ke grafickému znázornění byl použit Microsoft Excel. Pro statistické porovnání byl z dat vypočítán průměr a směrodatná odchylka. Rozdíly mezi skupinami byly zhodnoceny v softwaru Statistica 12 pomocí dvouvýběrového t-testu. Rozdíly byly zhodnoceny jako statisticky signifikantní na úrovni $p < 0,05$.

4. Výsledky

4.1. Akvaponické farmy

4.1.1. Akvaponická farma Flenexa

Akvaponická farma Flenexa je lokalizována nedaleko Olomouce v bývalém vojenském objektu v Přáslavicích. Na svých stránkách udává, že je nejdéle kontinuálně fungující akvaponickou farmou v České republice. Hlavní chovanou rybou je pstruh a jeseter s roční produkcí 1 500 kg. Chovná část je složena ze čtyř nádrží s objemem 3 m³, s vortexovou mechanickou filtrací. Pěstební část je zaměřena hlavně na saláty a bylinky, plocha pro pěstování rostlin je 160 m² s maximální měsíční produkcí 4000 ks rostlin. Využito je NFT a raftového systému. Pěstební část je rozdělena na indoor a sezónní outdoor produkci. Firma Flenexa se zabývá i prodejem akvaponických farem a v současné době má v nabídce tři různě velké farmy. Zároveň pořádá různé kurzy pro zájemce o problematiku akvaponických systémů. Veškeré zjištěné informace jsou v tab. č. 3.



Obr. č. 17 Lokalizace akvaponické farmy Flenexa (Google Maps, 2022)

Tab. č. 3 Zjištěné informace o akvaponické farmě firmy Flenexa plus s.r.o.

Maximální produkce chovaných ryb	1 500 kg
Druh chovaných ryb	Pstruh a jeseter
Produkce rostlin	48 000 ks.rok ⁻¹
Druh pěstovaných rostlin	Saláty a bylinky
Typ akvaponického systému	Propojený
Typ záhonů	NFT a Raft
Umístění chovné části	Indoor a outdoor
Umístění pěstební části	Indoor a outdoor

Objem chovných nádrží	3 m ³
Počet chovných nádrží	4
Výměna vody v nádrži	X
Pěstební plocha	160 m ²
Objem retenční nádrže	X
Objem biofiltru	X
Typ mechanického filtru	Vortex
Zastavěná plocha	150 m ²

4.1.2. Akvaponická farma Lážovice

Akvaponická farma Lážovice firmy Aquaponia byla vybudována v roce 2017 v městě v okrese Beroun. Jedná se o celoroční dvoupodlažní indoor farmu s celkovým prostorem 1 620 m². Dle informací poskytnutých panem Petrem Velichem ze dne 25.5.2021 je prostor pro pěstební část 450 m² a je umístěn v horní části akvaponické farmy. V době psaní této práce hala procházelo přestavbou, je tak možné, že se některé informace budou lišit od nového stavu. Pěstební část tvoří 24 regálových raftových systémů, kde každý regál má pět pater. Celkem je pěstební část tvořena 120 pěstebními raftovými záhony. Hlavními druhy pěstovaných rostlin jsou saláty, bazalka, máta, koriandr a petržel (Obr. č. 19)

Chovná část (obr. č. 18) je složena ze 43 chovných nádrží o objemu 3 m³ a několika desítkami menších nádrží, většinou akvárií. Výměna vody v nádržích by měla proběhnout jednou za 2. Filtrace je tvořena bubnovým mechanickým filtrem a průtokovým filtrem s molitanovým filtračním médiem s objemem 5 m³. Součástí chovné části je také retenční nádrž o objemu 400 litrů. Plánovaná roční produkce je 120 t, kde většinu tvoří sumeček africký. Akvaponická farma chová i tilápie, pangase, jesetery sibiřské, úhoře, kapra a pstruha duhového. V chovné části, kde jsou umístěny menší nádrže, jsou chovány akvarijní ryby. Veškeré dostupné informace jsou shrnuty v tab. č 4.



Obr. č. 18 Chovná část akvaponické farmy v Lážovicích (Aquaponia, 2022)



Obr. č. 19 Pěstební část akvaponické farmy v Lážovicích (Aquaponia, 2022)



Obr. č. 20 Lokalizace akvaponické farmy v Lážovicích (Google Maps, 2022)

Tab. č. 4 Zjištěné informace o akvaponické farmě v Lážovicích.

Maximální produkce chovaných ryb	120 000 kg
Druh chovaných ryb	Sumeček africký, tilápie nilská, pangasius, jeseter sibiřským úhoř říční, kapr obecný, pstruh duhový
Produkce rostlin	1200 kg
Druh pěstovaných rostlin	Mix salátů, bazalka, máta, koriandr, petržel
Typ akvaponického systému	Propojený
Typ záhonů	Raft
Umístění chovné části	Indoor
Umístění pěstební části	Indoor
Objem chovných nádrží	3 m ³
Počet chovných nádrží	70
Výměna vody v nádrži	
Pěstební plocha	450 m ²
Objem retenční nádrže	400 litrů
Objem biofiltru	5000 litrů
Typ mechanického filtru	Bubnový a průtokový filtr s molitanem
Zastavěná plocha	1620 m ²

Future Farming

Společnost Future Farming s.r.o. vznikla v roce 2018 a je v současné době lídrem trhu na poli akvaponie v České republice. V této chvíli jsou v provozu dvě akvaponické farmy, obě v blízkém okolí Brna. Výstavba třetí farmy byla ohlášena v roce 2021 a měla by být vystavěna v Letonicích v okrese Vyškov. Nová farma je plánovaná na roční produkci 500 tun ryb a plánovaná dostavba je v roce 2024.

Dle poskytnutých informací jsou následující dvě farmy řešeny jako vícesmyčkový akvaponický systém umožňující úplnou regulaci a směřování koloběhu vody v systému, a je tak možné využít i případné další úpravy vody, jako je přidání potřebných mikroprvků a dalších látek potřebných pro rostliny před vstupem do hydroponické části. Produkovaný odpad ve formě výkalů a nespotřebovaného rybího krmiva je využíván buď k mineralizaci, nebo k následné výrobě hnojiv po nespecifikované úpravě.

4.1.3. Akvaponická Farma Kaly

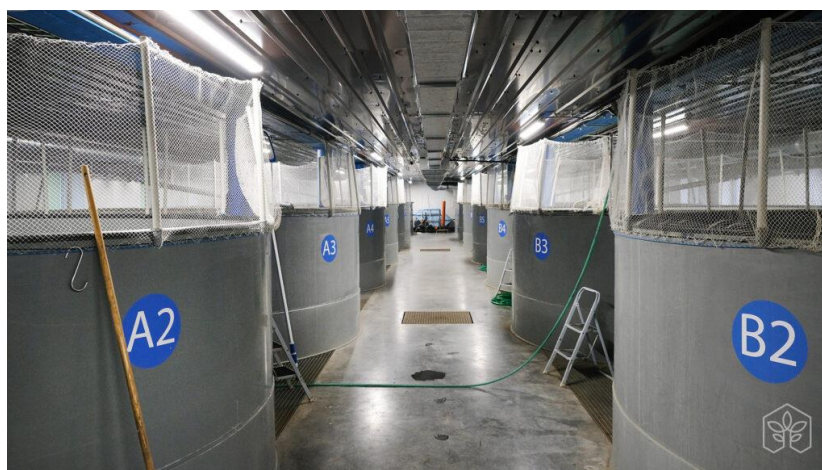
První farmou společnosti Future Farming s.r.o. byla farma v Kalech. Farma vznikla v průběhu roku 2019 na nevyužitém pozemku severně od Brna. Jak společnost Future Farming udává, je primárně určena k produkci vysoce kvalitních rostlin, výzkumným účelům a funguje jako reprezentační farma. Farma Kaly produkuje především pstruha duhového a velké množství různých druhů bylinek a salátů.

Dle informací pana Michala Fojtíka ze dne 20.4.2022 se chovná část skládá ze 14 kruhových odchovných nádrží s objemem 16 m³ (Obr. č. 22). Celkový objem tak činí 224 m³ vody a je plánován pro produkci 44 tun pstruha duhového ročně ve dvou produkčních cyklech po 22 tunách. Kapacita čerpadel je dimenzována na výměnu vody v chovných nádržích 2x za hodinu. Mechanická filtrace je zajištěna sedimentačním filtrem, na který navazuje bubnový filtr se sítí s oky velikosti 100 µm. Po mechanické filtraci následuje filtrace biologická o celkovém objemu 120 m³ s filtračními elementy. Přítomny jsou i UV lampy a ozonizér. Součástí chovné části je i vlastní rybí líheň s kapacitou 600 000 ks ryb pro hlavní systém.

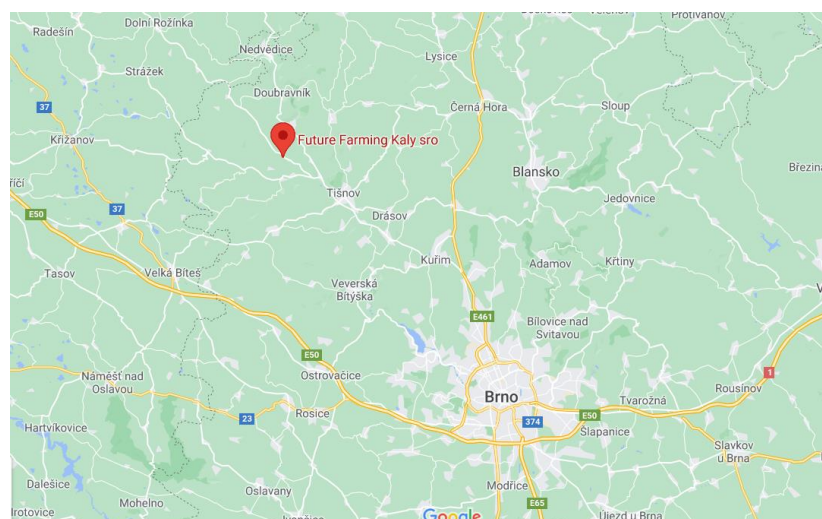
Pěstební část je tvořena vertikálními raftovými systémy v 4–6 patrech a vzhledem k tomu, že se jedná o indoor instalaci, je zajištěno umělé osvětlení (obr. č. 21). Farma v Kalech je zároveň využívána jako prostor pro přípravu sazenic pro větší akvaponickou farmu v Heršpicích.



Obr. č. 21 Akvaponická farma Kaly – pěstební část (Future Farming, 2022)



Obr. č. 22 Akvaponická farma Kaly – chovná část (Future Farming, 2022)



Obr. č. 23 Lokalizace akvaponické farmy v Kalech (Google Maps, 2022)

Tab. č. 5 Zjištěné informace o akvaponické farmě Kaly

Maximální produkce chovaných ryb	44 000 kg
Druh chovaných ryb	Pstruh duhový
Produkce rostlin	9 000 kg
Druh pěstovaných rostlin	Bylinky a saláty
Typ akvaponického systému	Vícesmyčkový
Typ záhonů	DWC
Umístění chovné části	Indoor
Umístění pěstební části	Indoor
Objem chovných nádrží	16 m ³
Počet chovných nádrží	14
Výměna vody v nádrži	Až 2x za hodinu
Pěstební plocha	
Objem retenční nádrže	X
Objem biofiltru	120 m ³
Typ mechanického filtru	Bubnový
Zastavěná plocha	800 m ²

4.1.4. Akvaponická Farma Heršpice

Akvaponická farma Heršpice byla částečně vystavěna v roce 2021 a v současné době výstavba stále probíhá. V první fázi byla zprovozněna cca 1/3 plochy areálu. Areál by po výstavbě měl mít rozlohu celkem 11 500 m² kde 9 000 m² bude skleník, a 1 500 m² chovná část.

Chovná část pro ryby je umístěna částečně v zastíněném skleníku a částečně v indoor části objektu. V současné době se farma sestává ze 48 nádrží s objemem 4,7 m³. Celkový objem je tak 225,6 m³. Po výstavbě dalších částí skleníku je plánováno připojit dalších 30 nádrží po 5 m³. Plánovaná roční produkce činí 320 tun sumečka afrického. Systém filtrace je stejný jako v Kalech, tudíž po chovné části navazuje sedimentační jednotka, následně bubnový filtr. Biofiltr a všechny jeho části mají celkový objem 480 m³.

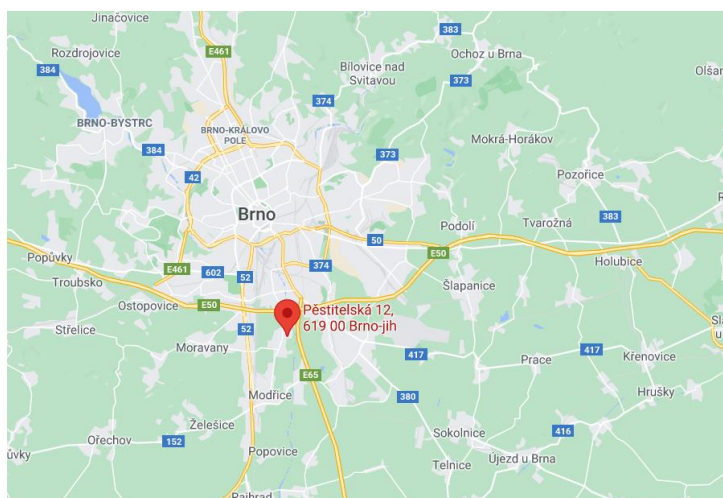
Na rozdíl od farmy v kalech je zde využíván NFT systém uspořádaný do A tvarů viz obr. č. 24 a 25, který je schopný využít i vertikálního prostoru farmy. Součástí skleníku je i prostor pro předpěstování sazenic.



Obr. č. 24 NFT systém ve tvaru A v Heršpicích (Farmia food, 2022)



Obr. č. 25 Akvaponická farma Heršpice (Future Farming, 2022)



Obr. č. 26 Lokalizace akvaponické farmy v Heršpicích (Google Maps, 2022)

Tab. č. 6 Zjištěné informace o akvaponické farmě Heršpice

Maximální produkce chovaných ryb	320 000 kg
Druh chovaných ryb	Sumeček africký
Produkce rostlin	650 000 kg
Druh pěstovaných rostlin	Bylinky a saláty
Typ akvaponického systému	Vícesmyčkový
Typ záhonů	A tvar NFT
Umístění chovné části	Indoor a skleník
Umístění pěstební části	Skleník a germination room
Objem chovných nádrží	4,7 m ³
Počet chovných nádrží	48
Výměna vody v nádrži	Až 2x za hodinu
Pěstební plocha	3 x 3300 m ²
Objem retenční nádrže	X
Objem biofiltru	120 m ³
Typ mechanického filtru	Bubnový
Zastavěná plocha	800 m ²

4.1.5. Akvaponická farma v Lánově

Akvaponická farma v Lánově blízko Vrchlabí byla postavena stejným dodavatelem jako akvaponický systém v Řisutech. Stejně jako systém v Řisutech trpěl původní systém obdobnými nedostatky, které je možné najít v kapitole 3.2. Farma v Lánově má však pěstební část umístěnou ve skleníku a chovnou část umístěnou pod skleníkem. S farmou bylo dodáno i několik venkovních NFT jednotek ve tvaru A, které měly sloužit jako sezónní možnost produkce rostlin. Po zjištění, že původní dodaný systém není uzpůsoben k slibované produkci, byl následně přestavěn firmou Aerolux s.r.o. Dle informací jednatele společnosti pana Bernáta nebylo možné původní nádrže efektivně odkalit a fungovaly jako spojené nádoby. Filtrace, která byla totožná se systémem v Řisutech, neměla žádné vzduchování a následoval stejný filtr od firmy Nexus. Veškeré hladiny byly řízeny pouze výkonem čerpadla a pokud by došlo k jeho výpadku, veškerá voda z pěstební části by pomocí gravitace zatopila chovnou část. K systému nebyly dodány žádné měřicí, ani pravidelně snímající čidla pro hladinu vody, teplotu vody atd.

V tab. č. 7 jsou již uvedené hodnoty rekonstruovaného systému. Systém byl rozpojen z původního jednosmyčkového na vícesmyčkový, byly upraveny nádrže a celkově byl systém optimalizován. Jako jediný velký systém v ČR zapojil i Media bed a pokouší se pěstovat i plodovou zeleninu.

Maximální produkce chovaných ryb	4 000 kg
Druh chovaných ryb	Sumeček africký
Produkce rostlin	
Druh pěstovaných rostlin	Bylinky, saláty, rajčata a další
Typ akvaponického systému	Propojený
Typ záhonů	A tvar NFT, Media bed, Raft a Drip
Umístění chovné části	Skleník – umístěna pod skleníkem
Umístění pěstební části	Skleník
Objem chovných nádrží	2,5 m ³
Počet chovných nádrží	11
Výměna vody v nádrži	Jednou za hodinu
Pěstební plocha	
Objem retenční nádrže	0,5 m ³
Objem biofiltru	
Typ mechanického filtru	Bubnový
Zastavěná plocha	200 m ²

Tab. č. 7 Zjištěné informace o přestavěné akvaponické farmě v Lánově

Tab. č. 8 Shrnutí vlastností komerčních akvaponických farem v České republice

	Farma Flenexa	Farma Lážovice	Farma Kaly	Farma Heršpice	Farma Lánov	Řisuty původní	Řisuty optimalizovaný
Hlavní druh ryby	Pstruh a jeseter	Sumeček africký	Pstruh duhový	Sumeček africký	Sumeček africký	Pstruh duhový	Pstruh duhový
Hlavní druh zeleniny	Saláty a bylinky	Saláty a bylinky	Saláty, bylinky a sazenice pro Heršpice	Saláty a bylinky	Saláty, plodová zeleniny, bylinky	Saláty a bylinky	Saláty a bylinky
Odchovný objem (m³)	12	129 + akvária	224 + rybí líheň	225	27,5	19,6	15
Maximální udávaná produkce za rok (kg)	1 500	120 000	44 000 + 600 000 ks líheň	320 000	4 000	???	750
Typ akvaponického systému	Jednosmyčkový	Jednosmyčkový	Vícesmyčkový	Vícesmyčkový	Vícesmyčkový	Jednosmyčkový	Vícesmyčkový
Využití kalů	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano
Typ mechanické filtrace	Vortex	Bubnový a průtokový filtr s molitanem	Sedimentační a bubnový	Sedimentační a bubnový	Bubnový	Sedimentační + vortex	Bubnový
Chovná část umístěna v	Indoor	Indoor	Indoor	Indoor + skleník	Indoor	Indoor	Indoor
Pěstební část umístěna v	Indoor	Indoor	Indoor	Skleník a místnost pro klíčení rostlin	Skleník	Indoor	Indoor
Využití kalů	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano

4.2. Kritické body původního systému v Řisutech

4.2.1. Výměna vody v nádržích

Výměna vody v nádržích je důležitým faktorem pro správný provoz všech recirkulačních systémů. Optimální výměna vody v nádrži k zajištění správného odvodu sedimentů, zbytků krmiva a rozpuštěných látek by měla být 1 – 2x celý objem za hodinu. V původním systému činil přítok do nádrže cca 300 l.hod⁻¹ což znamená, že celý objem chovné nádrže o objemu 2 800 l proběhl jednou za 9,3 hodiny. Takto nízká výměna vody v chovné nádrži způsobuje nadměrné hromadění metabolitů, špatný odvod nerozpuštěných látek a může snižovat rychlost růstu, zvyšovat náchylnost k nemocem a případně způsobit úhyn ryb.



Obr. č. 27 Přítok vody v původním systému (vlastní foto)

4.2.2. Konstrukce nádrží

Tvar a hydraulika je společně s obměnou vody dalším důležitým prvkem chovu ryb v recirkulačních systémech. V případě, že je nádrž nevhodně navržena, může docházet ke špatnému proudění vody, tvorbě mrtvých zón, nadměrnému usazování nerozpuštěných částic a tvorbu nevhodného prostředí pro chov ryb. Kruhové nádrže by měly mít alespoň mírně (1:50) kónické dno umožňující odvod usazených látek (exkrementy a zbytky krmiva) pomocí samočisticí funkce, která pomocí turbulentního proudění usazuje pevné látky uprostřed nádrže. Původní nádrže v Řisutech pravděpodobně splňovaly správný poměr sklonu doprostřed nádrže, nicméně pod tíhou vody výztuhy nádrže klesly a dno

tak bylo rovné ve všech částech nádrže viz obr. č. 28. Obrovskou nevýhodou původních nádrží byl způsob vypouštění. Původní systém vypouštění vyžadoval zastavení přívodu vody a změnu směru přívodu vzduchu což způsobilo, že nádrže šly vypustit pouze cca z poloviny.



Obr. č. 28 Ploché dno původní chovné nádrže (foto R. Gebauer)

4.2.3. Vzduchování

Rozpuštěný kyslík je jedním z hlavních limitů pro intenzivní chov v recirkulačních systémech. Pro chov lososovitých ryb v intenzivním chovu je minimální hodnota rozpuštěného kyslíku 5-6 mg. l⁻¹, optimálně 7 a více mg.l⁻¹.

Pro výpočet přesného množství kyslíku, které přejde do vody pomocí difuséru využívající atmosférický kyslík můžeme použít vzorec:

$$Q \times \text{hmotnost vzduchu } (\rho) \times \text{hmotnostní obsah } O_2 \text{ ve vzduchu } \times (SOTE \times \text{výška hladiny}) \times FTE = \text{kg } O_2/h^{-1}$$

Kde Q je udávaná hodnota daného kompresoru (m³.hod⁻¹), hmotnost vzduchu $\rho = 1,247 \text{ kg.m}^3$ (při teplotě 15 C°), SOTE (*Standart Oxygen Tranfer Efficiency*) je výrobcem udávaná hodnota vzduchovacího kamene, FTE (*Field Tranfer Efficiency*) je účinnost přenosu do aerované vody.

V původním systému bylo v chovné části vzduchování zajištěno kompresorem o výkonu 275 l.min⁻¹ a sedmi vzduchovacími kameny (pro každou z chovných nádrží jeden), nicméně v průběhu pokusu byly přidány další tři totožné kompresory, kvůli nedostatečnému vzduchování a velkého rizika úhynu obsádky.

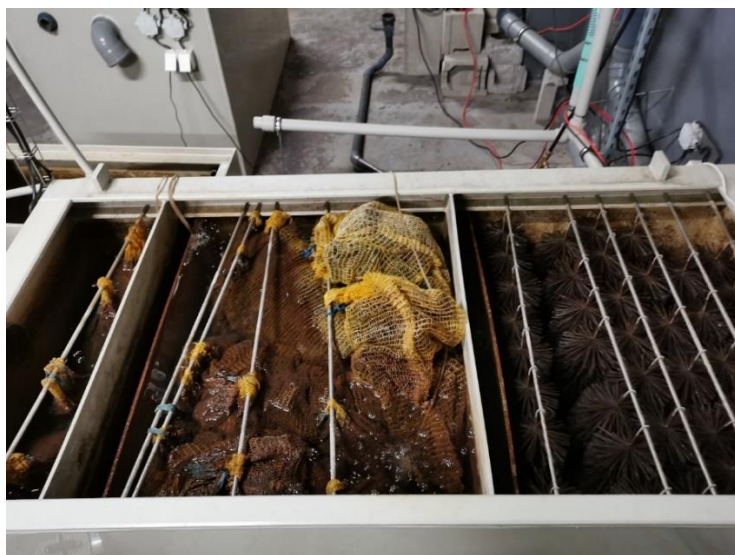
$$(275 \times 60) \times 1,247 \times 0,23 \times (0,05 \times 1) \times 0,5 = 0,11385 \text{ kg O}_2.\text{hod}^{-1}$$

Původní vzduchování v chovné části do vody vneslo 0,11385 kg O₂.hod⁻¹ a je tak 6x slabší, než jaké by bylo potřeba (viz kapitola 3.5.3). Vzduchování v pěstební a filtrační části zajišťovaly vzduchovací kompresory Hailea ACO-009E o výkonu 140 l.min⁻¹.

4.2.4. Filtrace

Každý systém měl vlastní filtraci, která byla umístěna v oddělené místnosti od hlavního prostoru. Filtrace je složena z nádrže o rozměru 195 x 100 x 90 o objemu 1,75 m³ a následně kombinovaným Nexusem. První nádrž, která byla pravděpodobně zamýšlena jako filtr hrubých částic je rozdělena na tři části, přičemž třetí je tvořena odtokem vody. V první je zavěšeno celkem 40 ks filtračních kartáčů, v druhé části je zavěšeno 16 ks pytlů naplněných molitanovým biofiltračním materiálem o objemu 10 l, celkem tedy 160 l (Obr. č. 29). Voda následně odtéká přepadem do kombinovaného Nexusu od firmy Evolution Aqua s celkovým objemem 320 l. První část Nexusu (vnitřní) slouží k zachycení jemných částic pomocí přítomných mikroelementů o objemu 20 l. Vnější část tohoto filtru slouží k biologické filtraci díky biofiltračním elementům (100 l K1). Každý z těchto Nexusů byl osazen vzduchovacím kompresorem Hailea ACO-009E s výkonem 140 l.min⁻¹. Nasycení vody kyslíkem v první části (filtr hrubých částic) bylo 19,1 %, ve vnitřní části Nexusu 33,4 % a ve vnější 65,3 % při celkové biomase systému 93 kg.

Filtry Nexus jsou určeny především pro zahradní jezírka, případně různé biotopy, nicméně nejsou určeny pro intenzivní chov ryb v recirkulačním systému. Celkový objem biofiltračních elementů tak činil 260 l pro jeden systém.



Obr. č. 29 Mechanická filtrace původního systému (vlastní foto)

Pro výpočet potřebné původní biofiltrační kapacity je potřeba znát celkové množství spotřebovaného krmiva za den. Pro výpočet maximální denní krmné dávky (DKD) potřebujeme znát objem chovných nádrží ($19,6 \text{ m}^3$), maximální obsádku (50 kg.m^3) a krmnou dávku (2 %).

$$50 \times 19,6 \times 0,02 = \mathbf{19,6 \text{ kg.den}^{-1} \text{ krmiva}}$$

Obsah proteinu v krmivu se pohybuje okolo 40 % a pro výpočet využijeme tuto hodnotu. Obsah dusíku v proteinu je 16 %. Ryby z přijatého krmiva vyloučí cca 60 % celkového N. Následně přepočteme dle molární hmotnosti N (14) na NH_3 (17) a získáme tak množství amoniaku které je potřeba biofiltrací převést na dusičnany. Pro převod 1 g amoniaku se jako optimální plocha elementů udává $0,57 \text{ m}^2.\text{den}^{-1}$. Specifická plocha použitých elementů je výrobcem udávaná $750 \text{ m}^2.\text{m}^3$. Tyto elementy by měly tvořit 40 % z celkového objemu biofiltru, k zajištění dostatečného pohybu těchto elementů.

$$19,6 \times 0,4 = \mathbf{7,84 \text{ kg čistého proteinu}}$$

$$7,84 \times 0,16 = \mathbf{1,2544 \text{ kg čistého N}}$$

$$1,2544 \times 0,6 = \mathbf{0,75264 \text{ kg vyloučeného N rybami}}$$

$$0,75264 \times (17/14) = \mathbf{0,91392 \text{ kg NH}_3 \rightarrow 913,92 \text{ g}}$$

$$913,92 / 0,57 = \mathbf{1\,603,37 \text{ m}^2 \text{ potřebné plochy}}$$

$$1603,37 / 750 = \mathbf{2,14 \text{ m}^3 \text{ elementů}}$$

$$100 / 40 \times 2,14 = \mathbf{5,35 \text{ m}^3 \text{ celkový objem biofiltru}}$$

Z výpočtu můžeme usoudit, že velikost biofiltru by měla mít objem alespoň $5,35 \text{ m}^3$ a měl by obsahovat $2,14 \text{ m}^3$ filtračního média. Tyto výpočty však jsou počítány při

optimálních podmínkách pro nitrifikaci, je tedy potřeba počítat i s rezervou. Původní biofiltr obsahoval pouze 0,1 m³ elementů a byl tak značně poddimenzován a bylo jasné, že pro účely komerčního chovu Řisutech je naprosto nedostatečný.

4.2.5. Pěstební část

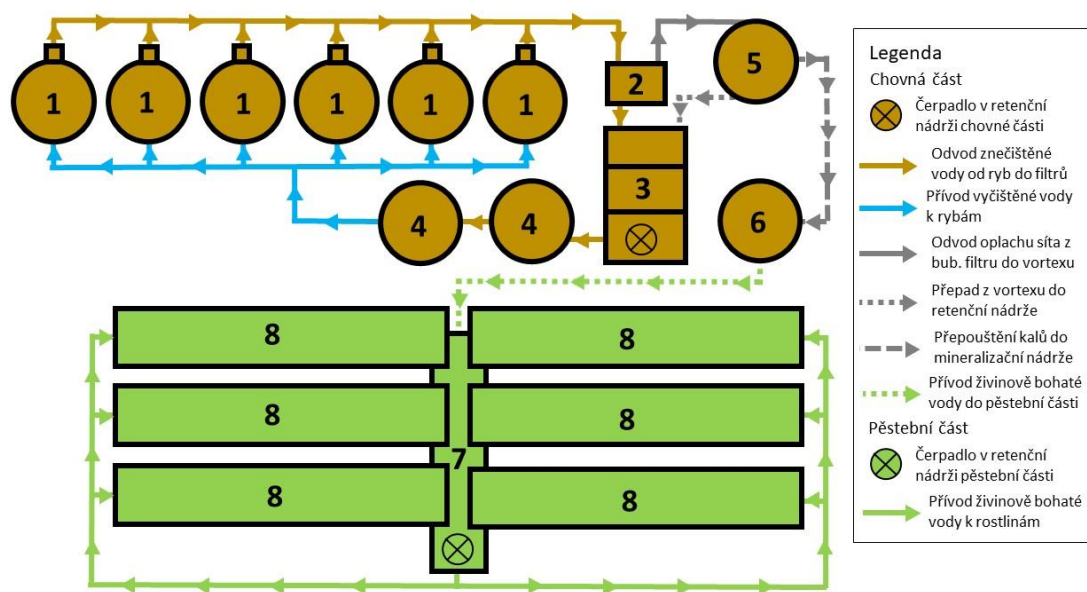
Původní akvaponický systém byl řešen jednosmyčkově. Voda tedy byla po průchodu pěstební částí vracena zpět do části chovné a po mechanické a biologické filtraci byla opět vedena do pěstební části. Kaly byly odstraněny a vypuštěny mimo systém, což vedlo ke ztrátě využitelných živin pro rostliny a také nedostatku živin. Takto upravená voda bývá bohatá pouze na dusíkaté látky, nicméně ostatní živiny chybí. Tyto jednosmyčkové akvaponické systémy nejsou vhodné pro velké komerční systémy. V jednosmyčkovém systému nelze vyhovět optimálním fyzikálně-chemickým vlastnostem vody pro všechny části akvaponického systému (ryby, rostliny a bakterie). Je tedy potřebné pracovat s kompromisem optimálních hodnot.

Vzhledem k nedostatečné mechanické filtraci se do pěstební části dostával i jemnější kal který se následně usazoval v pěstebních záhonech. Jeho následný rozklad může způsobovat nedostatek rozpuštěného kyslíku a zároveň se kal může nabalit na kořenový systém rostlin a způsobit odumření rostliny.

Další velkou nevýhodou je stavebně neoddělená pěstební část od chovné. Výparem vody z chovné části vzniká vysoká vzdušná vlhkost. Při změně teplot dojde v noci ke kondenzaci této vlhkosti na pěstovaných rostlinách a vzniká riziko plísňového onemocnění rostlin.

4.3. Optimalizovaný akvaponický systém v Řisutech

V rámci optimalizace akvaponického systému bylo změněno uspořádání chovné části systému viz obr. č. 30. Došlo ke zjednodušení rozvodů vody, snížení počtu různých odboček a kolen potrubí, aby docházelo k co nejmenší ztrátě výkonu čerpadel. Přestavbou vznikl systém dvousmyčkový, umožňující lepší balancování optimálních podmínek odděleně pro chovnou a pěstební část než původní, jednosmyčkový systém.



Obr. č. 30 Schéma optimalizovaného systému kde 1-Chovné nádrže, 2- bubnový filtr, 3-retenční nádrž, 4- biologický filtr, 5-radiální filtr, 6-mineralizační nádrž, 7-retenční nádrž pěstební části, 8-pěstební záhony

4.3.1. Výměna vody v nádržích

Po shledání nedostatečné výměny vody bylo navrženo především zjednodušení distribuce vody odstraněním zbytečných kolen a zvětšení kapacity potrubí. Následně byly instalovány dvě čerpadla (Aqua-Forte DM-20000) o výkonu 187 W s kapacitou 20000 l.hod⁻¹. Cílem bylo zajištění výměny celého objemu vody alespoň 1x za hodinu.

4.3.2. Konstrukce nádrží

Ve spolupráci s firmou Aerolux s.r.o. byl vytvořen kónický tvar dna stávajících nádrží tak, aby nedocházelo k usazování nerozpuštěných látek a tvorbě mrtvých zón v nádržích (Obr. č. 30). Zároveň byl vytvořen boční odtok pro zvýšení kapacity odtoku po razantním zvýšení výměny vody v nádrži. Nově byly instalovány odkalovací ventily umožňující kompletní vypuštění chovné nádrže.

4.3.3. Vzduchování

V původním systému bylo vzduchování značně podceněné a bylo potřeba zvýšit kapacitu a výkon zdrojů a vzduchovacích kamenů. K tomu bylo potřeba zvýšit schopnost samočištění chovných nádrží pomocí vzduchování. Pro výpočet potřeby vzduchování se využívá následujících hodnot: na spotřebované 1 kg krmiva je potřeba 1 kg O₂.

V přestavěném systému je maximální DKD 15 kg, tudíž do vody je potřeba vpravit 15 kg O₂. Hodnota výkonu vzduchovacích kompresorů a dmychadel je udávána v hodinových intervalech nebo minutových. Je tedy třeba dodat 0,625 kg O₂.hod⁻¹.

Pokud je známé potřebné množství kyslíku, úpravou vzorce na výpočet vnosu kyslíku daného kompresoru získáme výpočet na potřebný výkon kompresoru

$$\text{Výkon kompresoru} = \text{Potřeba O}_2 / (\text{hmotnost vzduchu} \times \text{hmotnostní obsah O}_2 \times \text{SOTE} \times \text{FTE} \times \text{hloubka} \times \text{čas})$$

$$\text{Výkon kompresoru} = 0,625 / (1,247 \times 0,23 \times 0,075 \times 0,5 \times 1 \times 60)$$

$$\text{Výkon kompresoru} = 0,968 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Výkon vzduchovacích kompresorů by tedy měl být minimálně 968 l.min⁻¹, nicméně je opět potřeba počítat s rezervou, navíc ve výpočtu není zahrnuté vzduchování mineralizační jímky.

Vzduchování v optimalizovaném systému je zajištěno pomocí dvou dmychadel o výkonu 750 W a 350 W, které dohromady mají kapacitu 3 500 l.hod⁻¹. Distribuce vzduchu je řešena vzduchovacími talíři v chovné nádrži a vzduchovacích válců v biofiltru.



Obr. č. 31 Upravené kónické dno v optimalizovaném systému se vzduchovacím diskem (foto R. Gebauer)

4.3.4. Filtrace

V rámci optimalizace filtračního zařízení byl nově do systému přidán mechanický bubnový filtr s kapacitou 65 m^3 , což při celkovém objemu chovných nádrží v optimalizovaném systému 15 m^3 činí dostatečně velkou kapacitu. Mechanický filtr je osazen mikrosítem s oky velikosti $100 \mu\text{m}$ a spínačem oplachu, kde oplach nečistot následně míří do radiálního filtru, kde je obsah kalů ještě více zhuštěn. Voda, která zůstává nad zhuštěným sedimentem, je znovu odvedena do systému a dochází tak ještě k větší úspoře spotřeby vody. Největší úspora je ale v časové náročnosti na údržbu oproti předchozímu způsobu filtrace. Zhuštěné kaly z radiálního filtru jsou příležitostně čerpány kalovými čerpadly do mineralizačních jednotek, kde probíhá další uvolnění živin uložených v kalech a snižují tak náklady na potřebné hnojivo pro pěstební část.

Při optimalizaci biologické filtrace bylo nutné vypočítat potřebnou plochu pro nitrifikační bakterie. Tyto bakterie přeměňují toxický amoniak přes dusitany na dusičnany. Dostatečná plocha pro tyto bakterie je tak jedním z hlavních faktorů účinné biofiltrační schopnosti. V případě nedostatečné plochy může docházet ke kumulaci amoniaku, který může být toxický pro ryby. Pro účely komerčních systémů se využívají především ponořené biofiltry s plastovými elementy různých tvarů zvyšující plochu těchto elementů. U těchto elementů je výrobcem uváděna specifická plocha povrchu, a je tak možné vypočítat potřebný objem elementů pro daný systém o předem známé

maximální obsádce a krmné dávce. Při optimalizaci systému došlo ke změně velikosti a počtu chovných nádrží, výpočet ale zůstává stejný. Celkový objem vody v chovných nádržích činí 15 m³, DKD (2 %) a požadovaná obsádka zůstala stejná (50 kg.m³).

$$\begin{aligned} 50 \times 15 \times 0,02 &= 15 \text{ kg.den}^{-1} \text{ krmiva} \\ 15 \times 0,4 &= 6 \text{ kg čistého proteinu} \\ 7,84 \times 0,16 &= 0,96 \text{ kg čistého N} \\ 0,96 \times 0,6 &= 0,576 \text{ kg vyloučeného N rybami} \\ 0,576 \times (17/14) &= 0,69943 \text{ kg NH}_3 \rightarrow 699,43 \text{ g} \\ 699,43 / 0,57 &= 1\,227,07 \text{ m}^2 \text{ potřebné plochy} \\ 1227,07 / 750 &= 1,64 \text{ m}^3 \text{ elementů} \\ 100 / 40 \times 1,64 &= 4,1 \text{ m}^3 \text{ celkový objem biofiltru} \end{aligned}$$

Pro nový biofiltr byly použity dvě původní, upravené, chovné nádrže, které mají dohromady objem 5,6 m³ a objem BT20 elementů 4 m³ viz obr. č. 32. Nový biofiltr má tak o více než 20 % rezervu.



Obr. č. 32 Nádrže s biofiltračními elementy (foto R. Gebauer)

4.3.5. Pěstební část

V optimalizovaném systému byl původní jednosmyčkový systém rozdělen na vícesmyčkový, za účelem optimalizace fyzikálních a chemických parametrů vody. Voda do pěstební části je čerpána z mineralizačních jednotek za použití jemného uhlonu (100 μm) k zamezení vnosu velkého množství kalů do pěstebních žlabů.

4.4. Porovnání původního a optimalizovaného systému v Řisutech

Technické vlastnosti

Výměna vody v nádržích

Přestavbou rozvodů vody a následnou instalací nových čerpadel byla zvýšena výměna vody viz tab. č. 4, ze které je patrné, že optimalizací došlo k razantnímu nárůstu výměny vody, která dosahovala 0,9 – 1,24 nádrží za hodinu. V přepočtu na litry byl hodinový přítok do původních nádrží pouze 299 ± 92 , kdežto v optimalizovaném systému $2\,533 \pm 497$.

Tab. č. 9 Porovnání výměny vody v nádržích v původním a optimalizovaném systému

Systém	Původní systém	Optimalizovaný
Přítok vody do chovných nádrží (l.hod ⁻¹)	299 ± 92^b	$2\,533 \pm 497^a$
Výměna vody v chovných nádržích (nádrží.hod ⁻¹)	0,1 – 0,15 ^b	0,9 – 1,24 ^a

Biofiltrační schopnost systémů

Z výpočtu biofiltrační schopnosti jednotlivých biofiltrů bylo zjištěno, že původní biofiltr nebyl schopen odbourat produkované množství amoniaku při maximální biomase, což se projevilo i v průběhu experimentu. Naopak optimalizovaný systém byl navržen správně a byl schopen odbourat množství produkovaného amoniaku při maximální biomase viz tab. č. 5.

Tab. č. 10 Biofiltrační schopnosti jednotlivých systémů v porovnání s množstvím produkovaného amoniaku při maximální biomase

Systém	Původní systém	Optimalizovaný
Množství elementů (m ³)	0,10	2
Schopnost odbourat amoniaku (kg.den ⁻¹)	0,043	0,855
Produkce amoniaku při maximální biomase	0,911	0,697

Fyzikální a chemické vlastnosti vody

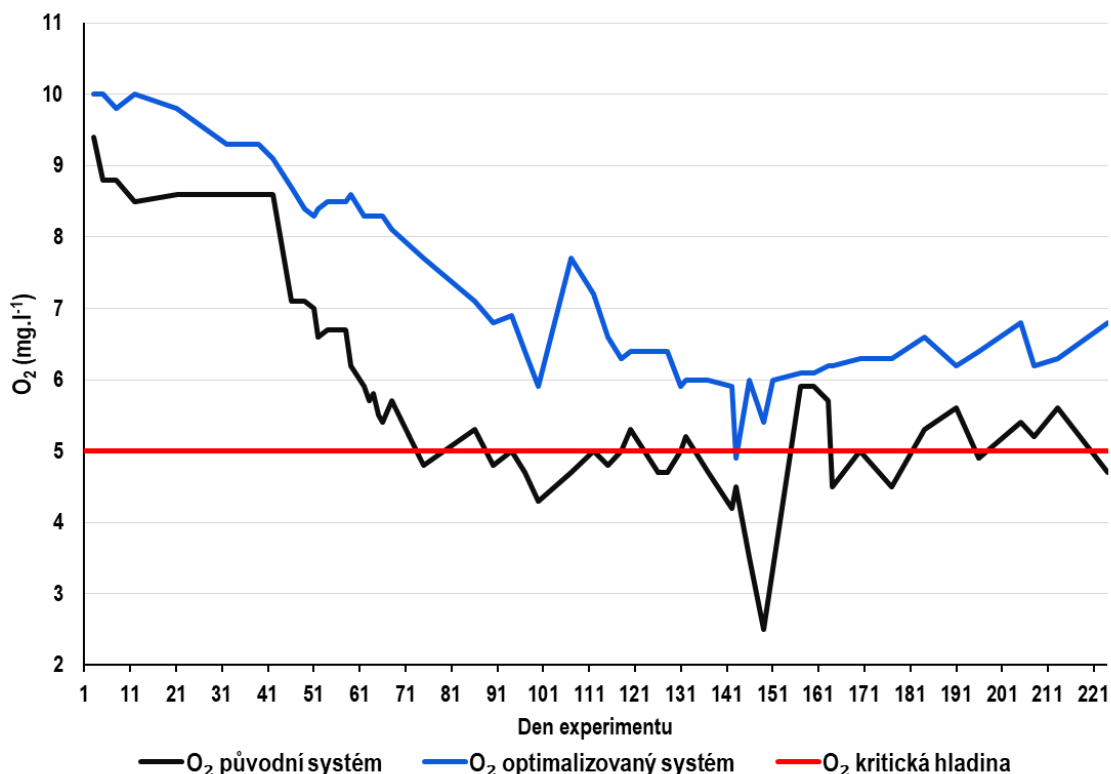
Teplota

Teplota i bez průtokových ohříváčů dosahovala v původním $16,7 \pm 2,5$ C°, respektive $16,6 \pm 2,4$ v optimalizovaném systému. Rozdíly byly tedy bez statistického rozdílu. Tato teplota je tak vhodná pro chov pstruha duhového.

Hodnoty pH v průběhu experimentu také nebyly statisticky významné a pohybovaly se v rozmezí $7,8 \pm 0,2$ v původním a $7,8 \pm 0,3$ v optimalizovaném systému.

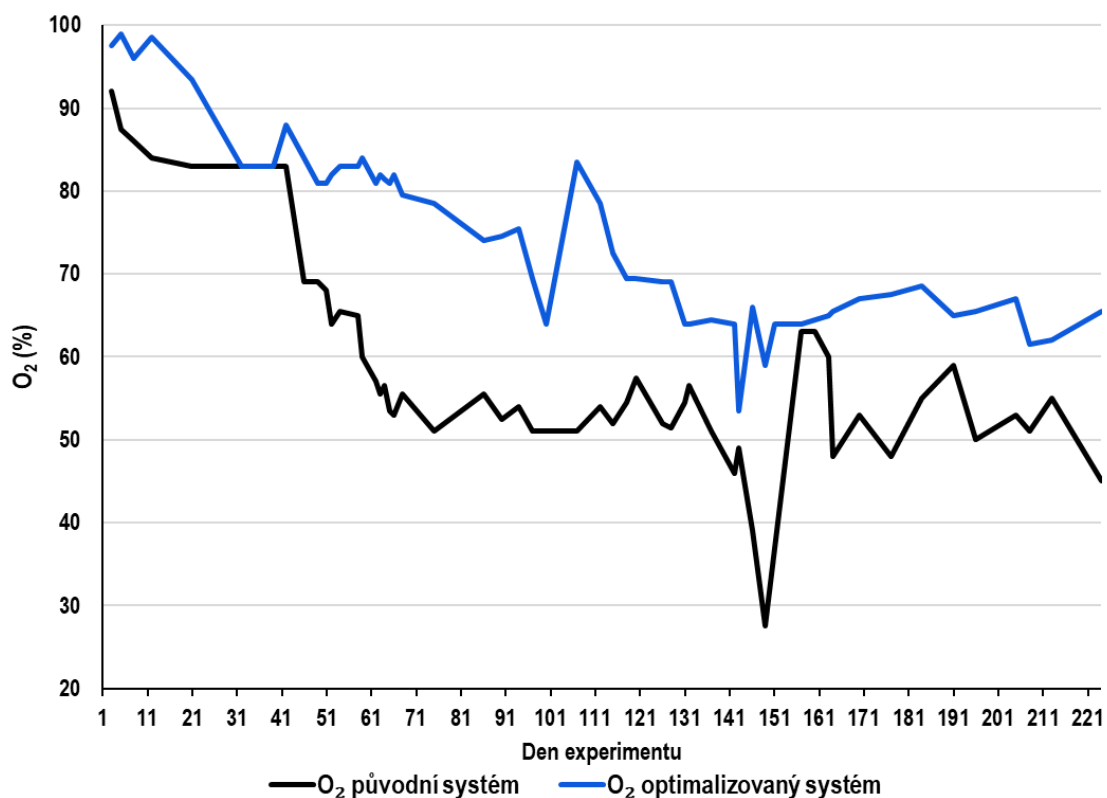
Kyslík

Rozdíly v nasycení vody kyslíkem, a stejně tak v koncentraci rozpuštěného kyslíku, však byly signifikantní. V optimalizovaném systému bylo nasycení vody kyslíkem $74,5 \pm 10,9$ %, kdežto v původním systému pouze $58,9 \pm 13,2$ %. Koncentrace rozpuštěného kyslíku byla v optimalizovaném $7,3 \pm 1,4$ mg.l⁻¹ a u původního systému $5,8 \pm 1,5$ mg.l⁻¹.



Graf č. 1 Porovnání původního a optimalizovaného systému dle koncentrace rozpuštěného kyslíku s vyjádřenou kritickou hladinou

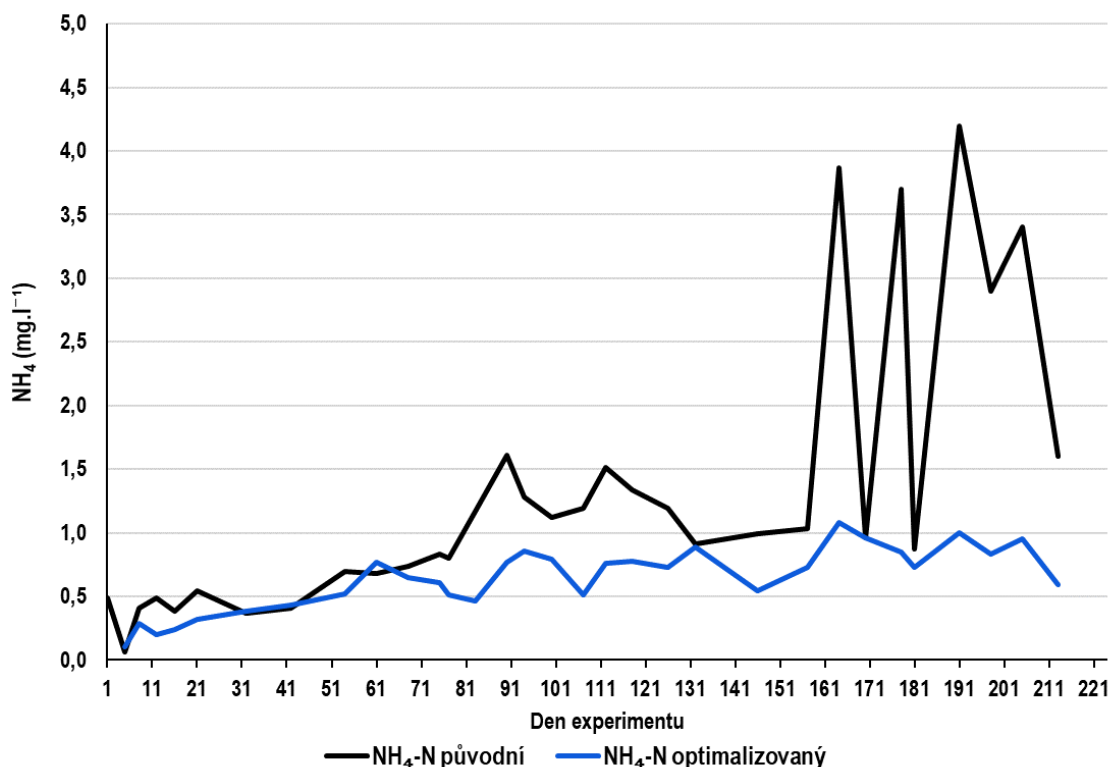
Hodnota nasycení vody kyslíkem v průběhu experimentu, vzhledem ke zvyšování biomasy, postupně klesala viz. graf č. 1. V původním systému nasycení vody kyslíkem kleslo pod kritickou hodnotu 60 % po 60 ti dnech a poté pod touto hranicí setrvalo. Po 150 dnech experimentu nasycení klesalo pravidelně pod 50 %, s nejnižší naměřenou hodnotou 27,5 %. V tomto bodě došlo k odlovení části obsádky (35 kg) a k výměně velké části vody. Zároveň byla aplikována sůl ke snížení případné toxicity dusitanů. V tomto bodě dosáhl původní systém své maximální možné kapacity a z důvodu zabránění dalšího úhynu byly přidány další tři kompresory stejné, jako původní. Systém se třemi kompresory narazil na tuto hranici 221. den od počátku experimentu, kdy také došlo ke snížení nasycení pod 50 %.



Graf č. 2 Porovnání původního a optimalizovaného systému v nasycení vody kyslíkem

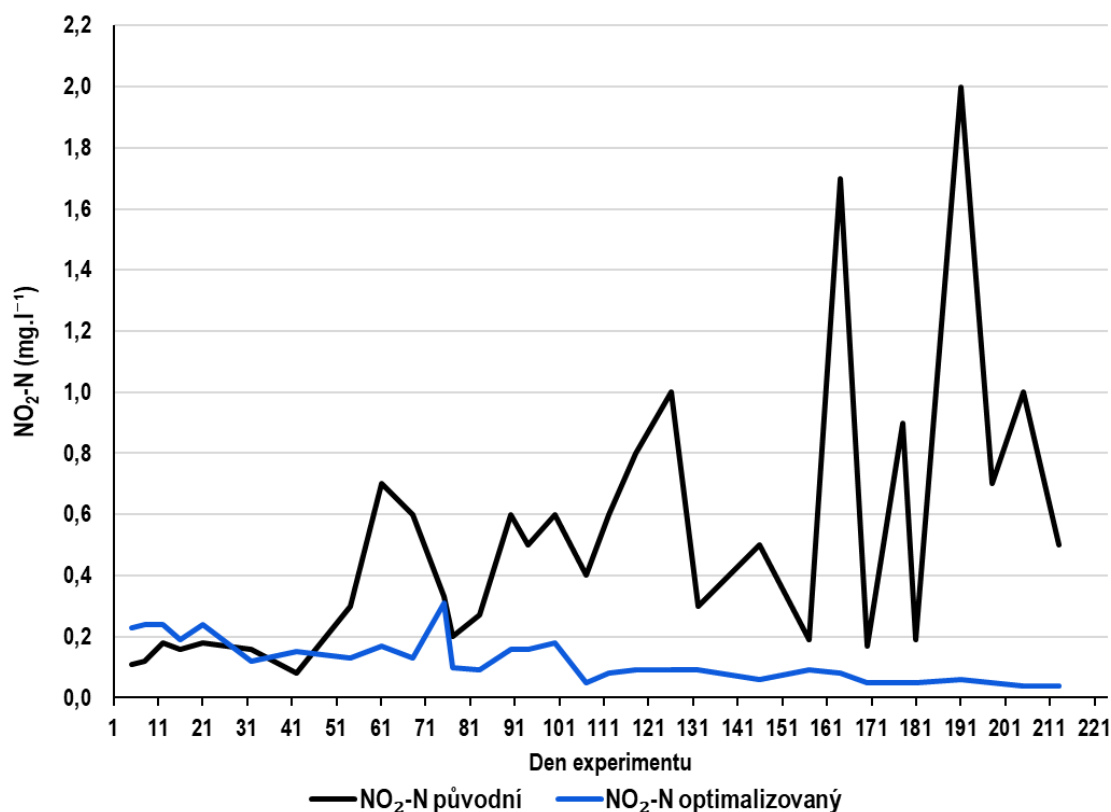
Frakce dusíku

Z výsledků měření je patrné, že koncentrace toxických forem NH_4-N a NO_2-N byly signifikantně vyšší v původním systému. Statisticky vyšší podíl netoxického NO_3-N byl pozorován naopak v optimalizovaném systému. Toxicita a podíl amoniaku závisí na pH a teplotě. V optimalizovaném systému nedocházelo k velkým výkyvům NH_4-N a hodnoty po celou dobu experimentu nepřesáhly letální hranice. U původního systému byly hodnoty vyšší, nicméně letální koncentrace nedosáhly viz graf č. 2.



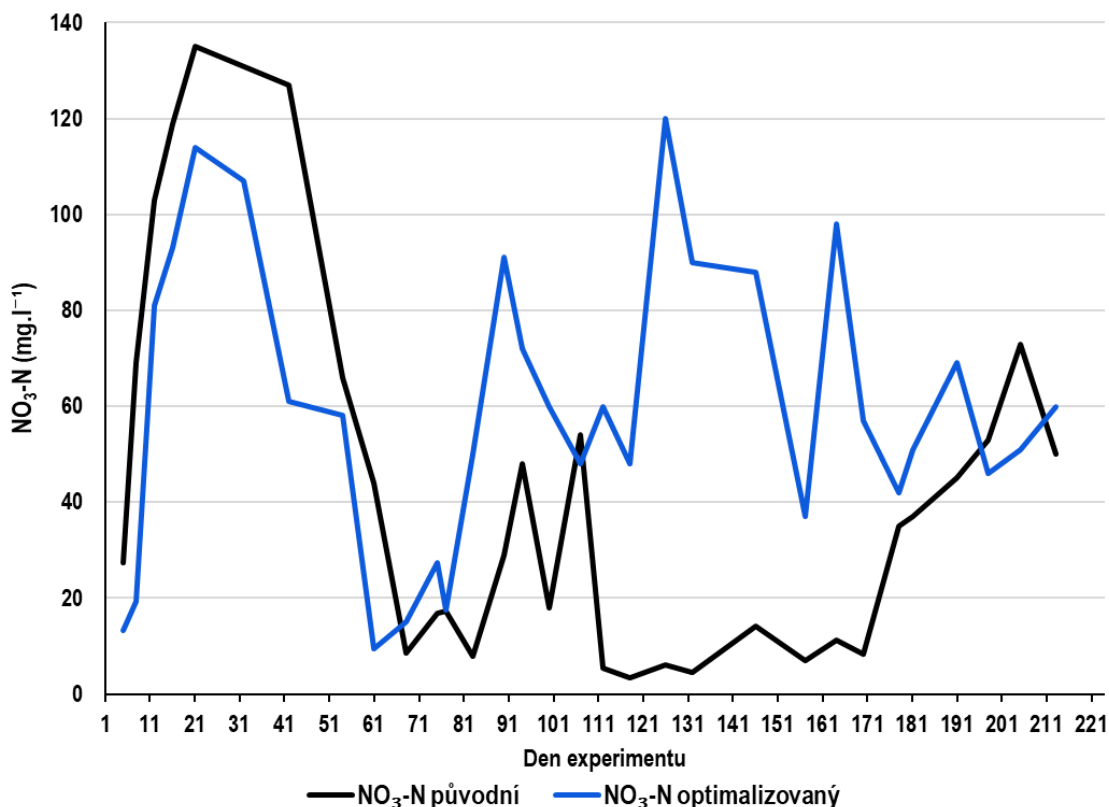
Graf č. 3 Srovnání původního a optimalizovaného systému dle toxického $\text{NH}_4\text{-N}$

Toxicita dusitanů ($\text{NO}_2\text{-N}$) je závislá na koncentraci chloridů ve vodě. Zvyšujícím se obsahem chloridů klesá toxicita dusitanů díky kompetici na žábrách ryb. Letální hodnoty dusitanů při koncentraci chloridů okolo 10mg.l^{-1} jsou udávány okolo 3 mg.l^{-1} , a takových hodnot nebylo dosaženo ani v jednom ze systémů (graf č. 3). Toxicita však závisí i na dalších faktorech a přesné letální hodnoty nejsou známe. Původní systém nicméně vykazoval značně vyšší koncentrace dusitanů.



Graf č. 4 Srovnání původního a optimalizovaného systému dle toxického NO₂-N

Koncentrace netoxických dusičnanů (NO₃-N), jež je využitelný rostlinami v hydroponické části farmy, však byly signifikantně vyšší v optimalizovaném systému (graf č. 4). To bylo způsobeno především vyšší a častou výměnou vody v původním systému z důvodu různých problémů a ohrožení obsádky. Jakoukoliv výměnou vody tak dochází ke ztrátě využitelných dusičnanů, a je tak takřka nemožné zajistit rostlinám jejich dostatečné a stabilní množství.



Graf č. 5 Srovnání původního a optimalizovaného systému dle NO₃-N

Produkce kalů

V optimalizovaném systému byla produkce kalů na 1 kg spotřebovaného krmiva $23,2 \pm 2,5$ %. Produkce kalů v původním systému byla na jeden kg krmiva $21,5 \pm 1,9$ %.

Spotřeba vody

Spotřeba vody v původním systému při běžné denní údržbě filtru hrubých nečistot činila $2,6 \pm 0,2$ m³ vody za den. To činí 8 % celkového objemu vody v původním systému. Optimalizovaný systém vykazoval signifikantně nižší spotřebu vody. Spotřeba vody v optimalizovaném systému byla $1,5 \pm 0,2$ m³.

Produkční parametry chovné části

Porovnání v první části experimentu jsou uvedené v tab. č. 11. Původní váhy ryb nasazených do experimentu byly v optimalizovaném systému $10,1 \pm 0,5$ a v původním $10,2 \pm 0,5$, tedy bez statisticky významného rozdílu. V první fázi pokusu, při které byla zvolena nižší krmná dávka, bylo FCR v obou systémech 0,7. Během první fáze byla nulová mortalita. Průměrná hmotnost ryb na konci první fáze experimentu byla $44,6 \pm 0,5$ v optimalizovaném a $46,4 \pm 5,8$ v původním systému.

Tab. č. 11 Produkční parametry v první fázi experimentu (W_0 průměrná hmotnost ryb na začátku, $Biomasa_z$ biomasa na začátku etapy, W_t průměrná hmotnost ryb na konci, $Biomasa_k$ biomasa na konci etapy), mortalita, spotřeba krmiva, FCR a SGR

Parametr	Původní systém	Optimalizovaný systém
W_0 (g)	$10,2 \pm 0,5^a$	$10,1 \pm 0,5^a$
$Biomasa_z$ (kg)	20,4	19,5
W_t (g)	$46,4 \pm 5,8^a$	$44,6 \pm 0,5^a$
$Biomasa_k$ (kg)	93,0	86,0
Mortalita (%)	0	0
Spotřeba krmiva (kg)	49,0	49,0
FCR	0,7	0,7
SGR	2,0	2,0

V druhé fázi experimentu došlo po týdnu od zahájení ke značnému poklesu koncentrace rozpuštěného kyslíku v původním systému, a z důvodu snahy o zachránění obsádky bylo 35 kg odloveno a přesunuto mimo systém. Po odlovení ryb byly do původního systému přidány další tři vzduchové kompresory a experiment pokračoval s upraveným původním systémem. V této fázi byla průměrná hmotnost ryb v optimalizovaném systému $156,7 \pm 12,9$ a $126,5 \pm 20,6$ v původním. Na konci této fáze byl rozdíl mezi optimalizovaným a původním systémem s přidáními kompresory signifikantní. V optimalizovaném systému ryby dosáhly hmotnost $349,8 \pm 18,8$ g, kdežto v původním systému $296,5 \pm 11,9$. V původním systému, s přidáními třemi kompresory, však po dosažení biomasy 398,4 kg došlo opět ke kritickému poklesu koncentrace rozpuštěného kyslíku. Zatímco v optimalizovaném systému s biomasou 547,9 kg k poklesům nedocházelo. Mortalita v optimalizovaném systému byla 0 % a v původním 2 %, nicméně pouze díky zásahům v průběhu chovu.

Tab. č. 12 Produkční parametry v druhé fázi experimentu (W_0 průměrná hmotnost ryb na začátku, $Biomasa_z$ biomasa na začátku etapy, W_t průměrná hmotnost ryb na konci, $Biomasa_k$ biomasa na konci etapy), mortalita, spotřeba krmiva, FCR a SGR. *původní biomasa byla 192 kg, 35 kg bylo odloveno.

Parametr	Původní systém	Optimalizovaný systém
W_0 (g)	$126, \pm 20,6^b$	$156,7 \pm 12,9^a$
$Biomasa_z$ (kg)	157,0*	190,0
W_t (g)	$296,5 \pm 11,9^b$	$349,8 \pm 18,8^a$
$Biomasa_k$ (kg)	398,4	547,9
Mortalita (%)	2	0
Spotřeba krmiva (kg)	137,3	422,4
FCR	0,6	1,2
SGR	1,1	1,9

Produkční parametry pěstební části

Vzhledem k nízké koncentraci živin v původním systému byla produkce salátu v optimalizovaném systému více než dvakrát vyšší, viz. tab. č. 13.

Tab. č. 13 Porovnání produkčních parametrů pěstební části v původním a optimalizovaném systému

Parametr	Původní systém	Optimalizovaný systém
Hmotnost na začátku (g)	0,3 ± 0,0 ^a	0,3 ± 0,0 ^a
Velikost na začátku (cm)	1,5 ± 0,0 ^a	1,5 ± 0,0 ^a
Hmotnost na konci (g)	8,7 ± 0,0 ^b	19,0 ± 8,2 ^a
Velikost na konci (cm)	9,5 ± 1,9 ^b	14,2 ± 2,2 ^a
Biomasa na konci (kg)	34,5	75,2

Rozbory vody prokázaly efektivitu mineralizační jednotky a celkového uspořádání nového systému v porovnání s vodou ze systému původního viz tab. č. 14.

Tab. č. 14 Výsledky rozborů vody v optimalizovaném a původním systému v porovnání s nutričními požavky dle Resh (2016)

Živina	Požadavky (Resh, 2016)	Začátek		30 dní		60 dní	
		Původní	Optimalizovaný	Původní	Optimalizovaný	Původní	Optimalizovaný
NO ₃ -N	165	47,2	162	51,6	141	37,3	172
NH ₄ -N	15	1,14	15,8	0,89	4,38	0,51	0,12
P	50	2,13	48,0	1,25	42,0	2,74	35,0
K	210	23,8	206	24,5	215	25,0	213
Ca	190	141	210	138	245	127	239
Mg	45	50,5	56,0	51,5	58,6	50,4	57,2
S	65	56,4	54,0	55,4	52,5	60,3	50,8
Fe	4	0,03	4,33	0,03	3,94	0,03	3,53
Cu	0,1	< 0,01	0,11	< 0,01	0,13	< 0,01	0,15
Mn	0,5	< 0,01	0,53	< 0,01	0,66	< 0,01	0,84
Mo	0,05	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01
B	0,5	0,12	0,58	0,11	0,59	0,12	0,63
Zn	0,1	< 0,01	0,17	< 0,01	0,25	< 0,01	0,34
Na	0-60	90,5	35,1	91,1	33,9	92,8	35,0
pH	6 – 7	7,6	6,2	7,8	6,4	7,6	6,5
EC	1 200 -1 800	1285	1654	1048	2150	1203	2180
Legenda:							
		Optimum ± 25 %					
		Deficit/přebytek 25 % - 50 %					
		Deficit/přebytek 50 % - 75 %					
		Deficit/přebytek > 75 %					

5. Diskuse

5.1. Stav komerčních akvaponických farem v České republice

Komerční akvaponické farmy v České republice zažily poměrně hojný rozvoj v posledních deseti letech. Bohužel však většina těchto farem není finančně ziskových a jsou většinou dotovány z jiných zdrojů provozovatelů. V současné době by akvaponické farmy, při své plné funkčnosti, byly schopny dohromady vyprodukovat až 500 tun ryb ročně, což se ale pravděpodobně nesetkává s realitou. Tůmová a kol. (2020) udává, že produkce ryb z akvaponických farem byla mezi lety 2019-2020 pouze 3 000 kg ryb a 276 kg rostlin. Z velké části tvořena pouze jednou, nespecifikovanou farmou. V té době však v Česku stály již minimálně 3 komerční akvaponické farmy. V současné době největší společnost Future Farming k této produkci (2020) ještě přispět nemohla. Pokud by ale akvaponické farmy v budoucnu dokázaly dospět k využití maximálního potenciálu a dosáhnout společné produkce 500 t, tak by to tvořilo značnou část české produkce z recirkulačních chovů. Ženíšková a kol. (2019) udává roční produkci z recirkulačních zařízení 1 242 tun ročně.

Nejčastěji pěstovaným druhem rostlin v ČR jsou především saláty a různé bylinky. Rakocy a kol. (2006), Bailey a kol. (2017) a Love a kol. (2015) uvádí, že listová zelenina, jako saláty a různé druhy bylinek, jsou v přepočtu na pěstební plochu ekonomicky nejvýhodnější pro využití v komerčních systémech a tomu odpovídá i jejich obliba a fakt, že tvoří majoritu u všech popisovaných farem. Villarroel a kol. (2016) uvádí stejné zjištění i na poli evropských akvaponických systémů. Plodová zelenina jako rajčata a okurky nejsou natolik ekonomicky konkurence schopné, vzhledem k dlouhému pěstebnímu cyklu a vyšším nárokům na environmentální prostředí (Somerville a kol., 2014) a (Bailey a kol., 2017). Vlivem výhodnějších ekonomických faktorů z pěstování salátů a bylinek souvisí i výběr typu hydroponických jednotek. Media bed systémy se vyskytují pouze na farmě v Lánově, kde jsou instalovány jen okrajově. Tyto systémy nejsou vhodné pro pěstování v komerčních farmách z důvodu náročné údržby, malé pěstební plochy a poruchovosti sifonů (Lennard, 2017). Většina hydroponických jednotek v Česku je tvořena DWC patrovými systémy, většina z nich pravděpodobně pochází od stejného dodavatele. Jak bylo zjištěno v Řisutech, tak je obsluha, a obecně manipulace okolo této hydroponické jednotky, poměrně složitá. Navíc systém v Řisutech měl i nevhodně řešenou elektroinstalaci na těchto regálech, a nesplňovala požadavky

na bezpečnost práce. NFT hydroponický systém se vyskytuje pouze ve farmě v Heršpicích a v Lánově. Danner a kol. (2019) sice udávají, že nejlepší hydroponickou jednotkou v akvaponickém systému je NFT, ale každý z těchto systémů má své výhody a nevýhody, které je potřeba zvážit při výstavbě na konkrétních podmínkách.

Nejčastěji chovaným druhem ryb v českých akvaponických farmách je sumeček africký s pstruhem duhovým. Výběr těchto ryb je pravděpodobně uzpůsoben s ohledem na teplotní režim farmy. Mezi těmito druhy chybí tilápie nilská, která je dle Pinho a kol. (2021) společně se sumečky nejčastěji chovaným druhem v amerických akvaponiích. Stejně tak se o popularitě tilápie nilské vyjadřuje Love a kol. (2015), který navíc dodává, že tilápie je ve více než 50 % akvaponických systémech po celém světě. Pravděpodobným vysvětlením, proč komerční systémy v Česku zatím tilapii vynechávají, či jí dělají jen okrajově, může být nedostatečně vyvinutý domácí trh s touto rybou a zároveň menší výtěžnost oproti sumečkovi. Clement a Lovell (1994) udávají, že výtěžnost tilápie pro filety bez kůže je 25,4 %. Pasch a Palm (2021) udávají výtěžnost sumečka na filety 41 %.

Většina akvaponických systémů byla v první řadě stavěna jako jednosmyčková, což je zastaralý a převzatý typ z hobby akvaponických systémů. Výjimkou nebyly ani farmy v České republice. Některé z těchto farem byly přestavěny a některé stále pokračují v jednosmyčkovém režimu. Tento typ systémů není schopný nastavit optimální podmínky pro chovnou a pěstební část, ale vyžaduje určitý kompromis mezi optimálními podmínkami, což v případě komerčních systémů velice ovlivňuje ekonomický potenciál farmy. Na nevýhodě jednosmyčkových systémů z důvodu kompromisu optimálních podmínek se shodují Goddek a kol. (2019), Lennard (2017), Thorarinsdottir (2015) a Goddek a kol. (2015). Autoři Kloas a kol. (2015) a Suhl a kol. (2016) se zase shodují na výhodě vícesmyčkových systémů především kvůli možnosti použití léčebných prostředků při nákaze. Monsees a kol. (2019) říká, že potenciál vícesmyčkových systémů je obrovský a oproti klasické hydroponii může ušetřit až 62,8 % hnojiv pro zajištění optimálního živinového složení pro hydroponickou část bez signifikantního rozdílu růstu salátů.

Ze získaných informací a fotek je patrné, že v podstatě kromě společnosti Future Farming s.r.o. jsou všechny původní nepřestavěné farmy hodně podobné a pravděpodobně využívaly služeb jednoho dodavatele, se kterými se do farem promítly i stejné nedostatky. Po následujícím zjištění, že tyto farmy „na klíč“ nefungují tak, jak

bylo zamýšleno, se pravděpodobně všechny tyto farmy pokusily o rekonstrukci. O jak úspěšné rekonstrukce šlo nelze ze zjištěných údajů objektivně zhodnotit.

Akvaponická farma Flenexa

Akvaponická farma firmy Flenexa plus s.r.o. je farmou s nejmenší plochou i odchovným objemem. Tato farma pravděpodobně slouží spíše jako experimentální, čemuž nasvědčuje i to, že společnost Flenexa plus s.r.o. tyto farmy staví na míru zákazníkům z řad spíše hobby akvaponistů. Tato společnost poskytuje i různé akvaponické workshopy a podílí se vývoji IT systémů pro monitoring akvaponických farem. Samotná akvaponie je umístěna v indoor části bývalého bunkru, je zde tedy potřeba umělého osvětlení, které jistě tvoří velkou část nákladů na provoz. Tento fakt popisuje Keleş (2018) a Banerjee a Adenauerer (2017). Flenexa se zároveň podařilo dostat některou produkci ze salátů do obchodního řetězce Globus.

Akvaponická farma Lážovice

Akvaponická farma Lážovice je specifická především skladbou chovaných druhů ryb. K hlavní chované rybě (sumeček) je zde chováno velké množství dalších druhů. Provozovatelé v poskytnutém dotazníku uvedli, že se zde mimo jiné chová tilápie, pangas, úhoř, kapr, jeseter a pstruh duhový. Z pohledu optimálních teplot pro dané druhy si myslím, že není možné ve stejném prostředí chovat právě pstruha vedle ostatních, teplomilných druhů ryb. Je možné, že má tato farma chov pstruhů umístěn ještě v jiných prostorech než v hlavních se sumečkem. Z dostupných informací a fotek je patrné, že pěstební část je tvořena opět stejnými, ne úplně optimálními DWC systémy, které jsou přítomny i v Řisutech. Udávaná produkce rostlin (9 tun) je oproti produkci ryb (120 tun) hodně nízká. Naopak v komerčních systémech bývá produkce rostlin podstatně vyšší. (Goddek a kol., 2019). Nespornou výhodou této farmy je oddělní pěstební části od chovné. Tyto nevýhody, jako vysoká vzdušná vlhkost a špatný teplotní režim, se projevíly ve farmě v Řisutech. Akvaponická farma v Lážovicích firmy Aquaponia s.r.o. má zároveň i e-shop s produkty z této haly, kde jsou pěkně prezentovány.

Akvaponická farmy Future Farming s.r.o.

V současné době dvě nejmodernější komerční akvaponické farmy náleží společnosti Future Farming s.r.o. První farma v Kalech je v indoor provedení a využívá opět podobné patrové DWC systémy. Dle informací má tato farma sloužit spíše jako reprezentativní a experimentální farma, kde se zjištěné poznatky následně aplikují do větší farmy

v Heršpicích, případně dalších vystavěných farem. Farma v Heršpicích je sice stále ve výstavbě, nicméně už teď se jedná o největší komerční akvaponickou farmu na území ČR. Obecně se z poskytnutých informací dá říci, že systémy pravděpodobně vyhovují svými parametry a dimenzí jednotlivých částí požadavkům, které by komerční akvaponický systém měl splňovat.

Produkty z těchto farem jsou prodávány přes dceřinou společnost Farmia Food s.r.o. Tato společnost se poměrně pěkným způsobem pokouší o osvětu akvaponických produktů, především pak prodejem listové zeleniny s kořenovým systémem, který jak společnost udává, vydrží mnohem déle.

Společnost Future Farming s.r.o. nabízí i prodej dluhopisů s minimální cenou 50 000,-.

Akvaponická farma v Lánově

Původní akvaponický systém instalovaný stejnou firmou jako systém v Řisutech vykazoval podobné nedostatky. Chovná část nebyla schopna poskytnout optimální podmínky pro chov ryb, ani pro základní údržbu chovu. Saláty v pěstební části sice rostly, ale pravděpodobně to nebylo z živin pocházejících z chovné části, nýbrž z použitých jiff tablet pro výsadbu. Po rekonstrukci a přestavbě systému již systém funguje jako vícesmyčkový a má lepší produkční výsledky. Farma prodává své produkty lokálně, s využitím prodejních automatů.

5.2. Akvaponická farma Řisuty

Z výsledků je patrné, že původní systém trpěl závažnými nedostatky a jeho funkčnost byla značně omezena. Původní systém v žádném případě nesplňoval náležitosti, které by komerční akvaponický systém měl splňovat. Tyto nedostatky způsobovaly nestabilitu původního systému. V průběhu experimentu ryby několikrát projevíly apatii vůči předkládanému krmivu.

Prvním z nedostatků tohoto systému je nedostatečná výměna vody v chovných nádržích. Výměna vody byla v objemu jedné nádrže za cca 9 hodin, což je pro recirkulační chov v takovýchto nádržích málo. Optimální hodnota výměny vody v nádrži uváděna Mrázem a kol. (2018) a Somervillem a kol. (2014) je jednou až dvakrát za hodinu. Summerfelt (2016) považuje výměnu jednou až dvakrát za hodinu jako optimální i v případě chovu lososovitých ryb. V případě využití nižších obsádek je optimální výměna o něco menší. Právě nedostatečná výměna vody pravděpodobně

způsobovala zhoršenou kvalitu vody, kvůli neschopnosti samočisticího procesu nádrží a hromadění nerozpuštěných látek v chovné nádrži. Se zhoršenou kvalitou vody se snižuje i welfare ryb a ryby jsou víc náchylné k případným nemocem (Huntingford a kol., 2006). Naopak optimalizovaný systém díky výměně čerpadel, a lepšímu uspořádání rozvodů vody, dosahoval výměny vody v nádrži cca jednou za hodinu, a tím byly splněny požadavky a doporučení dle Somerville a kol. (2014) a Mráz a kol. (2018). Díky tomu se výrazně zvýšila kvalita vody oproti původnímu systému.

Kritickým nedostatkem původního systému je nedostatečná kapacita biofiltračního zařízení, jež mělo za následek zvýšené hladiny amoniaku a dusitanů, které jsou pro ryby toxické. A i když jejich koncentrace nepřesáhly kritickou úroveň, mohly nepříznivě ovlivnit příjem potravy a růst. Původní biofiltr s objemem 0,1 m³ filtračních elementů dosahoval pouze 5 % objemu, který jako optimální udávají Somerville a kol. (2014), Bracino a kol. (2021) a Rusten a kol. (2006) v přepočtu na tento konkrétní systém.

Dle stejného výpočtu pro optimální objem biofiltračních elementů splňoval nový systém s celkem 2 m³ elementů optimální hodnoty dle Somerville a kol. (2014), Bracino a kol. (2021) a Rusten a kol. (2006). Správnost těchto údajů a funkčnost nového biofiltru bylo možné ověřit na hodnotách amoniaku a dusitanů v průběhu experimentu.

Podobně tomu je i u mechanické filtrace, kterou obstarávaly filtrační kartáče a rašlové pytle naplněné filtračním molitanem. V mechanické filtraci docházelo k hromadění nerozpuštěných látek a docházelo k velké spotřebě kyslíku rozkladem organické hmoty a pravděpodobně i úniku dusíku ze systému denitrifikací. Zároveň se nedostatek této filtrace projevoval usazeninami kalů v hydroponické části, kam voda putovala po průchodu filtrací. Nový systém osazený bubnovým filtrem a následným radiálním filtrem fungoval dle předpokladů a účinně odstraňoval nerozpuštěné látky. Radiální filtr navíc pomáhal ušetřit ještě více vody díky zhušťování kalů. Špatná mechanická filtrace také zvyšovala spotřebu vody v původním systému především denní údržbou filtrů.

Po 60-ti dnech došlo v původním systému k snížení nasycení vody kyslíkem na hranici 60 %, což je kritická hodnota pro chov lososovitých ryb v recirkulačním zařízení při dosahovaných teplotách dle Mareše a kol., (2015). Snížená koncentrace kyslíku byla způsobena naprosto nedostatečným vzduchováním, které bylo zajištěno pouze jedním válcovým vzduchovacím kamenem o velikosti 5x10 cm na jednu chovnou nádrž a kompresorem s malým výkonem. K úhynu ale nedocházelo, a tak pokus pokračoval do

doby, než hladina nasycení klesla pod úroveň 50 %, kdy začalo docházet k úhynům obsádky. Celková biomasa v době překročení této hranice dosáhla 157 kg a maximální únosná hustota obsádky původního systému tak činila pouze 8 kg.m⁻³. Takto nízká obsádka dle Policara a kol. (2018) snižuje efektivitu a rentabilitu chovů. Běžná hustota obsádky pstruha duhového v komerčním recirkulačním systému je však 50–120 kg.m⁻³ (Cooke a kol., 2000; Rasmussen a kol., 2007), případně až 150 kg.m⁻³ při použití oxygenace (Kouřil a kol., 2013).

Instalované vzduchování v optimalizovaném systému s novými vzduchovacími talíři dle výsledků měření kyslíku fungovalo správně a předem vypočítaná potřeba kapacity vzduchování odpovídala reálným potřebám optimalizovaného systému v průběhu experimentu. Průměrné množství rozpuštěného kyslíku činilo $7,3 \pm 1,4$ mg.l⁻¹ a odpovídá tak minimálním nárokům pro chov pstruha duhového v recirkulačním systému dle Kouřila a kol. (2008); Cho a Cowey (2017).

Při porovnání produkce kalů z výsledků se na první pohled zdá, že optimalizovaný systém produkoval větší množství kalů. Nižší měřitelná produkce kalů u původního systému je způsobena neefektivní mechanickou filtrací, kde část kalů z chovné části systému uniká do části pěstební. Sušina kalů byla v rozmezí 5-6 % a rozdíl nebyl statisticky významný.

Během první části experimentu porovnání chovné části bylo stanoveno FCR v obou systémech 0,7. Běžně dosahovaným FCR v recirkulačních systémech v chovu pstruha je 0,9 – 1,2 (Somerville a kol., 2014); (Uysal a Alpbaz, 2002). Takto nízké FCR je pravděpodobně způsobeno právě nízkou krmnou dávkou a lepším využitím předloženého krmiva, nicméně se sníženým absolutním růstem obsádky ryb. Bailey a Alanärä (2006) popisují, že při teplotě vody 5 °C je vliv krmné dávky na FCR signifikantní a s rostoucí teplotou tento rozdíl v FCR klesá. To může být případ i nízkého FCR v experimentu v Řisutech. Nižší DKD však způsobila pomalejší růst na úrovni 2,0 % SGR v obou systémech. To je v porovnání s údaji z literatury (Mocanu a kol., 2006; Merrifield a kol., 2010) méně, než je dosahováno v recirkulačních systémech. SGR pro násadového pstruha se běžně pohybuje na úrovni 2,2-3,0 %.

V druhé fázi experimentu v původním systému kleslo po osmi dnech nasycení vody kyslíkem a musela být odlovena část obsádky. Důvodem tohoto poklesu nebyl žádný vnější faktor ani technická závada, z čehož vyplývá, že původní systém dosáhl své maximální možné kapacity ryb a to 157 kg celkové biomasy viz. výše. Hodnota FCR

v původním systému byla pouze 0,6 z důvodu nízké DKD kvůli zhoršeným fyzikálně-chemickým vlastnostem vody. V optimalizovaném systému byla hodnota FCR 1,2, což je hodnota běžně dosahovaná v recirkulačních systémech (Somerville a kol., 2014); (Uysal a Albaz, 2002).

Již z počátku bylo patrné, že systém bude potřebovat rozdělit a vytvořit tzv. vícesmyčkový systém, který umožní lépe ovlivňovat parametry živin vstupujících do pěstební části. V porovnání produkčních parametrů pěstebních částí bylo zjištěno, že vícesmyčková optimalizovaná část systému má dvakrát vyšší produkci než systém původní. Nicméně ani produkce v optimalizovaném systému nedosáhla očekávaných hodnot, což bylo způsobeno především špatnými klimatickými podmínkami v hale. Největší podíl na malém růstu rostlin měla nízká teplota, která se v průběhu experimentu pohybovala okolo 10-12 °C. Rakocy a kol. (2006) uvádí, že optimální teplota pro růst salátu je okolo 24 °C, Hernandez a kol. (2020) udávají optimální denní teplotu 23 °C a noční 17 °C, Somerville a kol. (2014) zase 15 °C až 22 °C. Stavební řešení této haly neposkytuje optimální podmínky. Pro jejich vytvoření by bylo potřeba halu odizolovat, snížit strop, přidat ventilaci, a především stavebně oddělit pěstební část od chovné. Z výsledků rozborů vody je zřejmé, že voda vstupující do hydroponické části původního systému neodpovídala požadavkům pro růst salátů dle Reshe (2016). Při posledním měření (60 dnů od startu měření) byly v původním systému v optimálním množství pouze hořčík a síra z šestnácti měřených prvků a parametrů. Naopak v optimalizovaném systému byly na konci experimentu v deficitu více než 75 % pouze amoniak, molybden a zinek, a v optimálních koncentracích (± 25 %) se vyskytovalo 9 měřených živin a parametrů (dusičnany, draslík, vápník, hořčík, síra, železo, sodík, pH a EC).

Závěrem lze říct, že porovnání těchto dvou systémů vyšlo jednoznačně lépe pro optimalizovaný systém. Tím se ověřila lepší funkčnost vícesmyčkového systému oproti jednosmyčkovému, ke stejným závěrům došel Lennard (2017), Goddek a kol., (2019) a Monsees a kol., (2019). Stejným směrem se udává i směr komerčních systémů v České republice, které byly původně stavěny většinou jednosmyčkově, ale po následných rekonstrukcích se již vícesmyčkové systémy staví. Slabinou systémů v Česku je dle mého názoru stavební řešení objektů, ve kterém jsou akvaponické systémy umístěny. Pravděpodobně nejlepší řešení, a to kombinace skleníku s pěstební částí a indoor s chovnou částí, se vyskytuje pouze na dvou farmách v Heršpicích a částečně v Lánově. Zbytek farem je kompletně vystavěn v indoor podmínkách.

6. Závěr

V rámci této diplomové práce se podařilo zmapovat komerční akvaponické systémy na území České republiky a zjistit základní informace. Bylo zjištěno, že se v ČR nachází celkem 6 farem, které se zabývají produkcí ryb a rostlin z akvaponického systému v komerčním měřítku. Z poskytnutých informací byl vytvořen jejich popis a částečné hodnocení. Bylo zjištěno, že tyto komerční farmy dříve využívaly jednosmyčkového typu akvaponického systému, ale postupně přechází na vícesmyčkový.

Následně byl popsán a optimalizován akvaponický systém v Řisutech, kde metodika a výsledky této práce ukazují na naprosto zásadní nedostatky a neschopnost dodavatele nabídnout funkční akvaponický systém. Původní systém měl mnoho nedostatků, především v nadimenzování jednotlivých částí, jako je biofiltr, mechanická filtrace, vzduchování, výměna vody a další. Při experimentu tento systém kolaboval již při obsádce 8 kg.m³. Výstavba takto nefunkčních a ztrátových systémů může odradit případné budoucí zájemce a investory od vstupu na pole akvaponických systémů, případně uvrhnout tyto systémy v nelibost. Optimalizovaný systém při následném pokusu odpovídal standartně dosahovaným obsádkám okolo 50 kg.m³ bez žádných problémů. Při vytvořeném modelovém případě byl ziskový, nicméně i tak je zde prostor pro další vylepšení tohoto systému, které bylo nad rámec projektu. Samotná stavba má několik nedostatků jako vysoké stropy, stavebně neoddělená chovná část od pěstební a špatná ventilace, které se projevují především v ceně provozu a malé možnosti ovlivňovat enviromentální prostředí v hale.

Vzhledem k tomu, že tato práce popisuje a vylepšuje konkrétní akvaponický systém, jež nebyl ekonomicky udržitelný, může tato práce pomoci i dalším provozovatelům. Především z důvodu toho, že většina akvaponických systémů v České republice je podobná ať už designově, nebo i technicky a dá se předpokládat, že budou čelit podobným problémům, jako akvaponická farma v Řisutech.

Komerční akvaponické farmy jsou stále v období, které by se dalo nazvat začátkem. Do budoucna bude potřeba většího množství vědeckých podkladů, studií a metodik, jež pomohou komerčním akvaponickým farmám v jejich cestě za kvalitními potravinami a ekonomické konkurenceschopnosti s jinými, dnes již běžnými, způsoby pěstování rostlin a chovu ryb.

7. Přehled použité literatury

- Aquaponia, 2022 [online]. <http://fay.4fan.cz/> [citace ze dne 29.4.2022]. Dostupné na WWW: <http://fay.4fan.cz/>
- Baganz, G. F., Junge, R., Portella, M. C., Goddek, S., Keesman, K. J., Baganz, D., Kloas, W. 2022. The aquaponic principle—It is all about coupling. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 252-264.
- Bailey, D. S., Ferrarezi, R. S. 2017. Valuation of vegetable crops produced in the UVI Commercial Aquaponic System. *Aquaculture Reports*, 7, 77-82.
- Bailey, J., Alanärä, A. 2006. Effect of feed portion size on growth of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), reared at different temperatures. *Aquaculture*, 253(1-4), 728-730.
- Banerjee, C., Adenaeuer, L. 2014. Up, up and away! The economics of vertical farming. *Journal of Agricultural Studies*, 2(1), 40-60.
- Bernstein, S., 2011. *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. Filadelfie. New society publishers. 257 s.
- Bracino, A. A., Espanola, J. L., Bandala, A. A., Dadios, E. P., Sybingco, E., Vicerra, R. R. P. 2021. Optimization of Biofilter Size for Aquaponics Using Genetic Algorithm. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 25(5), 632-638.
- Clement, S., Lovell, R. T. 1994. Comparison of processing yield and nutrient composition of cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, 119(2-3), 299-310.
- Cooke, S. J., Chandroo, K. P., Beddow, T. A., Moccia, R. D., McKinley, R. S. 2000. Swimming activity and energetic expenditure of captive rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) estimated by electromyogram telemetry. *Aquaculture Research*, 31(6), 495-505.
- Danner, R. I., Mankasingh, U., Anamthawat-Jonsson, K., Thorarinsdottir, R. I. 2019. Designing aquaponic production systems towards integration into greenhouse farming. *Water*, 11(10), 2123.
- Davidson, J., Summerfelt, S., 2004. Solids flushing, mixing, and water velocity profiles within large (10 and 150 m³) circular Cornell-type dual-drain tanks. *Aquacultural Engineering* 32, 245–271.
- Davis, Phillip A., Burns, Claire. 2016. Photobiology in protected horticulture. *Food and Energy Security*, 5:4: 223-238.
- Delaide, B., Goddek, S., Gott, J., Soyeurt, H., Jijakli, M. H. 2016. Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Sucre*) growth performance in complemented aquaponic solution outperforms hydroponics. *Water*, 8(10), 467.
- Eaves, J., Eaves, S. 2017. Comparing the Profitability of a Greenhouse to a Vertical Farm in Quebec. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue Canadienne D'agroeconomie*, 66(1), 43–54.
- Farmia food, 2022 [online]. <https://www.farmiafood.cz/> [citace ze dne 29.4.2022]. Dostupné na WWW: <https://www.farmiafood.cz/farmy/farma-brno>
- Future Farming, 2022 [online]. <https://www.futurefarming.cz> [citace ze dne 29.4.2022]. Dostupné na WWW: <https://www.futurefarming.cz/nase-farmy/#kaly>

- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., Thorarinsdottir, R. 2015. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.
- Goddek, S., Espinal, C. A., Delaide, B., Jijakli, M. H., Schmautz, Z., Wuertz, S., Keesman, K. J. 2016. Navigating towards decoupled aquaponic systems: a system dynamics design approach. *Water*, 8(7), 303.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G. M. 2019. *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* p. Springer Nature, 619 s.
- Goldlocki, 2002 [online]. <https://commons.wikimedia.org/> [citace ze dne 9.1.2022]. Dostupné na WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tomato_P5260299b.jpg
- Graamans, L., Baeza, E., Van Den Dobbelsteen, A., Tsafaras, I., Stanghellini, C. 2018. Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems*, 160, 31-43.
- Graber, A., Junge, R. 2009. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246(1-3), 147-156.
- GroAdvisor, 2022 [online]. <https://groadvisorworldwide.com/> [citace ze dne 10.1.2022]. Dostupné na WWW: <https://groadvisorworldwide.com/aeroponic-grow-systems-for-commercial-cannabis/>
- Hernandez, E., Timmons, M. B., Mattson, N. S. 2020. Quality, yield, and biomass efficacy of several hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars in response to high pressure sodium lights or light emitting diodes for greenhouse supplemental lighting. *Horticulturae*, 6(1), 7.
- Huntingford, F. A., Adams, C., Braithwaite, V. A., Kadri, S., Pottinger, T. G., Sandøe, P., Turnbull, J. F. 2006. Current issues in fish welfare. *Journal of fish biology*, 68(2), 332-372.
- Cho, C. Y., Cowey, C. B. 2017. Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. In *Handbook of nutrient requirements of finfish*, CRC Press., 131-144
- Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T., Jijakli, M. H. 2017. Strategic points in aquaponics. *Water*, 9(3), 182.
- Keleş, K. 2018. Indoor farming: fancy concept or environmental breakthrough?: economic analysis of a small scaled indoor farm producing iceberg lettuce in Bergen, Norway (Master's thesis).
- Kloas, W., Groß, R., Baganz, D., Graupner, J., Monsees, H., Schmidt, U., Rennert, B. 2015. A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts. *Aquaculture environment interactions*, 7(2), 179-192.
- König, B., Janker, J., Reinhardt, T., Villarroel, M., Junge, R. 2018. Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of cleaner production*, 180, 232-243.
- Kouřil J., Mareš J., Pokorný J., Adámek Z., Randák T., Kolářová J., Palíková M., 2008: Chov lososovitých druhů ryb, lipana a síhů. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
- 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.

- Lennard, W. 2017. Commercial aquaponic systems: integrating recirculating fish culture with hydroponic plant production. Wilson Lennard, 375 s.
- Lennard, W. 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.
- Lennard, W., Goddek, S. 2019. Aquaponics: the basics. *Aquaponics food production systems*, 113 s.
- 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, 67-74.
- M.B., Ebeling, J.M., 2010. Recirculating aquaculture. Cayuga Aqua Ventures, LLC, 2nd edition, 948 s.
- Mareš, J., Novotný L., Palíková, M. 2015 *Akvakultura – základy výživy a krmení ryb*. Brno: Mendelova univerzita v Brně.
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Van Os, E., Anseeuw, D., Van Havermaet, R., Junge, R. 2019. Hydroponic technologies. *Aquaponics food production systems*, 77-110.
- Monsees, H., Suhl, J., Paul, M., Kloas, W., Dannehl, D., Würtz, S. (2019). Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer. *PLoS One*, 14(6)
- Monsees H, Kloas W, Wuertz S. 2017. Decoupled systems on trial: Eliminating bottlenecks to improve aquaponic processes. *PLOS ONE*. 12.
- Montanhini N., Ostrensky R. A. 2013. Nutrient load estimation in the waste of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) reared in cages in tropical climate conditions. *Aquaculture Research*.
- Motřková, K., Podlípna, R., Vaněk, T., Kafka, 2014. Halofytní rostliny a jejich možné využití ve fytořemediacích. *Chemické listy*, 108(6), 586-591.
- Mráz J., Lunda R., Stejskal V., 2018 Konstrukce recirkulačních akvaponických systémů. č. 171. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod. 78 s.
- 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.
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Strauch, S. M., Kotzen, B. 2019. Coupled aquaponics systems.
- Pasch, J., Palm, H. W. 2021. Economic Analysis and Improvement Opportunities of African Catfish (*Clarias gariepinus*) Aquaculture in Northern Germany. *Sustainability*, 13(24), 13569.
- Pinho, S. M., David, L. H., Garcia, F., Keesman, K. J., Portella, M. C., Goddek, S. 2021. South American fish species suitable for aquaponics: a review. *Aquaculture International*, 29(4), 1427-1449.

- Pitter, P. 2009. Hydrochemie. 4., aktualizované vydání. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 579 s.
- Pokluda, Robert; Kobza, František. 2011. Skleníky, fóliovníky, využití a pěstební technologie. Profi Press, 254 s.
- Pokorný, J., Adámek, Z., Dvořák, J., Šrámek, V. 1998. Pstruhařství. Informatorium, Praha. 242 s.
- Polícar T., Křišťan, J., Hampl, J., Blecha, M., Kolářová J. 2018. Provozní manuál sloužící k efektivnímu provozu intenzivní akvakultury využívající RAS. Edice Metodik (Certifikovaná metodika), FROV JU Vodňany, 169: 45 s.
- Practical Aquaponics, 2022 [online]. <https://www.aquaponics.net.au> [citace ze dne 10.1.2022]. Dostupné na WWW: <https://www.aquaponics.net.au/shop/products/52.php>
- Proksch, G., Ianchenko, A., Kotzen, B. 2019. Aquaponics in the built environment. In Aquaponics Food Production Systems, Springer, Cham, 523-558.
- Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R. C., Thoman, E. S. 2004, September. Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. In New dimensions on farmed Tilapia: proceedings of the sixth international symposium on Tilapia in Aquaculture, held September, 12-16.
- 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.
- Rasmussen, R. S., Larsen, F. H., Jensen, S. 2007. Fin condition and growth among rainbow trout reared at different sizes, densities and feeding frequencies in hightemperature re-circulated water. Aquaculture International, 15(2), 97-107
- Resh, Howard M. 2016. Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. CRC press, 560 s.
- Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., Lygren, E. 2006. Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. Aquacultural engineering, 34(3), 322-331.
- 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.
- Suhl, J., Dannehl, D., Kloas, W., Baganz, D., Jobs, S., Scheibe, G., Schmidt, U. 2016. Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. Agricultural water management, 178, 335-344.
- Summerfelt, S. T., Mathisen, F., Holan, A. B., Terjesen, B. F. 2016. Survey of large circular and octagonal tanks operated at Norwegian commercial smolt and post-smolt sites. Aquacultural engineering, 74, 105-110.
- Rosenqvist, T., E., Ottosen, C. O. 2015. Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism: a review. HortScience, 50(8), 1128-1135.
- Thórarinsdóttir, R. I., Kledal, P. R., Skar, S. L. G., Sustaeta, F., Ragnarsdóttir, K. V., Mankasingh, U., Shultz, C. 2015. Aquaponics guidelines.
- Tůmová, V., Klímová, A., Kalous, L. 2020. Status quo of commercial aquaponics in Czechia: A misleading public image?. Aquaculture Reports, 18, 100508.

- Turnšek, M., Joly, A., Thorarinsdottir, R., Junge, R. 2020. Challenges of commercial aquaponics in Europe: beyond the hype. *Water*, 12(1), 306 s.
- Van Os, E. A., Gieling, T. H., Lieth, J. H. 2019. Technical Equipment in Soilless Production Systems. *Soilless Culture*, 587–635.
- Villarroel, M., Junge, R., Komives, T., König, B., Plaza, I., Bittsánszky, A., Joly, A. 2016. Survey of aquaponics in europe. *Water*, 8(10), 468 s.
- Viscon Group, 2022 [online]. <https://viscongroup.eu/> [citace ze dne 9.1.2022]. Dostupné na WWW: <https://viscongroup.eu/news/deep-water-cultivation-of-lettuce/>
- Wellgain Greenhouse, 2022 [online]. <https://www.wellgaingreenhouse.com> [citace ze dne 9.1.2022]. Dostupné na WWW: https://www.wellgaingreenhouse.com/nft-pvc-hydroponic-system_p27.html
- Ženíšková, H., Chalupa, P., Heimlich, R., 2019. Fish Annual Report of Ministry of Agriculture. Ministry of Agriculture of the Czech Republic, Prague, 47 s.

8. Seznam obrázků

Obr. č. 1 Akvaponický koloběh živin (upraveno dle Zou, a kol., 2016)	10
Obr. č. 2 Schéma dvou typů akvaponických systémů (upraveno dle Monsees a kol., 2017)	12
Obr. č. 3 DWC systém (Wiscon group, 2022)	21
Obr. č. 4 (Wellgain Greenhouse, 2022)	23
Obr. č. 5 Media bed systém (Practical Aquaponics, 2022)	24
Obr. č. 6 Drip systém (Goldlocki, 2002)	25
Obr. č. 7 Aeroponie (GroAdvisor, 2022)	26
Obr. č. 8 Toxicita amoniaku v závislosti na pH vody (upraveno dle Thorarinsdottir, 2015)	30
Obr. č. 9 Dostupnost jednotlivých živin v závislosti na pH s vyznačením provozních pH hydroponie a akvaponie (Upraveno dle Goddek a Lennard., 2019)	31
Obr. č. 10 Hala s akvaponickým systémem v Řisutech	41
Obr. č. 11 Lokalizace akvaponické farmy v Řisutech (Google Maps, 2022)	41
Obr. č. 12 Vnitřní část akvaponické farmy v Řisutech (vlastní foto)	41
Obr. č. 13 Schéma původního systému akvaponické farmy v Řisutech, kde 1-chovné nádrže, 2-filtrace hrubých nečistot s rašlovými pytli a kartáči, 3-filtr Nexus, 4-retenční nádrž s čerpadlem v chovné části, 5-pěstební záhony, 6-retenční nádrž s čerpadlem v pěstební části	42
Obr. č. 14 Chovná část původního systému (vlastní foto)	43
Obr. č. 15 Místnost s původní mechanickou a biologickou filtrací (vlastní foto)	43
Obr. č. 16 Pěstební část (vlastní foto)	44
Obr. č. 17 Lokalizace akvaponické farmy Flenexa (Google Maps, 2022)	48
Obr. č. 18 Chovná část akvaponické farmy v Lážovicích (Aquaponia, 2022)	49
Obr. č. 19 Pěstební část akvaponické farmy v Lážovicích (Aquaponia, 2022)	50
Obr. č. 20 Lokalizace akvaponické farmy v Lážovicích (Google Maps, 2022)	50
Obr. č. 21 Akvaponická farma Kaly – pěstební část (Future Farming, 2022)	52
Obr. č. 22 Akvaponická farma Kaly – chovná část (Future Farming, 2022)	52
Obr. č. 23 Lokalizace akvaponické farmy v Kalech (Google Maps, 2022)	52
Obr. č. 24 NFT systém ve tvaru A v Heršpicích (Farmia food, 2022)	54
Obr. č. 25 Akvaponická farma Heršpice (Future Farming, 2022)	54
Obr. č. 26 Lokalizace akvaponické farmy v Heršpicích (Google Maps, 2022)	54

Obr. č. 27 Přítok vody v původním systému (vlastní foto).....	58
Obr. č. 28 Ploché dno původní chovné nádrže (foto R. Gebauer).....	59
Obr. č. 29 Mechanická filtrace původního systému (vlastní foto).....	61
Obr. č. 30 Schéma optimalizovaného systému kde 1-Chovné nádrže, 2- bubnový filtr, 3- retenční nádrž, 4- biologický filtr, 5-radiální filtr, 6-mineralizační nádrž,7- retenční nádrž pěstební části, 8-pěstební záhony.....	63
Obr. č. 31 Upravené kónické dno v optimalizovaném systému se vzduchovacím diskem (foto R. Gebauer).....	65
Obr. č. 32 Nádrže s biofiltračními elementy (foto R. Gebauer)	66

9. Seznam tabulek

Tab. č. 1 Nejčastěji chované ryby v akvaponických systémech.....	35
Tab. č. 2 Farmám posílaný dotazník.....	39
Tab. č. 3 Zjištěné informace o akvaponické farmě firmy Flenexa plus s.r.o.....	48
Tab. č. 4 Zjištěné informace o akvaponické farmě v Lážovicích.	50
Tab. č. 5 Zjištěné informace o akvaponické farmě Kaly	53
Tab. č. 6 Zjištěné informace o akvaponické farmě Heršpice.....	55
Tab. č. 7 Zjištěné informace o přestavěné akvaponické farmě v Lánově.....	56
Tab. č. 8 Shrnutí vlastností komerčních akvaponických farem v České republice	57
Tab. č. 9 Porovnání výměny vody v nádržích v původním a optimalizovaném systému	68
Tab. č. 10 Biofiltrační schopnosti jednotlivých systému v porovnání s množstvím produkovaného amoniaku při maximální biomase	68
Tab. č. 11 Produkční parametry v první fázi experimentu (W0 průměrná hmotnost ryb na začátku, Biomasaz biomasa na začátku etapy, Wt průměrná hmotnost ryb na konci, Biomasak biomasa na konci etapy), mortalita, spotřeba krmiva, FCR a SGR.....	74
Tab. č. 12 Produkční parametry v druhé fázi experimentu (W0 průměrná hmotnost ryb na začátku, Biomasaz biomasa na začátku etapy, Wt průměrná hmotnost ryb na konci, Biomasak biomasa na konci etapy), mortalita, spotřeba krmiva, FCR a SGR. *původní biomasa byla 192 kg, 35 kg bylo odloveno.	74

Tab. č. 13 Porovnání produkčních parametrů pěstební části v původním a optimalizovaném systému	75
Tab. č. 14 Výsledky rozborů vody v optimalizovaném a původním systému v porovnání s nutričními požavaky dle Resh (2016).....	75

10. Seznam grafů

Graf č. 1 Porovnání původního a optimalizovaného systému dle koncentrace rozpuštěného kyslíku s vyjádřenou kritickou hladinou.....	69
Graf č. 2 Porovnání původního a optimalizovaného systému v nasycení vody kyslíkem	70
Graf č. 3 Srovnání původního a optimalizovaného systému dle toxického $\text{NH}_4\text{-N}$	71
Graf č. 4 Srovnání původního a optimalizovaného systému dle toxického $\text{NO}_2\text{-N}$	72
Graf č. 5 Srovnání původního a optimalizovaného systému dle $\text{NO}_3\text{-N}$	73

11. Abstrakt

Stav komerčních akvaponických farem v České republice

Cílem této práce bylo vypracování literární rešerše zaměřené na problematiku komerčních akvaponických systému a na analýzu komerčních akvaponických systémů na území České republiky. V druhé části práce byly vytipovány a detailně popsány nedostatky komerčního akvaponického systému v Řisutech. Ve spolupráci s firmou Aerolux s.r.o. byl jeden z těchto systému přestavěn, optimalizován a experimentálně porovnán s jedním z původních systémů.

Bylo zjištěno, že se na území ČR nachází 6 systémů, na které lze vztáhnout definici komerční farmy. Většina těchto farem byla původně stavěna zastaralým, jednosmyčkovým typem zapojení akvaponických systémů. Tyto systémy od výstavby prošly a stále procházejí postupnou rekonstrukcí zaměřenou na inovaci, a i na rozpojování RAS a hydroponické části. Hlavním chovaným druhem ryb je sumec africký a pstruh duhový. Hlavními pěstovanými rostlinami jsou saláty a bylinky, pouze jedna farma se okrajově pokouší i o plodovou zeleninu. Většina těchto farem je vybudována v indoor instalacích s potřebou umělého osvětlení, což výrazně zvyšuje náklady na provoz. Pouze dvě farmy využívají výhod skleníku.

V akvaponické farmě v Řisutech bylo zjištěno několik zásadních nedostatků jako malá výměna vody v nádržích, nedostatečná biologická a mechanická filtrace, nevhodné konstrukční řešení nádrží, podceněné vzduchování, únik kalů do hydroponické části a celková nestabilita systému. Tyto zjištěné nedostatky byly odstraněny, a navíc došlo k rozpojení systému z jednosmyčkového na vícesmyčkový, se zapojením mineralizační jednotky.

Z výsledků bylo zjištěno, že původní systém měl maximální kapacitu 157 kg, což v celkovém objemu 19,6 m³ činí hustoty obsádky pouze 8 kg.m³. Optimalizovaný akvaponický systém zvládl obsádku až 50 kg.m³. Výsledky produkčních vlastností pěstebních částí ukázaly, že saláty v optimalizovaném systému rostou 2x rychleji. Výsledky rozbory vody na obsah živin ukázaly efektivitu přidané mineralizační jednotky, kde v optimalizovaném systému po 60 dnech byl deficit pouze tří živin a prvků, kdežto v původním systému dvanáct.

Klíčová slova: Konstrukce akvaponických systému, optimalizace, produkční vlastnosti, pstruh duhový, vícesmyčkové systémy

12. Abstract

Status of commercial aquaponic farms in the Czech Republic

The aim of this thesis was to conduct a literature search focused on the issue of commercial aquaponic systems and to analyse commercial aquaponic systems in the Czech Republic. In the second part of the thesis the shortcomings of the commercial aquaponic system in Řisuty were identified and described in detail. In cooperation with Aerolux s.r.o., one of these systems was rebuilt, optimized, and experimentally compared with one of the original systems.

It was found that there are 6 systems in the Czech Republic that can be suitable to the definition of a commercial aquaponic farm. Most of these farms were originally built with an outdated, one-loop type of aquaponic system. Since construction, these systems have undergone and are still undergoing a renovation aimed at innovation, and also at decoupling the RAS and hydroponic parts. The main fish species reared are African catfish and rainbow trout. The main crops grown are salads and herbs, with only one farm marginally attempting to grow fruiting vegetables. Most of these farms are built in indoor installations with the need for artificial lighting, which significantly increases the cost of operation. Only two farms take advantage of the greenhouse.

In the aquaponic farm in Řisuty, several major deficiencies were found, such as low water exchange in the tanks, insufficient biological and mechanical filtration, inappropriate design of the tanks, underestimated aeration, leakage of sludge into the hydroponic part and overall instability of the system. These identified deficiencies have been optimized and, in addition, the system has been disconnected from a single-loop to a multi-loop system, with the inclusion of a mineralisation unit.

From the results, it was found that the original system had a maximum capacity of 157 kg, which in a total volume of 19.6 m³ makes the stocking density only 8 kg.m³. The optimized aquaponic system could handle stocking up to 50 kg.m³. The results of the production characteristics of the growing parts showed that the lettuces in the optimized system grew twice as fast. The results of the water analysis for nutrient content showed the effectiveness of the added mineralization unit, where in the optimized system after 60 days there was a deficiency of only three nutrients and elements, whereas in the original system there was twelve.

Key words: Aquaponic system construction, decoupled systems, optimization, production characteristics, rainbow trout