



EVROPSKÁ UNIE
Evropský námořní a rybářský fond
Operační program Rybářství



Fakulta rybářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice
Czech Republic

TECHNICKÁ ZPRÁVA PROJEKTU

Název projektu:

**Optimalizace technologie akvaponické
farmy pro zvýšení produkce ryb
a zlepšení kvality vody**

Registrační číslo projektu: CZ.10.2.101/2.1/0.0/19_016/0000985



EVROPSKÁ UNIE
Evropský námořní a rybářský fond
Operační program Rybářství



Fakulta rybářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice
Czech Republic

Příjemce:

Obchodní firma nebo název: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Adresa: Branišovská 1645/31a, 370 05 České Budějovice

IČ: 60076658

Registrační číslo projektu: CZ.10.2.101/2.1/0.0/19_016/0000985

Název projektu: Optimalizace technologie akvaponické farmy pro zvýšení produkce ryb a zlepšení kvality vody

Jméno a příjmení osoby, která je oprávněna příjemce dotace zastupovat:

prof. PhDr. Bohumil Jiroušek, Dr.

Partner projektu:

Obchodní firma nebo název: Aquaponic Park s.r.o.

Adresa: Kováků 3280/5, 150 00 Praha

IČ: 06853692

Jméno a příjmení osoby, která je oprávněna partnerský subjekt zastupovat:

Ing. Tereza Moravcová (Kosíková)

Zpracovatel technické zprávy projektu:

Název nebo obchodní jméno: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Adresa: Zátiší 728/II, 389 25 Vodňany

IČ: 60076658

Místo a datum zpracování technické zprávy: Vodňany, 28.1.2022

Jména a příjmení osob, které zpracovaly technickou zprávu:

doc. Ing. Jan Mráz, Ph.D.

Ing. Radek Gebauer, Ph.D.

Jméno a příjmení osoby, která je oprávněna zpracovatele technické zprávy zastupovat:

prof. PhDr. Bohumil Jiroušek, Dr.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský námořní a rybářský fond
Operační program Rybářství



Fakulta rybářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice
Czech Republic

Souhlas s publikací technické zprávy:

Souhlasím se zveřejněním této technické zprávy projektu v rámci opatření 2.1. Inovace z Operačního programu Rybářství 2014 – 2020 na internetových stránkách Ministerstva zemědělství a s využíváním výsledků této technické zprávy všemi subjekty z odvětví rybářství.

Podpis osoby oprávněné zastupovat:

1. Příjemce dotace (veřejnoprávní subjekt):

prof. PhDr. Bohumil Jiroušek, Dr.

2. Partnera projektu (podnik akvakultury):

Ing. Tereza Moravcová (Kosíková)

3. Zpracovatele technické zprávy:

prof. PhDr. Bohumil Jiroušek, Dr.



Obsah

1. CÍL	6
1.1. Co je cílem projektu.....	6
1.2. V čem spočívá inovativnost technologie	6
1.3. Proč je nutná inovace, která je předmětem projektu.....	6
2. ÚVOD.....	7
3. MÍSTO A PRŮBĚH OPTIMALIZACE	8
3.1. Místo optimalizace a testování.....	8
3.2. Průběh optimalizace a testování	9
4. MONITORING SOUČASNÉHO STAVU	10
5. VYTIPOVÁNÍ PROBLÉMOVÝCH MÍST	13
5.1. Výměna vody v chovných nádržích	13
5.2. Konstrukce nádrží a výpust.....	13
5.3. Mechanická a biologická filtrace.....	14
5.4. Zdroj a distribuce vzduchu	14
5.5. Pěstební část akvaponického systému.....	15
5.6. Neoddělená chovná a pěstební část, konstrukce haly.....	16
6. NÁVRH, PŘESTAVBA A DALŠÍ OPTIMALIZACE	17
6.1. Zvýšení výměny vody v chovných nádržích	17
6.2. Optimalizace konstrukce nádrží.....	18
6.3. Optimalizace mechanické a biologické filtrace	19
6.4. Optimalizace zdroje a distribuce vzduchu	22
6.5. Optimalizace pěstební části akvaponického systému	22
6.6. Neoddělená chovná a pěstební část, konstrukce haly.....	23
7. SCHÉMA OPTIMALIZOVANÉHO SYSTÉMU	24



EVROPSKÁ UNIE
Evropský námořní a rybářský fond
Operační program Rybářství



Fakulta rybářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice
Czech Republic

8. SBĚR VZORKŮ, DAT A JEJICH ANALÝZA.....	26
8.1. Měřené parametry při záběhu biofiltrů	26
8.2. Nasazení ryb do experimentu	27
8.3. Měřené parametry v průběhu experimentu	27
8.4. Výpočty a statistické hodnocení	28
9. POROVNÁNÍ PŮVODNÍHO A OPTIMALIZOVANÉHO SYSTÉMU	30
9.1. Fyzikální a chemické parametry v průběhu záběhu biofiltrů	30
9.2. Fyzikální a chemické parametry v průběhu experimentu.....	30
9.3. Produkce kalů v průběhu záběhu experimentu	36
9.4. Spotřeba vody v průběhu experimentu	36
9.5. Porovnání produkčních parametrů	37
9.6. Porovnání ekonomických parametrů	40
10. ZÁVĚR	46
11. REFERENCE	49
12. PŘÍLOHY	50



1. Cíl

1.1. Co je cílem projektu

Akvaponie je udržitelná technologie symbioticky kombinující chov ryb a pěstování rostlin, kdy většina živin potřebných pro růst rostlin pochází od ryb. Nově vybudované komerční akvaponické farmy v ČR mají problém s nevhodným designem technologií. Správný design akvaponického systému přitom zásadně ovlivňuje výnosy systému, množství vypouštěných látek, a tudíž i jeho udržitelnost.

Cílem projektu je optimalizace akvaponického systému na akvaponické farmě. Takto upravený systém bude otestován oproti stávajícímu systému a případně budou navrženy další úpravy tak, aby byl systém pro chov ryb optimální z hlediska produkce, tak i welfare ryb a zároveň se minimalizovalo množství vypouštěných kalů. Takto získaná data mohou v budoucnu umožnit optimalizaci dalších systémů na dané farmě, ale i ostatních farem v rámci ČR. V rámci projektu bude rovněž vyhodnocena ekonomická náročnost a přínos těchto změn.

1.2. V čem spočívá inovativnost technologie

Inovativnost technologie spočívá v optimalizaci designu akvaponické farmy z jednosmyčkového systému na vícesmyčkový. Díky tomu mohou být zajištěny vhodné podmínky v jednotlivých subsystémech (chovná část s biofiltrem a pěstební část), lépe vyhovující chovaným organismům. Předpokládáme, že optimalizací akvaponické farmy vznikne unikátní technologie chovu ryb, která má minimální ekologickou zátěž a využívá maximum vzniklých odpadních látek jako zdroj pro pěstování rostlin. Jedná se tak o vysoce progresivní technologii chovu ryb a pěstování rostlin, jejíž produkty jsou obvykle prodávány pod specifickou značkou, popř. v USA jako organický produkt. Díky tomu lze oslovit specifický segment trhu vyžadující ekologicky produkováné potraviny.

1.3. Proč je nutná inovace, která je předmětem projektu

Nově vybudované komerční akvaponické farmy v ČR mají problém s nevhodným designem technologií, kdy využívají tzv. jednosmyčkové systémy adaptované z hobby systémů, popř. ze systémů z tropických oblastí. Následkem toho není možné plně využít jejich potenciál pro chov ryb, trpí na špatnou kvalitu vody, špatný růst, úhyny a vypouští relativně velké množství odpadních kalů. Profesionální akvaponické farmy v našem podnebném pásu jsou obvykle založeny na dvou a více smyčkovém systému, který umožňuje minimalizovat nedostatky jednosmyčkového systému, optimalizovat podmínky prostředí pro jednotlivé chované organismy, zvýšit produkci ryb i jejich welfare a pomocí mineralizačních jednotek také snížit množství vypouštěných odpadních kalů.

Díky optimalizaci technologie akvaponického systému by mělo dojít ke zlepšení kvality vody, welfare ryb a jejich produkce. Zároveň předpokládáme, že díky mineralizačním jednotkám dojde ke snížení spotřeby vody a hnojiv a také ke snížení produkce odpadních vod a kalů.



2. Úvod

Akvaponie je udržitelná technologie symbioticky kombinující chov ryb a pěstování rostlin, kdy většina živin potřebných pro růst rostlin pochází od ryb. Tato technologie má velký potenciál hrát důležitou roli při řešení globálních výzev lidstva jako jsou např. růst produkce potravin z důvodu prudkého růstu lidské populace, nedostatek a zdražování zdrojů vody, půdy, hnojiv, emise skleníkových plynů apod. V akvaponických systémech je odpadní voda z chovu ryb využita pro pěstování rostlin, nedochází tedy ke znečišťování životního prostředí a systém má minimální potřebu doplňování hnojiv. Pro provoz akvaponie je potřeba minimum vody (cca 10 % oproti konvenčnímu zemědělství). Zároveň není potřeba půdy, a tak lze akvaponii provozovat přímo v městském prostředí (např. střechy budov či tzv. brownfields) a minimalizovat tak dopravu mezi místem produkce potravin a jejich spotřebou. Lze tak produkovat čerstvé potraviny ve vrcholném stádiu zralosti a lze je dodávat na trh celoročně ve vysoké kvalitě. Pro ochranu rostlin nejsou používány chemické pesticidy, ale ekologické přístupy jako např. použití biologické ochrany. Oxid uhličitý, který je vyprodukován rybami je spotřebován rostlinami, a tak nejsou produkovány skleníkové plyny.

Rané akvaponické systémy využívaly tzv. jednosmyčkovou technologii, kdy voda cirkuluje mezi chovnou částí s rybami a pěstební částí s rostlinami. Výhodou této technologie je její jednoduchost, hlavní nevýhodou je potom nevyužití plného potenciálu akvaponie, protože je nutné jít cestou kompromisů, co se týče environmentálních podmínek (různé optimální teploty a pH pro ryby, bakterie v biofiltru a rostliny), což má za následek nižší výnosy. Naproti tomu moderní akvaponické systémy využívají tzv. dvou-/vícesmyčkovou technologii, ve které je chovná část oddělena od pěstební části a lze tedy upravit environmentální podmínky pro jednotlivé složky systému. Odpadní voda z chovné části je potom přepouštěna do pěstební části podle potřeby a může být doplněna o chybějící živiny (především draslík, fosfor a železo). Tato technologie může být navíc doplněna o smyčku s mineralizační nádrží, kde dochází k uvolnění živin z kalů z chovu ryb, čímž lze docílit maximálního využití odpadních látek z chovu ryb, a tudíž nižší závislosti na dodávce živin. Z pěstební části pak není voda přímo vedena zpět do chovné části a je tak možné využít přírodních pesticidů, popř. biologické ochrany bez obav, že narušíme ryby, nebo bakteriální složku v chovné části.

Většina nově vybudovaných komerčních akvaponických farem v ČR využívá jednosmyčkový design, který dodavatelská firma převzala z hobby systémů, popř. ze systémů z tropických oblastí. Následkem toho není možné plně využít potenciál jejich systému a hrozí jejich ekonomický bankrot.

V rámci projektu byl na akvaponické farmě s jednosmyčkovými systémy optimalizován jeden z akvaponických systémů na vícesmyčkový. Takto upravený systém byl otestován oproti stávajícímu jednosmyčkovému systému a byly navrženy další úpravy tak, aby byl systém pro chov ryb optimální z hlediska růstu, tak i welfare ryb a minimalizovalo se množství vypouštěných kalů. Takto získaná data mohou umožnit v budoucnu optimalizovat další systémy na dané farmě, ale i další farmy v rámci ČR. V rámci projektu byla rovněž vyhodnocena ekonomická náročnost a přínos těchto změn.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský námořní a rybářský fond
Operační program Rybářství



Fakulta rybářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice
Czech Republic

3. Místo a průběh optimalizace

3.1. *Místo optimalizace a testování*

Optimalizace akvaponického systému a jeho testování probíhalo na akvaponické farmě Aquaponic Park s.r.o. (Obr. 1.). Akvaponická farma je umístěna v bývalé skladové hale (Obr. 2.). Společnost Aquaponic Park s.r.o. byla založena v únoru roku 2018 za účelem provozování akvaponické farmy. Společnost vlastní jeden majitel, který je zároveň jednatelem společnosti (Ing. Tereza Moravcová, roz. Kosíková). Společnost je evidována jako zemědělský podnik na živnostenském úřadě. Společnost splňuje všechny legislativní podmínky pro provozování chovu ryb a pěstování zeleniny. Toto potvrzuje kontrola Státní veterinární správy pro Středočeský kraj, která proběhla bez výhrad.

Důvody, které vedly majitele k zahájení podnikání v akvaponii jsou nejistota budoucnosti tradičního zemědělství a chovu ryb s ohledem na zhoršující se stav klimatu. Silným argumentem podporující tuto myšlenku byla možnost využívání zvýhodněné ceny elektrické energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou, která je součástí areálu. V případě ideálních podmínek pokryje tato výroba elektřiny 60 % celkové spotřeby farmy ročně. Původně měla farma čtyři jednosmyčkové akvaponické systémy umístěné v hale (Obr. 3. a 4.).

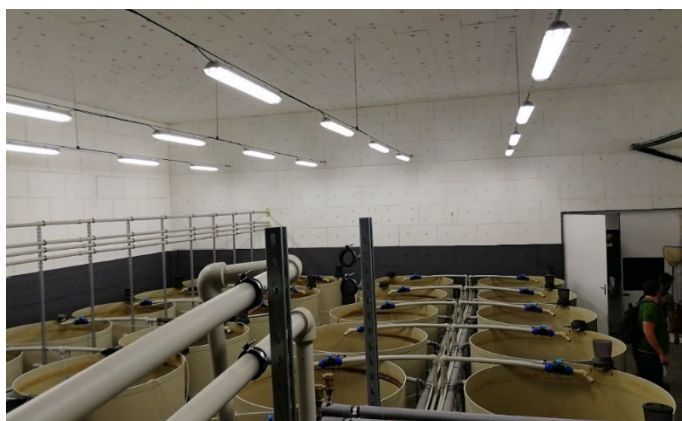


AQUAPONIC PARK
est. 2018

Obr. 1. Loga spolupracujících organizací.



Obr. 2. Vjezd do areálu akvaponické farmy Aquaponic Park s.r.o. a hala s akvaponickými systémy.



Obr. 3. a 4. Původní chovné systémy (vlevo) a stojan s pěstebními nádržemi (vpravo).

3.2. Průběh optimalizace a testování

Řešení projektu bylo rozděleno do několika fází:

1) Monitoring současného stavu farmy

V této fázi byl monitorován stav jednosmyčkového akvaponického systému na akvaponické farmě. V rámci monitoringu byly dokumentovány průtoky v nádržích s rybami, samočistící schopnost nádrží, funkčnost a kapacity mechanické a biologické filtrace a kapacita zdroje vzduchování v nádrži.

2) Vytipování dílčích prvků technologie RAS k optimalizaci

Na základě monitoringu původního akvaponického systému byly vytipovány prvky nutné pro optimalizaci chovné části akvaponického systému (tzv. recirkulačního akvakulturního systému; RAS).

3) Návrh vícesmyčkového systému s optimalizovanými prvky RAS

Současně s bodem 2 byla navržena přestavba z jednosmyčkového na vícesmyčkový systém, umožňující optimalizaci environmentálních parametrů pro ryby i rostliny.

4) Vlastní optimalizace a přestavba jednoho systému v rámci farmy

Na základě návrhů pro optimalizaci byl jeden z RAS v rámci farmy přebudován na optimalizovaný akvaponický systém.

5) Ověření funkčnosti optimalizovaného systému v praxi

Po předělání optimalizovaného systému byla ověřena jeho funkčnost v praktickém provozu.

6) Návrh a další optimalizace

Na základě zjištěných poznatků a monitoringu byl optimalizovaný systém dále upraven.

7) Testování optimalizovaného systému v porovnání s jednosmyčkovým systémem

Optimalizovaný systém byl testován v porovnání s původním jednosmyčkovým systémem v rámci farmy z pohledu produkce ryb, jejich welfare a kvality vody.

8) Odběry a analýza vzorků a dat

V průběhu testování byly odebírány vzorky a data a provedena jejich analýza a porovnání

9) Vyhodnocení funkčnosti optimalizovaného systému a ekonomické vyhodnocení a přínos optimalizací

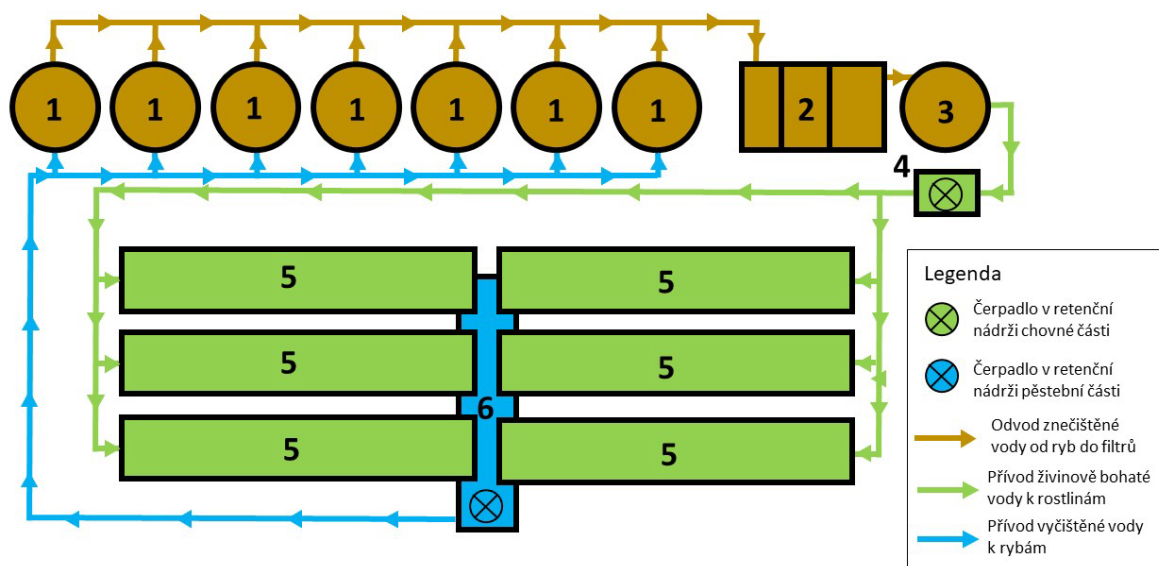
Z nasbíraných dat bylo provedeno vyhodnocení funkčnosti optimalizovaného systému a ekonomický přínos optimalizací.



4. Monitoring současného stavu

Uvnitř haly se nachází 4 nezávislé jednosmyčkové akvaponické systémy. Celkový objem každého systému včetně vody v potrubí je cca 32,5 m³. Schéma původního systému je znázorněno na Obr. 8. Každý systém sestává ze:

- 7 chovných kruhových nádrží (výška 120 cm, průměr 190 cm) s objemem vody 2,8 m³ (Obr. 9.),
- průtokového ohřívače (Obr. 10.),
- filtru hrubých nečistot (výška 90 cm, šířka 100 cm, délka 195 cm) o objemu vody 1,75 m³ se 40 kartáči a 16 rašlovými pytli s biofiltračními elementy (Obr. 11.),
- kombinovaného mechanického a biologického filtru Nexus 300 (Evolution Aqua, Spojené království) se vzduchovacím kompresorem (Hailea ACO-009E, Čína) o výkonu 140 l/min (Obr. 12.),
- retenční nádrže chovné části (výška 70 cm, šířka 50 cm, délka 100 cm) o objemu vody 0,28 m³ s čerpadlem DM-22 000S Vario o výkonu 200 W, 22 000 l/hod (Aqua-Forte, Nizozemsko; Obr. 13.),
- vzduchovacího kompresoru chovné části o výkonu 275 l/min (Hailea ACO-500, Čína), **po 150 dnech experimentu byly kvůli nízké koncentraci kyslíku přidány další 3 totožné kompresory,**
- 18 pěstebních nádrží raftového typu (výška 15 cm, šířka 115 cm, délka 470 cm) o celkovém objemu vody 10,2 m³ s LED osvětlením (540 W každá pěstební nádrž; Obr. 14.),
- retenční nádrže pěstební části (výška 20 cm, šířka 100 cm, délka 200 cm) o objemu vody 0,26 m³ s čerpadlem DM-22 000S Vario o výkonu 200 W, 22 000 l/hod (Aqua-Forte, Nizozemí; Obr. 15.),
- vzduchovacího kompresoru pěstební části o výkonu 140 l/min (Hailea ACO-009E, Čína).





Obr. 8. Schéma původního akvaponického systému. Na farmě byly celkem čtyři identické systémy. Znečištěná voda z kruhových chovných nádrží (1) teče gravitačně do tříkomorového filtru (2) opatřeného filtračními kartáči pro zachyt hrubých nečistot (40 ks) a rašlovými pytli naplněnými biofiltračními elementy (16 ks á 10 l biofiltračních elementů). Odtud voda teče do kombinovaného filtru Nexus se 100 l biofiltračních elementů (3) a do retenční nádrže chovné části (4). Následně je voda čerpána do hydroponických nádrží (5; celkem 6 stojanů po 3 nádržích s vertikálním uspořádáním) a gravitačně teče do retenční nádrže pěstební části (6). Odtud je voda čerpána zpět k rybám přes průtokový ohřívač.



Obr. 9. a 10. Chovné nádrže (vlevo) a průtokový ohřívač (vpravo).



Obr. 11., 12. a 13. Filtr hrubých nečistot se 40 kartáči a 16 rašlovými pytli s biofiltračními elementy (vlevo), kombinovaný filtr Nexus 300 (uprostřed) a retenční nádrž chovné části s čerpadlem (vpravo).



EVROPSKÁ UNIE
Evropský námořní a rybářský fond
Operační program Rybářství



Fakulta rybářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice
Czech Republic



Obr. 14. a 15. Stojan s pěstebními nádržemi (vlevo) a retenční nádrž pěstební části s čerpadlem (vpravo).



5. Vytipování problémových míst

5.1. *Výměna vody v chovných nádržích*

Správná výměna vody z chovných nádržích a s ní spjatý odvod odpadních látek (amoniak, výkaly, nespotřebované krmivo) je základním předpokladem dobrého welfare ryb v RAS. Obecně se udává, že výměna vody v nádrži zhruba 1krát – 2krát za hodinu je vhodná pro lososovité ryby (Summerfelt a kol., 2016). Vyšší výměna vody nepřináší mnoho benefitů pro chov ryb, ale přitom zvyšuje energetickou náročnost na čerpání vody a energetický výdej ryb při plavání. Původní přítoky v nádržích se pohybovaly okolo 300 l za hodinu (Obr. 16. a 17.), což znamená, že se objem nádrže vyměnil jednou za 9 hodin (při objemu nádrží 2,8 m³). Taková výměna vody je nedostatečná pro odvod odpadních látek a může způsobovat hromadění metabolitů, oslabení imunity až úhyn ryb.



Obr. 16. a 17. Původní přítoky do chovných nádrží (vlevo) a původní rozvody vody (vpravo) vedené v trubkách PPR 50 mm x 6,9 mm do všech sedmi chovných nádrží.

5.2. *Konstrukce nádrží a výpust*

Kruhové nádrže s kónickým dnem a dnovou výpustí se vyznačují efektivním odvodem nečistot z nádrže pomocí hydrodynamiky proudící vody (tzv. samočistící funkce). Pro správný odvod vody by mělo mít dno sklon alespoň 1:50 (1 cm na 50 cm). Původní nádrže neměly kónické dno, po naplnění vodou se navíc dno vypouklo a nečistoty se hromadily v nádrži (Obr. 18.). Původní nádrže navíc nešly celé vypustit z důvodu výšky hladiny odváděné vody. Zastavením přívodu vody a přesměrováním vzduchu došlo k pomalému vypouštění pomocí tzv. airliftu (Obr. 19.). Po uzavření přívodu vzduchu do nádrže byla voda čerpána airliftem do šedé odpadní HT trubky. Slabý přívod vzduchu však byl schopný vyčerpat zhruba polovinu nádrže.



Obr. 18. a 19. Původní dno chovných nádrží (vlevo) a airlift pro vypuštění nádrže (vpravo).

5.3. Mechanická a biologická filtrace

V původním systému teče znečištěná voda z odchovných nádrží gravitačně do tříkomorového filtru hrubých nečistot. V první komoře jsou umístěny kartáče (40 ks) pro zachycení hrubých nečistot, zatímco v následujících komorách jsou umístěny rašlové pytle naplněné biofiltračními elementy (16 ks po 10 l biofiltračních elementů) pro jemnější filtraci. Následně teče voda do komerčního kombinovaného filtru Nexus 300, kde nejprve dochází k mechanické filtraci pomocí vortexu a plastových medií (20 l K1 Micro elementů) a poté k biologické filtraci (100 l K1 Media biofiltračních elementů). Mechanická filtrace pomocí kartáčů a rašlových pytlů s plastovým médiem je nevhodná pro komerční systémy z důvodu nízké efektivity, vysoké časové náročnosti a spotřebě vody při denním čištění a probíhající denitrifikaci z důvodu anaerobního prostředí (Tab. 1.). Biologická filtrace (100 l) je nedostatečná pro intenzivní chov v původním systému.

Tab. 1. Nasycení vody kyslíkem (%) ve filtru hrubých nečistot a v kombinovaném filtru Nexus 300 při biomase ryb 93 kg.

Místo měření	Nasycení kyslíkem (%)
Filtr hrubých nečistot	19,1
Nexus 300 mechanická část	33,4
Nexus 300 biologická část	65,3

5.4. Zdroj a distribuce vzduchu

Vzduchování a umístění vzduchovacího elementu v chovných nádržích zajišťuje dostatečné nasycení vody kyslíkem a zároveň by mělo podporovat samočisticí funkci, kdy se nečistoty vlivem hydrodynamického proudění koncentrují u dnové výpusti. Dále je vzduchování nutné pro zdárný průběh nitrifikace (přeměny toxického amoniaku na dusičnany v biofiltru), neboť se něm podílí především aerobní mikrobiální složka přisedlá na biofiltračních elementech. Vydatný zdroj vzduchu a následná efektivní distribuce je tedy zásadní při intenzivním chovu ryb v RAS. Vzduchování v původním systému zajišťoval



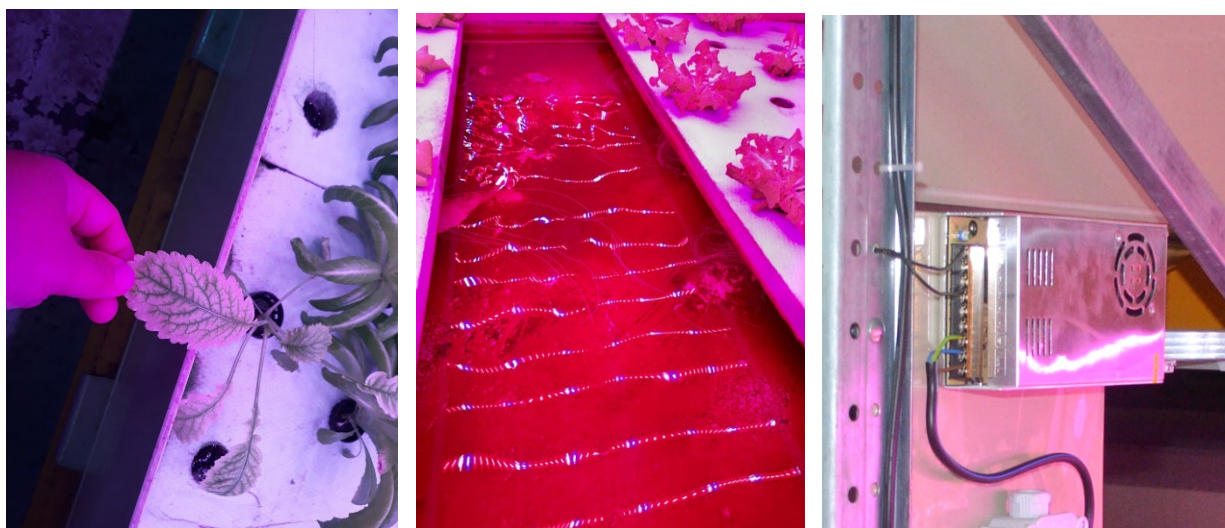
kompresor Hailea ACO-500 o výkonu 275 L/min v chovné části (Obr. 20.), kompresor Hailea ACO-009E o výkonu 140 L/min v pěstební části a stejný kompresor pro kombinovaný filtr Nexus 300. Do nádrží s rybami byl vzduch distribuován pomocí vzduchovacích kamenů s rozměry 5 x 10 cm (Obr. 21.). Kapacita vzduchovacích kompresorů není dostatečná pro intenzivní chov ryb v původním systému. Vzduchovací kameny mají nízký průtok vzduchu pro dosažení vhodných kyslíkových podmínek pro ryby i hydrodynamických podmínek pro podpoření samočistící funkce nádrže.



Obr. 20. a 21. Původní vzduchovací kompresor (vlevo) a kámen (vpravo).

5.5. Pěstební část akvaponického systému

Původní jednosmyčkový design akvaponického systému není vhodný pro komerční účely, není totiž možné optimalizovat podmínky v jednotlivých částech systému tak, aby vyhovoval všem součástem (nitrifikační bakterie, ryby, rostliny). Nelze navíc bezpečně používat systém integrované ochrany rostlin bez ohrožení ostatních součástí systému. V původním systému je veškerá voda z rybí části po čištění v mechanickém a biologickém filtru přečerpávána do hydroponických pěstebních systémů. Kaly jsou při odstranění v mechanickém filtru vypouštěny jako odpad, místo toho, aby byly živiny v nich využity pro pěstování rostlin. Výsledný živný roztok je tedy bohatý na dusičnany, ale chybějí v něm téměř všechny ostatní živiny. Z toho důvodu rostliny nedostatečně rostou, nemají vyrovnanou kvalitu a odolnost (Obr. 22.). Nedostatečná mechanická filtrace v původním systému navíc způsobuje přítomnost kalů v pěstebních nádržích pro rostliny, kde se rozkládají a snižují koncentraci kyslíku na kořenech rostlin (Obr. 23.). Tím opět dochází k jejich zhoršenému růstu a odolnosti. Elektrická instalace na pěstebních stojanech není chráněná před stříkající vodou a hrozí koroze, popř. úraz (Obr. 24.).



Obr. 22., 23. a 24. Živinný deficit na rostlině (vlevo) a dno pokryté kalem snižující kyslíkové poměry v pěstební nádrži (uprostřed) a nevhodná elektroinstalace na pěstebních stojanech (vpravo).

Distribuce vody z retenčních nádrží do pěstební části a následně zpět k rybám je vedena nevhodným způsobem (velké převýšení, úzké trubky, příliš mnoho kolen; Obr. 25. a 26.), což zásadně snižuje výkon čerpadel. Přitoky do pěstebních nádrží je obtížné unifikovat a často se stává, že některé pěstební nádrže jsou bez přítoku.



Obr. 25. a 26. Původní rozvody vody v trubkách PPR 50 x 6,9 s nevyhovujícím vnitřním průměrem snižující množství transportované vody.

5.6. Neoddělená chovná a pěstební část, konstrukce haly

Chovná i pěstební části nejsou odděleny. To má za následek vysokou vzdušnou vlhkost (přes 90 %) způsobenou výparem z chovné části. Vysoké stropy haly způsobují velkou tepelnou ztrátu v systémech. Rozsvícená LED světla v pěstební části přes den vydávají teplo, čímž zvýší teplotu. V noci však dojde k poklesu teploty a ke kondenzaci vody na hlávce salátu a k rozvoji plísňových chorob.



6. Návrh, přestavba a další optimalizace

6.1. Zvýšení výměny vody v chovných nádržích

V rámci optimalizace proběhlo zjednodušení rozvodů vody a zvětšení kapacity dopravované vody. Pro dosažení vhodných průtoků v chovných nádržích bylo nutné přidat čerpadlo. V optimalizovaném systému je tedy voda čerpána pomocí dvou čerpadel o výkonech 187 W, 20 000 l/hod (Aqua-Forte DM-20000, Nizozemsko) a dvou sacích hadic z s průměrem 50 mm (Obr. 27.). Rozvody jsou krátké, bez zbytečných kolen pro zachování co největšího výkonu čerpadel (Obr. 28.). V Tab. 2. jsou prezentovány průtoky a výměny vody v nádržích původního a optimalizovaného systému. Optimalizovaný systém má signifikantně vyšší přítoky do chovných nádržích a tím i výměnu vody v nádržích ($p < 0,05$). Výměna vody v optimalizovaných nádržích probíhá 0,9 - 1,24krát/hod, což je vhodné pro intenzivní chov lososovitých ryb (Summerfelt a kol., 2016).



Obr. 27. a 28. Sací hadice o průměru 50 mm vedoucí vodu z retenční nádrže do biofiltru (vlevo; na obrázku je jen jedna hadice, kterou bylo nutné doplnit o druhé čerpadlo a hadici stejného průměru pro dosažení vhodných průtoků v chovných nádržích). Z biofiltru vedou k nádržím 2 HT trubky o průměru 50 mm a 2 PPR trubky 50 mm x 6,9 (vpravo; pro dosažení optimálních průtoků v nádržích byly následně instalovány ještě další dvě HT trubky přivádějící vodu do chovných nádrží).

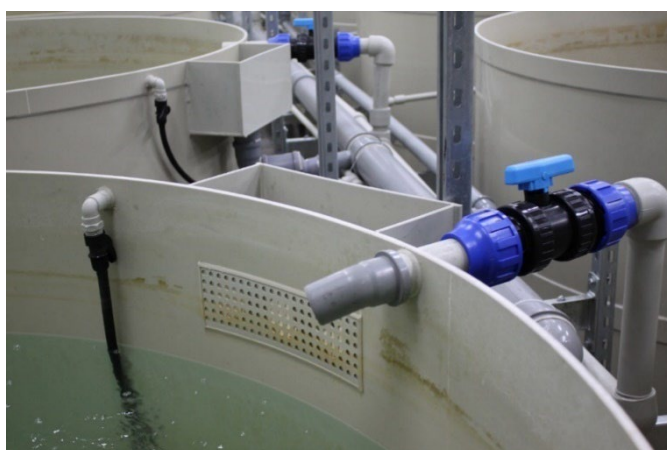
Tab. 2. Přítoky vody do nádrží a výměna vody v chovných nádržích v původním ($n=7$) a optimalizovaném ($n=6$) systému. Různá písmena v jednotlivých sloupcích označují signifikantní rozdíly ($p < 0,05$). Data prezentována jako průměr $\pm$ směrodatná odchylka.

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



6.2. Optimalizace konstrukce nádrží

V rámci optimalizace byl zvětšen sklon kónického dna (Obr. 29.) pro zlepšení odvodu nerozpuštěných částic a vyztužen kónus. Zároveň byl instalován boční odtok (tzv. nádrže typu Cornell; Obr. 30.) pro zkapacitnění odtoku vody a také pro dosažení vhodnějších hydrodynamických podmínek pro ryby a uniformnějších environmetálních podmínek v chovných nádržích (Summerfelt a kol., 2000). V optimalizovaném systému je možné vypustit celý objem nádrže za relativně krátkou dobu, což umožňují instalované odkalovací ventily u dnové výpusti (Obr. 31.).



Obr. 29. a 30. Upravené kónické dno (vlevo) a boční výpust (vpravo) v optimalizovaných nádržích.



Obr. 31. Instalované odkalovací ventily u dnových výpustí umožňují kompletní vypuštění nádrží.



6.3. Optimalizace mechanické a biologické filtrace

V rámci optimalizace mechanické filtrace v akvaponickém systému byl osazen bubnový mechanický filtr s mikrosítem s průtokem 65 m³/hod (DVS Filtertechnik PP65, Nizozemsko; Obr. 32.). Při objemu vody 15 m³ v chovných nádržích optimalizovaného systému (6 nádrží po 2,5 m³) má tedy filtr dostatečnou kapacitu. Po oplachu mikrosíta teče kal do radiálního filtru (Obr. 33.), kde je zahuštěn (Obr. 34.). Supernatant z radiálního filtru je přiveden zpět do chovného systému, čímž dochází k úspoře vody.



Obr. 32., 33. a 34. Mechanický bubnový filtr (vlevo), radiální filtr pro zahuštění kalů (uprostřed) a zahuštěný kal (vpravo).

Zahuštěné kaly jsou podle potřeby přečerpány kalovým čerpadlem do mineralizačních nádrží (Obr. 35.), kde dochází k uvolnění živin z kalů do vodní fáze pomocí aerace a heterotrofních bakterií (Obr. 36.). Vodní kaly jsou tedy zredukovány, efektivně využity a je snížena potřeba dodávky minerálních hnojiv. Zároveň je minimalizována časová náročnost a spotřeba vody potřebná při čištění kartáčů a rašlových pytlů v původním systému, kdy obsluha bubnového filtru v optimalizovaném systému spočívá v kontrole průchodnosti trysek a propláchnutím síta jednou měsíčně.

Biologická filtrace (přeměna toxického amoniaku na dusičnany pomocí nitrifikačních bakterií) je srdcem RAS. Při poddimenzované kapacitě biologického filtru hrozí nahromadění toxického amoniaku v systému, čímž dojde k otravě ryb a tím i kolapsu celého akvaponického systému. Existuje několik typů biologických filtrů, z nichž nejefektivnější, a tedy i nejvyužívanější v komerčních systémech, je ponořený biofiltr s pohyblivými biofiltračními elementy. Pohyb elementů a zároveň aerobní podmínky, které jsou zásadní pro průběh nitrifikace, jsou zajištěny vhodným vzduchováním v biofiltru.



Obr. 35. a 36. Konstrukce mineralizační nádrže s přepadem (vlevo), mineralizace kalů (vpravo).

Existuje řada typů biofiltračních elementů, většina z nich se však vyznačuje velkým specifickým povrchem, na kterém dochází k nitrifikaci (Obr. 37.). Výrobce biofiltračních elementů udává specifický povrch media vztažený na objem elementů (např. BT20 elementy od výrobce Ratz Aqua und Polymer Technik má specifický povrch $750 \text{ m}^2/\text{m}^3$ elementů). Tento údaj společně s údaji o rychlosti odstranění amoniaku na m^2 elementů a produkce amoniaku v systému lze využít k výpočtu velikosti biofiltru (Tab. 3.). Výpočty vycházejí z maximálního možného zatížení systému, tedy z maximální možné biomasy.

Tab. 3. Výpočet velikosti biofiltru.

Parametr	Hodnota	Počet	Celkem	Poznámka
Objem chovných nádrží	$2,5 \text{ m}^3$	6 ks	15 m^3	
Max. obsádka ryb	$50 \text{ kg}/\text{m}^3$	15 m^3	750 kg	Hodnota pro systémy bez aplikace kyslíku do vody.
Aplikace krmiva/den	2 %	750 kg	15 kg	Hodnota dle výrobce krmiva při optimálních podmínkách.
Aplikace proteinu/ den	40 %	15 kg	6 kg	Hodnota dle výrobce krmiva.
Aplikace dusíku denně	16 %	6 kg	0,96 kg	Obecný obsah N v proteinu.
Vyloučeno N rybami	60 %	0,96 kg	0,576 kg	Ryby využijí 40 % krmiva na růst a 60 % vyloučí.
Vyloučeno NH_3	1,21	0,576 kg	0,697 kg	Převod dle molární hmotnosti.
Potřeba plochy elem.	$0,57 \text{ g}/\text{m}^2/\text{den}$	0,697 kg	1222 m^2	Obecná hodnota při správné funkci biofiltru.
Potřeba elementů	$750 \text{ m}^2/\text{m}^3$	1222 m^2	$1,63 \text{ m}^3$	Specifický povrch biofiltračních elementů.
Velikost biofiltru	40 %	$1,63 \text{ m}^3$	$4,1 \text{ m}^3$	Poměr pro správný pohyb elementů v biofiltru.

Je však nutné zdůraznit, že tyto hodnoty jsou při optimálních podmínkách (teplota 20 – 30 °C, pH kolem 8), a je tedy lepší počítat s rezervou. Pro dostatečnou velikost biofiltru tedy byly využity dvě původní chovné nádrže s upravenými přepady (po $2,8 \text{ m}^3$; Obr. 38.) naplněné 2 m^3 media BT20 (Obr. 39.). V Tab. 4. je uvedeno množství biofiltračních elementů v původním a v optimalizovaném systému spolu se schopností odbourat amoniak a produkci amoniaku



při maximální obsádce ryb. Je tedy zřejmé, že původní biofiltr nemá dostatečnou kapacitu pro intenzivní produkci ryb. Při intenzivní produkci ryb bude pravděpodobně sníženo welfare ryb s možnými zdravotními potížemi, bude potřeba vyšší výměna vody či aplikace soli pro snížení toxicity dusitanů.

Tab. 4. Množství biofiltračních elementů v původním a optimalizovaném systému, schopnost odbourat amoniak a produkce amoniaku při maximální obsádce ryb.

Systém	Množství elementů (m ³)	Schopnost odbourat amoniaku (kg/den) *	Produkce NH ₃ při maximální biomase **
Původní	0,10	0,043	0,911
Optimalizovaný	2	0,855	0,697

* při specifickém povrchu 750 m²/m³ a schopnost odbourání 0,57 g/m²/den

** při 50 kg/m³, krmné dávce 2 % a odchovném prostoru 19,6 m³) v původním systému (7 nádrží po 2,8 m³) a 15 m³ v optimalizovaném systému (6 nádrží po 2,5 m³)



Obr. 37., 38. a 39. Biofiltrační elementy (vlevo nahoře), konstrukce biofiltru se vzduchovacími kameny (vpravo nahoře) a zaběhnutý optimalizovaný biofiltr (dole).



6.4. Optimalizace zdroje a distribuce vzduchu

V rámci optimalizace bylo nutné navýšit kapacitu zdroje vzduchu a zároveň zvolit odpovídající vzduchovací element, který zlepší samočisticí funkci nádrže. Výkon zdroje vzduchu a difuzérů se volí podle denní potřeby kyslíku. Ta se počítá na základě aplikovaného krmiva a obecně se počítá s 1 kg O₂/kg krmiva. V optimalizovaném systému je nejvyšší krmná dávka 15 kg/den (výpočet výše). Tzn., že denní potřeba kyslíku je 15 kg, neboli 0,625 kg O₂/hod. Na základě tohoto výpočtu je potom nutné dopočítat minimální výkon vzduchovacího zařízení podle následujícího vzorce:

Výkon turbíny = potřeba O₂/ (hm. vzduchu x hm. O₂ x SOTE x hloubka x FTE x čas), kde

Výkon vz. zařízení.....X m³/min
Potřeba kyslíku.....0,625 kg O₂/hod
hm. vzduchu.....1,2 kg/m³
obsah O₂ ve vzduchu.....0,23 kg O₂/kg vzduchu
SOTE (Standard Oxygen Transfer Efficiency)..... 0,075
Hloubka.....1 m
FTE (Field Transfer Efficiency).....0,5 (50 % efektivita přenosu kyslíku)
Čas.....60 min

$$X = 0,625 / (1,2 \times 0,23 \times 0,075 \times 1 \times 0,5 \times 60)$$

$$X = 1,006 \text{ m}^3/\text{min}$$

Minimální výkon vzduchovacího zařízení je tedy 1 006 l/min. Je ale potřeba vždy počítat s rezervou. Tento výpočet také nepočítá se vzduchováním v mineralizační jednotce, ve které jsou tři válcové difuzéry (Obr. 35. nahoře). Vzduchování v optimalizovaném systému je tedy zajištěno dvěma dmychadly s výkony 350 W a 750 W (Obr. 40.). Vzduch v do chovných nádrží distribuují talířové difuzéry (33 – 166 l/min) umístěné uprostřed nádrže nad dnovou výpustí (Obr. 41.). V obou biologických filtrech je umístěno po třech válcových difuzérech (50 – 130 l/min; Obr. 38. nahoře).

6.5. Optimalizace pěstební části akvaponického systému

V rámci optimalizace byla využita technologie vícesmyčkového designu umožňující optimalizovat podmínky v jednotlivých částech systému. Chovná část byla osazena vhodnější mechanickou filtrací, radiálním filtrem a mineralizační nádrží pro efektivní využití kalů (popsáno výše). Při přečerpávání živin z mineralizační jednotky do pěstební části je voda filtrována přes jemný uhelon (100 μm), aby nedocházelo k usazování kalů v pěstebních nádržích. Doplněním chybějících živin a úpravou pH je docíleno správné výživy rostlin bez deficitů a oslabení. Rozpojením chovné a pěstební části a zvolením vhodných rozvodů došla k optimální distribuci vody s možností nastavení přítoků do jednotlivých pěstebních nádrží. Úprava elektroinstalace pěstebních stojanů je nad rámec realizace projektu.



Obr. 40. a 41. Dmyhadla (vlevo) a talířový difuzér (vpravo) v optimalizovaném systému.

6.6. Neoddělená chovná a pěstební část, konstrukce haly

Konstrukční oddělení chovné a pěstební části je nad rámec realizace projektu. Bylo však doporučeno pěstovat listové saláty, které netvoří hlávky, protože po vypnutí světla a snížení teploty v noci dochází ke kondenzaci vody uvnitř hlávek, které následně začínají plesnivět. Nádrže v optimalizovaném systému byly zakryty polykarbonátovými poklopy pro snížení odparu vody. Vzhledem k tomu, že ostatní nádrže přikryty nejsou však nedošlo k poklesu vzdušné vlhkosti v hale.

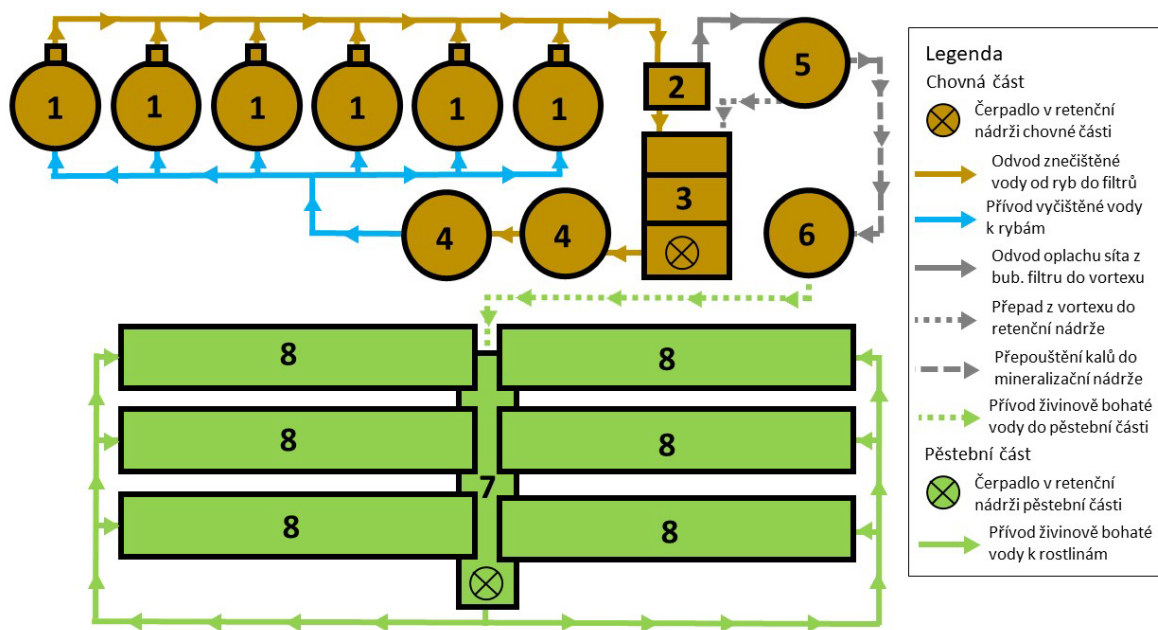


7. Schéma optimalizovaného systému

Optimalizovaný akvaponický systém využívá vícesmyčkový design (chovná část, pěstební část, radiální filtr a mineralizační nádrž), který je vhodný pro komerční účely, protože je možné upravit podmínky pro jednotlivé složky systému (nitrifikační bakterie, ryby, rostliny), což je zásadní pro intenzivní produkci. Celkový objem optimalizovaného systému bez mineralizační nádrže je cca 24,5 m³ vody (Obr. 42.).

Optimalizovaný systém sestává ze:

- 6 chovných kruhových nádrží o objemu vody 2,5 m³
- bubnového filtru (DVS Filtertechnik PP65, Nizozemsko)
- retenční nádrže chovné části o objemu vody 1,75 m³ se dvěma čerpadly DM-20 000 Vario o výkonech 187 W, 20 000 l/hod (Aqua-Forte, Nizozemsko)
- průtokového ohřivače o výkonu 3 000 W (Aqua-Forte, Nizozemsko)
- biologického filtru (2 nádrže po 2,8 m³) s 2 m³ biofiltračních elementů (BT20 elementy od výrobce Ratz Aqua und Polymer Technik, Německo)
- radiálního filtru s objemem vody 1,9 m³
- mineralizační nádrže o objemu vody 2,8 m³
- vzduchovacích dmychadel v chovné části o celkovém výkonu 1 100 W a 3 500 l/hod
- 18 pěstebních nádrží raftového typu o celkovém objemu vody 10,2 m³ s LED osvětlením (540 W každá pěstební nádrž)
- retenční nádrže pěstební části o objemu vody 0,26 m³ s čerpadlem DM-20 000 Vario o výkonu 187 W, 20 000 l/hod (Aqua-Forte, Nizozemí).
- vzduchovacího kompresoru pěstební části o výkonu 170 l/min (Resun LP 60, Čína).





EVROPSKÁ UNIE
Evropský námořní a rybářský fond
Operační program Rybářství



Fakulta rybářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice
Czech Republic

Obr. 42. Schéma optimalizovaného akvaponického systému. Znečištěná voda z kruhových chovných nádrží (1) teče gravitačně do bubnového mechanického filtru (2). Mechanicky vyčištěná voda teče do retenční nádrže (3), odkud je čerpána přes průtokový ohřívač do biologického filtru (4). Z biologických filtrů teče voda zpět k rybám. Vedlejší smyčku chovné části tvoří radiální filtr (5), kde je sbírán a zahuštěn kal po oplachu síta bubnového filtru. Supernatant z radiálního filtru je sveden zpět do retenční nádrže, zatímco zahuštěné kaly jsou podle potřeby přečerpány do mineralizační nádrže (6), kde dochází k uvolnění živin z kalů do živinového roztoku. Živinový roztok je následně čerpán přes jemné síto do retenční nádrže pěstební části (7) a upraven dle požadavků pěstovaných rostlin a doplněn o chybějící živiny. Odtud je voda čerpána do pěstebních nádrží (8; celkem 6 stojanů po 3 nádržích s vertikálním uspořádáním) a gravitačně teče zpět do retenční nádrže pěstební části (není vrácena zpět do části s rybami).



8. Sběr vzorků, dat a jejich analýza

8.1. *Měřené parametry při záběhu biofiltrů*

Dávkování močoviny a nitrifikační bakterie

Správný záběh biofiltru je stěžejní pro nové farmy a rychlosti formování nitrifikačních bakterií v biofiltru, přičemž záběhu může napomoci komerční inkulum nitrifikačních bakterií. Stejný postup byl doporučen i dodavatelem původního akvaponického systému. Oba systémy byly vyčištěny, vydezinfikovány a uvedeny do provozu. Následně byla do obou systémů přidána močovina (Agro CS, Česká republika), aby bylo dosaženo koncentrace 5 mg/l celkového amoniakálního dusíku. Po 14 dnech byly do původního i optimalizovaného systému přidány 2 kg nitrifikačních bakterií, které byly dodány spolu se stavbou původních systémů (bez bližší specifikace dodavatele).

Fyzikální a chemické parametry

V průběhu záběhu systémů byl dvakrát týdně měřen celkový amoniakální dusík ($\text{NH}_4\text{-N}$), dusitanový dusík ($\text{NO}_2\text{-N}$) a dusičnanový dusík ($\text{NO}_3\text{-N}$) pomocí spektrofotometru HI 83200 (Obr. 5; Hanna Instruments, Rumunsko). V případě poklesu $\text{NH}_4\text{-N}$ byla opět přidána močovina. V průběhu nitrifikace dochází k poklesu pH a jako pufr pH byl použit slabý roztok KOH (Fichema, Česká republika), protože vápník ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) je další z pufrů používaných v akvaponii je již obsažen ve zdrojové vodě (Příloha 1.). Každý druhý den byly měřeny fyzikální a chemické parametry vody: teplota, pH, nasycení vody kyslíkem a koncentrace kyslíku pomocí přenosných multimetrů (Obr. 6.; Milwaukee MW802, Milwaukee Instruments, Spojené státy americké a Voltcraft DO-101, Conrad Electronic, Česká republika). Zabíhání obou systémů trvalo tři měsíce, kdy byl také pozorován správný chod optimalizovaného systému (průtoky, vzduchování atd.), popřípadě byl nadále upravován. Po zaběhnutí systémů byly nasazeny ryby a byl započat vlastní experiment.



Obr. 5., 6. a 7. Měřicí přístroje pro měření frakcí dusíku (vlevo), rozpuštěného kyslíku a pH (uprostřed) a EC (vpravo).



8.2. Nasazení ryb do experimentu

Pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*; Pstruhařství Petrák) byl nasazen v počtu 2000 ks do obou systému. Tento počet byl stanoven na základě maximální kapacity optimalizovaného systému (15 m^3 v odchovných nádržích po $50 \text{ kg/m}^3 = 750 \text{ kg}$). Při tržní hmotnosti ryb 300 – 400 g bude finální biomasa v systému 600 – 800 kg ryb. Ryby byly krmeny komerčním krmivem Alltech Coppens Supreme-21 (Coppens, Belgie) pomocí automatických krmítek. V případě apatie ryb vůči rannímu krmení byla krmítka na celý den vypnuta.

8.3. Měřené parametry v průběhu experimentu

Fyzikální a chemické parametry

V rámci porovnání původního a optimalizovaného systému byly denně sledovány fyzikální a chemické parametry vody včetně teploty, nasycení kyslíkem, koncentrace kyslíku, pH a EC pomocí multimetrů (Obr. 6. a 7. nahoře; Milwaukee MW802, Milwaukee Instruments, Spojené státy americké; Voltcraft DO-101, Conrad Electronic, Česká republika; Gryf 156, Gryf HB, Česká republika). Dvakrát týdně byly měřeny jednotlivé frakce dusíku ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ a $\text{NO}_3\text{-N}$) pomocí spektrofotometru HI 83200 (Obr. 5 nahoře; Hanna Instruments, Rumunsko).

Produkce kalu v systémech

Produkce kalů v obou systémech byla měřena na začátku a na konci obou etap (celkem 4 měření; popis etap viz níže). Produkce kalů byla měřena po 24hod sběru kalů v radiálním filtru optimalizovaného systému a ve filtru hrubých nečistot původního systému, jejichž obsahy byly homogenizovány promícháním a následně byl odebrán vzorek pro volumetrické stanovení pomocí sedimentačního válce podle Imhoffa (Verkon, Česká republika). Sušina byla stanovena vysušením zváženého vzorku při 105°C do dosažení konstantní hmotnosti. Z naměřených hodnot byla potom vypočítána celková produkce kalů za produkční cyklus.

Spotřeba vody v systémech

Spotřeba vody v obou systémech byla, stejně jako produkce kalů, měřena na začátku a na konci obou etap (celkem 4 měření; popis etap viz níže). Z naměřených hodnot byla potom vypočítána celková spotřeba vody za produkční cyklus.

Produkční parametry chovných částí

V rámci porovnání produkčních parametrů chovných částí obou systémů (hmotnost ryb, koeficient konverze krmiva (FCR) a specifická rychlost růstu (SGR), jejichž rovnice jsou uvedeny níže), byly sledovány dvě etapy. První etapa (raný produkční cyklus) trvala 76 dní. V první etapě byla zvolena krmná dávka pro nízký FCR (nižší dávka; Příloha 2.) z důvodu nezkušenosti s optimalizovaným systémem a intenzivním chovem pstruha duhového. Druhá etapa (pozdní produkční cyklus) trvala 80 dní a byla započata po aplikaci krmné dávky pro optimální růst (Příloha 2.). Druhá etapa skončila, když ryby v optimalizovaném systému dosáhly hmotnosti cca 350 g.



Produkční parametry pěstebních částí a živinové složení

Po plném naběhnutí optimalizovaného systému a zaběhnutí mineralizační nádrže byly dvakrát měsíčně odebírány vzorky pro stanovení kompletního živinového složení (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo, Na) v externí laboratoři. Následně bylo započato porovnání produkčních parametrů pěstebních částí obou systémů. Dle dodavatele původních systémů měly být pěstební nádrže osazeny sazenicemi ve speciálním akvaponickém substrátu, který nebyl blíže specifikován. Tyto sazenice byly, dle nápisu na sadbovačích, vyprodukovány firmou Schwanteland Jungpflanzen (Německo) a na český trh je dodává firma Reprosam s.r.o. Sazenice jsou však dostupné od 10. do 34. týdne v roce, a tak je nebylo možné použít v experimentu. Pěstební nádrže raftového typu (18 ks v obou systémech) byly tedy osazeny 3960 ks sazenic salátů odrůdy Bremex (Semo, Česká republika). Saláty do původního systému byly vysazeny do rašelinových tablet (Jiffy), protože se jedná o obdobný substrát, který byl doporučen dodavatelem původních akvaponických systémů. Saláty do optimalizovaného systému byly vysazeny do kostek z minerální vaty (1 cm x 1 cm; Grodan, Kanada), který se běžně používá v hydroponických systémech. V optimalizovaném systému byla přidána komerční hnojiva, aby bylo dosaženo živinových požadavků salátu dle publikace Resh (2016) pomocí software Hydrobuddy (<https://scienceinhydroponics.com/>). Nutriční požadavky a rozbor nutričního složení vody v původním systému a pěstební části optimalizovaného systému jsou uvedeny v Tab. 10 (sekce výsledky). Každá pěstební nádrž je osazena LED světly o výkonu 540 W s fotoperiodou 8 hod světlo: 16 hod tma. Růst salátů byl sledován po dobu 2 měsíců. Na konci experimentu byly saláty zváženy (50 salátů z každého systému).

Ekonomické parametry

Při porovnání ekonomických parametrů obou systémů byla zohledněna energetická náročnost, kdy jednotlivé přístroje byly změřeny pomocí wattmetru (Emos, Česká republika). Průměrná cena kWh je 3,15 Kč/kWh. Dále byla zohledněna denní náročnost na údržbu (počítáno s platem 200 Kč/hod), cena násady ryb (3 Kč/ks), cena a spotřeba krmiva (41 Kč/kg), sadba rostlin (250 Kč semena + 3960 Kč minerální vata/rašelinové tablety), hnojivo (v případě optimalizovaného systému, ceny hnojiv z www.agromanualshop.cz platné v lednu 2022). Voda pochází z vrtu, tudíž nebyla cena vody zohledněna. Pro ekonomické porovnání chovných systémů byly využity průměrné hodnoty FCR a SGR z první a druhé etapy experimentální části, na jejichž základě byl vymodelován produkční cyklus. Všechny ceny jsou uvedeny bez DPH. Prodejní ceny pstruha duhového (prodej živých ryb na sádkách; 170 Kč/kg) a hlávkového salátu (250 g hlávka; 119,60 Kč/kg) byly stanoveny na základě průměrných prodejních cen v konvenčních systémech (leden 2022, např. www.sadkylahovice.cz; www.kosik.cz). Je však nutno zdůraznit, že produkty z akvaponických systémů jsou většinou prodávány pod specifickým označením za vyšší ceny.

8.4. Výpočty a statistické hodnocení

Výpočty

Koeficient konverze krmiva (FCR) byl vypočítán dle rovnice:

$$FCR = \frac{F}{(W_f - W_z)}$$



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

W_fhmotnost obsádky na konci sledovaného období [kg]

W_z hmotnost obsádky na začátku sledovaného období [kg]

Specifická rychlost růstu (SGR; %/day) byla vypočítána dle rovnice:

$$SGR = \frac{100 \times (\ln W_f - \ln W_z)}{\Delta T^{-1}}$$

W_fhmotnost obsádky na konci sledovaného období [kg]

W_zhmotnost obsádky na začátku sledovaného období [kg]

ΔT interval sledovaného období ve dnech

Grafické znázornění a statistické porovnání

Pro grafické znázornění dat bylo použito software Microsoft Excel. Ze zdrojových dat byl vypočítán průměr a směrodatná odchylka a rozdíly mezi skupinami byly hodnoceny v softwaru Statistica 12 pomocí párového t-testu. Rozdíly byly hodnoceny jako statisticky významné na úrovni $p < 0,05$.



9. Porovnání původního a optimalizovaného systému

9.1. Fyzikální a chemické parametry v průběhu záběhu biofiltrů

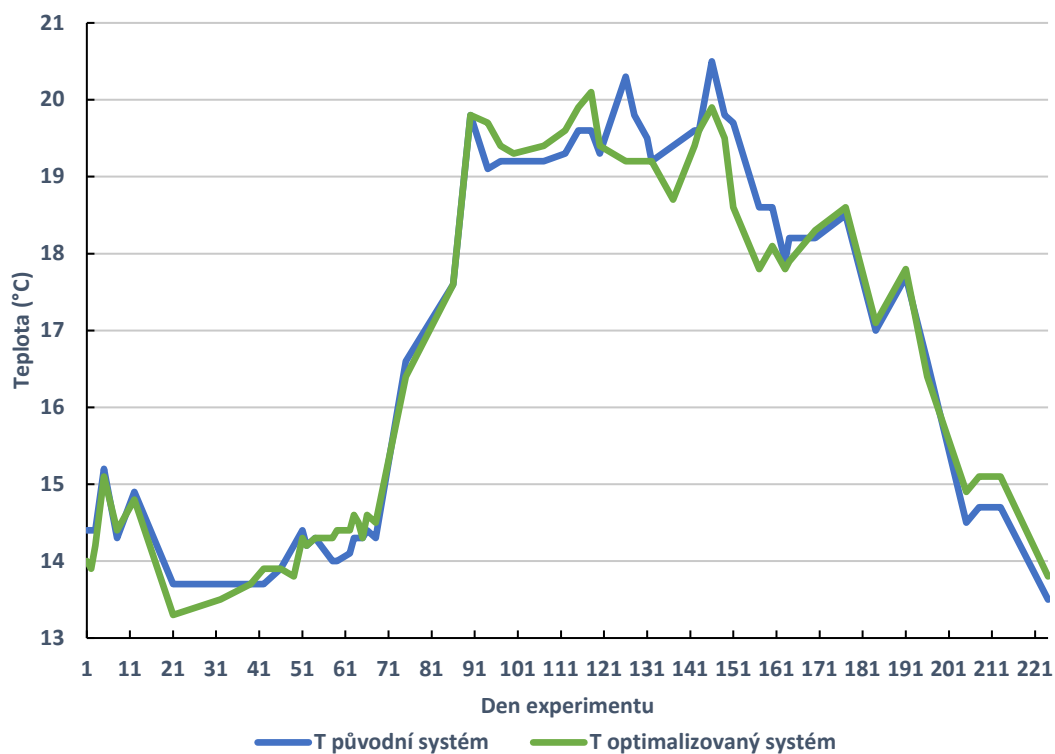
V průběhu záběhu biofiltrů (bez ryb) bylo nasycení kyslíkem v obou systémech přes 90 %. Koncentrace $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ a $\text{NO}_3\text{-N}$ byly typické pro zabíhání biofiltrů, kdy po přidání zdroje dusíku (zde močoviny) došlo nejprve k nárůstu $\text{NH}_4\text{-N}$, který byl následně přeměněn na $\text{NO}_2\text{-N}$ a poté na $\text{NO}_3\text{-N}$. V optimalizovaném systému došlo ze začátku k signifikantně vyššímu nárůstu $\text{NH}_4\text{-N}$ a $\text{NO}_2\text{-N}$. Obě frakce však byly v později kompletně přeměny na $\text{NO}_3\text{-N}$ za poklesu pH, které bylo pufrováno pomocí KOH. V optimalizovaném systému byla v průběhu záběhu zaznamenána signifikantně vyšší teplota (Tab. 5.), což je dáno vyššími ztrátami v původním systému, ke kterým docházelo v pěstební části. K tepelným ztrátám však docházelo i v optimalizovaném systému, a tak bylo od použití průtokových ohříváčů v experimentální částí puštěno.

Tab. 5. Fyzikální a chemické parametry a frakce dusíku v původním a optimalizovaném systému v průběhu záběhu biofiltrů. Odlišná písmena u hodnot ve stejném řádku udávají statistický rozdíl ($p < 0,05$).

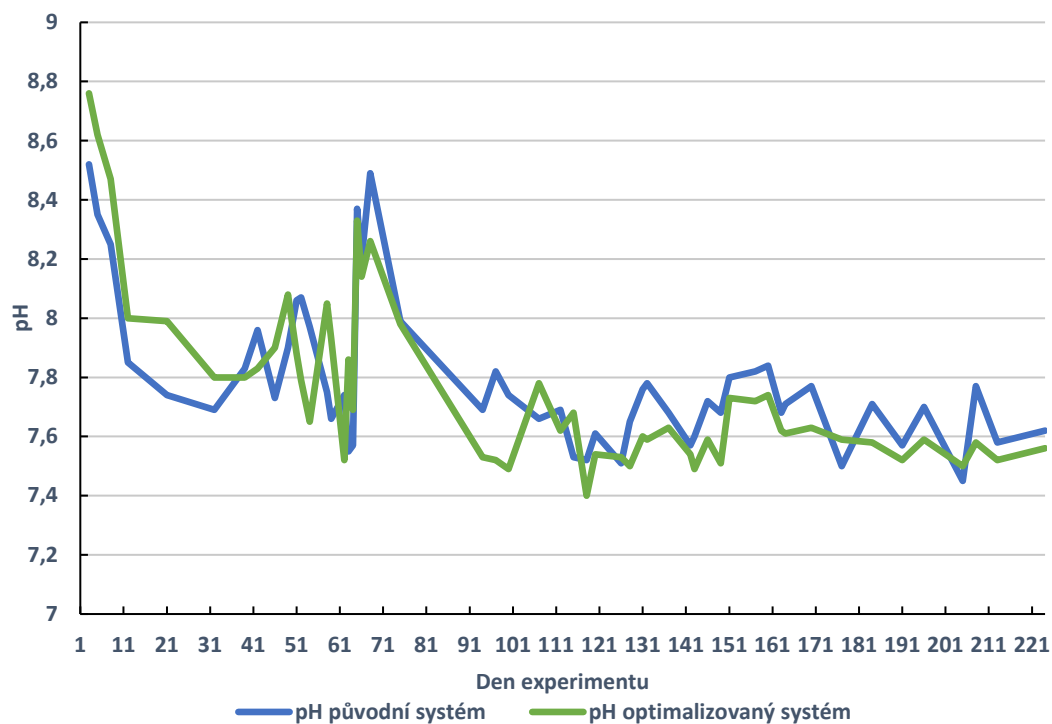
Parametr	Původní systém	Optimalizovaný systém
Teplota ($^{\circ}\text{C}$)	$11,85 \pm 1,56^b$	$12,63 \pm 0,7^a$
pH	$8,01 \pm 0,48^a$	$7,83 \pm 0,51^b$
Koncentrace O_2 (mg/l)	$9,84 \pm 0,48^a$	$9,79 \pm 0,20^a$
Nasycení O_2 (%)	$92,74 \pm 3,00^a$	$91,80 \pm 2,65^a$

9.2. Fyzikální a chemické parametry v průběhu experimentu

Navzdory absenci průtokových ohříváčů při experimentu dosahovala teplota $16,7 \pm 2,5$ a $16,6 \pm 2,4$ v původním a optimalizovaném systému, respektive, bez statistického rozdílu (Graf 1.). Teplota se pohybovala v rozmezí $13 - 21^{\circ}\text{C}$ v obou systémech, což je teplota vhodná pro chov pstruha duhového (Valenzuela a kol., 2008). Statistický rozdíl nebyl ani v hodnotách pH, které dosahovaly $7,8 \pm 0,2$ a $7,8 \pm 0,3$ v původním a optimalizovaném systému, respektive (Graf 2.).



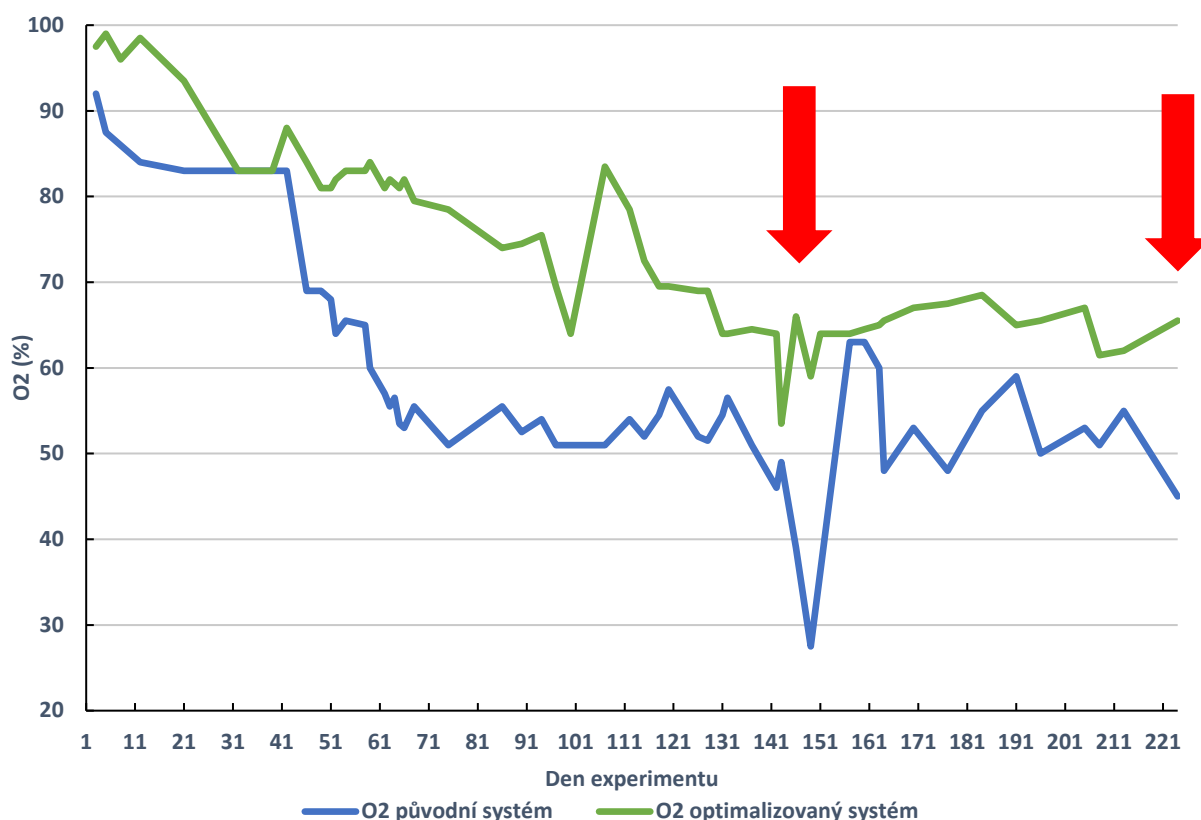
Graf 1. Průběh teplot (°C; modrá – původní systém, zelená – optimalizovaný systém) v původním a optimalizovaném systému.



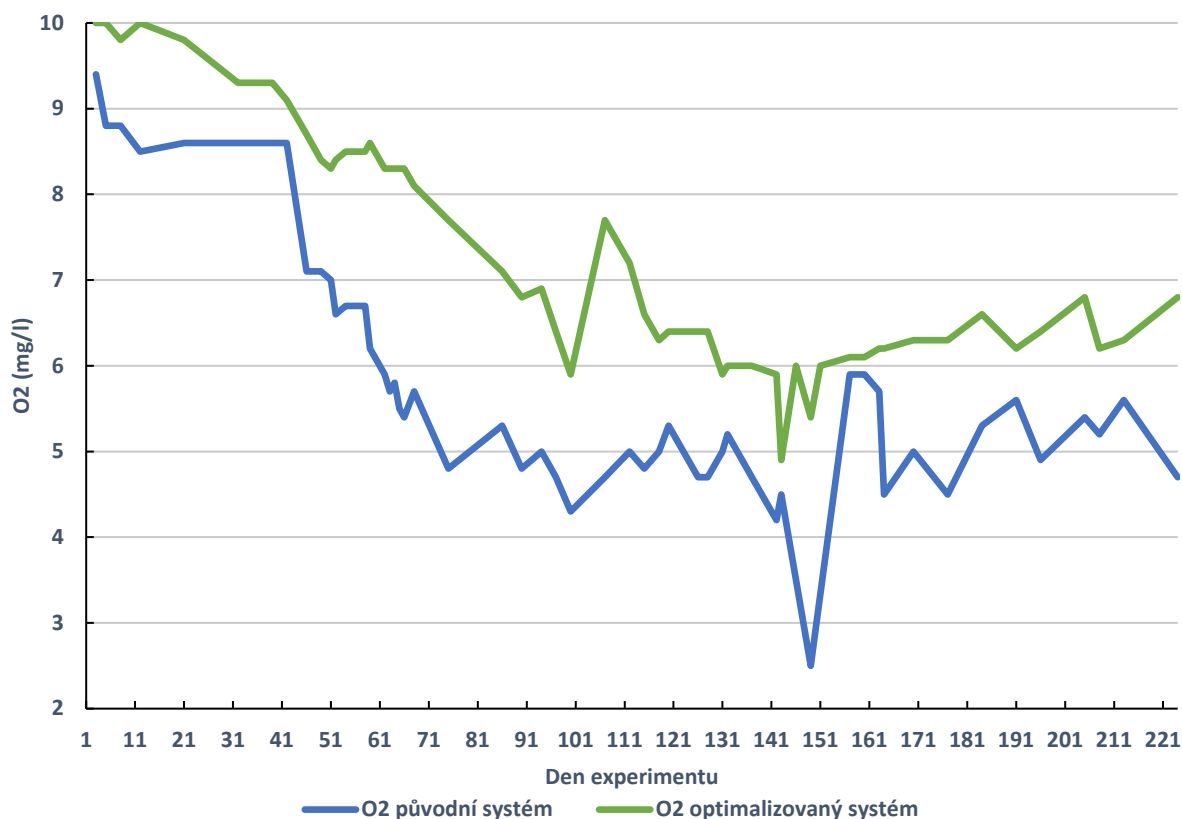
Graf 2. Průběh pH (modrá – původní systém, zelená – optimalizovaný systém) v původním a optimalizovaném systému.



Jak nasycení vody kyslíkem ($58,9 \pm 13,2$ % a $74,5 \pm 10,9$ % v původním a optimalizovaném systému, respektive), tak koncentrace kyslíku ($5,8 \pm 1,5$ mg/l a $7,3 \pm 1,4$ mg/l v původním a optimalizovaném systému, respektive) byly signifikantně vyšší v optimalizovaném systému (Graf 3. a 4.). V původním systému kleslo nasycení kyslíkem pod 60 % po 60 dnech od zahájení experimentu a od té doby setrvalo pod 60 %, což je udáváno jako kritická hranice v intenzivních chovech (Glencross, 2009). Po 150 dnech od zahájení experimentu spadlo nasycení kyslíkem v původním systému pod 50 % (na 27,5 %; Graf 4.; označeno šipkou), což bylo doprovázeno úhyny ryb a zhoršeným zdravotním stavem (Příloha 3.). Na základě toho byla část obsádky (35 kg) přemístěna do záložního RAS, vyměněna velká část vody v původním systému a aplikována sůl pro snížení toxicity $\text{NO}_2\text{-N}$. Tento incident naznačuje, že původní systém dosáhl své kapacity. Aby nedošlo ke kolapsu systému, byly přidány další 3 kompresory totožné s původním. Po 221 dnech od zahájení experimentu došlo opět k poklesu nasycení kyslíkem pod 50 %, což naznačuje, že vylepšený původní systém o 3 kompresory dosáhl také své kapacity.



Graf 3. Průběh nasycení kyslíkem (%; modrá – původní systém, zelená – optimalizovaný systém) v původním a optimalizovaném systému. První červená šipka označuje propad nasycení kyslíkem v původním systému pod 50 % po zahájení aplikace plné krmné dávky, a tedy kapacitní limit systému. Po tomto incidentu byly přidány 3 vzduchovací kompresory. Druhá šipka označuje další propad nasycení kyslíkem pod 50 % v původním systému po dosažení limitní biomasy po přidání 3 vzduchovacích kompresorů.



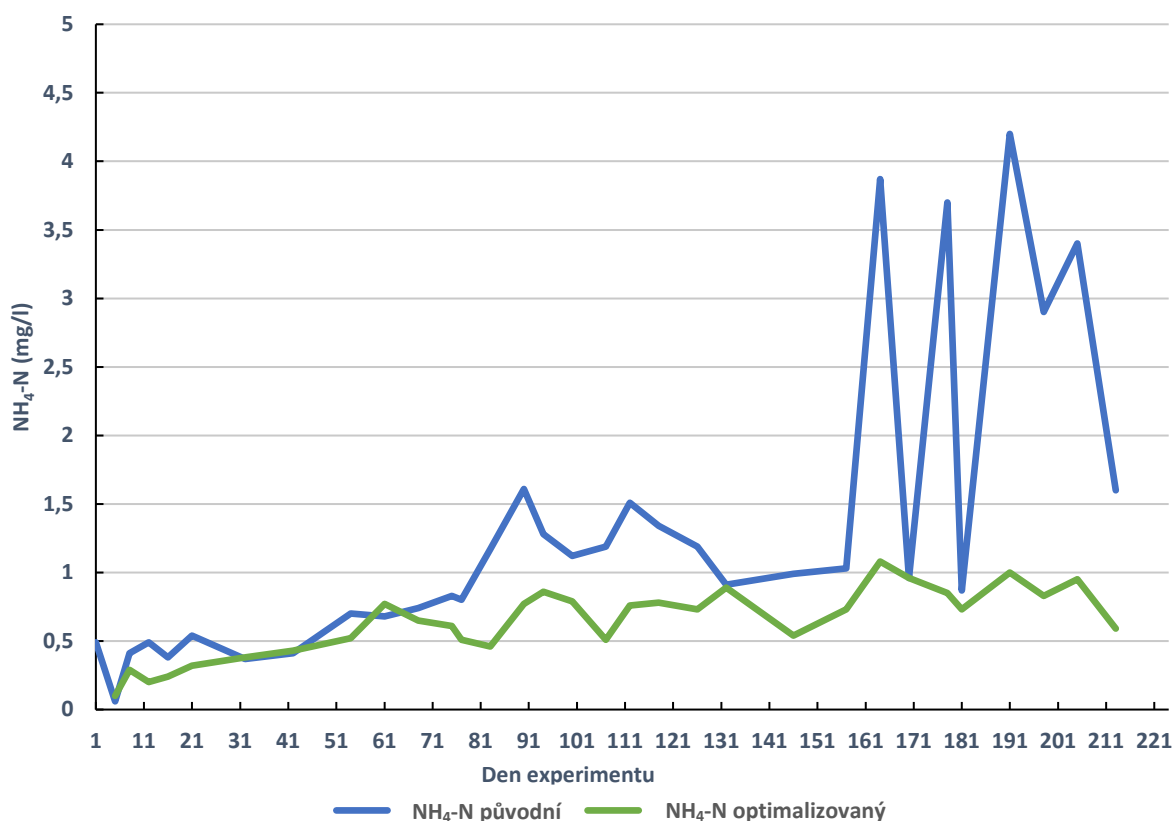
Graf 4. Průběh koncentrací kyslíku (mg/l; modrá – původní systém, zelená – optimalizovaný systém) v původním a optimalizovaném systému.

Průměrné hodnoty, minima a maxima $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ a $\text{NO}_3\text{-N}$ jsou uvedeny v Tab. 6. Zatímco koncentrace $\text{NH}_4\text{-N}$ a $\text{NO}_2\text{-N}$ (toxické frakce dusíku) byly signifikantně vyšší v původním systému, koncentrace $\text{NO}_3\text{-N}$ (netoxická frakce) byla statisticky vyšší v optimalizovaném systému. Podíl amoniaku (vysoce toxická frakce $\text{NH}_4\text{-N}$) závisí na pH a teplotě a nepřekročila letální hodnoty uváděné pro pstruha duhového (MacIntyre a kol. 2008). Toxicita $\text{NO}_2\text{-N}$ závisí především na koncentraci chloridů ve vodě (kompetice buněk na žábrech ryb) a při hodnotě 10 mg/l Cl^- (koncentrace Cl^- ve zdrojové vodě) je hodnota 96hLC50 $\text{NO}_2\text{-N}$ 3 mg/l (MacIntyre a kol. 2008). Tato hodnota nebyla překročena. Toxicita $\text{NO}_2\text{-N}$ je také vyšší při nízkém nasycení vody kyslíkem, protože dusitanový dusík snižuje schopnost krve transportovat kyslík. Přesné hodnoty LC50 pro suboptimální kyslíkové poměry však nejsou známy (MacIntyre a kol. 2008). Signifikantně nižší koncentrace dusičnanového dusíku ($\text{NO}_3\text{-N}$, vstřebatelná forma dusíku vyššímu rostlinami) v původním systému je způsobena vyšší výměnou vody v původním systému z důvodu havarijních situací (nízké koncentrace kyslíku, vysoké organického zatížení a zvýšených hodnot $\text{NH}_4\text{-N}$ a $\text{NO}_2\text{-N}$). Tím dochází v původním systému k velkým ztrátám dusíku a vody a zároveň není možné zajistit rostlinám stabilní koncentraci dusíku (150 – 200 mg/l v závislosti na rostlině a stádiu růstu). Průběh koncentrací celkového NH_4 , $\text{NO}_2\text{-N}$ a $\text{NO}_3\text{-N}$ je znázorněn v Grafech 5., 6. a 7.

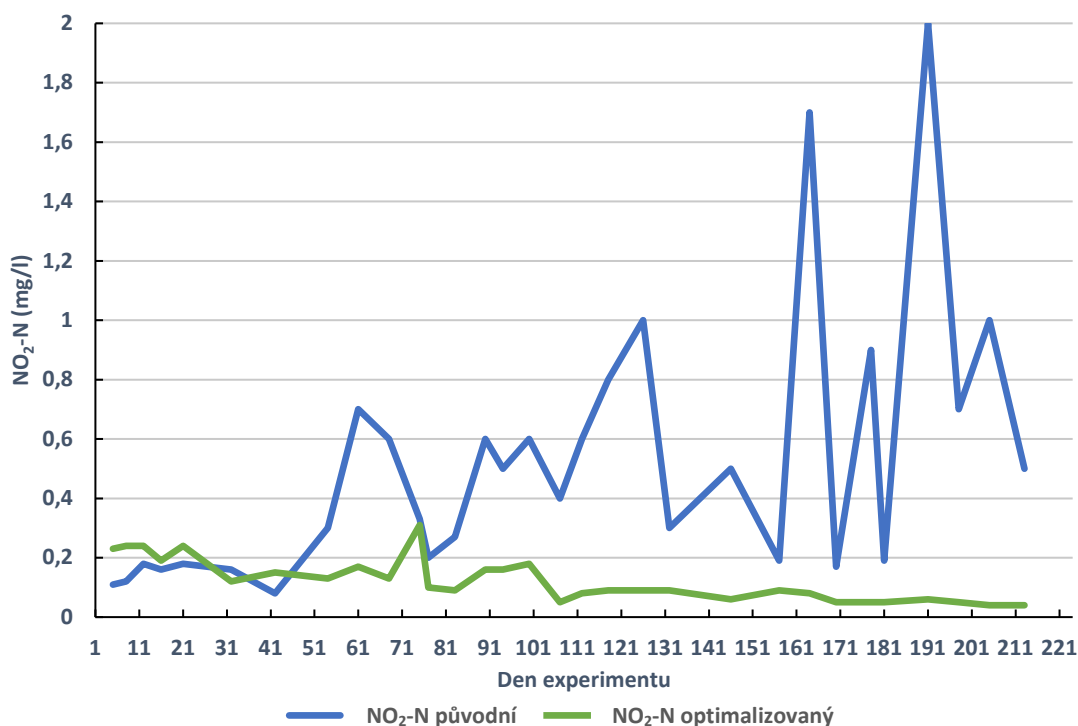


Tab. 6. Celkový amoniakální dusík ($\text{NH}_4\text{-N}$), dusitanový dusík ($\text{NO}_2\text{-N}$) a dusičnanový dusík ($\text{NO}_3\text{-N}$) v původním a optimalizovaném systému. Hodnoty jsou prezentovány jako průměr $\pm$ směrodatná odchylka a v závorkách jejich minima i maxima. Hodnoty ve stejném řádku s různými písmeny označují signifikantní rozdíly mezi systémy ($p < 0,05$).

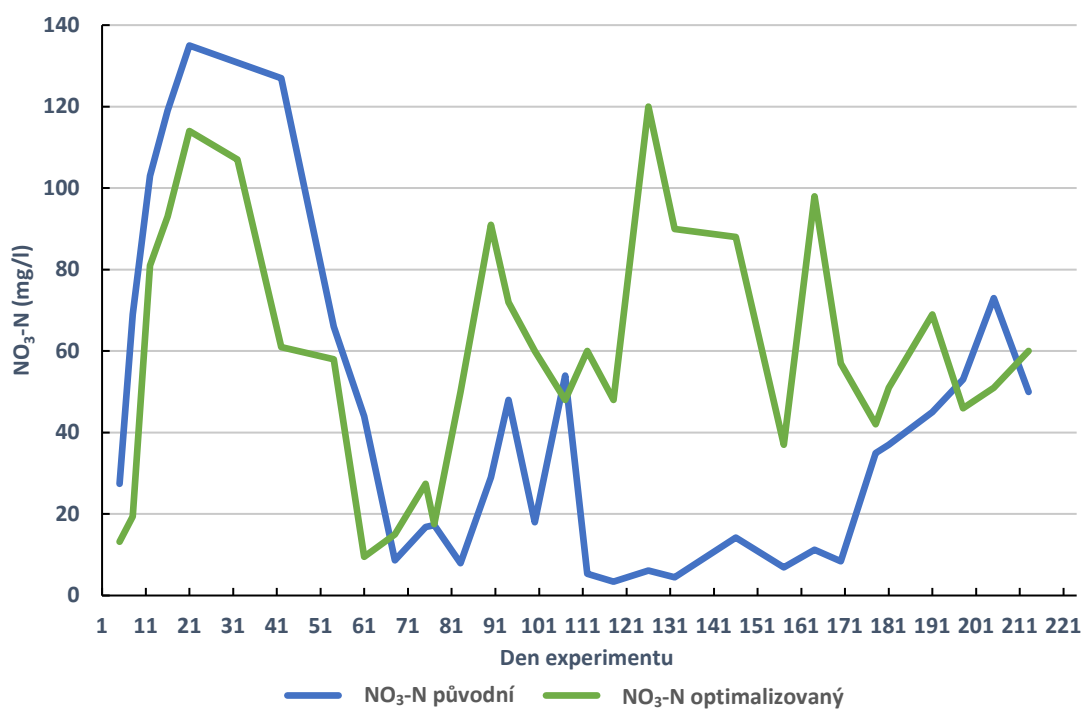
Frakce dusíku	Původní systém (mg/l)	Optimalizovaný systém (mg/l)
$\text{NH}_4\text{-N}$	$1,3 \pm 1,1^a$ (0,1-4,2)	$0,6 \pm 0,3^b$ (0,1-1,1)
$\text{NO}_2\text{-N}$	$0,5 \pm 0,4^a$ (0,1-2,0)	$0,1 \pm 0,1^b$ (0,0-0,3)
$\text{NO}_3\text{-N}$	$41,4 \pm 38,2^b$ (3,4-135,0)	$59,8 \pm 30,3^a$ (9,5-120,0)



Graf 5. Průběh koncentrací $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l; modrá – původní systém, zelená – optimalizovaný systém) v původním a optimalizovaném systému.



Graf 6. Průběh koncentrací NO₂-N (mg/l; modrá – původní systém, zelená – optimalizovaný systém) v původním a optimalizovaném systému.



Graf 7. Průběh koncentrací NO₃-N (mg/l; modrá – původní systém, zelená – optimalizovaný systém) v původním a optimalizovaném systému.



9.3. Produkce kalů v průběhu záběhu experimentu

Produkce kalů v optimalizovaném systému byla $23,2 \pm 2,5$ % na kg aplikovaného krmiva. V původním systému byla produkce kalů $21,5 \pm 1,9$ % na kg aplikovaného krmiva. Nižší produkce kalů v původním systému je dána nízkou efektivitou mechanických filtrů, a tak se kaly dostávají do pěstební části. Sušina kalů se pohybovala mezi 5 a 6 % a nebyla statisticky rozdílná mezi systémy. V Tab. 7 jsou uvedeny produkce kalů při zohlednění modelového produkčního cyklu a limitní biomasy systémů (viz níže). Při průměrném obsahu dusíku v kalech 2 % je obsah hmotnost dusíku vyprodukovaného během produkčního cyklu 0,41; 0,94 a 3,22 kg pro původní systém, původní systém se třemi kompresory a optimalizovaný systém. Zatímco v původním systému je tento dusík vypláchnut při čištění kartáčů, a tedy nevyužit, dusík z optimalizovaného systému je déle využit pro závlahu pěstební části. Při větší produkci kalů, a tedy dusíku, než je potřeba v pěstební části, lze mineralizovaný kal dále využít jako hnojivo na pole, popř. prodat jako organické tekuté hnojivo.

Tab. 7. Produkce kalů při zohlednění modelového produkčního cyklu a limitní biomasy systémů.

Systém	Produkce kalů/ kg krmiva (%)	Spotřeba krmiva/ cyklus (kg)	Produkce kalů/ cyklus (kg)	Dusík (kg)
Původní	21,5	94,6	20,3	0,41
Původní + tři kompresory	21,5	231,1	49,7	0,94
Optimalizovaný	23,2	699	162,2	3,22

9.4. Spotřeba vody v průběhu experimentu

Při denním čištění filtru hrubých nečistot (vypuštění a oplach) v původním systému bylo spotřebováno $2,6 \pm 0,2$ m³ vody, což je 8 % objemu původního systému. V optimalizovaném systému byla spotřeba signifikantně nižší, a to $1,5 \pm 0,2$ m³, což je 6 % objemu optimalizovaného systému. V Tab. 8. je uvedena spotřeba vody na kg vyprodukovaných ryb při zohlednění modelového produkčního cyklu a limitní biomasy systémů (viz níže). Optimalizovaný systém má více než 6krát nižší spotřebu vody na kg vyprodukovaných ryb. Vodní stopa produkce ryb se pohybuje okolo 400 l/kg vyprodukovaných ryb (Joyce a kol., 2019). Je potřeba zdůraznit, že spotřeba vody v původním systému byla ve skutečnosti mnohem vyšší, protože při havarijních situacích (viz níže) byla vždy vyměněna velká část vody v původním systému.

Tab. 8. Spotřeba vody na kg vyprodukovaných ryb při zohlednění modelového produkčního cyklu a limitní biomasy systémů

Systém	Spotř./den (m ³)	Cyklus (dny)	Biomasa (kg)	Spotř./cyklus (m ³)	Spotř./kg (m ³)
Původní	2,6	140	157	364	2,32
Původní + tři kompresory	2,6	204	398	530,4	1,33
Optimalizovaný	1,5	185	750	277,5	0,37



9.5. Porovnání produkčních parametrů

9.5.1. Porovnání produkčních parametrů chovných částí

Produkční parametry chovných částí v první etapě

V rámci porovnání produkčních parametrů chovných částí obou systémů byla experimentální část rozdělena do dvou etap (viz Materiál a metodika). Produkční parametry, FCR a SGR první etapy jsou prezentovány v Tab. 9. Průměrná hmotnost ryb na začátku experimentu byla $10,1 \pm 0,5$ a $10,2 \pm 0,5$ pro optimalizovaný a původní systém, respektive bez statistického rozdílu. V průběhu první etapy nedošlo k mortalitě v obou systémech. Na základě spotřeby krmiva a rozdílu mezi koncovou a počáteční biomasou bylo FCR v obou systémech 0,7 (na 1 kg přírůstku je potřeba 0,7 kg krmiva). Většina studií uvádí FCR u pstruha duhového v rozmezí mezi 0,8 – 1,2. Nižší FCR v této etapě je pravděpodobně způsobeno nižší krmnou dávkou (krmná dávka pro optimální konverzi krmiva, viz Příloha 2.). To je však doprovázeno pomalejším růstem ryb. Tato krmná dávka způsobila nižší SGR v porovnání s publikovanými daty, kdy se SGR u pstruha duhového pohybuje kolem 2,2 %/den (Merrifield a kol, 2010). Průměrná hmotnost ryb na konci první etapy byla $44,6 \pm 0,5$ a $46,4 \pm 5,8$ pro optimalizovaný a původní systém, respektive.

Tab. 9. Produkční parametry (W_z průměrná hmotnost ryb na začátku etapy, Bio_z biomasa na začátku etapy, W_k průměrná hmotnost ryb na konci etapy, Bio_k biomasa na konci etapy), mortalita, FCR a SGR v první etapě experimentu. Různá písmena u hodnot ve stejném řádku označují signifikantní rozdíly mezi systémy ($p < 0,05$).

Parametr	Optimalizovaný systém	Původní systém
W_z (g)	$10,1 \pm 0,5^a$	$10,2 \pm 0,5^a$
Bio_z (kg)	19,5	20,4
W_k (g)	$44,6 \pm 0,5^a$	$46,4 \pm 5,8^a$
Bio_k (kg)	86,0	93,0
Mortalita (%)	0	0
Spotřeba krmiva (kg)	49,0	49,0
FCR	0,7	0,7
SGR (%/den)	2,0	2,0

Produkční parametry chovných částí ve druhé etapě

Po 8 dnech od zahájení druhé etapy (aplikace plné krmné dávky) došlo k výraznému poklesu nasycení kyslíkem v původním systému (Graf 3. nahoře), a tak musela být část obsádky (35 kg) přesunuta do záložního systému a vyměněna velká část vody. Tento incident tedy naznačuje, že původní systém dosáhl své kapacity (biomasa 157 kg). Poté byly navíc instalovány tři vzduchové kompresory. Bez těchto opatření by původní systém zkolaboval, což by mělo za následek masový úhyn obsádky. Průměrná hmotnost ryb na začátku etapy byla $156,7 \pm 12,9$ a $126,5 \pm 20,6$ pro optimalizovaný a původní systém, respektive. Na konci etapy dosáhly ryby v optimalizovaném systému signifikantně vyšší hmotnosti ($349,8 \pm 18,8$ g) oproti původnímu systému ($296,5 \pm 11,9$). Biomasa na konci etapy dosahovala 547,9 kg a 398,4 kg v optimalizovaném a původním systému, respektive. Hodnota FCR v optimalizovaném systému byla 1,2, zatímco v původním 0,6. Nízká hodnota FCR v původním systému (Tab. 10.),

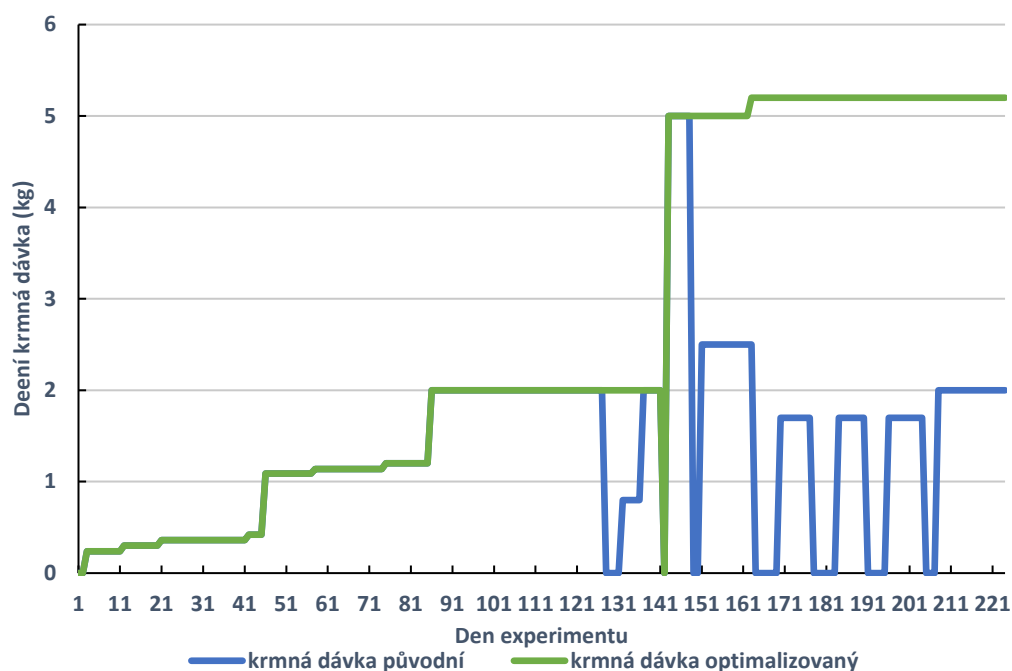


a tedy lepší konverze krmiva je dána nízkou krmnou dávkou z důvodu zhoršených fyzikálních a chemických parametrů vody v původním systému. Z Grafu 8. lze vyčíst, že ryby v původním systému střídaly epizody, kdy přijímaly krmivo s epizodami, kdy o krmivo neprojevovaly zájem z důvodu špatných environmentálních podmínek. Takové epizody nejsou patrné v optimalizovaném systému, což dokazuje jeho stabilitu. Na konci druhé etapy došlo opět k poklesu nasycení kyslíkem pod 50 %, což naznačuje, že původní systém vylepšený o 3 kompresory také dosáhl limitní biomasy (398 kg). Zatímco v optimalizovaném systému nebyla zaznamenána mortalita ve druhé etapě, v původním systému uhynulo 2 % ryb, avšak pokud bychom nerealizovali zásahy uvedené výše, tak by byla mortalita mnohem vyšší.

Tab. 10. Produkční parametry (W_z průměrná hmotnost ryb na začátku etapy, Bio_z biomasa na začátku etapy, W_k průměrná hmotnost ryb na konci etapy, Bio_k biomasa na konci etapy), mortalita. FCR a SGR ve druhé etapě experimentu. Různá písmena u hodnot ve stejném řádku označují signifikantní rozdíly mezi systémy ($p < 0,05$).

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

* původní biomasa byla 192 kg, 149. den však muselo být přesunuto 35 kg ryb z původního systému do záložního RAS kvůli nízké koncentraci kyslíku a apatii ryb, zároveň byla přidána tři vzduchovací dmychadla s výkony 275 l/min.



Graf 8. Denní krmné dávky v původním (modrá) a optimalizovaném (zelená) systému.



9.5.2. Porovnání produkčních parametrů pěstebních částí

Produkční parametry pěstebních částí

Produkce salátů v optimalizovaném systému byla více než dvakrát vyšší v porovnání s původním systémem. To je dáno nízkou koncentrací živin v původním systému v průběhu experimentu (Tab. 11. a 12.). Přesto byla rychlost růstu, a tedy i finální biomasa násobně nižší oproti publikovaným údajům (Barbosa a kol., 2015). Je to dáno nízkou teplotou uvnitř haly (cca 10 °C v testovaném období), a tím nižším metabolismem rostlin (Miller a kol., 2020; Resh, 2016). V současné době se vyplatí pěstovat rostliny v hale po dobu cca třech měsíců v roce, kdy se teplota v hale pohybuje kolem 20 °C, což je udáváno jako spodní limit pro saláty (Miller a kol., 2020).

Tab. 11. Nutriční požadavky a živinové složení vody v původním systému (Původní) a pěstební části optimalizovaného (Optimal) systému. Hodnoty živin jsou mg/l. Hodnoty EC jsou v mS/cm.

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

*www.scienceinhydroponics.com

** extension.okstate.edu/



Tab. 12. Produkční parametry pěstební části původního a optimalizovaného systému. Hodnoty jsou prezentovány jako průměr $\pm$ směrodatná odchylka. Hodnoty ve stejném řádku s různými písmeny označují signifikantní rozdíly mezi systémy ($p \leq 0,05$).

Parametr	Optimalizovaný systém	Původní systém
Pr. hm. začátek (g)	$0,3 \pm 0,0^a$	$0,3 \pm 0,0^a$
Pr. velikost začátek (cm)	$1,5 \pm 0,0^a$	$1,5 \pm 0,0^a$
Pr. hm. konec (g)	$19,0 \pm 8,2^a$	$8,7 \pm 1,9^b$
Pr. velikost konec (cm)	$14,2 \pm 2,2^a$	$9,5 \pm 1,9^b$
Biomasa konec (kg)	75,2	34,5

9.6. Porovnání ekonomických parametrů

9.6.1. Porovnání ekonomických parametrů chovných částí

Pro porovnání ekonomických parametrů chovných částí byly použity průměrné hodnoty SGR (1,97 pro optimalizovaný systém a 1,47 pro původní systém) a FCR (0,95 pro optimalizovaný systém a 0,65 pro původní systém) z první a druhé etapy. Na základě hodnot SGR byl vymodelován růst ve třech systémech: optimalizovaný systém (max. biomasa 750 kg), původní systém (max. biomasa 157 kg) a původní systém se třemi kompresory navíc (max. biomasa 398 kg). Biomasy v posledních dvou systémech jsou zvoleny na základě limitujících kapacit systémů (popsáno výše). Na základě modelu by produkční cyklus v optimalizovaném systému trval 185 dní, kdy by finální biomasa dosáhla 750 kg. V původním systému by bylo limitní biomasy dosaženo po 140 dnech (limitní biomasa 157 kg), zatímco v původním systému doplněném o tři kompresory by bylo limitní biomasy dosaženo po 204 dnech (limitní biomasa 398 kg).

Produkční příjmy a výdaje chovné části optimalizovaného systému

Produkční příjmy a výdaje chovné části optimalizovaného systému dle modelových dat jsou uvedeny v Tab. 13. Za produkční cyklus (185 dní) jsou produkční příjmy z chovné části 126 820 Kč, produkční výdaje za produkční cyklus činí 79 129 Kč. Za rok by tedy produkční zisk dělal 94 093 Kč (1,97 produkčního cyklu za rok).

Tab. 13. Produkční výdaje a příjmy chovné části optimalizovaného systému za jeden cyklus dle modelových dat. Cyklus do dosažení maximální kapacity systému (750 kg) trvá 185 dní.

PRODUKČNÍ VÝDAJE					
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Spotřeba/den	Cena/den	Cena/ cyklus
Čerpadlo 1	kWh	3,15	4,42	13,91	2 573
Čerpadlo 2	kWh	3,15	5,09	16,03	2 965
Dmychadlo 1	kWh	3,15	8,47	26,68	4 936
Dmychadlo 2	kWh	3,15	25,67	80,85	14 957
Mechanický filtr	kWh	3,15	0,93	2,92	539
Násada ryb	ks	3	2 000*		6 000
Krmivo	kg	41	699*		28 659
Obsluha	hod	200	0,5	100	18 500
Celkem produkční výdaje					79 129



PRODUKČNÍ PŘÍJMY				
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Celkem produkce	Celkem/cyklus
Prodej ryb	kg	170	746	126 820
Celkem produkční příjmy				126 820

* Spotřeba za celý cyklus

Produkční příjmy a výdaje chovné části původního systému

Limitní biomasa v původním systému je 157 kg. Produkční příjmy a výdaje chovné části původního systému dle modelových dat jsou uvedeny v Tab. 14. Za produkční cyklus (140 dní), kdy by bylo dosaženo limitní biomasy v systému, jsou produkční příjmy z chovné části 26 482 Kč, produkční výdaje za cyklus činí 43 117 Kč. Původní systém je tedy ztrátový.

Tab. 14. Produkční výdaje a příjmy chovné části původního systému za jeden cyklus dle modelových dat. Cyklus do dožení limitní biomasy 157 kg trvá 140 dní.

PRODUKČNÍ VÝDAJE					
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Spotřeba/den	Cena/den	Cena/ cyklus
Čerpadlo 1	kWh	3,15	3,94	12,40	1 736
Čerpadlo 2	kWh	3,15	3,07	9,68	1 355
Dmychadlo 1	kWh	3,15	13,82	43,55	1 524
Dmychadlo 2	kWh	3,15	1,41	4,45	623
Násada ryb	ks	3	2 000*		6 000
Krmivo	kg	41	94,6*		3 879
Obsluha	hod	200	1	200	28 000
Celkem produkční výdaje					43 117
PRODUKČNÍ PŘÍJMY					
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Celkem produkce	Celkem/cyklus	
Prodej ryb	kg	170	155,8	26 482	
Celkem produkční příjmy				26 482	

* Spotřeba za celý cyklus

Produkční příjmy a výdaje chovné části původního systému se třemi kompresory navíc

Limitní biomasa v původním systému se třemi kompresory navíc je 398 kg. Produkční příjmy a výdaje chovné části původního systému se 3 kompresory navíc dle modelových dat jsou uvedeny v Tab. 15. Za produkční cyklus (204 dní), kdy by bylo dosaženo limitní biomasy v systému, jsou produkční příjmy z chovné části 67 405 Kč, produkční výdaje za cyklus činí 64 726 Kč. Za rok by tedy produkční zisk z původního systému se třemi kompresory navíc dělal 4 793 Kč (1,79 produkčního cyklu za rok).

Tab. 15. Produkční výdaje a příjmy chovné části původního systému se třemi kompresory navíc za jeden cyklus dle modelových dat. Cyklus do dožení limitní biomasy 398 kg trvá 204 dní.

PRODUKČNÍ VÝDAJE					
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Spotřeba/den	Cena/den	Cena/ cyklus
Čerpadlo 1	kWh	3,15	3,94	12,40	2 529
Čerpadlo 2	kWh	3,15	3,07	9,68	1 974



Dmychadlo 1	kWh	3,15	13,82	43,55	2 221
Dmychadlo 2	kWh	3,15	1,41	4,45	907
Násada ryb	ks	3	2 000*		6 000
Krmivo	kg	41	251,1*		10 295
Obsluha	hod	200	1	200	40 800
Celkem produkční výdaje					64 726
PRODUKČNÍ PŘÍJMY					
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Celkem produkce		Celkem/cyklus
Prodej ryb	kg	170	396,5		67 405
Celkem produkční příjmy					67 405

* Spotřeba za celý cyklus

9.6.2. Porovnání ekonomických parametrů pěstebních částí

V rámci ekonomických parametrů pěstebních částí byly porovnány oba systémy, a navíc byl vytvořen scénář pro optimalizovaný systém na základě produkčního cyklu salátu v optimálních podmínkách, kdy je produkční cyklus 250g hlávky salátu 30 dní (Loconcole a kol., 2019).

Produkční příjmy a výdaje pěstební části optimalizovaného systému

Produkční příjmy a výdaje pěstební části optimalizovaného systému jsou uvedeny v Tab. 16. Za cyklus 60 dní byly produkční příjmy z pěstební části 8 994 Kč, produkční výdaje činily 23 178 Kč. Při tomto scénáři by tedy pěstování salátů bylo ztrátové. Nízké výnosy jsou dány nízkou teplotou v hale v průběhu experimentu. Pro celoroční pěstování salátů by tedy bylo upravit konstrukci haly, popř. instalovat zařízení pro udržení optimálního klimatu (topení, chlazení, větrání).

Tab. 16. Produkční výdaje a příjmy pěstební části optimalizovaného systému za jeden cyklus. Cyklus je 60 dní.

cyklus je 66 dní.

PRODUKČNÍ VÝDAJE					
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Spotřeba/den	Cena/den	Cena/ cyklus
Čerpadlo	kWh	3,15	1,44	4,54	272
Dmychadlo	kWh	3,15	1,19	3,74	224
Světla	kWh	3,15	77,76	244,9	14 696
Sadba*					4 210
Hnojivo*					576
Obsluha*					3 200
Celkem produkční výdaje					23 718
PRODUKČNÍ PŘÍJMY					
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Celkem produkce		Celkem/ cyklus
Prodej salátů	kg	119,6	75,2		8 994
Celkem produkční příjmy					8 994

* Za celý cyklus



Produkční příjmy a výdaje pěstební části původního systému

Produkční příjmy a výdaje pěstební části původního systému dle prvního scénáře jsou uvedeny v Tab. 17. Za cyklus 60 dní byly produkční příjmy z pěstební části 4 126 Kč, produkční výdaje činili 22 463 Kč. Při tomto scénáři by tedy pěstování salátů bylo, stejně jako v optimalizovaném systému, ztrátové. Hlubší ztráta v porovnání s optimalizovaným systémem je dána špatnou výživou rostlin v původním systému. Nízké výnosy jsou dány nízkou teplotou v hale v průběhu experimentu.

Tab. 17. Produkční výdaje a příjmy pěstební části původního systému za jeden cyklus. Cyklus je 60 dní.

PRODUKČNÍ VÝDAJE					
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Spotřeba/den	Cena/den	Cena/ cyklus
Čerpadlo	kWh	3,15	0*	0	0
Dmychadlo	kWh	3,15	1,89	5,95	357
Světla	kWh	3,15	77,76	244,9	14 696
Sadba**					4 210
Hnojivo**					0
Obsluha**					3 200
Celkem produkční výdaje					22 463
PRODUKČNÍ PŘÍJMY					
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Celkem produkce		Celkem/ cyklus
Prodej salátů	kg	100	34,5		4 126
Celkem produkční příjmy					4 126

* Již započítáno v chovné části

** Za celý cyklus

Produkční příjmy a výdaje pěstební části systému při optimálních podmínkách

Produkční příjmy a výdaje pěstební části optimalizovaného systému při optimálních podmínkách jsou uvedeny v Tab. 18. Produkční cyklus do hmotnosti hlávky salátu 250 g je v optimálních podmínkách cca 30 dní (Loconsole a kol., 2019). Hnojivo se většinou mění po každém cyklu. V optimálních podmínkách by byly produkční příjmy z pěstební části 118 404 Kč, produkční výdaje by činily 19 257 Kč. Za rok by tedy produkční zisk byl 1 206 289 Kč (12,27 produkčního cyklu za rok). Je však nutné zdůraznit, že zde není počítáno s výdaji na udržení optimálního klimatu v hale (topení, chlazení, větrání). V ideálním případě (správná konstrukce a izolace haly) by však hala měla být vytopena tepelnou energií vydávanou LED světly.

Tab. 18. Produkční výdaje a příjmy pěstební části optimalizovaného systému při optimálních podmínkách za jeden cyklus. Cyklus je 30 dní.

PRODUKČNÍ VÝDAJE					
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Spotřeba/den	Cena/den	Cena/ cyklus
Čerpadlo	kWh	3,15	1,44	4,54	112
Dmychadlo	kWh	3,15	1,19	3,74	136
Světla*	kWh	3,15	116,64	367,4	11 023
Sadba					4 210
Hnojivo					576



Obsluha				3 200
Celkem produkční výdaje				19 257
PRODUKČNÍ PŘÍJMY				
Položka	Jedn.	Cena/jedn.	Celkem produkce	
Prodej salátů	kg	119,6	990	118 404
Celkem produkční příjmy				118 404

* Pro optimální růst je doporučeno svítit 12 hod/den

9.6.3. Návratnost investice

Návratnost při přestavbě původního systému

Přestavba původního akvaponického systému na optimalizovaný si vyžádala investici 270 437 Kč bez DPH (Tab. 19.). Na základě ekonomických výsledků optimalizovaného a původního systému se třemi kompresory navíc (viz výše) je návratnost 3 roky a po 4 letech by optimalizovaný systém dosáhl lepšího ekonomického výsledku ve srovnání s původním systémem se třemi kompresory navíc (Tab. 20.).

Tab. 19. Výdaje vynaložené při optimalizaci původního systému na optimalizovaný.

Položka	Jedn.	Cena/jedn. (Kč)	Počet	Celkem (Kč)
Úprava chovných nádrží a materiál	ks	11 450	6	68 700
Úprava nádrží na biofiltr a materiál	ks	4 900	2	9 800
Úprava nádrže na radiální filtr a materiál	ks	11 450	1	11 450
Biofiltrační elementy a doprava	m ³	21 867	2	43 734
Mechanický filtr a montáž	ks	65 236	1	65 236
Konstrukce pod mechanický filtr	ks	2 500	1	2 500
Dmychadlo a zapojení (i stávajících)	ks	12 545	1	12 545
Vzduchojem a rozdělovač	ks	3 200	1	3 200
Čerpadlo a zapojení (i stávajícího)	ks	9 950	1	9 950
Trubkový difuzér a montáž	ks	1 868	10	18 680
Kruhový difuzér a montáž	ks	1 340	6	8 042
Potrubí				6 000
Práce elektro				7 600
Práce instalatérská				6 000
Celkem				270 437

Tab. 20. Návratnost optimalizovaného systému (produkční zisky v původním systému se třemi kompresory navíc jsou 4 793 Kč ročně a v optimalizovaném systému 94 093 Kč ročně.

Výdaje/ Produkční zisky	Původní systém	Optimalizovaný systém
Výdaje	0	270 437
Výsledek 1. rok*	4 793	-176 344
Výsledek 2. rok*	9 586	-82 251
Výsledek 3. rok*	14 379	11 842
Výsledek 4. rok*	19 172	105 935

* kumulativní



Návratnost při stavbě optimalizovaného systému

V Tab. 21. jsou uvedeny vícenáklady na stavbu optimalizovaného a původního systému. Totožné náklady nejsou uvedeny. Náklady na stavbu optimalizovaného systému (pokud by nebyla nutná přestavba) by byla o 139 831 Kč dražší. V takovém případě se investice vrátí již po 2 letech a systém dosáhne lepšího ekonomického výsledku (Tab. 22.).

Tab. 21. Vícenáklady na stavbu optimalizovaného a původního systému. Totožné náklady nejsou uvedeny.

Optimalizovaný systém	Jedn.	Cena/jedn. (Kč)	Počet	Celkem (Kč)
Nádrž	ks	21 500	2	43 000
Biofiltrační elementy a doprava	m ³	21 867	2	43 734
Mechanický filtr	ks	60 736	1	60 736
Konstrukce pod mechanický filtr	ks	2 500	1	2 500
Dmychadlo	ks	8 545	1	8 545
Vzduchojem a rozdělovač	ks	3 200	1	3 200
Čerpadlo	ks	7 550	1	7 550
Trubkový difuzér	ks	1 437	10	14 370
Kruhový difuzér	ks	1 031	6	6 186
Celkem				189 821
Původní systém	Jedn.	Cena/jedn. (Kč)	Počet	Celkem (Kč)
Nexus 300	ks	49 990	1	49 990
Celkem				49 990

Tab. 22. Návratnost optimalizovaného systému bez nutnosti přestavby (produkční zisky v původním systému se třemi kompresory navíc jsou 4 793 Kč ročně a v optimalizovaném systému 94 093 Kč ročně.

Výdaje/ Produkční zisky	Původní systém	Optimalizovaný systém
Výdaje	0	139 831
Výsledek 1. rok*	4 793	-45 738
Výsledek 2. rok*	9 586	48 301

* kumulativní



10. Závěr

Akvaponie je udržitelná technologie symbioticky kombinující chov ryb a pěstování rostlin, kdy většina živin potřebných pro růst rostlin pochází od ryb. Tato technologie má velký potenciál hrát důležitou roli při řešení globálních výzev lidstva jako jsou např. růst produkce potravin z důvodu prudkého růstu lidské populace, nedostatek zdrojů vody, půdy, hnojiv, emise skleníkových plynů apod. Tato fakta způsobují, že o akvaponie projevují investoři stále větší zájem. Většina tuzemských firem nabízející akvapponické technologie však doposud nemá zkušenosti a dostatečné znalosti o akvapponických systémech a staví systémy, které nejsou funkční. V rámci projektu *Optimalizace technologie akvapponické farmy pro zvýšení produkce ryb a zlepšení kvality vody* byl přebudován a optimalizován jeden akvapponický systém v akvapponické hale firmy Aquaponic Park s.r.o. a porovnán s původním systémem na základě kvality vody, produkce ryb a ekonomických ukazatelů.

V rámci monitoringu původního systému bylo zjištěno několik parametrů, které nejsou kompatibilní s intenzivním chovem ryb. V uzavřených chovech ryb je přítom intenzita, a tedy produkce ryb zásadní pro ekonomickou životaschopnost systému z důvodu vysokých nákladů na krmivo, energii a lidskou práci.

Mezi zásadní nedostatky chovné části původního systému patří nízká výměna vody v chovných nádržích, a tedy nízká samočistící schopnost nádrží. V původním systému se voda v nádrži vyměnila průměrně jednou za 9 hodin, přičemž doporučené hodnoty jsou 1 a 2 výměny za hodinu. Malá výměna vody v nádrži má za následky hromadění metabolitů, špatný odvod hrubých nečistot, a tím zhoršené welfare ryb. Takové ryby jsou náchylnější vůči nemocem, což bylo potvrzeno v průběhu experimentu (Příloha 3.). V optimalizovaném systému byly dosaženy průtoky vhodné pro chov lososovitých ryb, a to instalací dodatečného čerpadla a zjednodušením rozvodů vody.

Dalším zásadním nedostatkem je malá kapacita biofiltru způsobující vyšší hodnoty amoniaku a dusičnanů, které jsou toxické pro ryby. Původní biofiltr má cca 5% množství biofiltračních elementů, než by bylo potřeba při intenzivním chovu ryb. To se také odráželo na zvýšených hodnotách toxického amoniaku a dusitanů, což bylo řešeno vyšší výměnou vody a aplikací kuchyňské soli pro snížení toxicity dusitanů. Mechanické filtry v původním systému byly řešeny filtračními kartáči a rašlovými pytli s bio elementy. Tento systém je nevhodný z důvodu vysoké časové náročnosti při čistění, vysoké náročnosti na spotřebu vody a nízké efektivity využití kalů. Optimalizovaný systém byl osazen bubnovým filtrem s odvodem kalů do radiálního filtru, kde byl kal zahuštěn a dle potřeby převeden do mineralizační nádrže, kde dochází k uvolnění živin z kalů. Supernatant z radiálního filtru je sveden zpět do systému a dochází tak k maximální úspoře vody.

Zásadním nedostatkem byl také malý výkon vzduchovacího kompresoru a nevhodné vzduchovací elementy. To způsobovalo během experimentu kritické nasycení vody kyslíkem. Limitním ukazatelem pro kapacitu systému byl pokles nasycení kyslíkem pod 50 % (biomas 157 kg v původním systému a 398 kg v původním systému doplněném o tři kompresory). V optimalizovaném systému byly navýšeny výkony vzduchovacích dmychadel a také byly zvoleny vhodné talířové difuzéry.

Dalším nedostatkem byla nesprávná konstrukce nádrží bez kónického dna a bez možnosti kompletního vypuštění nádrží. Tyto nádrže neměly dostatečnou samočistící schopnost a spolu s nízkými průtoky vody napomáhaly ke kumulaci odpadních látek v chovných nádržích.



V optimalizovaném systému byly nádrže osazeny kónickým dnem a bočním odtokem (tzv. nádrže typu Cornell). Tyto nádrže mají vynikající samočistící schopnost a zároveň i vhodné hydrodynamické proudění pro ryby. Navíc byla u nádrží instalována nová výpušť umožňující kompletní vypuštění nádrže.

Nedostatky původního systému způsobovaly špatnou stabilitu systému, kdy ryby opakovaně projevovaly několikadenní epizody a neměly zájem o předkládané krmivo. Následně musela být vždy vyměněna velká část vody v systému a aplikována sůl, aby nedošlo k otravě dusitany. Původní systém tak měl nižší kapacitu ve srovnání s optimalizovaným systémem (kapacita 750 kg ryb). Kvalita vody byla v optimalizovaném systému po celou dobu experimentu vhodná pro chov ryb a systém byl stabilní, časově nenáročný na údržbu a spotřebu vody.

V rámci pěstební části původního akvaponického systému byl zjištěn nevyhovující design využívající jednosmyčkovou technologii. Tato technologie neumožňuje úpravu parametrů vody pro jednotlivé složky akvaponického systému (ryby, nitrifikační bakterie a rostliny), a tak dochází ke kompromisům, a tím snížení intenzity chovu/pěstování. Zároveň rostliny nedostávají množství živin, které potřebují pro intenzivní růst. Nedostatečná filtrace v chovné části původního systému pak způsobuje usazování kalu v pěstebních nádržích, kde pak dochází k zahnívání a špatným kyslíkovým poměrům na kořenech rostlin. V optimalizovaném systému byl tedy zvolen tzv. vícesmyčkový design, kdy jsou kaly od ryb zahuštěny v radiálním filtru a následně přepuštěny do mineralizační nádrže, kde dochází k uvolnění živin navázaných na kaly. Tento roztok je následně doplněn o chybějící živiny a přes jemné síto přepuštěn k rostlinám dle potřeby. Voda není vedena zpět k rybám, a tak je možné v případě potřeby použít přírodní pesticidy a biologickou kontrolu bez toho, abychom tím ovlivnili chovnou část s rybami a nitrifikačními bakteriemi.

V rámci ekonomického porovnání původního a optimalizovaného systému byly vytvořeny tři modely na základě průměrných hodnot SGR a FCR naměřených v průběhu experimentů a na základě kapacity systémů (optimalizovaný – 750 kg, původní – 157 kg, původní se třemi kompresory navíc – 398 kg). Původní systém s jedním kompresorem byl ztrátový a až přidáním dalších třech kompresorů bylo dosaženo mírného produkčního zisku. Naproti tomu chovná část optimalizovaného systému má roční produkční zisk 94 093 Kč a jeho návratnost je 2 roky.

V rámci ekonomického porovnání pěstebních částí původního a optimalizovaného systému bylo zjištěno, že jsou oba systémy ztrátové po většinu roku a optimální produkce může být dosaženo pouze tři měsíce v roce, kdy je teplota v hale vhodná pro pěstování salátů. Produkční zisk z pěstební části optimalizovaného systému při optimálních podmínkách by byl několikanásobně vyšší oproti produkčnímu zisku z chovné části optimalizovaného systému, což je typické pro akvaponické systémy. Zde je však potřeba zdůraznit, že je počítáno s růstem v optimálních podmínkách, kdy by bylo nutné halu odizolovat a snížit stropy, pro menší prostor potřebný k udržení optimálního klimatu (topení, chlazení, větrání). V ideálním případě by tak nebylo potřeba dodatečného topení, protože by stačilo teplo vydávané LED světly. Naopak v létě by bylo potřeba prostor odvětrat, popř. ochladit. Tyto úpravy by však vyžadovaly rozsáhlé stavební úpravy s vysokou finanční náročností, které nebylo možné realizovat v rámci projektu. Dále je potřeba zdůraznit, že původní elektroinstalace na pěstebních stojanech nesplňuje požadavky na provoz ve vlhkém prostředí.

Akvaponické systémy budou v blízké budoucnosti nesporně hrát roli v produkci potravin, což dokazují mimo jiné rostoucí ceny hnojiv. Má-li však být akvaponie ekonomicky



životaschopná, je nutné zvolit správný design a technologie. V České republice už je několik akvaponických farem, a tak je v současnosti jednodušší se informovat u provozovatelů, než tomu bylo několik let nazpět.

Shrnutí

Původní systém

- Malé průtoky vody v nádržích
- Malá kapacita biofiltru
- Nevhodná mechanická filtrace
- Nedostatečné vzduchování
- Nevhodné konstrukce nádrží



MAXIMÁLNÍ KAPACITA 157 kg RYB
ŠPATNÁ KVALITA VODY
ZHORŠENÉ WELFARE RYB
NESTABILNÍ SYSTÉM

- Vysoká spotřeba vody
- Odpadní kaly nejsou využity
- Kaly v pěstebních nádržích



POLOVIČNÍ PRODUKCE ROSTLIN
ŽIVINOVÉ DEFICITY NA ROSTLINÁCH
ROSTLINY TAKŘKA NEPRODEJNÉ

!!!PŮVODNÍ SYSTÉM JE ZTRÁTOVÝ!!!

Optimalizovaný systém

- Vhodné průtoky
- Vhodná velikost biofiltru
- Bubnový mechanický filtr
- Vhodné dmychadla a difuzéry
- Nádrže typu „Cornell“



MAXIMÁLNÍ KAPACITA 750 kg RYB
DOBŘÁ KVALITA VODY
VÝBORNÉ WELFARE
STABILNÍ SYSTÉM

- Optimální využití kalů
- Nízká spotřeba vody



VHODNÁ VÝŽIVA PRO ROSTLINY
NÍZKÁ SPOTŘEBA HNOJIV
ROSTLINY BEZ DEFICITŮ

OPTIMALIZOVANÝ SYSTÉM JE ZISKOVÝ

Akvaponická hala

- Neoddělené chovné a pěstební části – vysoká vlhkost a tepelné ztráty
- Fluktuace teplot den/noc – kondenzace vody na hlávkách salátů
- Vysoké stropy – nákladné na udržení optimálního klimatu
- Pěstební stojany s nevhodnou elektroinstalací



11. Reference

- Barbosa, G.L., Gadelha, F.D.A., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G.M., Halden, R.U. (2018). Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12, 6879-6891.
- Glencross, B. D. (2009). Reduced water oxygen levels affect maximal feed intake, but not protein or energy utilization efficiency of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition* 15, 1-8.
- Joyce, A., Goddek, S., Kotzen, B., Wuertz, S. (2019). Aquaponics: Closing the Cycle on Limited Water, Land and Nutrient Resources. V: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.M. (Ed.) *Aquaponics Food Production Systems*. Springer, Cham.
- Karabulut, H. A., Senoglu, B., Kurtoglu, I. Z. (2018). The effects of different feeding rates on growth performance and stomach volume in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Agricultural Science* 10, 19-25.
- Loconsole, D., Cocetta, G., Santoro, P., Ferrante, A. (2019). Optimization of LED Lighting and Quality Evaluation of Romaine Lettuce Grown in An Innovative Indoor Cultivation System. *Sustainability* 11, 841.
- MacIntyre, C. M., Ellis, T., North, B. P., Turnbull, J. F. (2008). The influences of water quality on the welfare of farmed rainbow trout: A review. V: Branson, E. J. (Ed), *Fish welfare*. John Wiley & Sons, pp 150-184.
- Merrifield, D., Bradley, G., Baker, R., Davies, S. (2010). Probiotic applications for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) II. Effects on growth performance, feed utilization, intestinal microbiota and related health criteria postantibiotic treatment. *Aquaculture Nutrition* 16, 496-503.
- Miller, A., Langenhoven, P., Nemali, K. (2020). Maximizing productivity of greenhouse-grown hydroponic lettuce during winter. *HortScience* 55, 1963-1969.
- Resh, H. M. (2016). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*, CRC Press, 560 s.
- Summerfelt, S. T., Davidson, J., Timmons, M. B. (2000). Hydrodynamics in the 'Cornell-type' dual-drain tank. V: Third International Conference on Recirculating Aquaculture, Virginia Polytechnic Institute and State University, Roanoke, USA.
- 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.
- Valenzuela, A. E., Silva, V. M., Klempau, A. E. (2008). Effects of different artificial photoperiods and temperatures on haematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish Physiology and Biochemistry* 34, 159-167.



12. Přílohy

Příloha 1. Výsledky rozboru zdrojové vody

Parametr	Označení	Jednotky	Výsledek
EC		$\mu\text{S} \cdot \text{cm}$	919
pH			7,18
Celková tvrdost	CaCO_3	mg/l	144
Vápník	Ca^{2+}	mg/l	74
Amonný dusík	N-NH_3^-	mg/l	$\leq 0,1$
Draslík	$\text{K}^+ / \text{K}_2\text{O}$	mg/l	11,8/14,2
Dusičnanový dusík	$\text{NO}_3\text{-N} / \text{NO}_3^-$	mg/l	$\leq 0,1$
Fosforečnany	$\text{PO}_4^{3-} / \text{P}_2\text{O}_5 / \text{P}$	mg/l	2/1,5/0,6
Hořčík	Mg^{2+}	mg/l	55
Sírany	SO_4^{2-}	mg/l	138
Bor	B	mg/l	$\leq 0,01$
Křemík	Si / SiO_2	mg/l	5,2/11
Mangan	Mn	mg/l	$\leq 0,01$
Měď	Cu	mg/l	$\leq 0,01$
Molybden	Mo	mg/l	0,1
Zinek	Zn	mg/l	$\leq 0,01$
Železo	Fe	mg/l	0,23
Chloridy	Cl	mg/l	10,7



EVROPSKÁ UNIE
Evropský námořní a rybářský fond
Operační program Rybářství



Fakulta rybářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice
Czech Republic

Příloha 2. Krmné tabulky pro krmivo Altech Coppens Supreme-21.

Altech® COPPENS

SUPREME-21

- Medium energy diet
- For semi-intensive farming
- Good performance
- High flesh quality



COMPOSITION:

Analyses (%)		Sizes
Protein	39 - 41	3.0 mm
Fat	19 - 22	4.5 mm
Crude fibre	1 - 2	6.0 mm
Ash	4 - 8	
Total P	0.87	

Vitamins added

Vitamin A (IE/kg)	8936
-------------------	------

Energy (MJ/kg)

Gross Energy	21,2 - 23,2
Digestible Energy	18,8 - 19,2
Net energy	14,2

FEEDING TABLE FOR LOW FEED CONVERSION RATIO (FCR)

Fish weight (g)	Feed size (mm)	< 6 °C	6 °C	8 °C	10 °C	12 °C	14 °C	16 °C	18 °C	> 18 °C
35-100	3.0		0,77	0,93	1,12	1,36	1,64	1,99	1,61	
100-200	3.0/4.5		0,62	0,75	0,90	1,09	1,32	1,59	1,29	
200-300	4.5		0,56	0,67	0,81	0,98	1,19	1,44	1,17	
300-400	4.5		0,52	0,63	0,76	0,92	1,11	1,35	1,09	
400-500	6.0	According to fish's appetite	0,49	0,60	0,72	0,87	1,06	1,28	1,04	According to fish's appetite & CO2 level
500-750	6.0		0,47	0,56	0,68	0,83	1,00	1,21	0,98	
750-1000	6.0		0,44	0,53	0,64	0,77	0,93	1,13	0,91	
1000-1500	6.0		0,40	0,49	0,59	0,71	0,86	1,04	0,85	
1500-2000	6.0		0,38	0,46	0,55	0,67	0,81	0,98	0,79	
2000-3000	6.0		0,35	0,42	0,51	0,62	0,75	0,91	0,74	

FEEDING TABLE FOR OPTIMAL GROWTH

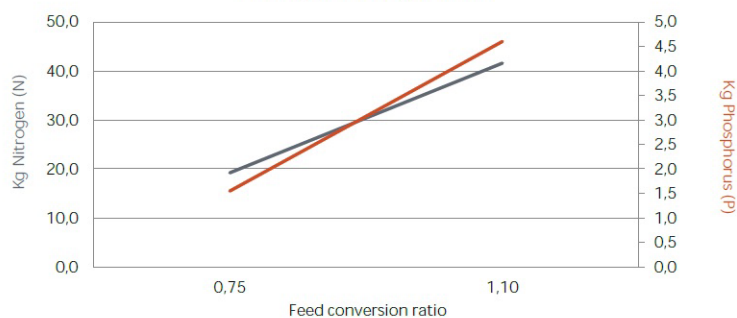
Fish weight (g)	Feed size (mm)	< 6 °C	6 °C	8 °C	10 °C	12 °C	14 °C	16 °C	18 °C	> 18 °C
35-100	3.0		1,11	1,35	1,63	1,97	2,38	2,88	2,33	
100-200	3.0/4.5		0,89	1,08	1,31	1,58	1,91	2,31	1,87	
200-300	4.5		0,81	0,98	1,18	1,43	1,73	2,09	1,69	According to fish's appetite & CO2 level
300-400	4.5	According to fish's appetite	0,75	0,91	1,10	1,33	1,61	1,95	1,58	
400-500	6.0		0,72	0,87	1,05	1,27	1,53	1,86	1,50	
500-750	6.0		0,68	0,82	0,99	1,20	1,45	1,75	1,42	
750-1000	6.0		0,63	0,76	0,92	1,12	1,35	1,63	1,32	
1000-1500	6.0		0,58	0,71	0,86	1,03	1,25	1,51	1,23	
1500-2000	6.0		0,55	0,66	0,80	0,97	1,17	1,41	1,15	
2000-3000	6.0		0,51	0,62	0,74	0,90	1,09	1,32	1,07	

* The feeding advice is expressed in % biomass/day.

* This feeding table is a guideline only and based on optimal conditions.

ECOLOGICAL FIGURES:

Discharge per 1000 kg production



The values of the nutrients and vitamins are from the time of writing.

These values can vary due to natural variation in the ingredients. We reserve the right to change our recipe.

For the exact values we refer to the label.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský námořní a rybářský fond
Operační program Rybářství



Fakulta rybářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice
Czech Republic

Příloha 3. Bakteriální poškození kůže pstruha duhového z původního systému způsobené nevyhovujícími podmínkami.

