

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Diplomová práce

Výhody a další perspektivy využití smíšené obsádky pstruha duhového

(*Oncorhynchus mykiss*) a mníka jednovousého (*Lota lota*)

v podmínkách intenzivní akvakultury

Autor: Bc. Vít Profant

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Tomáš Polícar, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Jan Hampl

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

Forma studia: Kombinovaná

Ročník: třetí

České Budějovice 2020

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:

Podpis studenta:

Poděkování

Rád bych poděkoval především mému vedoucímu práce doc. Ing. Tomášovi Polícarovi, Ph.D. za velmi cenné rady, metodické vedení a odbornou pomoc při zpracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval MSc. Oleksandrovi Malinoskyimu Ph.D. za velkou pomoc při statistickém vyhodnocování získaných dat a také všem členům Laboratoře intenzivní akvakultury a Experimentálního rybochovného pracoviště Výzkumného ústavu rybářského a hydrobiologického, Fakulty rybářství a ochrany vod, Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích za pomoc při realizaci celého experimentu.

V neposlední řadě patří velké poděkování mé přítelkyni Bc. Stanislavě Wolfové, která se mnou měla obrovskou trpělivost při zpracování této práce a také ji děkuji za korekturu textu před odevzdáním a za plno cenných rad.

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

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

Jméno a příjmení: **Bc. Vít PROFANT**
Osobní číslo: **V17N009P**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Rybářství a ochrana vod**
Název tématu: **Výhody a další perspektivy využití smíšené obsádky pstruha
duhového (*Oncorhynchus mykiss*) a mníka jednovousého (*Lota
lota*) v podmínkách intenzivní akvakultury**
Zadávací katedra: **Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický**

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

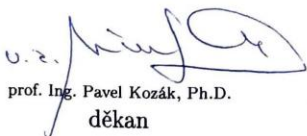
Pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*) je v současnosti nejvýznamnějším a nejvíce domestikovaným hospodářským druhem pocházejícím ze skupiny sladkovodních studenomilných ryb. Tento druh se hojně využívá k produkci tržních ryb ve vnitrozemské intenzivní akvakultuře v rámci všech světadílů. Vyšší efektivita a rentabilita jeho intenzivního chovu je v současné době zajišťována především využitím uměle produkovaných celosamičích a triploidních populací ryb. Takovéto populace pstruha duhového dosahují vyšší rychlosti růstu, konverze živin, výtěžnosti a stupně sterility, nižší agresivity, mortality či poškození ryb při jejich odchovu a celkově kratšího produkčního intervalu. Výsledkem využití těchto populací u chovu zmíněného druhu je koeficient konverze krmiva (FCR) na úrovni 0,8-0,9, rychlejší růst ryb o 10-12%, nižší mortalita odchovávaných ryb o 5-10 %, minimální poškození ploutví a povrchu těla ryb a také kratší produkční interval (6-9 měsíců), za který jsou produkovány tržní ryby o kusové hmotnosti od 250 do 500 gramů. Pstruh duhový je typickým dravým druhem, který je lehce adaptovatelný na příjem umělých peletovaných krmiv. Krmiva tento druh přijímá ve vodním sloupci či z vodní hladiny. Krmivo, které padá na dno odchovných nádrží, je pstruhem duhovým využíváno jen minimálně. V takovýchto případech dochází u chovu tohoto druhu ke ztrátám na předkládaných krmivech a současně dochází k zhoršené konverzi živin, popřípadě i ke zhoršené kvalitě vody v odchovném systému. Pstruh duhový také velmi často v intenzivní akvakultuře s řízenou aplikací peletovaných krmiv produkuje výkaly obsahující velké množství stravitelných živin. Tyto živiny z výkalů pstruhů mohou být dále využity jinými vhodnými rybími druhy mající podobné optimální nároky na vodní prostředí (především teplotu vody, obsah kyslíku a pH). Takovýmto vhodným doplňkovým druhem v chovu pstruha duhového se v současné době zdá být mník jednovousý (*Lota lota*), který je v Evropě považován za velmi cenný a zajímavý nový hospodářský druh. Mník jednovousý je typický druh dna, ze kterého přijímá potravu, a současně slouží jako čistič v daných nádržích či lokalitách. Kombinace intenzivního chovu pstruha duhového a mníka jednovouseho v řízených bikulturních obsádkách (s různým procentuálním poměrem obou druhů) se zdá být velmi zajímavá a může přinést nové poznatky o vyšším využitím předkládaných krmiv a kapacity odchovného systému, což může významně zvýšit efektivitu daných chovů.

Cílem diplomové práce je ověřit využití zmíněné bikulturní obsádky pstruha duhového a mníka jednovouseho v experimentálních podmínkách intenzivní akvakultury (s různým procentuálním zastoupením obou druhů v daných nádržích) a porovnat základní produkční ukazatele jednotlivých testovaných variant těchto chovů (SGR, Fultonův koeficient, přežití ryb a konverze krmiv v podobě FCR) s čistou (100%) obsádkou pstruha duhového.

Diplomová práce bude řešena v rámci dvou výzkumných projektů NAZV (č. QK1710310 a č. QK1820354), které jsou v současné době řešeny v Laboratoři intenzivní akvakultury na VÚRH Vodňany (FROV JU).

Rozsah grafických prací: **dle potřeby (do 20 stran)**
Rozsah pracovní zprávy: **50-70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury: **viz příloha**

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Tomáš Polícar, Ph.D.**
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jan Hampl**
Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **3. května 2019**


prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.
děkan

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


doc. Ing. Tomáš Randák, Ph.D.
ředitel

V Českých Budějovicích dne 10. ledna 2018

Příloha zadání diplomové práce

Seznam odborné literatury:

- Davidson, J.W., Kenney, P.B., Manor, M., Good, C.M., Weber, G.M., Aussanasuwannakul, A., Turk, P.J., Welsh, C., Summerfelt, S.T., 2014. Growth performance, fillet quality, and reproductive maturity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured to 5 kilograms within freshwater recirculating systems. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 5: 238.
- Kouřil, J., Mareš, J., Pokorný, J., Adámek, Z., Randák, T., Kolářová, J., Palíková, V. 2008. Chov lososovitých druhů ryb, lipana a síhů. Monografie. VÚRH JU Vodňany, 141 s.
- Piferrer, F., Beaumont, A., Falguière, J.-C., Flajšhans, M., Haffray, P., Colombo, L., 2009. Polyploid fish and shellfish: production, biology and applications to aquaculture for performance improvement and genetic containment. *Aquaculture*, 293 (3 - 4): 125 - 156.
- Policar T., Adámek, Z., 2013. Preface. *Aquaculture International*, 21(4): 737 - 738.
- Policar, T., Svačina, P., 2014. Ověření technologie adaptace mníka jednovousého na peletované krmivo a jeho intenzivní odchov. Technická zpráva pilotního projektu, FROV JU, 37 s.
- Policar, T., Blecha, M., Křišťan, J., Svačina, P., 2015. Metody a postupy využívané v intenzivní akvakultuře. In: Velíšek, J., Kouba, A., Dvořáková, Z., (eds.): Potenciál recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) pro české produkční rybářství. Sborník příspěvků z odborného semináře, Vodňany 1. - 2. září 2015, 62 - 77.
- 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 high-temperature recirculated water. *Aquaculture International*, 15: 97 - 107.
- Sheehan, R.J., Shasteen, S.P., Suresh, A.V., Kapuscinski, A.R., Seeb, J.E., 1999. Better growth in all-female diploid and triploid rainbow trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, 128: 491 - 498.
- Wocher, H., Harsanyi, A., Schwarz, F.J., 2011. Husbandry conditions in burbot (*Lota lota* L.): Impact of shelter availability and stocking density on growth and behaviour. *Aquaculture*, 315, 340 - 347.

Obsah

1. Úvod	11
2. Literární rešerše.....	13
2.1. Akvakultura a její vliv na životní prostředí.....	13
2.2. Potenciál recirkulačních akvakulturních systémů (RAS).....	15
2.3. Pstruh duhový v podmínkách intenzivní akvakultury	16
2.3.1. Základní požadavky pstruha duhového na chov	18
2.3.2. Umělá reprodukce, postupy a metody využívané v intenzivní akvakultuře.....	20
2.4. Mník jednovousý v podmínkách intenzivní akvakultury	23
2.4.1. Základní charakteristika a požadavky mníka jednovouseho na chov	24
2.4.2. Reprodukce a umělý výtěr	25
2.4.3. Produkce larev.....	26
2.5. Polykulturní obsádky v intenzivní akvakultuře.....	29
2.6. Koloběh látek v recirkulačním akvakulturním systému.....	29
2.7. Využití živin z předkládaných krmiv	31
2.8. Odstraňování nerozpuštěných látek z akvakulturních systémů a zpětné využití kalů..	32
3. Materiál a metodika.....	35
3.1. Popis odchovného systému	35
3.2. Design experimentu	37
3.3. Průběh experimentu	37
3.3.1. Nasazení ryb do nádrží.....	37
3.3.2. Kontrolní přelovení a převážení chovaných ryb	38
3.3.3. Odběr nerozpuštěných látek.....	39
3.3.4. Ukončení experimentu	41
3.4. Kontrola kvality vody, údržba systému a welfare ryb v průběhu experimentu.....	42
3.5. Krmení ryb	43
3.6. Relativní množství nerozpuštěných látek ve vztahu k použité krmné dávce 24 hodin před jejich odběrem.....	44
3.7. Použití vzorce k následným výpočtům.....	45

3.8. Analýza nerozpuštěných látek.....	47
3.9. Relativní množství celkového fosforu v nerozpuštěných látkách s ohledem na množství použitého fosforu v předloženém krmivu 24 hodin před odběrem nerozpuštěných látek ..	48
3.10. Biochemická analýza krevní plazmy a oxidativní stres u odebraných tkáních mníka jednovouseho	48
3.11. Statistické vyhodnocení experimentu.....	49
4. Výsledky.....	50
4.1. Produkční ukazatele	50
4.1.1. Kumulativní přežití	50
4.1.2. Průměrná celková délka (TL) na začátku a na konci experimentu	51
4.1.3. Průměrná standardní délka (SL) na začátku a na konci experimentu	51
4.1.4. Průměrná kusová hmotnost (W) na začátku a na konci experimentu	52
4.1.5. Fultonův koeficient (FK) na začátku a na konci experimentu	52
4.1.6. Specifická rychlost růstu (SGR).....	53
4.1.7. Koeficient konverze krmiva (FCR).....	54
4.1.8. Biomasa ryb v průběhu experimentu	55
4.1.9. Průměrná kusová hmotnost	56
4.2. Množství nashromážděných nerozpuštěných látek	57
4.2.1. Absolutní množství nashromážděných nerozpuštěných látek za jeden den v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin	57
4.2.2. Relativní množství nerozpuštěných látek ve vztahu k použité krmné dávce 24 hodin před jejich odběrem.....	58
4.3. Analýza nerozpuštěných látek.....	59
4.3.1. Absolutní množství sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v gramech.....	59
4.3.2. Relativní množství sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v procentech	60
4.3.3. Absolutní množství organické sušiny ze sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v gramech	61
4.3.4. Relativní množství organické sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v procentech	61

4.3.5. Absolutní množství celkového fosforu v nashromážděných nerozpuštěných látkách v miligramech.....	62
4.3.6. Relativní množství celkového fosforu v nashromážděných nerozpuštěných látkách v procentech.....	63
4.3.7. Relativní množství celkového fosforu v nerozpuštěných látkách s ohledem na množství použitého fosforu v předloženém krmivu za 24 hodin před odběrem nerozpuštěných látek.....	64
4.3.8. Absolutní množství celkového dusíku v nashromážděných nerozpuštěných látkách v miligramech.....	65
4.3.9. Relativní množství celkového dusíku v nashromážděných nerozpuštěných látkách v procentech.....	66
4.4. Indexy, biochemie a oxidativní stres u odchovávaných mníků jednovousých	67
4.4.1. Index perviscerálního tuku, hematosomatický a splenosomatický index.....	67
4.4.2. Biochemie	67
4.4.3. Oxidativní stres	68
5. Diskuze.....	70
6. Závěr	78
7. Seznam použité literatury	80
8. Abstrakt	90
9. Abstract.....	92

1. Úvod

V posledním desetiletí měla produkce ryb z intenzivní akvakultury exponenciální růst, naopak u množství ryb odlovených z volných vod docházelo ke stagnaci nebo pomalému snižování (FAO, 2018). Z hlediska životního prostředí se stále více mluví o tzv. udržitelné akvakultuře, tedy o produkci ryb a dalších vodních organismů s minimálním vlivem na životní prostředí (Martins a kol., 2010; Piedrahita, 2003; Dalsgaard a kol., 2013). Systémy pro chov ryb, které jsou charakterizovány relativně nízkou spotřebou přítokové vody a vysokou produkcí ryb na malé zastavěné ploše, současně s možností redukovat a minimalizovat množství vypouštěné odpadní vody, jsou dnes známy pod označením Recirkulační Akvakulturní Systémy (RAS). Snahou je konstruovat RAS s vysokou chovatelskou efektivitou a dokonalým způsobem čištění použité vody s cílem vypouštět do volných vod minimální množství odpadních vod s nízkým obsahem živin. Takovýto akvakulturní systém je dnes v zahraniční literatuře označován jako tzv. zero discharge technology (Blancheton a kol., 2002; Waller a kol., 2003).

Již v 50. – 60. letech minulého století se začaly RAS využívat k chovu kaprovitých ryb v Japonsku a na Dálném východě. Důvodem využití těchto systémů bylo především ochránit rybí obsádky v období dlouhotrvajícího sucha (Warrer-Hensen, 2015). V průběhu dalších let docházelo ke kontinuální optimalizaci RAS. V těchto systémech byly nastavovány a udržovány optimální podmínky prostředí pro chov ryb a jiných vodních živočichů jako je – teplota vody, obsah rozpuštěného kyslíku, pH, obsah celkového amoniaku, dusitanů, dusičnanů, alkalita vody a další. Technologie mechanické a biologické filtrace byla převzata z čistíren odpadních vod (Kouřil a kol., 2013). Nejčastějším technologickým problémem bylo nedostatečné a neefektivní odstraňování amoniaku a dusitanů v rámci provozovaných systémů. I díky těmto problémům bylo zjištěno, že RAS musí poskytovat optimální podmínky nejen pro chované ryby, ale i pro bakterie žijící v biologických filtrech, ve kterých probíhá nepostradatelná oxidace amoniaku přes dusitany, až na dusičnany, tzv. nitrifikace (Lang a kol., 2015; Warrer-Hensen, 2015).

Dnes jsou RAS v Evropě s největší efektivitou využívány především v Dánsku (zejména venkovní RAS dánského typu) pro chov pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*), dále pak v Norsku, Skotsku a na Faerských ostrovech k produkci smoltů lososa obecného (*Salmo salar*; Badiola a kol., 2012; Dalsgaard a kol., 2013). Vzhledem k

vysokým investičním a provozním nákladům, současně s požadavkem na vysoce kvalifikovanou a spolehlivou obsluhu, jsou RAS zaměřeny především na chov ryb s vyšší prodejní cenou jako jsou například ryby lososovité a jeseterovité, okoun říční (*Perca fluviatilis*), candát obecný (*Sander lucioperca*), okrasné a akvarijní druhy ryb (Kouřil a kol., 2013). Dalším potenciálem těchto sofistikovaných systémů je možnost nabízet obchodnímu trhu nové akvakulturní druhy s pravidelnou a kontinuální dodávkou vyznačující se vyrovnanou kvalitou daných produktů. Jedním z těchto nových druhů může být mník jednovousý (*Lota lota*), který má velmi kvalitní a chutné maso, současně s vysokou prodejní cenou (Meeus a kol., 2012).

Tato diplomová práce je zaměřena na chov pstruha duhového v kombinaci s mníkem jednovousým v RAS, jelikož tyto druhy mají podobné životní požadavky na optimální podmínky prostředí, zejména teplotu vody, obsah rozpuštěného kyslíku a pH. Navíc s ohledem na jejich biologii a způsob příjmu potravy se zdá být tato kombinace chovu velmi zajímavá a prospěšná. V intenzivních chovech pstruha duhového se využívají umělá peletovaná krmiva, která mohou být plovoucího nebo potápivého charakteru. V případě že krmivo dopadne až na dno nádrže je pstruhem duhovým využito jen minimálně a zhoršuje se tak konverze živin i kvalita vody. Zároveň je i velké množství nestrávených živin vylučováno rybami v podobě exkrementů, jenž jsou opět zátěží pro celý odchovný systém. Z těchto důvodů se nabízí využít mníka jednovouseho, který přijímá potravu především ze dna. Mník jednovousý může sloužit k čištění nádrží, kde dokáže odstraňovat jak nespoteřované krmivo, tak i exkrementy ležící na dně nádrží a zároveň tak vylepšovat zmiňovanou konverzi živin či kvalitu vody v provozovaném systému. Cílem práce je ověřit, porovnat a případně doporučit využití této bikulturní obsádky ryb o různých hustotách v podmínkách intenzivní akvakultury využívající RAS, na základě produkčních růstových ukazatelů, množství nespoteřovaných krmiv a sedimentů a živin obsažených v sedimentech v daných testovaných experimentálních skupinách.

2. Literární rešerše

2.1. Akvakultura a její vliv na životní prostředí

Akvakultura již od 90. let minulého století patří mezi nejrychleji rostoucí potravinářské sektory. V celosvětovém měřítku dnes ryby a produkty z nich zaujímají jednu z největších částí na potravinovém trhu. Podstatnou část světové akvakultury tvoří mimo ryb také korýši, měkkýši a mořské řasy. V budoucnu by produkce vodních organismů měla být hlavním zdrojem kvalitních potravin pro stále rostoucí světovou populaci lidí (FAO, 2018; Duarte a kol., 2009).

Na druhé straně akvakultura (zejména klecové chovy a průtočné systémy) také značným způsobem znečišťuje a negativně ovlivňuje životní prostředí volných vod (Bostock a kol., 2003). Jedním z hlavních problémů intenzivních chovů ryb je eutrofizace vod, tedy obohacování vod dusíkem a fosforem (Aubin a kol., 2009). Dalším významným rizikem je únik chovaných, často nepůvodních, domestikovaných a agresivních ryb do volných vod, které negativně ovlivňují divoké populace ryb, především díky konkurenci o prostředí a potravu. Může také docházet ke křížení mezi divokými a uniklými rybami, což způsobuje nežádoucí a nevratnou genetickou kontaminaci místních divokých populací ryb (Bostock a kol., 2003). Mezi další problémy vlivu intenzivní akvakultury na okolní volné vody patří rozšiřování nemocí a parazitů ryb (Nowak, 2007). Dále často dochází k pozměnění místní struktury populací bentosu, zooplanktonu a fytoplanktonu hlavně v oblasti okolo klecových chovů (Demir a kol., 2001; Dias a kol., 2011) nebo znečištění dna toku či vodních nádrží pod těmito klecemi sedimenty z výkalů ryb nebo nespotřebovaných krmiv (Alpaslan a kol., 2008). Kvůli přírodnímu zarůstání sítí a dalších odchovných částí tzv. „fouling efektu“ u klecových chovů, musí být často aplikovány biocidní látky k potlačení těchto nežádoucích organismů, což je opět další zátěž pro vodní ekosystémy (Bostock a kol., 2003).

Jedním ze způsobů, jak omezit rizika a vliv akvakultury na životní prostředí, je úprava celkového managementu chovu ryb a jiných vodních organismů. Například je možnost přesunout klecové chovy od pobřežních vod na otevřené moře, a to do podstatně větších hloubek. Tento způsob chovu může mít v budoucnu velký potenciál, ale je zde stále plno otázek a bude zapotřebí dalšího výzkumu (Holmer, 2010). Další možností je zdokonalovat a optimalizovat proces výtěrů ryb na líhních, s cílem produkovat sterilní (triploidní) jedince, kteří by v případě uniknutí do volných vod nemohli geneticky ovlivnit divoké populace ryb. Stále také dochází ke zlepšování používaných materiálů,

technologií a k inovacím v systémech pro krmení ryb (Bostock a kol., 2003). Ohledně eutrofizace a lepšího využití živin, které pocházejí zejména z klecových chovů, je snaha do budoucna kombinovat produkci různých vodních organismů na jednom místě a využívat tzv. multitrofické systémy. V odborné anglické literatuře jsou tyto systémy označovány jako: Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA). Jedná se o produkci ryb, následně pak korýšů, nebo měkkýšů, vodních řas, mnohoštětinatců, ježovek či mořských okurek (Chopin, 2006; Troell a kol., 2009). Další možností je využití rozpuštěných odpadních látek z vnitrozemských odchovných systémů pro tzv. akvaponie, které jsou založeny na kombinaci intenzivního chovu ryb a hydroponického pěstování rostlin. Nejčastěji pěstovanými rostlinami jsou bylinky (bazalka), zelenina (salát, rajčata, cukety, okurky, papriky) nebo různé druhy ovoce jako například jahody (Mráz a Dovalil, 2015). Odpadní vodu, která odchází z vnitrozemských akvakulturních systémů, lze také využít k vylepšení živinové bilance vody v rybnících. Dle tohoto schématu jsou akvakulturní systémy stavěny nad rybníky a odpadní voda teče z RAS chovů do rybníků, kde se sekundárně využívá ke zvýšení jejich úživnosti (Miller a Semmens, 2002). Je zde také možnost využívat odpadní metabolity ryb pro růst bakterií v tzv. bioflok technologii, kde bakterie zabudovávají přítomné metabolity do svých těl ve formě proteinů. Tyto bakterie je později možné nabízet rybám jako potravu v podobě bakteriálních vloček (Avnimelech, 2012).

Aubin a kol. (2009) porovnávali tři odlišné akvakulturní systémy se zaměřením na odchov karnivorních druhů ryb a jejich vliv na životní prostředí. Prvním systémem byl průtočný systém na pstruha duhového, druhým porovnávaným systémem byl klecový chov mořčáka evropského (*Dicentrarchus labrax*) a posledním chov kambaly velké (*Scophthalmus maximus*) v recirkulačním akvakulturním systému. Porovnávacím kritériem bylo množství živin v odpadní vodě s ohledem na krmení, konverze živin, spotřebu elektrické energie, podporu potencionální změny klimatu, okyselování vod a využití čisté primární produkce (NPP). Jako nejekologičtější systém byl vyhodnocen recirkulační akvakulturní systém. Ve všech hodnocených kritériích RAS vykazoval nejlepší hodnoty, kromě spotřeby elektrické energie, která byla naopak nejvyšší.

Například při porovnání průtočného systému a RAS vzhledem ke množství nové přítokové vody je na první pohled vidět obrovský rozdíl. U průtočného systému to je více než 50 m³ vody na jeden spotřebovaný kilogram krmiva, zatímco u RAS je výměna vody jen 0,1-1 m³.kg⁻¹. U velmi moderních RAS může být tato hodnota i nižší než 0,1 m³.kg⁻¹ (Verdegem a kol., 2006).

2.2. Potenciál recirkulačních akvakulturních systémů (RAS)

Intenzivní chov ryb v RAS nejen s ohledem na ekologickou stránku věci je v dnešní době považován za velmi významnou alternativu produkce ryb v porovnání s průtočnými systémy, klecovými chovy nebo rybníčními chovy. V budoucnosti by právě RAS chovy měly zaujímat hlavní roli v produkci světové akvakultury (Badiola a kol., 2012; Kouřil a kol., 2013).

Tyto systémy mají mnoho výhod, mezi základní patří vysoká produkce ryb na malou zastavěnou plochu, relativně nízká spotřeba přítokové vody, malé množství produkované odpadní vody, nezávislost produkce na vnějším prostředí bez sezonních výkyvů a nepřítomnost rybích predátorů. Díky poskytnutí optimálních podmínek pro chov daného druhu a zlepšení welfare ryb je možné snížit koeficient konverze krmiva (FCR) a zároveň tak zvýšit využití předkládaných krmiv. Možnost mimosezonních výtěrů nabízí kontinuální produkci ryb v průběhu celého roku (Blancheton a kol., 2002; Kouřil a kol., 2013). Paraziti a patogenní látky jsou v těchto systémech často redukovány díky využití sterilizace vody pomocí ozonu nebo UV záření. Mezi další výhody RAS chovů patří možnost výstavby této RAS technologie v blízkém okolí městských aglomerací, s dalším potenciálem nabídnout finální produkt přímo spotřebiteli a současně tak redukovat i uhlíkovou stopu v souvislosti s přepravou tržních ryb nebo produktů z nich na prodejní trhy (Martins a kol., 2010). Je zde také stále snaha nabídnout obchodnímu trhu další nové druhy ryb, kterých je nedostatek a vyznačují se vysokou kvalitou a prodejní cenou (Dalsgaard a kol., 2013). Na druhé straně je také mnoho nevýhod, které jsou spojeny s RAS chovy, jako například: vysoké pořizovací a provozní náklady, potřeba vysoce kvalifikovaných zaměstnanců, technologická komplikovanost nebo otázka rentability a udržitelnosti provozů (Badiola a kol., 2012; Kouřil a kol., 2013; Kouřil, 2015). V některých případech je kvalita potravin ohrožena i sekundárně produkovanými látkami v RAS jako jsou geosmin a 2-methylisoborneol, které způsobují zemitou chuť masa produkovaných ryb (Poddaturi a kol., 2020).

Úspěšnost budoucího chovu ryb v RAS je závislá na třech základních hlediscích. Chovaný druh by měl mít velmi dobře zvládnutý protokol a management chovu včetně jednotlivých technologických aspektů dle praktických zkušeností s jeho produkcí a „know how“. Ve spojení s produkcí ryb je nutné si vytvořit stabilní a rozvíjející se marketing přímého prodeje ryb konečným zákazníkům a v neposlední řadě mít dostačující finanční rezervu či podporu jak na začátku, tak v průběhu fungování konkrétní

farmy (Dalsgaard a kol., 2013). Vývoj udržitelné RAS technologie neustále vyžaduje optimalizaci chovatelské technologie, optimalizaci recyklace živin skrze denitrifikační reaktory, technologii zahuštění kalů, nebo kombinaci chovu ryb s pěstováním řas, rostlin (akvaponie) či venkovních mokřadů, jak již bylo zmíněno v předchozí části této práce. Například u systémů s denitrifikačním reaktorem jsou náklady na investice a obsluhu větší, ale produkční náklady na výrobu jednoho kila ryb jsou přibližně o 10 % nižší, než bez použití této technologie (Martins a kol., 2010).

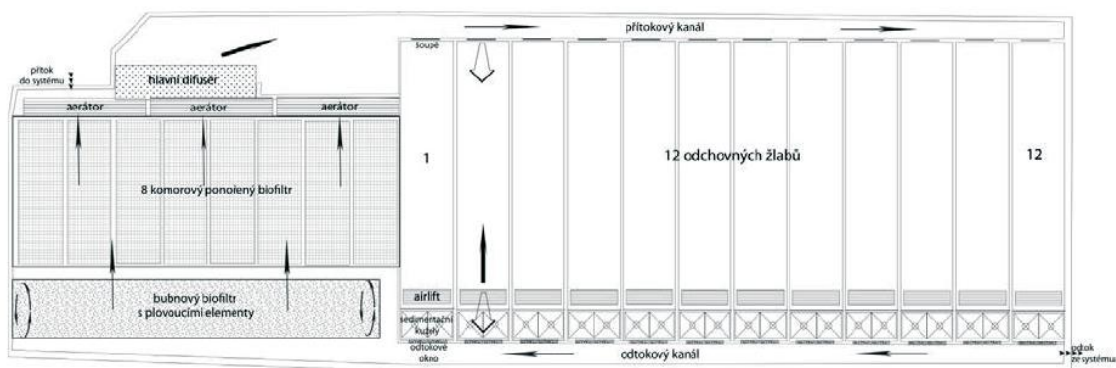
Bohužel mnoho praktických zkušeností a znalostí ohledně výstavby nových RAS, každodenních problémů s kvalitou vody a dalších provozních komplikací nebylo nikdy uceleně a systematicky publikováno. Je proto zapotřebí tyto informace šířit dále skrze vědecké a odborné články, praktické příručky, kvalifikační práce, ústní či plakátové příspěvky z konferencí a různých memorand pro budoucí rozvoj RAS. Součástí rozvoje by měla být i podpora vzdělání odborných pracovníků či studentů v tomto oboru (Badiola a kol., 2012; Dalsgaard a kol., 2013).

2.3. Pstruh duhový v podmínkách intenzivní akvakultury

Pstruh duhový patří po lososu obecném (*Salmo salar*) mezi druhý nejvíce produkováný lososovitý druh ryby v podmínkách intenzivní akvakultury na světě (Dalsgaard a kol., 2013). V roce 2016 jeho produkce akvakulturou činila 814 milionů tun, což je zhruba 2 % celosvětové produkce (FAO, 2018). Nejefektivnějším způsobem produkce pstruha duhového byl a stále je RAS dánského typu. Jak již název napovídá, tyto odchovné systémy pocházejí z Dánska, kde byly typické průtočné systémy na chov ryb přestavěny na výše zmíněné recirkulační systémy. Hlavním účelem přestaveb bylo omezení zatěžování vodních recipientů odpadní vodou z rybních farem, která obsahovala vysoké koncentrace zejména dusíku, fosforu a organických látek (Dalsgaard a kol., 2013). RAS dánského typu výrazně zvýšily efektivitu produkce pstruha duhového a zároveň také velmi signifikantně snížily množství vypouštěných odpadních látek do volných vod v porovnání s průtočnými systémy (Jokumsen a kol., 2010; Suhr, 2014). Je pravdou, že optimální provoz těchto RAS chovů je využíván v různých evropských zemích, které leží nedaleko pobřeží a mají daleko konstantnější podnebí (vyrovnanější teplotu v zimě a v létě) než je klima v ČR, kde jsou podstatně chladnější zimy a teplejší léta.

V České republice bylo postaveno také několik RAS dánského typu, například: v Mlýnech u Vacova firma Pstruhařství Mlýny, v Pravíkově firma Biofish s.r.o., ve Žďáru

nad Sázavou firma Kinský Žďár a.s. nebo v Blansku firma Skalní Mlýn (Kouřil, 2015; Mareš a kol., 2015). Na Obr. 1 je vyobrazeno schéma RAS v Pravíkově. Farma se nachází v nadmořské výšce 600 m.n.m. Celkový objem vody daného systému je přibližně 1 000 m³ a rozvod vody do jednotlivých žlabů je zajištěn hlubokým airliftem. Skutečná tržní produkce pstruha duhového se v současnosti pohybuje na úrovni 30–50 tun ročně, zatímco maximální roční produkce uváděná v projektu by při optimálních podmínkách měla být až dvojnásobně či čtyřnásobně vyšší v podobě 100–120 tun tržních pstruhů za rok (Mareš a kol., 2015).



Obr. 1: Schéma recirkulačního systému dánskému typu v Pravíkově (převzato od Vítek a kol., 2011)

Mělo by být konstatováno, že v podmínkách České republiky je fungování, udržitelnost a rentabilita těchto odchovných systémů využívaných k chovu lososovitých ryb velmi problematická. Důvodem je především už zmíněné odlišné klimatické podnebí panující ve střední Evropě oproti Dánsku nebo jiným evropským pobřežním zemím na severozápadě kontinentu. V zimním období je teplota vody většinou velmi nízká, což snižuje funkci biologické filtrace a potravní aktivitu ryb. Naopak v letním období, kdy teplota vody v systému může být 22-23 °C, dochází k částečnému až úplnému omezení příjmu krmiva rybami a v některých případech i k vyššímu úhynu ryb kvůli výskytu bakteriálních infekcí nebo kyslíkových deficitů. Dalším velkým problémem provozu tohoto systému v ČR je jarní období, kdy se rapidně zvyšuje teplota vody podporující potravní aktivitu ryb. Jestliže v tomto období dojde k intenzivnímu nakrmení ryb, významným způsobem se zvýší koncentrace celkového amoniaku ve vodě. Zvýšený obsah amoniaku však nemůže být z vody dostatečně odbouráván biologickými filtry, jelikož ty nejsou po zimním období dostatečně osídlené nitrifikačními bakteriemi. Z tohoto důvodu dochází ke zvyšování koncentrace celkového, potažmo volného, amoniaku v systému, což může vyústit až v masové úhyny odchovávaných ryb v tomto

období. Možným řešením zmíněných problémů by mohla být teplotní stabilizace systémů skrze zastřešení odchovných systémů, jenž je ale opět výraznou finanční zátěží daných chovů, které se lehce stanou nerentabilními (Buřič, 2015).

2.3.1. Základní požadavky pstruha duhového na chov

Pstruh duhový je ve srovnání s ostatními druhy lososovitých ryb méně náročný na prostor a požadavky prostředí. Optimální teplota vody pro chov je 14-17 °C, při teplotě vody pod 5 °C se příjem potravy téměř zastavuje. Optimální nasycení kyslíkem je 9-11 mg.l⁻¹ s tím, že obsah kyslíku by neměl klesnout pod 6 mg.l⁻¹ (Pokorný a kol., 1998). Ostatní rozpuštěné plyny ve vodě také významně ovlivňují kvalitu chovného prostředí. Vysoké koncentrace volného dusíku N₂ se často vyskytují v chovech, kde je hlubinný airlift pohánějící vodu v RAS dánského systému umístěn ve větší hloubce a poté je v systému zanedbána funkce odplynění. V normálních podmínkách málo rozpustný dusík se stává kvůli velkému tlaku dobře rozpustným v důsledku působení hlubokého airliflu a dochází tak k přesycení vody volným dusíkem. U chovaných ryb může poté docházet k plynovým emboliím spojených s masovým úhynem chovaných ryb (Buřič, 2015; Kouřil a kol., 2008). Dalším problematickým plynem zejména v intenzivních RAS je oxid uhličitý CO₂. Vysoké koncentrace CO₂ ve vodě mají negativní vliv na zdravotní stav, welfare a růst ryb. Hodnoty CO₂ v chovu lososovitých ryb by neměly překročit 20 mg.l⁻¹ pro dospělé ryby a 10 mg.l⁻¹ pro plůdek (Aslam a kol., 2019; Kouřil a kol., 2008).

Zvláštní pozornost chovatelů v intenzivní akvakultuře by měla být věnována sloučeninám dusíku (Kouřil a kol., 2008). Amoniak, který je primárním produktem dusíkatého metabolismu ryb se ve vodním prostředí nachází ve dvou formách. První z nich je nedisociovaná (volná forma, toxická pro ryby) NH₃ a druhá je disociovaná (vázaná forma) v podobě amonných iontů NH₄⁺. Při měření amoniaku se vždy měří celkový amoniakální dusík (TAN = NH₃ + NH₄⁺), kde vzájemný poměr TAN a NH₃ závisí na hodnotě pH a teplotě vody. S narůstající hodnotou pH a teplotou vody se výrazně zvyšuje procentuální podíl toxického volného amoniaku ve vodě (Pitter, 2009; Policar a kol., 2018). Bezpečná koncentrace volného amoniaku NH₃ pro pstruha duhového je uváděna na hodnotě 0,0125 mg.l⁻¹ a pro plůdek dokonce jen 0,006 mg.l⁻¹. V průběhu biologického filtrace je amoniak v první fázi nitrifikace oxidován na dusitany a ve druhé fázi jsou dusitany oxidovány na dusičnany. Za první fázi nitrifikace (nitritace) jsou zodpovědné bakterie rodu *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosopira*, *Nitrosolobus* a

Nitrosovibrio, ve druhé fázi (nitrate) se na přeměně dusitanů podílejí bakterie rodu *Nitrobacter*, *Nitrospira* a *Nitrospina* (Kouřil a kol., 2008; Policar a kol., 2018).

Toxicita dusitanů významně klesá s rostoucí koncentrací chloridových iontů Cl^- ve vodě. Pro lososovité ryby je uváděn bezpečný poměr mezi chloridy a dusitanovým dusíkem (N-NO_2^-) 17:1. V systémech s vyšším obsahem dusitanů ve vodě je proto možné a žádoucí do odchovných systémů aplikovat sůl (NaCl) za účelem snížení rizika intoxikace ryb dusitany (Kouřil a kol., 2008). Ačkoliv dusičnany (NO_3^-) jsou jen velmi slabě toxické pro ryby, dlouhodobá koncentrace 354 - 443 mg.l^{-1} NO_3^- má negativní vliv na chov pstruha duhového z hlediska inhibice jeho růstu a maximální doporučená koncentrace by proto dlouhodobě neměla překročit 332 mg.l^{-1} NO_3^- (Davidson a kol., 2014). Biomasa obsádek pstruha duhového v RAS se před výlovem tržních ryb pohybuje nejčastěji na úrovni 50-120 kg.m^{-3} . Vysoká biomasa může mít negativní následky na poškození (okus) ploutví a welfare ryb. Současně s vyšší biomasou chovaných ryb na jednotku objemu vody roste i spotřeba rozpuštěného kyslíku, zvyšuje se obsah CO_2 , organických látek, zmíněných látek dusíkatého metabolismu ryb a zhoršuje se zákal vody (Cooke a kol., 2000; Rasmussen a kol., 2007; North a kol., 2006). Z těchto důvodů musí být management chovu realizován na vysoké odborné úrovni, aby nedocházelo k náhlým a masovým úhynům ryb. Naopak nízká biomasa ryb snižuje rentabilitu a efektivitu chovů (Policar a kol., 2018).

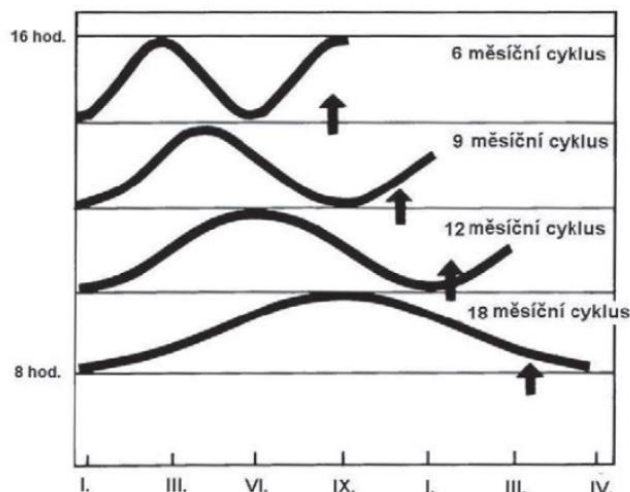
Rychlost proudění vody v nádržích by měla být udržována mezi 0,03 – 0,06 m.min^{-1} pro ryby do 1 g a 0,6 – 1,8 m.min^{-1} pro ryby nad 1 g kusové hmotnosti. Hodnoty pH pro chov pstruha duhového je optimální udržovat v rozmezí 6,5-8. Za kritické hodnoty se považuje pokles pH pod 6, nebo naopak vyšší pH nad 8,5. Kontrolovat by se také mělo organické zatížení na základě chemické spotřeby kyslíku (CHSK) a biochemické spotřeby kyslíku (BSK_5). Při optimálních podmínkách by v přítokové vodě do nadrž hodnota CHSK_{Mn} neměla překročit 10 mg.l^{-1} a hodnota BSK_5 by neměla být vyšší než 4 mg.l^{-1} . Osvětlení, intenzita světla a světelný režim také velmi výrazným způsobem ovlivňují chov lososovitých ryb. Různé světelné podmínky se například využívají ke stimulaci mimosezónních výtěrů (viz další kapitola této práce). Pro plůdek a inkubaci jiker je podstatné omezit zejména sluneční záření. Plůdek lososovitých ryb je velmi světloplachý a přímé sluneční záření může vyvolat úhyn inkubovaných jiker již po několika minutách. Pro starší chovaná stádia pstruha duhového přítomnost dostatečného osvětlení zlepšuje příjem potravy a je doporučován světelný režim na úrovni 12-16

hodin o intenzitě osvětlení 100-250 luxů.m⁻² (Kouřil a kol., 2008; Pokorný a kol., 1998; Policar a kol., 2018).

2.3.2. Umělá reprodukce, postupy a metody využívané v intenzivní akvakultuře

Technologie recirkulačního systému pro potřeby líhni lososovitých ryb v kombinaci s využitím mimosezonních výtěrů generačních ryb, umožňuje dosahovat dostatečného a pravidelného zásobování produkčního chovu ryb juvenilními rybami v průběhu celého roku (Buřič a Kouřil, 2012; Policar a kol., 2015). Základem úspěšné reprodukce jsou kvalitní generační ryby. Výtěrová teplota pro pstruha duhového je v rozmezí 8-10 °C. Inkubační doba činí 300–400 d° a relativní plodnost je 15–25 000 ks na kilogram jikernačky (Dubský a kol., 2003; Kouřil a kol., 2008). U lososovitých ryb je možné provádět hormonální indukci za účelem synchronizace ovulace, současně s úpravou světelného režimu. V České republice tyto postupy ale nejsou využívány v takovém měřítku jako v zahraničí. Například v Rybářství Litomyšl byla provedena hormonální synchronizace výtěrů a jako nevhodnější přípravky byly hodnoceny analogy GnRH-a-FIA, nebo Ovaplant s postupným uvolňováním gonadotropinů do krve ryb (Švinger a Kouřil, 2012).

Pomocí řízené fotoperiody je možné u pstruha duhového chovaného v kontrolovaných a stabilních teplotních podmínkách (10-12 °C) prodlužovat či zkracovat reprodukční intervaly. Pokud vytvoříme několik skupin generačních ryb, s rozdílným světelným režimem, získáme tak různé termíny výtěru v průběhu celého roku. V tomto případě nejdůležitějším stimulem oogeneze a spermatogeneze je právě změna světelného režimu (Bromage a kol., 1984; Bromage a Duston, 1986). Na Obr. 2 je vidět příklad schématu stimulace mimosezonních výtěrů u pstruha duhového světelným režimem.



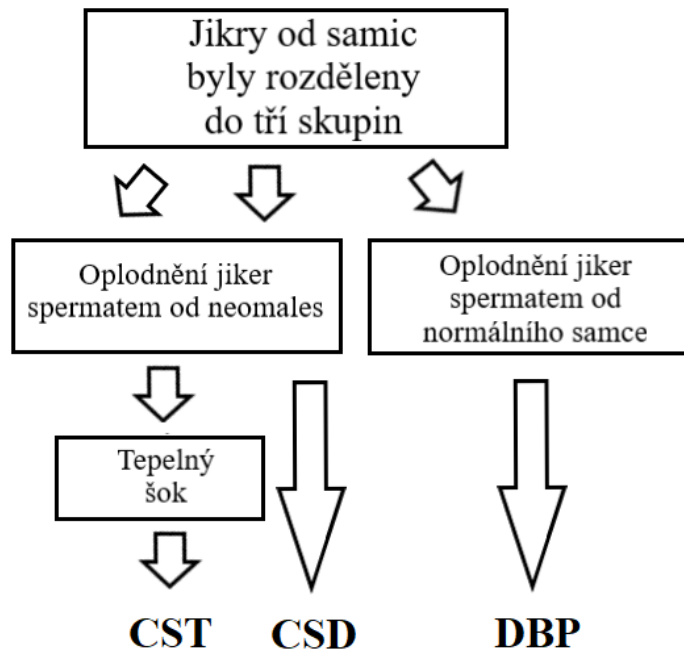
Obr. 2: Schéma stimulace mimosezonních výtěrů u pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*; převzato od Bromage a kol., 1984)

Mezi nejvíce využívané techniky v moderní akvakultuře pstruha duhového patří produkce monosexních a triploidních populací ryb. U monosexních populací se využívá záměrný zvrát pohlaví na celosamičí populace. Tato metoda je využívána z toho důvodu, jelikož u pstruha duhového rostou samice rychleji než samci (Sheehan a kol., 1999; Piferrer a kol., 2009). Zvrát na samičí pohlaví je indukován pomocí gynogeneze, přímé feminizace, nebo nepřímé feminizace. Umělá gynogeneze má následující postup: 1) inaktivace samčí DNA ozářením spermií, 2) o semenění a aktivace gamet, 3) obnovení diploidního stavu v průběhu meiotické nebo mitotické fáze (Flajšhans a kol., 2013). U přímé feminizace jsou využívány látky s estrogením účinkem, nejčastěji 17β -estradiol, který je možné aplikovat v krmivu nebo v podobě koupelí jiker. Avšak přímá feminizace může být využita jen v experimentálních podmínkách, jelikož v celé Evropě je u potravinových zvířat zakázána (Rougeot a Méléard, 2008). K produkci celosamičích populací pstruha duhového se nejvíce využívá nepřímá feminizace, nejčastěji pomocí androgenu 17α -methyltestosteronu. Hormonálně ošetřené ryby nejsou určeny ke konzumaci, ale slouží pouze k produkci tzv. neomales, což znamená jedince, kteří jsou genotypicky samicemi a fenotypicky samci a produkují spermie se samičími pohlavními chromozomy. Celý proces je složen opět ze tří kroků: 1) výtěr populace běžným způsobem, 2) maskulinizace jikernaček androgenem a získání tak neomales, 3) reprodukce maskulinizovaných jikernaček s normálními jikernačkami a produkce

celosamičí populace ryb, která se využívá k produkci tržních ryb (Flajšhans a kol., 2013; Rougeot a Mélard, 2008; Sheehan a kol., 1999).

Druhou využívanou technikou v intenzivní akvakultuře je produkce triploidních jedinců. K tomuto se využívá řada fyzikálních šoků v průběhu vývoje zygoty (Flajšhans a kol., 2013). Důvodů proč využívat triploidních ryb v akvakultuře je hned několik. Triploidní jedinci vykazují ve většině případů absolutní sterilitu a nedochází u nich k vývoji gonád a následnému pohlavnímu dozrání. Výsledkem je rychlejší růst, v případě že jsou tržní ryby produkovány do velikosti, při které by diploidní jedinci již dříve dosáhli pohlavní dospělosti. Dochází také ke zlepšení organoleptických vlastností rybí svaloviny. Změny nebo zlepšení organoleptických vlastností byly pozorovány u triploidů mnoha lososovitých ryb, ale také u triploidních jedinců ústřice velké (*Crassostrea gigas*). Sterilní ryby také vykazují nižší agresivitu, tím pádem i menší náchylnost ke stresu nebo poškození, čímž může být podpořen rychlejší růst ryb a často také zlepšení krmného koeficientu (Nell, 2002; Piferrer a kol., 2009). K produkci triploidních jedinců u lososovitých ryb se nejvíce využívá teplotní – teplý, nebo tlakový šok. Pro pstruha duhového je k produkci triploidů doporučovaný teplotní šok (z 10 °C na 26-29 °C), začátek šoku 20–40 minut po aktivaci jiker a doba expozice 20 minut (Flajšhans a kol., 2013, Lincoln a Bye, 1984). Triploidní stav může být také navozen oplozením jiker získaných od normálních diploidních samic spermatem od tetraploidních samců (Nam a Kim, 2004).

V chovu pstruha duhového je také možné využít kombinaci celosamičích populací a indukované triploidizace. U tohoto druhu byly testovány tři skupiny ryb. První byla celosamičí a současně triploidní skupina ryb (CST), druhá celosamičí skupina (CSD) a poslední skupinou byla normální diploidní bisexuální populace (DBP; Sheehan a kol., 1999). Na Obr. 3 je znázorněno schéma vytvořených testovaných skupin.



Obr. 3: Schéma produkce celosamičí a triploidní populace (CST), celosamičí populace (CSD) a normální diploidní bisexuální populace (DBP) (upraveno dle Sheehan a kol., 1999)

Počáteční průměrná hmotnost ryb ve skupinách byla 94 g, 84 g a 112 g pro DBP, CSD a CST, v tomto pořadí. Na konci období se průměrná hmotnost zvýšila na 521 g, 568 g a 749 g ve stejném pořadí testovaných skupin. Tento experiment ukázal na signifikantní rozdíl v rychlosti růstu ryb. Nejrychlejší růst byl zaznamenán u skupiny CST a nejpomalejší u DBP. Naopak nebyl zjištěn žádný statistický rozdíl v přežití, konverzi krmiva ani v kondici chovaných ryb (Sheehan a kol., 1999).

Je zapotřebí také zmínit, že dle evropské legislativy, triploidní jedinci nejsou považovány za GMO živočichy. V zemích evropské unie je téměř 80 % veškeré sladkovodní produkce pstruha duhového, o průměrné hmotnosti 250-350 g, tvořeno celosamičí populací ryb. Triploidní populace ryb jsou využívány především k produkci větších pstruhů duhových o tržní hmotnosti 1,2 až 3 kg, někdy marketingově označovaných jako pstruzi lososovití (Piferrer a kol., 2009, Flajšhans a kol., 2013).

2.4. Mník jednovousý v podmínkách intenzivní akvakultury

V posledních letech je stále větší snaha diverzifikovat a obohatit trh s rybami o nové potencionální cenné druhy. Evropský trend v současnosti vykazuje, čím dále tím vyšší poptávku po kontinuální produkci dravých druhů ryb s bílým masem, bez mezisvalových kůstek a s nízkým obsahem tuku. Mezi takovéto druhy můžeme zařadit candáta obecného,

okouna říčního nebo také mníka jednovousého (Meeus a kol., 2012; Policar a kol., 2011; Wong, 2008). Mník jednovousý patří mezi jediný druh ryby z řádu hrdloploutvých (*Gadiformes*), který se vyskytuje ve sladkých vodách na území střední Evropy. Jedná se dravý druh, který se v přírodě vyskytuje především v tocích pstruhového pásma, chladnějších tocích nebo jezerech (Baruš a Oliva, 1995). Na konci 20. století se mník jednovousý stal ohroženým druhem na mnoha přírodních lokalitách, především kvůli nevhodným lidským zásahům v povodí řek, regulaci toků, znečišťování vody polutanty a změnou teplotních režimů (Palińska-Žarska a kol., 2014a).

V intenzivní akvakultuře zájem o mníka jednovousého vzrostl hlavně kvůli jeho rychlému růstu v chladné vodě, relativně velké plodnosti a vysoké prodejní ceně díky kvalitní rybí svalovině a játrům (Wocher a kol., 2011). Zvýšený zájem o tento druh je možné sledovat především v Belgii, Nizozemsku, Německu a Rakousku. U tohoto druhu játra zabírají významnou část v břišní dutině a uvádí se, že mohou tvořit až 14 % z celkové hmotnosti dané ryby (Baruš a Oliva, 1995).

2.4.1. Základní charakteristika a požadavky mníka jednovousého na chov

Nároky na kvalitu vody a obsah rozpuštěného kyslíku jsou u mníka jednovousého víceméně stejné jako u lososovitých ryb (Baruš a Oliva, 1995), jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách u pstruha duhového. Ideální teplota vody pro odchov mníka jednovousého je 15 °C. Pokud porovnáme teplotu vody 15, 18 a 21 °C, tak právě při 15 °C byl zaznamenán signifikantně nejrychlejší růst SGR a nejlepší koeficient konverze krmiva FCR u ryb ve stáří 11 měsíců (Policar a Svačina, 2014).

Ve většině případů je biomasa ryb v odchovných nádržích uváděna jako $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, ale u druhů jako je mník jednovousý, kambala velká nebo jazyk obecný (*Solea solea*) je více vhodné uvádět hodnotu v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, jelikož jsou to druhy dna a využívají především plochu nádrže. Tržní jedince mníka jednovousého není problém odchovávat do biomasy 18 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (Wocher a kol., 2011).

Dospělí jedinci často preferují temné prostředí s minimem světla a nabízí se tedy poskytnout rybám i případné úkryty (Harzevili a kol., 2004). Z důvodu poměrně vysoké míry kanibalismu, byl porovnáván odchov za přítomnosti úkrytů a bez nich. Z publikovaných výsledků bylo potvrzeno, že přítomnost úkrytů neměla žádný významný vliv na míru kanibalismu, SGR ani FCR u porovnávaných skupin (Policar a Svačina, 2014). Přítomnost úkrytů v nádržích ale ovlivnila pohybovou aktivitu a chování

v průběhu krmení u mníků jednovousých ve stáří dvou let. Čím více úkrytů bylo rybám poskytnuto, tím menší byla pohybová aktivita i reakce na krmení (Wochoer a kol., 2011).

V některých studiích jsou odlišné výsledky pro poměr světelného/nočního režimu s ohledem na přežití larev. Je nutné také porovnat v jaké fázi se larvy v průběhu experimentů nacházely a v jakém stádiu byly vyvinuté oční sítnice. V experimentu dle frakčního faktoriálního designu, dlouhé období světla výrazně snížilo přežití juvenilních ryb, které na začátku experimentu byly ve stáří dvou měsíců po vylíhnutí (Trabelsi a kol., 2011). Opačný případ byl v experimentu, kde byly porovnávány světelné podmínky pro larvy od 0 do 10 dní po vykulení. Zde bylo potvrzeno, že při světelných podmínkách je přežití a růst larev vyšší než v podmínkách bez přítomnosti světla (Harzevili a kol., 2004). Podobné výsledky byly u odchovu ryb do 54 dní po vykulení. Zde světelná perioda (24L:0D) ukázala na velmi nízkou úroveň kanibalismu a poměrně vysoké přežití odchovávaných ryb (Palińska-Žarska a kol., 2014b).

2.4.2. Reprodukce a umělý výtěr

V přírodě probíhá výtěr mníka jednovousého v zimním období při teplotě vody 1-4 °C (Harzevili a kol., 2004). Právě pokles teploty na úroveň 1-2 °C vede ke stimulaci a synchronizaci výtěru. Každopádně v uzavřených objektech je často velmi náročné takto nízkou teplotu vody udržet (Žarski a kol., 2010). Relativní plodnost samic mníka jednovousého je uváděna v rozmezí 582 766 až 984 963 jiker.kg⁻¹ a optimální teplota pro inkubaci jiker je do 4 °C (Vught a kol., 2008). Přičemž rychlý nárůst teploty nad 5 °C vede téměř ke 100 % mortalitě embryí (Žarski a kol., 2010). Kulení nastává zhruba po 180–200denních stupních (Baruš a Oliva, 1995).

Pokud není možné odchovávat generační ryby v uzavřeném akvakulturním systému, tak se nabízí možnost využít venkovní odchovné rybníčky (Kříšťan a kol., 2014). Bylo také potvrzeno, že přítomnost krmných ryb měla výrazný pozitivní vliv na kvalitu pohlavních produktů u generačních ryb mníka jednovousého (Vught a kol., 2008). K reprodukci se běžně využívá technika umělého, nebo poloumělého výtěru. U poloumělého výtěru se do připravených nádrží umístí uhelonová vložka a nasadí se generační ryby v poměru 1:1,5 ve prospěch mlíčáků. Vytřené a oplozené jikry se poté z nádrží odsávají do inkubačních lahví, kde probíhá následná inkubace (Kříšťan a kol., 2014).

K synchronizaci výtěru je možné také použít hormonální přípravky na bázi GnRH analogů. Použití hormonální aplikace výrazně zvýšilo počet ovulovaných jikernaček a

procento přežití embryí v porovnání s výtěrem generačních ryb bez aplikace hormonů (Kucharczyk a kol., 2018). V průběhu umělého výtěru je častým problémem udržení vysokého procenta oplození a následné přežití embryí. Kucharczyk a kol., (2016) hledali nové techniky k optimalizaci výtěru mníka jednovousého v kontrolovaných podmínkách. U jeho reprodukce bylo zjištěno, že u mníka jednovousého je typická krátká pohyblivost spermií cca 30-40 s, zatímco jikra by měla být schopná oplození 120 až 180 s po aktivaci. Pokud byly jikry oplozené v čase 0 s a poté byla přidána druhá dávka spermatu po 30, nebo 60 s, tak došlo k výraznému zvýšení oplození jiker, vzhledem k běžnému oplození pouze jednou dávkou spermatu.

2.4.3. Produkce larev

Mník jednovousý má jednu z nejmenších larev mezi sladkovodními druhy ryb. Průměrná délka vykulené larvy je kolem 3,5-4 mm (Baruš a Oliva, 1995). Larvální perioda je u ryb považována za nejvíce důležitou životní fázi. Jen nepatrné změny mohou mít vliv na další vývoj daného jedince a tím pádem i ovlivnit následnou produkci. Larvální fáze odchovu je v intenzivní akvakultuře často spojena s vysokou mortalitou. Důvodů bývá několik, od vnějších faktorů (teplota vody, pH, management krmení včetně co-feedingu, světelný režim a intenzita světla) až po vnitřní faktory jako je například kvalita generačních ryb. Dalším problémem a jednou z nejkritičtějších fází bývá prvotní naplnění plynového měchýře, zejména u ryb držených v kontrolovaných podmínkách (Czesny a kol., 2005; Fuiman a Cowan, 2003; Palińska-Żarska a kol., 2014a).

Palińska-Żarska (2014a) sledovala pomocí videokamery (30 minut každý den) pohybovou aktivitu a chování larev mníka jednovousého od 1. až do 9. dne od vykulení. První dva dny po vykulení signifikantně nejvíce času larvy strávily na dně akvária bez významné pohybové aktivity. V následujících dnech se postupně zvyšovala pohybová aktivita larev ve vodním sloupci. Avšak v průběhu 30minutového sledování se larvy dostaly jen párkrát do vzdálenosti 8 cm ode dna akvária. Naplnění plynového měchýře probíhalo od 3. dne po vykulení a 15. den bylo pozorováno 100% naplnění u přeživších larev. V tomto období byla také pozorována největší mortalita larev, která byla často spojená právě s nenaplněním plynového měchýře. Vzhledem k tomuto experimentu bylo konstatováno, že výška vodního sloupce má výrazný vliv na prvotního naplnění plynového měchýře u mníka jednovousého. Proto je doporučováno, aby výška vodní hladiny nebyla v první fázi odchovu vyšší než 10 cm.

Velmi významná je také teplota vody při larválním odchovu mníka jednovousého. Při porovnání tří teplot 12, 16 a 20 °C bylo nejvyšší přežití larev v 10 dnech po vykulení při teplotě vody 12 °C, a naopak při teplotě 20 °C bylo přežití nejnižší (Harzevili a kol., 2004).

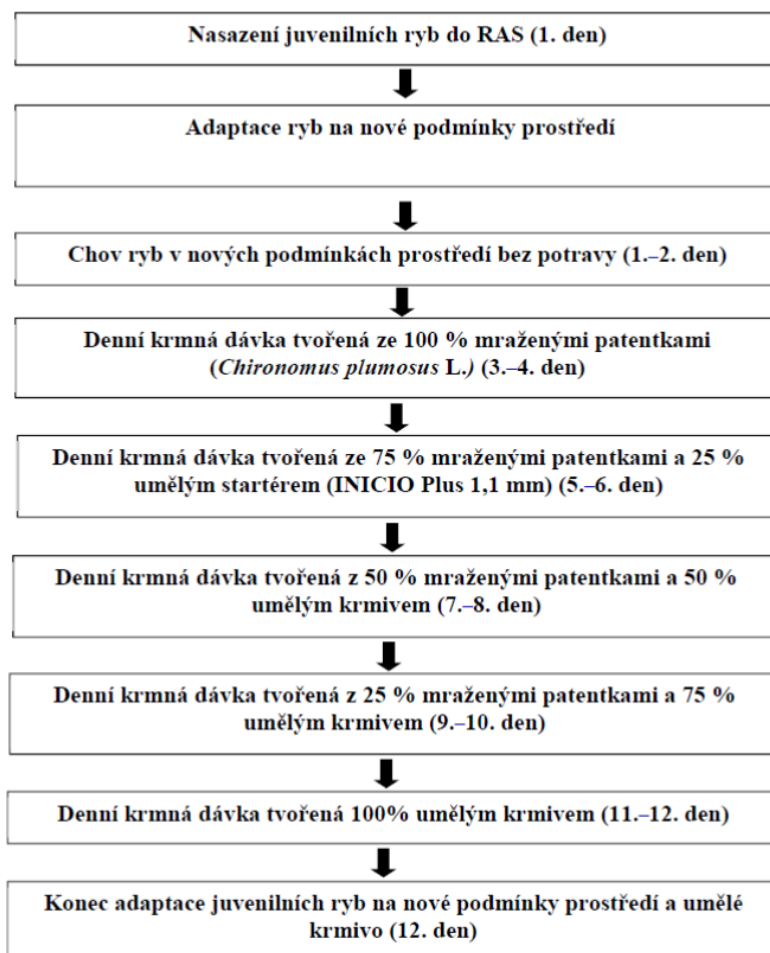
U lososovitých druhů ryb není nutné při prvním exogenním krmení larev použít živou potravu, jelikož už v přechodu na vnější výživu mají tyto larvy plně vyvinutý trávicí trakt, který je bohatý na trávicí enzymy a není tak problém začít s uměle peletovanými krmivy. Rozdílná situace je u mníka jednovousého, candáta obecného a téměř u všech mořských druhů ryb. U těchto druhů je nezbytné jako první exogenní krmení larvám poskytnout živou potravu, jelikož v tento moment jejich trávicí trakt ještě není plně vyvinutý a neobsahuje potřebné trávicí enzymy, jako je tomu u lososovitých druhů ryb (Palińska-Žarska a kol., 2014b).

Největší část nákladů na produkci larev tvoří živá potravu. Například náklady na produkci larev mořčáka evropského (*Dicentrarchus labrax*) do věku 45 dní po vylíhnutí byly tvořeny ze 79 % právě živou potravou, zejména žábřonožkou solnou (*Artemia salina*). Ve 3 měsících po vylíhnutí byly náklady na živou potravu stále 50 %. Podobné náklady jsou uváděny i pro produkci larev okounka černého (*Micropterus dolomieu*) (Kolkovski, 2001). Z hlediska finančních nákladů, ale i s ohledem na míru mortality larev je důležité vědět, jak dlouhé musí být období, kdy je nutné předkládat živou potravu před přechodem na umělá krmiva. Na základě experimentu s různými délkami rozkrmování je doporučováno, aby larvy mníka jednovousého byly krmeny živou potravou do 50 dní po vylíhnutí, kdy by průměrná celková délka larev měla být přes 25 mm a kusová hmotnost větší než 0,20 g. Po těchto 50 dnech všichni zkoumaní jedinci měli optimálně vyvinutý trávicí systém a nebylo pro ně tedy problematické trávit umělá krmiva (Palińska-Žarska a kol., 2014b).

Kvůli malé velikosti larev je téměř nezbytné použít jako prvotní živou potravu drobný zooplankton, například sladkovodní vířníky *Brachionus calyciflorus*, nebo mořský druh *B. plicatilis*. Pro oba tyto druhy vířníků jsou protokoly na jejich odchov a produkci poměrně dobře optimalizované a zvládnuté. Pokud byla porovnávána mortalita larev v období fáze rozkrmu pomocí vířníků (*B. calyciflorus*), nebo žábřonožky solné (*Artemia salina*), tak jednoznačně vyšší přežití bylo ve skupině s vířníky. Navíc je možné kombinovat vířníky společně i s mikrořasou (*Chlorella sp.*), což mělo také pozitivní dopad na konečné přežití larev (Harzevili a kol., 2003). Bylo také uvedeno, že použití

mikrořasy na počátku rozkrmu, může poskytnout larvám nepostradatelné živiny, podpořit mikrobiotu ve střevech a nastartovat tak trávicí systém (Howell a kol., 1998).

Další možností je využití rybníčních systémů k odchovu larev a juvenilních ryb do tzv. stádia rychleného plůdku, který se pak postupně adaptuje na umělá peletovaná krmiva a podmínky intenzivního chovu. V tomto případě odpadají náklady na produkci či nákup živé potravy pro odchov larev, ale zároveň tato metoda sebou nese rizika v podobě zavlečení parazitů, nebo jiných zdrojů onemocnění do intenzivního chovu (Meeus a kol., 2012). Postup na potravní adaptaci spočívá v postupném předkládání mražených patentek (larvy *Chironomus plumosus* L.) s pomalým přechodem na peletovaná krmiva (Policar a Svačina, 2014). Na Obr. 4 můžeme vidět krátké schéma potravní adaptace v průběhu 12 dní, která poskytuje vyšší přežití adaptovaných ryb v dalším odchovu v RAS. Obecně se doporučuje potravní adaptaci juvenilních ryb mníka jednovousého ve stádiu rychleného plůdku provádět delší období, nejlépe po dobu 35 dní. Uvedená krátká adaptace se používá při adaptaci rychleného plůdku okounovitých ryb na RAS a peletovaná krmiva.



Obr. 4: Schéma potravní adaptace mníka jednovousého na peletovaná krmiva (převzato od Policar a Svačina, 2014)

2.5. Polykulturní obsádky v intenzivní akvakultuře

Polykulturní obsádky jsou často využívány v rybníční akvakultuře za účelem efektivní a rentabilní tržní produkce. Složení polykultury spočívá ve využití rozdílných potravních nároků chovaných druhů ryb, jako jsou například planktonofágní, bentofágní, herbiborní nebo dravé druhy. Mezi nejběžnější patří polykultura kapra a lína, kapra a býložravých druhů ryb, kapra a síhů, nebo kapra s dravými druhy ryb v rybnících (Verdegem a kol., 2007; Hartman a Regenda, 2014). V Izraeli od 80 let minulého století byla typicky kombinována obsádka pražmy královské (*Sparus aurata*) s druhy cípalovitých ryb (Neori a kol., 2017).

V recirkulačních akvakulturních systémech ale nejsou polykulturní obsádky tak často využívány. Byla například experimentálně zkoumána bikultura candáta obecného s okounkem pstruhovým (*Micropterus salmoides*), kde tato kombinace zlepšila konverzi živin u candáta obecného v porovnání s monokulturou (Hanzlík, 2017). V recirkulačním systému dánského typu se často nabízí kombinace pstruha duhového s mníkem jednovousým. Takovýto experiment byl uskutečněn v rybářském podniku Pstruhařství Mlýny. Předpokladem byla eliminace nespoteřovaného krmiva pomocí mníka jednovouseho a částečně i konzumace uhynulých ryb nebo výkalů v nádržích. Výsledky ukázaly, že přítomnost mníků jednovousých nikterak neovlivnila růst pstruhů duhových v dané nádrži, a současně ve společné obsádce došlo ke snížení FCR v porovnání s monokulturou pstruha duhového. Nevýhodou u mníka jednovouseho je jeho delší výrobní cyklus než u pstruha duhového a mohou se tedy v následném odchovu vyskytnout komplikace při třídění nebo výlovu ryb (Policar a Svačina, 2014).

2.6. Koloběh látek v recirkulačním akvakulturním systému

Základní rozdělení látek, které se vyskytují ve vodě v rámci recirkulačních akvakulturních systémů, je na rozpustné a nerozpustné látky (Piedrahita, 2003). Tyto látky se do vody dostávají především díky metabolickým procesům, které probíhají v rybách po přijetí krmiva. Zdrojem znečištění může být i nespoteřované krmivo při nesprávném managementu krmení ryb, avšak nemělo by k tomu docházet. Mezi rozpuštěné látky s ohledem na chovatelské podmínky řadíme hlavně sloučeniny dusíku (amoniak, dusitany a dusičnany), fosforečnany a oxid uhličitý. Do nerozpuštěných látek patří celá řada organických/anorganických látek a derivátů z využívaného krmiva. Nerozpuštěné látky je možné také ještě rozdělit na sedimentující, nesedimentující

(suspendované ve vodním sloupci) a koloidní (Verdegem a kol., 1999). Množství a druh živin, které jsou uvolňovány do vody, je závislé zejména na typu a složení krmiva, druhu chovaných ryb, ale i na chovném systému a způsobu odstraňování rozpustných a nerozpustných látek ze systému (Bergheim, 1996).

Koloběh dusíku v recirkulačních systémech začíná u amoniaku, který je vylučován především žábrami. Další dusíkaté látky, jako je močovina a menší množství amoniaku, jsou vylučovány z těla ryby v podobě tuhých exkrementů a moči (Bregnballe, 2010). Odstraňování amoniaku probíhá v biologických filtrech, kde je amoniak oxidován přes dusitany NO_2^- až na dusičnany NO_3^- , jak již bylo zmíněno dříve (Verdegem a kol., 1999). Při malé výměně vody se dusičnany poté v systému hromadí a je tedy nutné tyto látky odstraňovat nějakou sofistikovanou metodou. Nejvíce využívanou metodou v akvakultuře jsou denitrifikační jednotky, kde dochází k redukci dusičnanů přes oxidy dusíku až na plynný dusík N_2 (Martins a kol., 2010).

Dusíkaté látky jsou vylučovány nejvíce z těla ryby především v podobě rozpustných látek ve vodě (amoniaku), naopak fosfor je navázaný zejména v organických a anorganických sloučeninách pocházejících z nerozpustných exkrementů. Menší množství rozpuštěného fosforu se do vody dostává ve formě fosforečnanů z moči (Pitter, 2009; Van Rijn, 2013). Při správném fungování denitrifikace dochází díky tomuto procesu také k částečné redukci fosforečnanů ze systému, jelikož přítomné bakterie využívají tyto látky k metabolickým procesům (Van Rijn a kol., 2006).

Oxid uhličitý (CO_2) je v RAS produkován rybami (respirací) a bakteriemi v biologických filtrech. Platí zde i rovnice, kde na 1 gram spotřebováno kyslíku je vyprodukováno cca 1,38 g oxidu uhličitého (Ebeling a Timmons, 2012). Oxid uhličitý je součástí tzv. uhličitánového systému ($\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$), který významným způsobem ovlivňuje vlastnosti vody jako například hodnotu pH, kyselinovou neutralizační/tlumivou kapacitu (KNK) a další chemické reakce, které ve vodě probíhají, jako je koagulace, adsorpce, odkyselování vod atd. (Pitter, 2009). Jak již bylo zmíněno, tak koncentrace oxidu uhličitého ve vodě přímo ovlivňuje hodnotu pH. Při vyšší koncentraci CO_2 hodnota pH klesá, a naopak při nižší koncentraci CO_2 se hodnota pH zvyšuje. Nižší pH poté může zvyšovat hodnotu stresu u chovaných ryb a také dochází k inhibici nitrifikace, jelikož pro ideální průběh nitrifikace je nutné udržovat hodnotu pH kolem 7 (Ebeling a Timmons, 2012). Měl by být brán také ohled na velmi nízké koncentrace CO_2 , jelikož v případě že je odplynění velmi efektivní a předimenzované, může docházet ke zvyšování pH a narušení uhličitánového systému. K tomuto jevu dochází zejména v případech, kdy jsou

ryby před finálním prodejem přemístěny do jiných nádrží, kde dochází ke zlepšování organoleptických vlastností rybí svaloviny. Z nádrží voda cirkuluje pouze do odplyňovacích zařízení a poté zpět, současně s dopouštěním nové čisté vody, která nepochází z RAS. Tento proces je nezbytný zejména v RAS, kde se ve vyšších koncentracích vyskytuje geosmin, nebo 2-methylisoborneol (osobní sdělení Vestergaard, 2019).

Zároveň pokud je ve vodě vyšší koncentrace oxidu uhličitého, tak je více problematické syčení vody kyslíkem. Platí zde totiž jednoduchý parciální poměr mezi těmito plyny. Je proto důležité oxid uhličitý z vody efektivně odstraňovat, a to ještě před následnou oxygenací. Nejčastější používanou metodou jsou modifikované zkrápěné filtry, kde voda propadává přes tzv. bio-bloky a tím dochází k odplynění a následnému odvětrání plynů pomocí ventilace. (Ebeling a Timmons, 2012).

2.7. Využití živin z předkládaných krmiv

Retence dusíku a fosforu v biomase ryb je odhadována skrze chované druhy ryb, koeficient konverze krmiva (FCR) a produkční ukazatele jako je specifická rychlost růstu (SGR). Samotná retence živin je závislá na množství krmení, složení krmiva, velikosti ryb, teplotě vody a na typu odchovného systému. U dusíku se hodnota pohybuje od 20-50 %, u fosforu 15-65 %. To znamená, že až 50-80 % dusíku a 35-85 % fosforu je rybami nevyužito (Piedrahita, 2003; Schneider a kol., 2005). Například krmivo, které bylo použito v experimentu se pstruhem duhovým s počáteční průměrnou hmotností 24-55 g, obsahovalo 67 g dusíku N v jenom kile krmení ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), retence dusíku v rybí biomase byla 23 g, vyloučeno bylo 34 g v rozpustné formě a 10 g v nerozpustné formě (Kim a kol., 1998). Někdy je uváděno, že až 90 % dusíku je z těla ryby vyloučeno ve formě amoniaku a pouze zbylých 10 % ve formě pevných látek (Craig a kol., 2017). Dále krmivo obsahovalo $13 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ fosforu, retence byla 4 g v rybí biomase, vyloučeno bylo v rozpustné formě 4 g a v nerozpustné formě 5 g (Kim a kol., 1998). Podíl vyloučeného dusíku je především závislý na původu bílkovin, které jsou využívány k výrobě umělých krmiv. Například při použití moučky ze sójových bobů je exkrece dusíkatých látek signifikantně vyšší než při použití rybí moučky. Naopak je tomu u fosforu, kde je při využití rostlinné bílkoviny exkrece fosforu znatelně nižší, než u živočišné bílkoviny (Wang a kol., 2016). U rostlinných zdrojů bílkovin je častým problémem nedostatečný obsah esenciálních aminokyselin, jako například lysinu nebo methioninu. Proto je nezbytné tyto

aminokyseliny do krmiv přidávat uměle (Hua a Bureau, 2006). Nedostatek některé esenciální aminokyseliny je vždy limitujícím faktorem pro růst a produkci chovaných ryb. Obecně s vyšší hmotností ryby často klesá schopnost zakomponovat látky na bázi dusíku a fosforu do rybí svaloviny, tím se samozřejmě i zvyšuje koeficient konverze krmiva FCR (Kim a kol., 1998). Z těchto údajů je zřejmé, že snahy o retenci živin v rybí svalovině jsou velmi variabilní. Je velice důležité se snažit zvýšit retenci živin v rybí biomase a snížit tak jejich ztráty skrze optimalizaci aplikace krmiv a jejich složení, popřípadě podporovat vyšší konverzi krmiv a retenci živin pomocí dalších inovací a optimalizací chovu, jako je využití vysoce užitkových populací ryb (např.: využití monosexních a triploidních populací či druhových hybridů atd.), optimalizace podmínek chovu, třídění ryb atd. (Piedrahita, 2003; Piferrer a kol., 2009).

2.8. Odstraňování nerozpuštěných látek z akvakulturních systémů a zpětné využití kalů

Odstraňování nerozpuštěných látek z RAS skrze mechanickou filtraci patří mezi nejjednodušší, nejméně nákladné a nejčastěji používané operace v celém koloběhu úpravy vody v intenzivních chovech ryb. Odstraněné živiny jsou zachytávány poté většinou ve formě kalů, které obsahují zejména nerozpuštěné organické látky, dále sloučeniny na bázi fosforu a dusíku. Je velmi důležité odseparovat nerozpuštěné látky ze systému co nejefektivněji a nejrychleji, aby nedocházelo k jejich rozmělnění a rozmixování, což vede k uvolňování živin do vody (Summerfelt, 1999). Podstatný je také tvar odchovných nádrží. Samočisticí efekt je u kruhových nádrží podstatně vyšší než například u nádrží ve tvaru obdélníku. Avšak, u kruhových nádrží je o poznání menší využití zastavěného místa (Bregnballe, 2010).

Bylo také zjištěno, že zhruba 48 % nerozpuštěných látek v recirkulačních akvakulturních systémech je menší než 10 μm (Chen a kol., 1993). Z hlediska praktického využití mechanických filtrů a množství vody potřebné na oplach bubnových mechanických filtrů není doporučováno používat filtry s mikro-síty menšími, než je 40-50 μm (Patterson a kol., 1999). Vedle mechanických filtrů je ale možné využít i jiné metody k odstraňování menších nerozpuštěných látek jako flotační zařízení, nebo filtry s médiem a společně s kombinací sedimentace a odkalování. Dezinfekce vody pomocí ozonu také zlepšuje mechanickou filtraci, jelikož dochází k mikroflokulačnímu efektu u jemných suspendovaných částic. Je zapotřebí si ale uvědomit, že celý recirkulační

akvakulturní systém musí být vyvážený zejména s ohledem na množství a obsah znečištěné vody, která zatěžuje mechanickou a biologickou filtraci. Mezi nezanedbatelný prvek patří také ekonomický pohled na věc zohledňující poměr mezi cenou a výkonem, který rozhoduje o udržitelnosti a rentabilitě celého provozu intenzivního chovu ryb (Martins a kol., 2010; Waller, 2001).

Kaly, které pocházejí z mechanické filtrace je možné také využít při denitrifikačním procesu. Aby denitrifikace fungovala správně, tak je nutné poměrně velké množství organických látek (zejména uhlíku). Je možné dodávat uhlík externě například v podobě methanolu, melasy, sacharózy, nebo je možné využít zmíněné kaly z mechanické filtrace. Využití těchto kalů se zdá být velmi energeticky i ekonomicky výhodné, jelikož není nutné dodávat jiné organické látky, které jsou dalším provozním nákladem (Van Rijn a kol., 2006).

V provozních podmínkách je často problém udržet stabilní funkci denitrifikačního procesu. Především musí být velmi precizně řešena otázka čištění denitrifikačních jednotek, pokud jsou používány kaly z mechanické filtrace, jinak dochází k usazování kalů v těchto jednotkách a zanášení biologických medií. Je proto důležité pravidelné čištění těchto jednotek a správný výběr medií z důvodu efektivního čištění. Pokud je v systému vyšší koncentrace dusičnanů než 100 mg/l, tak je zapotřebí přidávat uhlík také externě v podobě výše zmíněných organických látek. Proces denitrifikace je poté řízen pomocí množství přidávaného uhlíku a průtoku vody skrze tuto jednotku. Základem pro správné fungování je kontrola koncentrace amonných iontů, dusitanů a dusičnanů na přítoku a na odtoku z denitrifikace a také kontrola pH a redox potenciálu (osobní sdělení Vestergaard, 2019).

Mezi velmi efektivní nakládání s kaly patří tzv. zahušťování. Zahušťování kalů může být realizováno například pomocí pásových zahušťovačů, nebo textilních vaků, kdy by měl být obsah sušiny po vysušení na úrovni minimálně 15 %. Následně jsou kaly využívány přímo jako hnojivo v zemědělství či pro tvorbu bioplynu, popřípadě je možné tyto produkty následně kompostovat (Martins a kol., 2010). Další možností, jak využít kaly, je také tzv. vermikompostování, tedy produkování kvalitního kompostu společně s biomasou žížal (Kouba, 2012). V akvakultuře je dnes hojně využívána sůl, ať už ke zmírnění stresu u ryb, nebo jako částečná prevence proti výskytu parazitárních nebo plísňových onemocnění. Proto kaly z RAS mohou obsahovat více těchto stopových prvků (Mifsud a Rowland, 2008). Je tedy důležité upozornit na to, že některé rostliny velice

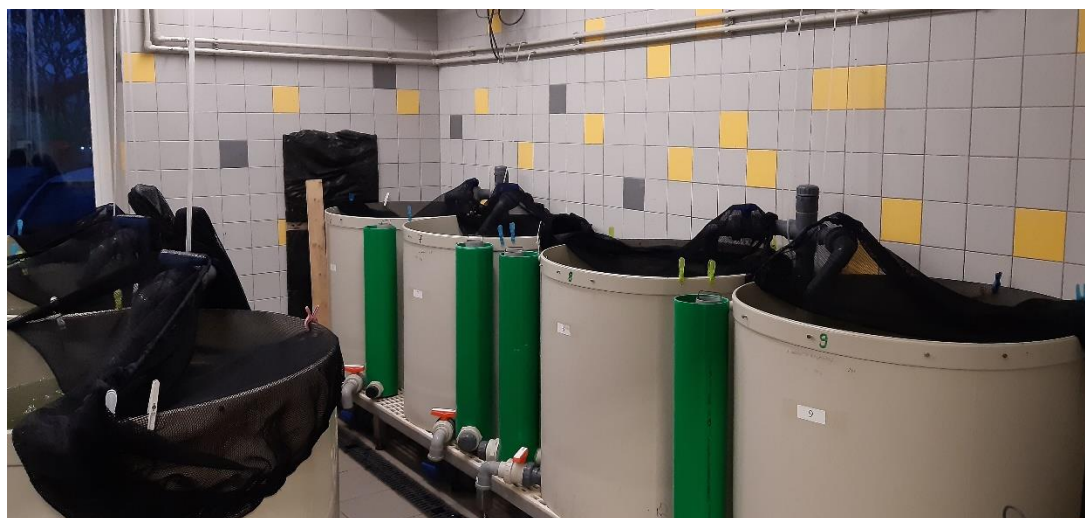
špatně snášejí vyšší obsah různých solí v půdě, kde následně dochází k inhibici jejich růstu (Läuchli a Epstein, 1990).

3. Materiál a metodika

Experiment byl proveden v Laboratoři intenzivní akvakultury (LIA) v malém experimentálním recirkulačním akvakulturním systému, který se nachází v budově Experimentálního rybochovného pracoviště (ERP). Obě zmíněné pracoviště jsou součástí Výzkumného ústavu rybářského a hydrobiologického ve Vodňanech (VÚRH), Fakulty rybářství a ochrany vod Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích (FROV JU).

3.1. Popis odchovného systému

Recirkulační akvakulturní systém byl složen ze základních technologických komponentů, tedy odchovných nádrží, mechanického filtru, biologického filtru, UV zářiče a Venturiho trysky pro oxygenaci. Detailně je tento systém popsán Policarem a kol. (2016). Devět plastových odchovných nádrží bylo ve tvaru válce, s průměrem 88,5 cm, užitnou výškou 62 cm a jednotným objemem 380 l. Všechny nádrže byly v průběhu experimentu zakryty sítěmi, aby nedocházelo k vyskočení experimentálních ryb (Obr. 5). Voda se v jednotlivých nádržích vyměnila zhruba 2x za jednu hodinu.



Obr. 5: Odchovné nádrže společně s krycími sítěmi (vlastní archiv autora)

Mechanický filtr byl využíván od německé firmy Ratz Ltd., s maximálním průtokem $15\,000\text{ l}\cdot\text{hod}^{-1}$ a filtrační tkaninou o velikosti $60\ \mu\text{m}$ (Obr. 6). Biologický filtr byl složen ze dvou částí, první část byla tvořena komerčně vyráběným filtrem Nexus 310 a druhá část byla tvořena biologickým filtrem vlastní konstrukce (FROV JU) o objemu 890 l (Obr. 6). Do vnější části Nexusu 310 a do druhého biologického filtru byl skrze vzduchovací kameny a rošty zaveden zdroj vzduchu, pomocí vzduchového dmyhadla. Dodávaný

vzduch byl nezbytný jako zdroj kyslíku pro nitrifikační bakterie a zároveň také docházelo k pohybu filtračního média, které tvořilo zhruba 45-50 % celkového objemu filtru.



Obr. 6: Biologický filtr Nexus 310 (nahore), biologický filtr vlastní výroby (dole) a mechanický filtr od firmy Ratz Ltd. (vpravo; vlastní archiv autora)

Součástí tohoto systému byl také průtočný UV zářič od britské firmy Evolution Aqua Ltd., přes který protékala pouze část vody (cca 10 %) v recirkulační smyčce. Oxygenace vody byla zajištěna pomocí Venturiho trysky, do které byl přiváděn čistý plynný kyslík ze zásobníku kapalného kyslíku na ERP. Tato oxygenace vody byla v daném RAS umístěna v bypassu za biologickým filtrem, který vyústoval do přítokového potrubí do nádrží s experimentálními rybami. V průběhu experimentu byla spotřeba kyslíku od 1,5 do 4 l.min⁻¹, kde docházelo k exponenciální spotřebě v závislosti na růstu chované obsádky a koncentrace ryb v nádržích.

3.2. Design experimentu

Před začátkem experimentu byly všechny experimentální ryby (pstruh duhový 765 ks a mník jednovousý 135 ks) nasazené v rámci níže uvedených skupin do odchovného systému po dobu 14 dní, aby došlo k jejich postupné adaptaci. Následně se také zvyšovala krmná dávka, kvůli ideálnímu záběhu biologického filtru. Byly testovány tři experimentální skupiny ryb, první z nich zahrnovala 70 ks pstruha duhového a 30 ks mníka jednovouseho (označení jako 70/30), druhá byla tvořena 85 ks pstruha a 15 ks mníka (označená jako 85/15) a v poslední skupině bylo chováno 100 ks pstruha a 0 ks mníka (označená jako 100/0). Experiment probíhal ve třech opakováních a jednotlivé skupiny byly v recirkulačním systému roz distribuovány následovně, skupina 70/30 – nádrže 1,4,7; skupina 85/15 – nádrže 2,5,8 a poslední skupina 100/0 – nádrže 3,6,9. Důvodem tohoto rovnoměrného rozmístění skupin v daném RAS bylo minimalizovat ovlivnění výsledků odchylkami ve světelných podmínkách. Jednalo se především o nerovnoměrné rozmístění světla a přítomnost okna v místnosti, kde se odchovný RAS nacházel. Světelný režim byl zvolen na úrovni 12 hodin světla (6:30-18:30) a 12 hodin tmy (18:30-6:30) s průměrnou intenzitou 150 luxů, které dopadaly na vodní hladinu odchovných nádrží. Pstruh duhový byl před nasazením do RAS zakoupen od české produkční firmy Pstruhařství Jizerské hory s.r.o. a jednalo se o celosamičí populaci pstruha duhového importovaného do ČR z Dánska, když byla embrya v očích bodech v jikře. Mník jednovousý pocházel z poloumělého výtěru z rybí líhně NP Šumava z Borové Lady, kdy byly experimentální ryby 10 měsíců před začátkem pokusu odchovány v rybnících ERP a následně adaptovány a chovány v RAS LIA, FROV JU. Celková délka experimentu byla 77 dní.

3.3. Průběh experimentu

3.3.1. Nasazení ryb do nádrží

Na začátku experimentu byly ryby převážené, přepočítané a byla udělaná detailní biometrika u každé nádrže (35 ks pstruha a všechny přítomné kusy mníka). Kvůli lepší manipulaci a také welfare byly ryby před měřením uspány pomocí hřebíčkového oleje v koncentraci 0,4 ml na 10 litrů vody. Měřila se celková délka (TL), standardní délka (SL) a hmotnost (W). U pstruha duhového byla průměrná TL = 138,27 ± 8,89; SL = 123,44 ± 8,54 a W = 31,60 ± 6,20. U mníků jednovousých byly tyto hodnoty větší TL = 203,84 ± 14,62; SL = 188,01 ± 14,30 a W = 48,71 ± 11,33 z důvodu jeho nižší předpokládané

rychlosti růstu v porovnání se pstruhem duhovým. Na Obr. 7 je pstruh duhový na začátku experimentu.



Obr. 7: Pstruh duhový na začátku experimentu (vlastní archiv autora)

3.3.2. Kontrolní přelovení a převážení chovaných ryb

Kontrolní přelovení a převážení jednotlivých experimentálních skupin bylo realizováno 21., 42., 63. den daného realizovaného experimentu (ukončené I., II. a III. období experimentu). Experiment byl ukončen po dalších 14 dnech (v 77. dni, konec IV. období), jelikož kvalita vody v systému vzhledem k enormní obsádce ryb v nádržích neumožnila pokračování experimentu. Hrozila totiž totální mortalita testovaných ryb, zejména z důvodu nedostatečné kapacity biologického filtru a celkového objemu daného systému.

Při kontrolním převážení experimentálních ryb byly u obou druhů zvlášť zaznamenány: biomasa a počet přeživších ryb v každé nádrži. Na základě zjištěných dat po každém převážení všech ryb daného druhu byl následně vypočten přírůstek ryb, průměrná kusová hmotnost, specifická rychlost růstu (SGR) a přežití pro každý druh zvlášť. Ze zaznamenané spotřeby krmiva byl také vypočten koeficient konverze krmiva (FCR), který byl ve smíšených obsádkách stanoven pro oba druhy dohromady. Na Obr. 8 je mník jednovousý v průběhu kontrolního převážení.



Obr. 8: Mník jednovousý v průběhu kontrolního převážení (vlastní archiv autora)

3.3.3. Odběr nerozpuštěných látek

Kvůli dané hypotéze, že mník jednovousý může zlepšovat využití živin a redukovat množství nerozpuštěných látek jako jsou výkaly, popřípadě množství nespotřebovaných krmiv v odchovné nádrži, kde je chován pstruh duhový, bylo před každým převážením experimentálních skupin ryb měřeno množství nerozpuštěných látek produkovaných v jednotlivých nádržích za jeden den. Jeden den před kontrolním převážením byla každá nádrž a odtokové potrubí z nádrže důkladně vyčištěno a odkaleno. Následně byl odtok z nádrže uzavřen pomocí uhelonové tkaniny o velikosti 42 μm , jak je vidět na Obr. 9. Až poté bylo zahájeno a následně realizováno krmení a chov ryb v průběhu následujících 24 hodin.



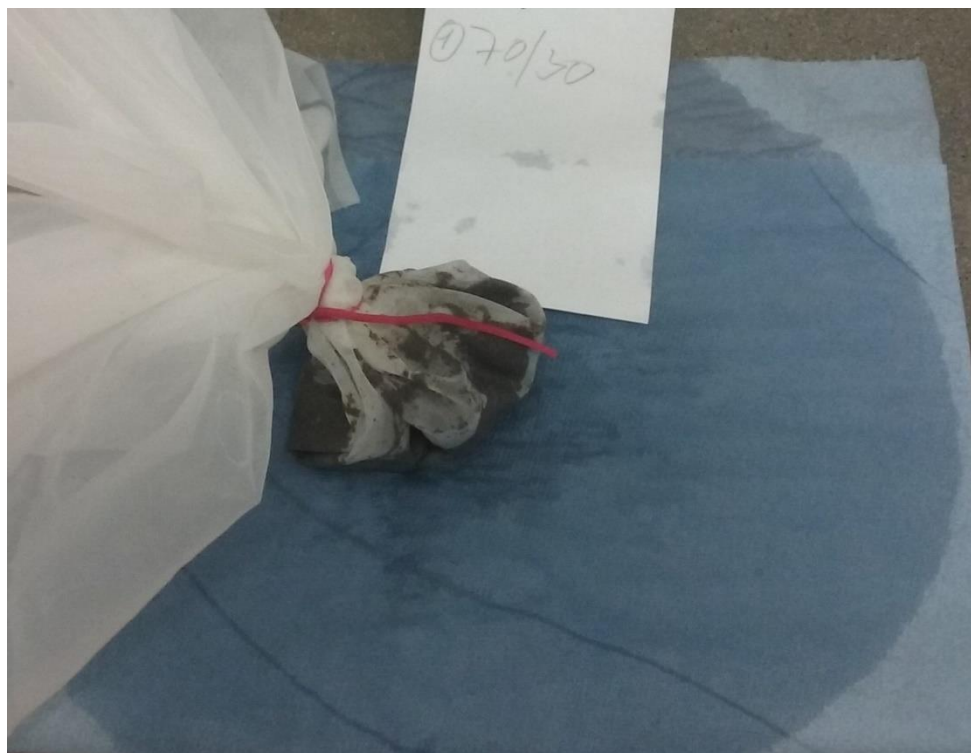
Obr. 9: Uzavření odtoku z nádrže pomocí uhelonové tkaniny (vlastní archiv autora)

Tato tkanina byla po dobu 24hodinového krmení a chovu experimentálních ryb v nádrži kontrolována a čištěna pomocí jemných kartáčků, aby nedošlo k přetečení vody z nádrží. Po těchto 24 hodinách, před začátkem převážení ryb, byla každá nádrž a odtokové potrubí pomocí obou ventilů odkalena do připravené planktonní sítky o velikosti ok 40 μm (Obr. 10).



Obr. 10: Odběr nerozpuštěných látek do planktonní sítky (vlastní archiv autora)

Odebrané nerozpuštěné látky byly přepuštěny a filtrovány pomocí předem připravené uhelové tkaniny o stejné velikosti ok (42 μm), které byly použity na odtoku vody z nádrží. Při tomto kroku docházelo k zachycení nashromážděných nerozpuštěných látek za celý jeden den odchovu. Poté se nechaly vzorky nerozpuštěných látek předsušit na papírových utěrkách (Obr. 11). Později byly vzorky převáženy a uloženy do plastových vzorkovacích sáčků, které byly skladovány při teplotě $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z každého přelovení a převážení experimentálních ryb bylo získáno 9 vzorků nerozpuštěných látek (tzn. jeden vzorek z každé nádrže, což představuje tři vzorky od každé skupiny za dané období). Na konci experimentu byl celkový počet vzorků 36, kdy každá experimentální skupina čítala 12 vzorků nerozpuštěných látek ze 4 odchovných období. Tyto vzorky byly následně souhrnně po 4měsíčním skladování analyzovány v Chemické a mikrobiologické laboratoři Písek (viz kapitola 3.8.).



Obr. 11: Předsušení vzorků v uhelonové tkanině (vlastní archiv autora)

3.3.4. Ukončení experimentu

Experiment byl ukončen po 77. dnech odchovu, kdy se obsádky ryb ve všech nádržích opět převážily, přepočítaly a byla udělána biometrika, jak již bylo popsáno v kapitole 3.3.1. (Nasazení ryb do nádrží). Z biometrických údajů byl následně vypočítán Fultonův koeficient, jak na začátku, tak na konci experimentu. Dále proběhlo vzorkování 12 ks mníků, prvních 6 pocházelo ze skupiny (70/30), vždy 2 ks z každého opakování a dalších 6 mníků bylo ze skupiny (85/15), opět 2 ks z každého opakování. U těchto ryb byla změřena TL, SL, W a byla odebrána krev, která byla odstředěna za účelem získání krevní plazmy pro další biochemické vyšetření (viz kapitola 3.10.). Následně byly vypreparovány játra, slezina, viscerální tuk, žábra a střevo pro výpočet hematosomatického indexu, spleenosomatického indexu a indexu perviscerálního tuku. Játra, žábra a střevo byly dále analyzovány na stanovení parametrů oxidativního stresu (viz kapitola 3.10.). Zároveň byl u těchto ryb kontrolován zdravotní stav paní MVDr. Jitkou Kolářovou. Vzorkovány byly pouze jedinci mníka jednovousého, jelikož nás zajímalo, zdali rozdílná hustota pstruha duhového v nádrži tyto jedince nějakým způsobem fyziologicky ovlivňuje (především z hlediska stresu), což se dalo předpokládat vzhledem ke klidnějšímu způsobu života mníka jednovousého oproti pstruhovi duhovému, který byl v nádrži podstatně rychlejší a agresivnější. Současně byl pstruh

duhový i v početnějším zastoupení oproti mníkovi jednovousému, jelikož byl v experimentu považován za hlavní chovaný a hospodářsky významný druh. Vliv mníka jednovouseho na pstruha duhového byl při etologickém chování ryb v průběhu experimentu vyloučen. Na Obr. 12 je možné vidět jedince pstruha duhového na konci experimentu.



Obr. 12: Pstruh duhový na konci experimentu (vlastní archiv autora)

3.4. Kontrola kvality vody, údržba systému a welfare ryb v průběhu experimentu

Každý den v 7 hodin ráno byla měřena teplota vody a koncentrace kyslíku v jednotlivých nádržích. Stejně kontrolní měření probíhalo i v odpoledních hodinách (mezi 14.-15. hodinou). Po ranním měření probíhalo odkalování nádrží, jejich čištění a výměna vody v systému (denně 10-20 %). Odkalování biofiltru pak probíhalo 1x za týden. Průměrná teplota vody byla udržována na úrovni $17,91 \pm 0,48$ °C a průměrné nasycení vody kyslíkem bylo 105 ± 15 % za celé testovací období. K měření teploty a kyslíku se používal oxymetr YSI Pro ODO. Dále každý den byla také měřena hodnota pH, dusitanů a amoniaku. Průměrná hodnota pH, která se měřila pomocí přístroje WTW inoLab pH 720, byla $6,66 \pm 0,51$. Hodnoty amonných iontů (NH_4^+) byly stanoveny kolorimetricky pomocí Seignetovy soli a Nesslerova činidla, obsah dusitanů (NO_2^-) pak pomocí kyseliny sulfanilové a činidla NED (N-(1-naftyl)-ethylendiamin-dihydrochlorid). Výsledné zabarvení bylo vyhodnocováno na základě barevné škály. Tato jednoduchá metoda byla použita z důvodu nízkých finančních nákladů, rychlosti, praktičnosti a také s ohledem na fakt, že kontrola kvality vody v RAS nemusí být úplně přesná. Hlavním cílem měření koncentrace amonných iontů a dusitanů ve vodě je především zjistit výkyvy v kvalitě vody v průběhu odchovu a menší odchylky způsobené nepřesností metody ($\pm 0,2 \text{ mg.l}^{-1}$) jsou proto zanedbatelné. Průměrná hodnota amonných iontů byla $0,67 \text{ mg.l}^{-1}$ a u dusitanů byla tato hodnota $0,69 \text{ mg.l}^{-1}$. Po dobu celého experimentu byl zdravotní stav

ryb konzultován a kontrolován paní MVDr. Jitkou Kolářovou, jak již bylo řečeno. Pokud došlo jakémukoliv úhynu v průběhu pokusu, byly tyto ryby vyšetřeny za účelem detekce možné příčiny úmrtí.

Jelikož při správném fungování biologického filtru klesá hodnota pH v systému, bylo nezbytné hodnotu pH zvyšovat. Na základě naměřené hodnoty pH byla téměř každý den do systémů přidávána jedlá soda (hydrogenuhličitan vápenatý), průměrně to bylo 40 g/den na celý den. Každý týden byl do systému dávkován 1 kilogram soli (NaCl), jakožto prevence negativního vlivu vyšší koncentrace dusitanů na chované ryby. Aplikace soli do systému byla realizována s cílem snížit toxicitu a negativní účinek dusitanů na chované ryby, popřípadě jako ochrana ryb před povrchovým zaplísněním. Dále probíhaly preventivní koupele ryb (jednou za 14 dní) v přípravku chloraminu T proti bakteriálním infekcím žaberního aparátu, kdy se do každé nádrže aplikovalo 6 g zmíněného přípravku. Koupel byla koncipována jak krátkodobá, trvala po dobu 15 minut, po kterých byla voda z nádrží vypuštěna pryč ze systémů. Důvodem vypuštění vody bylo zamezení snížení funkce biologického filtru, jelikož chloramin T má především baktericidní účinky. Na začátku experimentu byl v systému nalezen parazit kožovec rybí (*Ichthyophthirius multifiliis*) na základě preventivního vyšetření ryb. Z tohoto důvodu byl do systému aplikován 2x přípravek Formaldehyd 38 % a to ve dvou dávkách. První den 70 ml a druhý den 35 ml na celý systém. Po jednom týdnu se tato koupel opakovala ještě jednu. Přípravek Formaldehyd 38 % byl zakoupen od firmy Ing. Petr Švarc – Penta Praha s.r.o.

3.5. Krmení ryb

Ryby byly krmeny každý den pomocí automatických pásových krmítek a spotřebované, popřípadě nespotebované krmivo bylo každý den zaznamenáváno s cílem následně vypočítat co nejpřesněji koeficient konverze krmiva (FCR). Denní krmná dávka (KD) byla vždy vypočtena na základě biomasy všech chovaných ryb (pstruha duhového i mníka jednovousého dohromady, nebo jen pstruha duhového) v jednotlivých nádržích. V průběhu celého pokusu byla průměrná KD 1,89 % (141 g). V některých případech bylo zapotřebí KD snížit, především kvůli špatné kvalitě vody v systému. Průměrná KD v jednotlivých obdobích byla: I. období 1,72 %, II. období 2,40 %, III. období 1,80 % a IV. období 1,63 %.

Během experimentu bylo použito více druhů krmení z důvodu růstu experimentálních ryb a každé z těchto krmení bylo obohaceno o vitamín A (5 000 IU.kg⁻¹), vitamín D3 (750

IU.kg⁻¹), železo (42 mg.kg⁻¹), jód (2,1 mg.kg⁻¹), měď (5 mg.kg⁻¹), hořčík (16 mg.kg⁻¹) a zinek (100 mg.kg⁻¹). Prvních 15 dní experimentu byl použit mix krmení Biomar Inicio plus (1,5 mm) a Biomar Inicio plus (2 mm) v poměru 1:1. Následně se přešlo na krmení Biomar Inicio plus (2 mm) a Biomar Efico Alpha (3 mm) opět v poměru 1:1. Tento mix krmení byl použit až do konce experimentu.

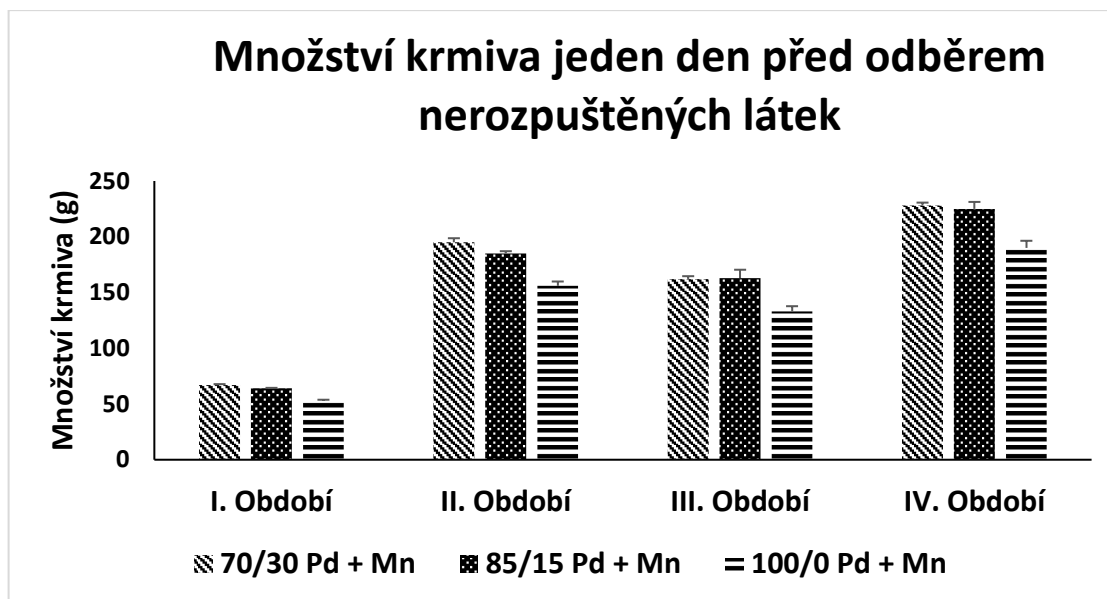
Krmivo Biomar Inicio plus (1,5 mm) obsahovalo 55 % proteinu, 21 % tuku, 10,6 % popelovin, 0,5 % celulózy, 1,5 % fosforu, 2,01 % vápníku a 0,84 % sodíku.

Krmivo Biomar Inicio plus (2 mm) obsahovalo 52 % proteinu, 23 % tuku, 9 % popelovin, 0,8 % vlákniny, 1,16 % fosforu, 1,49 % vápníku a 0,73 % sodíku.

Krmivo Biomar Efico Alpha (3 mm) obsahovalo 40,8 % proteinu, 22 % tuku, 5,5 % popelovin, 4,6 % vlákniny, 0,8 % fosforu, 0,74 % vápníku a 0,17 % sodíku

3.6. Relativní množství nerozpuštěných látek ve vztahu k použité krmné dávce 24 hodin před jejich odběrem

Po odběru nerozpuštěných látek nashromážděných v dané odchovné nádrži za 24 hodin, kdy v tomto období bylo zkrmeno určité množství krmiva, bylo vypočítáno relativní množství nerozpuštěných látek ve vztahu ke zkrmenému množství krmiva v jednotlivých experimentálních skupinách za jednotlivá období. Tento parametr byl spočítán podle vzorce uvedeného v kapitole 3.7. Množství nerozpuštěných látek bylo zváženo „v mokřém stavu před sušením“ v Chemické a mikrobiologické laboratoři v Písku a množství krmiva použitého jeden den před odběrem nerozpuštěných látek bylo vždy pečlivě zaznamenáno v průběhu experimentu. Množství krmiva zkrmeného před odběrem nerozpuštěných látek v jednotlivých skupinách v průběhu experimentu je možné souhrnně vidět v Grafu 1.



Graf 1: Množství krmiva v experimentálních skupinách za jednotlivá období, jeden den před odběrem nerozpuštěných látek

3.7. Použité vzorce k následným výpočtům

Průměrná kusová hmotnost:

$$W = \frac{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n}{N} \text{ [g]}$$

w – hmotnost jednotlivých ryb

N – celkový počet kusů v dané skupině

Průměrná celková a standardní délka (TL, SL):

$$L = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{N} \text{ [mm]}$$

l – délka jednotlivých ryb

N – celkový počet kusů v dané skupině

Přežití ryb:

$$P = \frac{N_n}{N_p} \cdot 100 \text{ [%]}$$

N_n – počet ryb na konci testovacího období

N_p – počet ryb na začátku testovacího období

Koeficient konverze krmiva (FCR):

$$FCR = \frac{F}{W_k - W_p}$$

F – celková spotřeba krmiva za sledované období

W_k – konečná hmotnost ryb

W_p – počáteční hmotnost ryb

Specifická rychlost růstu (SGR):

$$SGR = \frac{\ln W_{\text{konc}} - \ln W_{\text{zač}}}{t} \cdot 100 \text{ [%/den]}$$

LnW_{konc} – přirozený logaritmus na konci sledovaného období

LnW_{zač} – přirozený logaritmus na začátku sledovaného období

t – délka sledovaného období ve dnech

Fultonův koeficient (kondiční faktor):

$$FC = \frac{W}{TL^3} \cdot 100$$

W – individuální hmotnost

TL – celková délka

Index perviscerálního tuku:

$$IPT = \frac{W_{pvt}}{W} \cdot 100 \text{ [%]}$$

W_{pvt} – hmotnost perviscerálního tuku

W – hmotnost jedince

Hematosomatický index:

$$HSI = \frac{W_j}{W} \cdot 100 \text{ [%]}$$

W_j – hmotnost jater

W – hmotnost jedince

Spleenosomatický index:

$$SSI = \frac{W_s}{W} \cdot 100 [\%]$$

W_s – hmotnost sleziny

W – hmotnost jedince

Relativní množství nerozpuštěných látek

$$RMNL = \frac{W_{NL}}{W_K} \cdot 100 [\%]$$

W_{NL} – množství nerozpuštěných látkách (dle analýzy)

W_K – množství krmiva

3.8. Analýza nerozpuštěných látek

V Chemické a mikrobiologické laboratoři v Písku bylo ve vzorcích odebraných nerozpuštěných látek stanoveno absolutní množství sušiny, celkového fosforu a celkového dusíku (v g). Ze stanovené sušiny bylo dále analyzováno absolutní množství organické sušiny (v g). Na základě zjištěných daných parametrů, bylo následně vypočítáno relativní množství stanovovaných parametrů (tzn. procentuální zastoupení sušiny, organické sušiny, celkového fosforu a celkového dusíku z celkového množství nerozpuštěných látek).

Pro analýzy byly použity následující metody:

Sušina: SOP 24 (ČSN EN 14346, ČSN EN, ISO 18134-2,3 (z))

Organická sušina: SOP 24 (ČSN EN 14774-2,3)

Celkový fosfor: SOP 11 (Javorský, Krečmar, Chem. rozb. v zem. Lab., 1987), Metoda dle Kjeldahla (celkový obsah fosforu, vázaného v organických/anorganických sloučeninách)

Celkový dusík: SOP 6 (Javorský, Krečmar, Chem. rozb. v zem. Lab., 1987), Metoda dle Kjeldahla (celkový obsah dusíku, organicky vázaný dusík a amoniakální dusík).

3.9. Relativní množství celkového fosforu v nerozpuštěných látkách s ohledem na množství použitého fosforu v předloženém krmivu 24 hodin před odběrem nerozpuštěných látek

Byla vypočítána hmotnost celkového fosforu z krmiva, které bylo použito jeden den před odběrem nerozpuštěných látek, u jednotlivých nádrží. Celkový fosfor CPK v krmivu byl kalkulován dle výrobce. V případě krmiva Biomar Inicio plus (2 mm) krmivo obsahovalo 1,16 % CPK. Krmivo Biomar Efico Alpha (3 mm) obsahovalo 0,8 % CPK. Před každým krmením bylo krmivo mícháno v poměru 1:1. Pro výpočet CPK byl použit tedy výsledný procentuální podíl CPK na úrovni 0,98 %. Tyto hodnoty byly následně dány do poměrů s výslednou koncentrací celkového fosforu z analýzy nerozpuštěných látek. Pro zmíněný účel použit následující vzorec:

Relativní množství celkového fosforu

$$RCP = \frac{W_{CPNL}}{W_{CPK}} \cdot 100 [\%]$$

W_{CPNL} – množství celkového fosforu v nerozpuštěných látkách (dle analýzy)

W_{CPK} – množství celkového fosforu v krmivu

3.10. Biochemická analýza krevní plazmy a oxidativní stres u odebraných tkáních mníka jednovousého

Odebrané vzorky od experimentálních mníků jednovousých na konci experimentu byly poslány do Laboratoře vodní toxikologie a Ichtyopatologie, jenž je také součástí VÚRH FROV JU. Zde probíhaly další analýzy. Při biochemické analýze krevní plazmy byly stanoveny hodnoty TP (krevní plazma), ALB (albumin), GLOB (globulin), ALP (alkalická fosfáza), ALT (alanin aminotransferáza), AST (aspartát aminotransferáza), Ca (vápník), PHOS (fosfor), GLU (glukóza), NH_3 (amoniak), Mg (hořčík), TRIG (triacylglycerol), CK (kreatinkináza), LDH (laktát dehydrogenáza), LAC (laktát), CREA (kreatin). Při analýze oxidativního stresu byly u jater, žaber a střeva stanoveny hodnoty SOD (superoxid dismutáza), CAT (kataláza), GST (glutathion-S-transferáza), GSH (redukovaný glutathion) a TBARS (látky reaktivní s kyselinou thiobarbiturovou) charakterizující parametry oxidativního stresu či výskytu proti-stresových enzymů.

3.11. Statistické vyhodnocení experimentu

Data z experimentu byly zpracovávány především v programu Microsoft Excel 2016, kde byly vytvořeny příslušné tabulky a grafy s průměrnými hodnotami a směrodatnými odchylkami. Pro statistické vyhodnocení byl použit program Statistica 13 (StatSoft, Inc.). Při vyhodnocování dat byl zvolen stupeň významnosti $p < 0,05$. Pro určení, zdali data mají normální rozdělení byl použit Shapiro-Wilkův test, následně byla provedena jednocestná nebo dvoucestná analýza variance (ANOVA) a Tuckého post hoc test. V případě že data neměly normální rozdělení, tak byla použita neparametrická ANOVA.

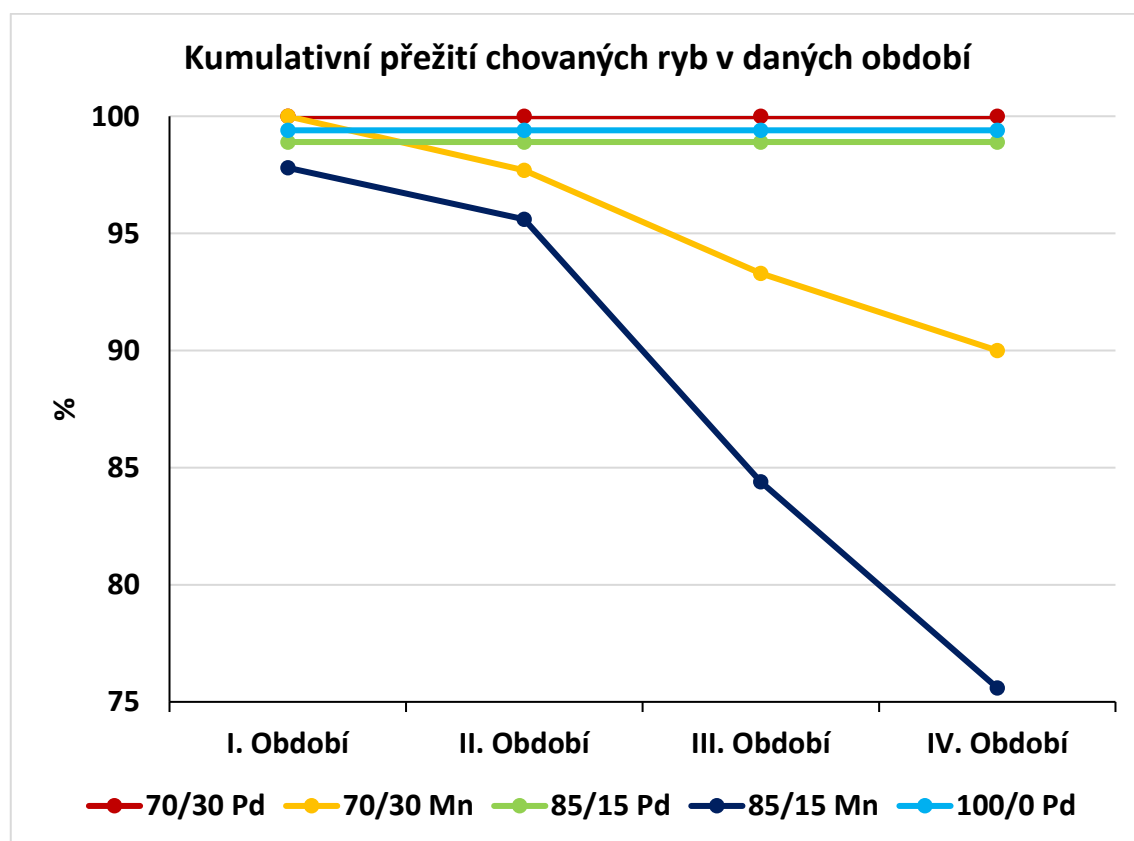
Statisticky byly porovnávány jednotlivé produkční ukazatele obou chovaných druhů v experimentálních skupinách 70/30, 85/15 a 100/0 a fyziologické parametry odchovaných mníků jednovousých ve skupinách 70/30 a 85/15 v konkrétních obdobích. Sledované produkční ukazatele byly rozděleny samostatně pro pstruha duhového a mníka jednovousého, kromě: koeficientu konverze krmiva FCR, množství nashromážděných nerozpuštěných látek, relativního množství nerozpuštěných látek ve vztahu k použité krmné dávce, relativního množství celkového fosforu v nerozpuštěných látkách a chemické analýzy nerozpuštěných látek, kde nebylo možné tyto druhy odlišit.

4. Výsledky

4.1. Produkční ukazatele

4.1.1. Kumulativní přežití

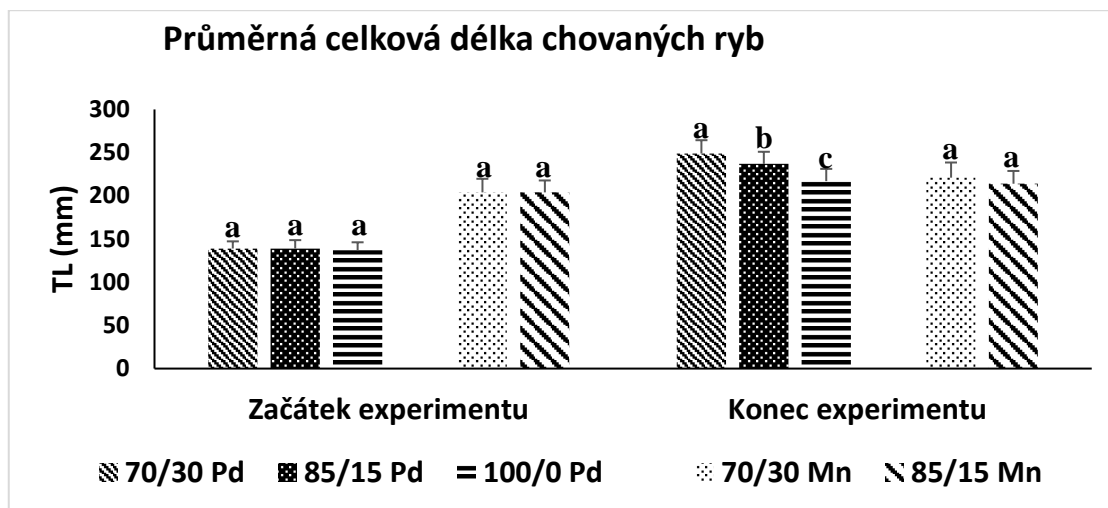
V případě pstruha duhového nedošlo v průběhu celého experimentu téměř k žádným úhynům. Naopak tomu bylo u mníka jednovouseého, kde nejnižší kumulativní přežití na konci experimentu bylo zaznamenáno u skupiny 85/15 a to 75,6 % (Graf 2). Mělo by být ale poznamenáno, že tato nižší hodnota procentuálního přežití u skupiny 85/15 odráží fakt, že v této skupině bylo nejméně jedinců mníka jednovouseého. V absolutních číslech za celý experiment byla mortalita mníků jednovousých ve skupině 70/30–9 ks, zatímco ve skupině 85/15–11 ks. Příčiny úhynů mníků jednovousých nebyly zjištěny, ale téměř u všech uhynulých jedinců byl nalezen prázdný trávicí trakt s částečným nálezem zánětu střev. Tyto záněty byly diagnostikovány veterinářkou MUDr. Jitkou Kolářovou.



Graf 2: Kumulativní přežití v testovaných skupinách za jednotlivá období experimentu

4.1.2. Průměrná celková délka (TL) na začátku a na konci experimentu

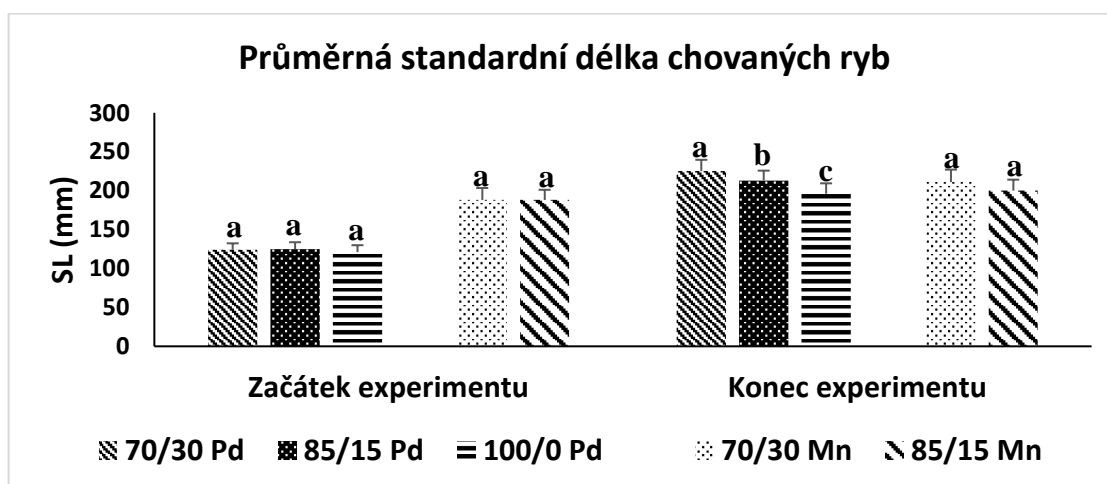
Jedinci pstruha duhového se mezi sebou na začátku experimentu statisticky nelišily, naopak tomu ale bylo na konci experimentu, kde se všechny skupiny mezi sebou již lišily. Mezi skupinami u mníků jednovousých nebyl statisticky významný rozdíl na začátku ani na konci experimentu (Graf 3).



Graf 3: Průměrná celková délka chovaných ryb v experimentálních skupinách na začátku a na konci experimentu

4.1.3. Průměrná standardní délka (SL) na začátku a na konci experimentu

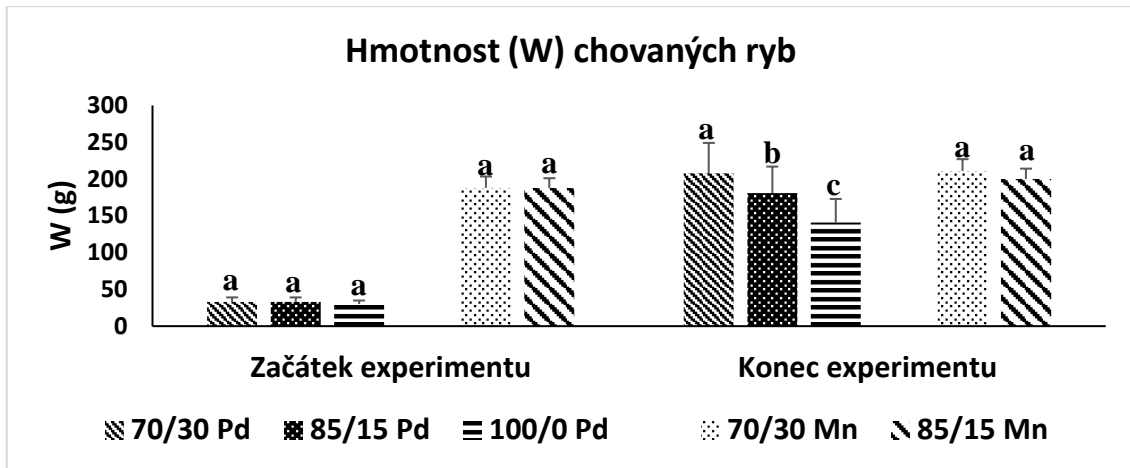
Zde byl stejný trend jako u celkové délky. Standardní délka pstruha duhového se mezi experimentálními skupinami na začátku experimentu statisticky nelišila, naopak tomu ale bylo na konci experimentu, kde se všechny skupiny mezi sebou lišily. Mezi skupinami mníků jednovousých opět nebyl statisticky významný rozdíl na začátku ani na konci experimentu (Graf 4).



Graf 4: Průměrná standardní délka chovaných ryb v experimentálních skupinách na začátku a na konci experimentu

4.1.4. Průměrná kusová hmotnost (W) na začátku a na konci experimentu

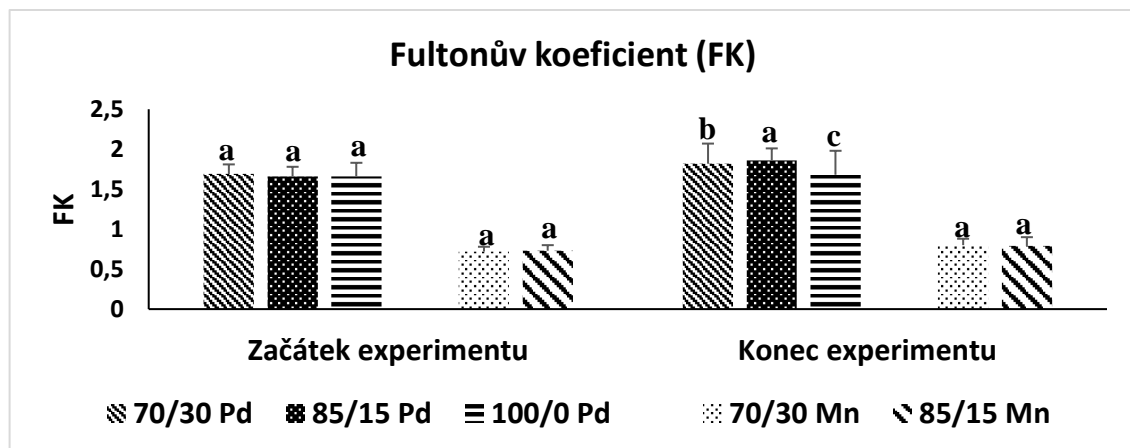
Skupiny se pstruhem duhovým se mezi sebou statisticky na začátku experimentu nelišily, ale na konci experimentu se opět lišily všechny skupiny mezi sebou. Mezi skupinami u mníků jednovousých nebyl statisticky významný rozdíl na začátku ani na konci experimentu (Graf 5).



Graf 5: Průměrná hmotnost chovaných ryb v experimentálních skupinách na začátku a na konci experimentu

4.1.5. Fultonův koeficient (FK) na začátku a na konci experimentu

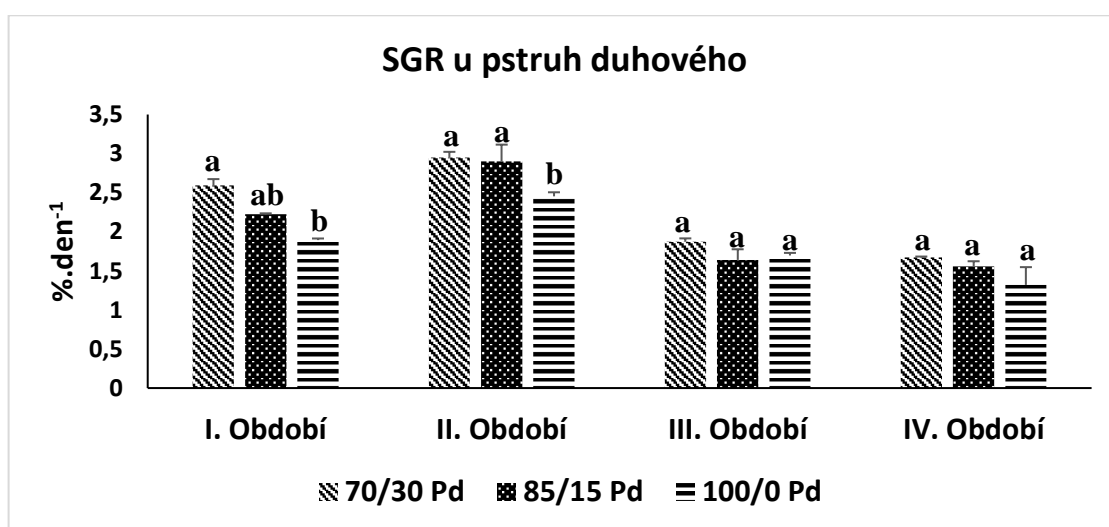
Zde byl potvrzen stejný rozdíl jako v přechozích biometrických údajích, tedy skupiny se pstruhem duhovým se mezi sebou na začátku experimentu statisticky nelišily, ale na konci experimentu se lišily všechny skupiny mezi sebou. Mezi skupinami mníků jednovousých nebyl statisticky významný rozdíl na začátku ani na konci experimentu. Skupina 70/30 Pd měla průměrný FK na konci experimentu 1,82; skupina 85/15 Pd 1,86 a skupina 100/0 Pd 1,68. To znamená, že pstruh duhový ve skupinách s mníkem jednovousým pravděpodobně profitoval na úkor mníků (Graf 6).



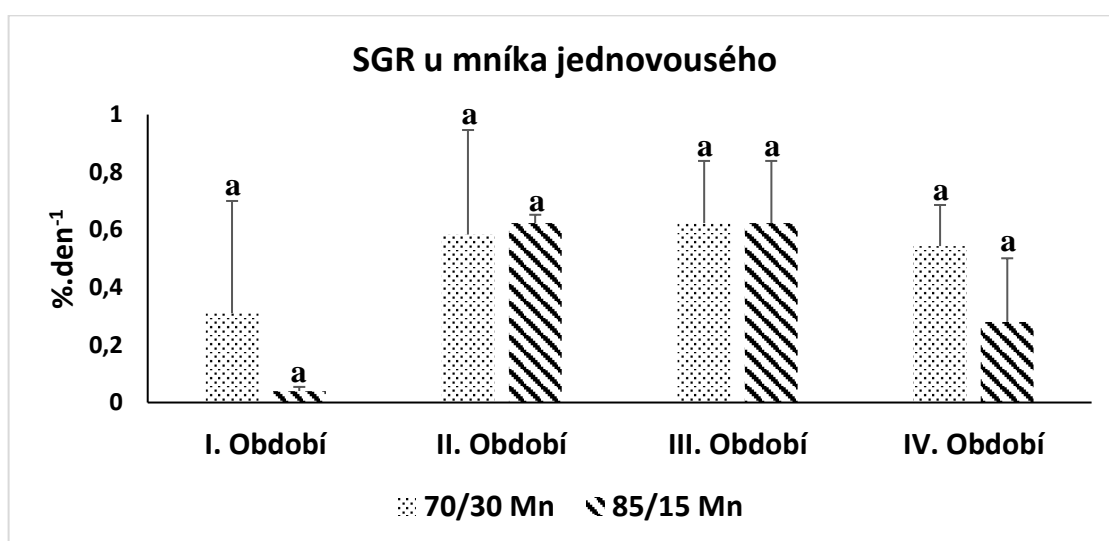
Graf 6: Fultonův koeficient v testovaných skupinách na začátku a na konci experimentu

4.1.6. Specifická rychlost růstu (SGR)

Nižší průměrné hodnoty SGR byly zaznamenávány u mníka jednovousého v porovnání se pstruhem duhovým. Z grafu 7 a 8 je také patrné, že v I. experimentálním období byl růst mníka jednovousého nejpomalejší, naopak nejrychlejší růst u pstruha duhového byl ve II. období. Statisticky významný rozdíl byl u pstruha duhového v I. období, kde se skupina 70/30 Pd statisticky lišila od skupiny 100/0 Pd, ale již ne od skupiny 85/15 Pd. Zároveň nebyl rozdíl mezi skupinami 85/15 x 100/0. Ve II. období byl rozdíl mezi skupinami 70/30 Pd x 100/0 Pd a 85/15 Pd x 100/0 Pd, ale již ne mezi skupinou 70/30 Pd x 85/15 Pd. U mníka jednovousého se skupiny 70/30 Mn x 85/15 Mn statisticky nelišily v žádném testovaném období.



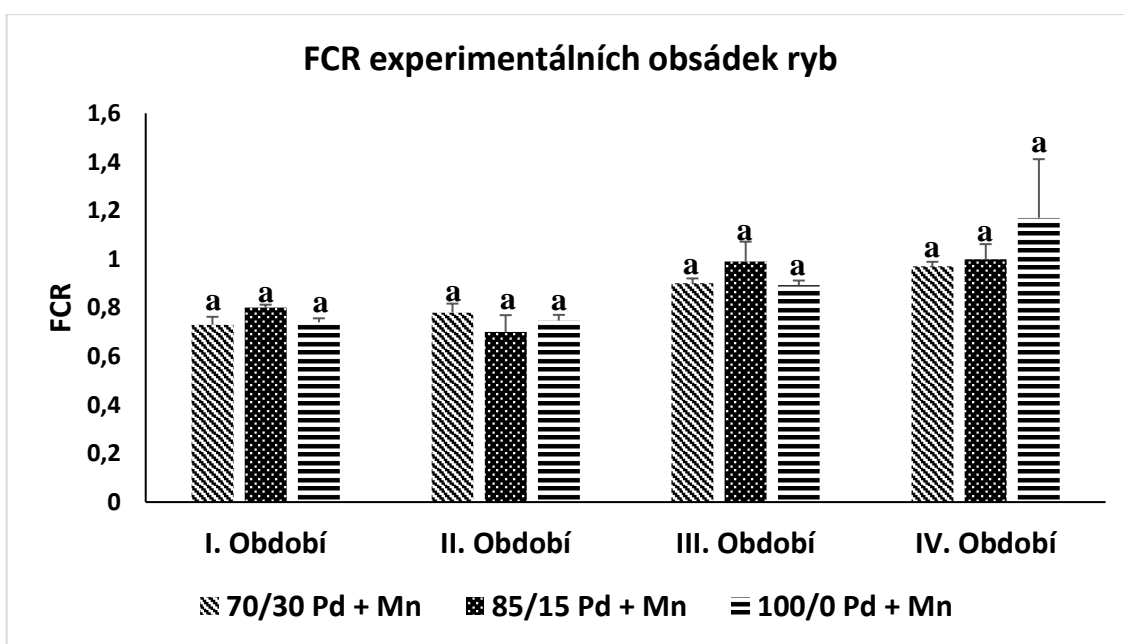
Graf 7: SGR pstruha duhového v jednotlivých experimentálních skupinách za jednotlivá období experimentu



Graf 8: SGR mníka jednovousého v jednotlivých experimentálních skupinách za jednotlivá období experimentu

4.1.7. Koeficient konverze krmiva (FCR)

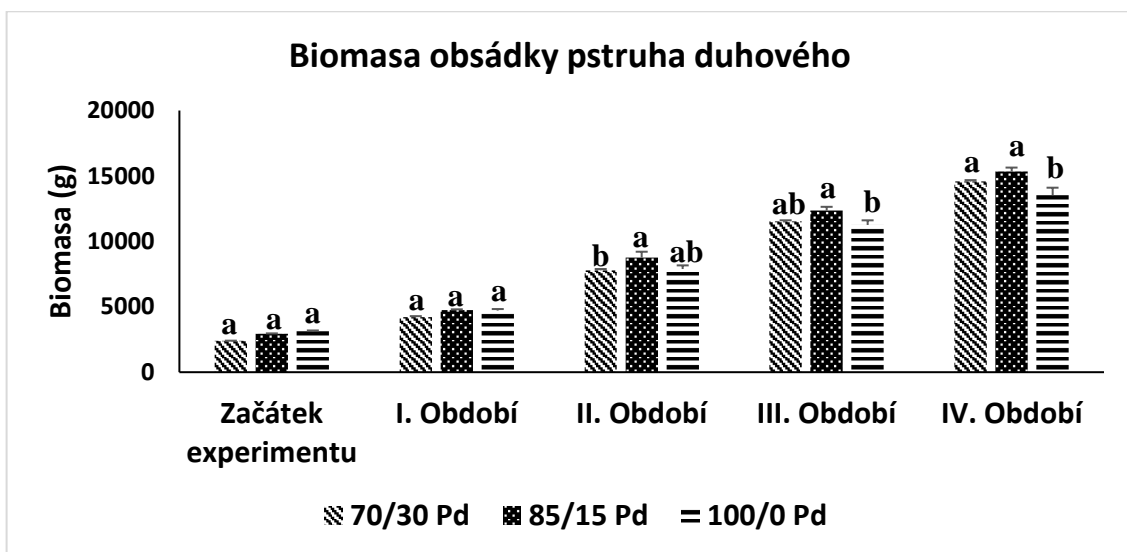
Nejnižší průměrná hodnota FCR experimentálních obsádek ryb byla zaznamenána ve II. období ve skupině 85/15 (0,7) a naopak nejvyšší hodnota byla ve IV. období ve skupině 100/0 (1,17). Mezi testovanými skupinami ale nebyl statisticky potvrzen žádný rozdíl v FCR v jednotlivých obdobích. Pouze zde byla tendence ke statistickému rozdílu mezi skupinami ve 4. období, kdy hodnota FCR byla ve skupině 70/30 - $0,97 \pm 0,02$; ve skupině 85/15 - $1,00 \pm 0,06$ a ve skupině 100/0 - $1,170 \pm 0,24$. Při porovnání skupin 70/30 x 100/0 byla průměrná hodnota FCR ve skupině 70/30 snížena o 0,2 (Graf 9).



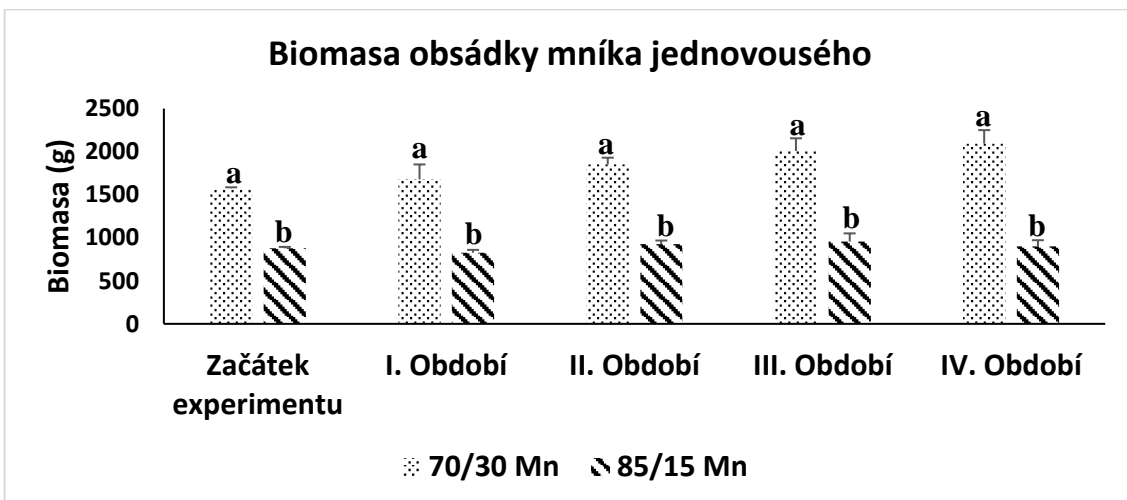
Graf 9: FCR v jednotlivých experimentálních skupinách za jednotlivá období experimentu

4.1.8. Biomasa ryb v průběhu experimentu

U pstruha duhového docházelo v průběhu experimentu k exponenciálnímu zvyšování biomasy, zatímco u mníků jednovousých se biomasa zvyšovala jen velmi pomalu. V potaz musíme brát i mortalitu ve skupinách s mníkem jednovousým, která výsledné hodnoty biomasy odchovávaných mníků výrazně snížila. Na počátku experimentu nebyl žádný statistický rozdíl mezi skupinami u pstruhů duhových, ale byl statistický rozdíl mezi skupinami na konci II., III. a IV. období. U mníka jednovouseho byl statistický rozdíl mezi skupinami 70/30 Mn x 85/15 Mn napříč všemi testovanými obdobími, což jen koreluje s procentuálním podílem mníků jednovousých ve skupinách, tedy 30 a 15 % (Graf 10 a 11).



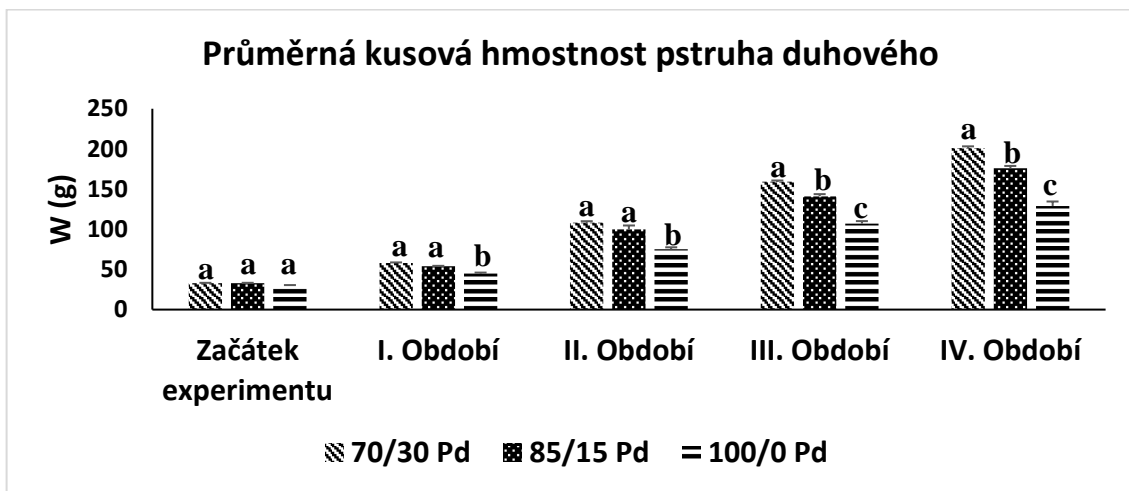
Graf 10: Biomasa obsádky pstruha duhového v experimentálních skupinách za jednotlivá období experimentu



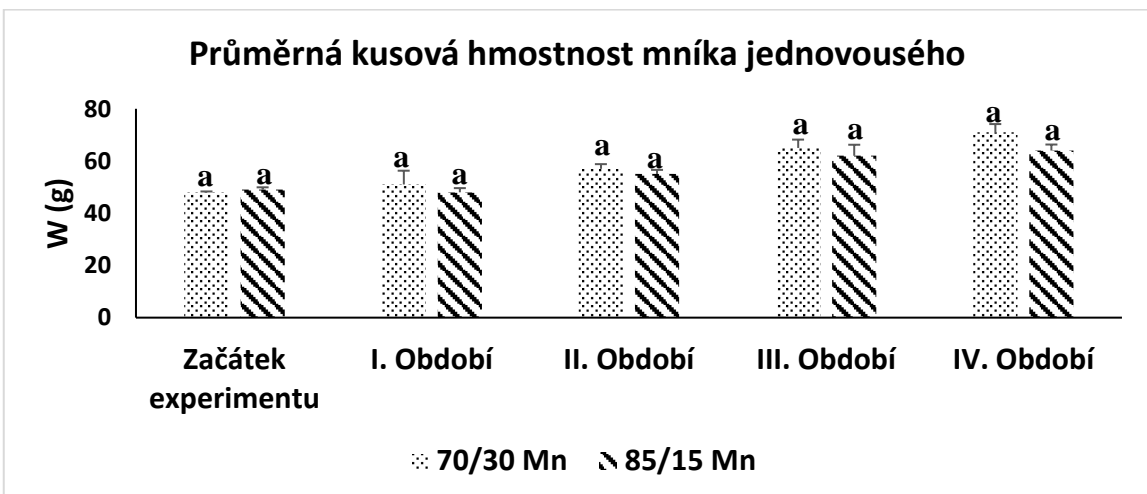
Graf 11: Biomasa obsádky mníka jednovouseho v experimentálních skupinách za jednotlivá období experimentu

4.1.9. Průměrná kusová hmotnost

Největší průměrná kusová hmotnost (201 g) byla zjištěna u pstruha duhového ve skupině 70/30 na konci IV. období. Z grafů je také viditelné, že pstruh duhový jednoznačně přerostl mníka jednovousého v průběhu experimentu. U pstruha duhového dle statistického vyhodnocení nebyl mezi skupinami na počátku experimentu žádný rozdíl. Postupně v následujících obdobích už byl u pstruha duhového zaznamenán statistický rozdíl mezi skupinami v 70/30 Pd x 100/0 Pd a 85/15 Pd x 100/0 Pd v průběhu všech testovaných období. Statistický rozdíl u průměrné kusové hmotnosti pstruha duhového mezi skupinami 70/30 Pd x 85/15 Pd byl pouze na konci III. a IV. období. U mníka jednovousého nebyl žádný statistický rozdíl u průměrné kusové hmotnosti ryb v průběhu všech období (Graf 12 a 13).



Graf 12: Průměrná kusová hmotnost pstruha duhového v experimentálních skupinách za jednotlivá období experimentu

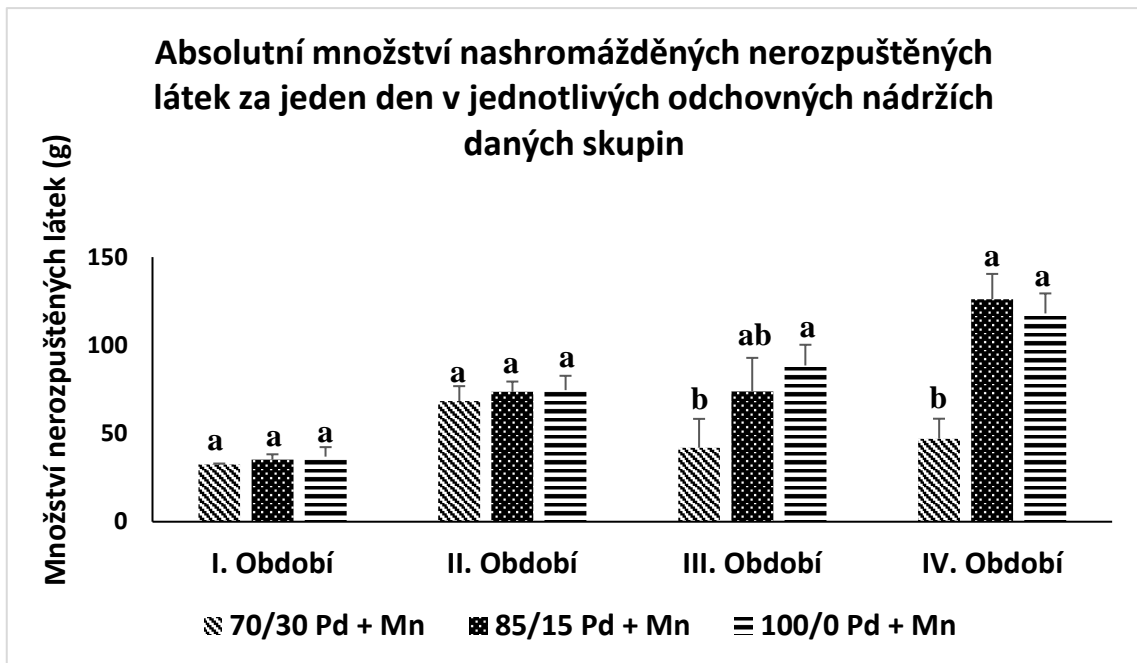


Graf 13: Průměrná kusová hmotnost mníka jednovousého v experimentálních skupinách za jednotlivá období experimentu

4.2. Množství nashromážděných nerozpuštěných látek

4.2.1. Absolutní množství nashromážděných nerozpuštěných látek za jeden den v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin

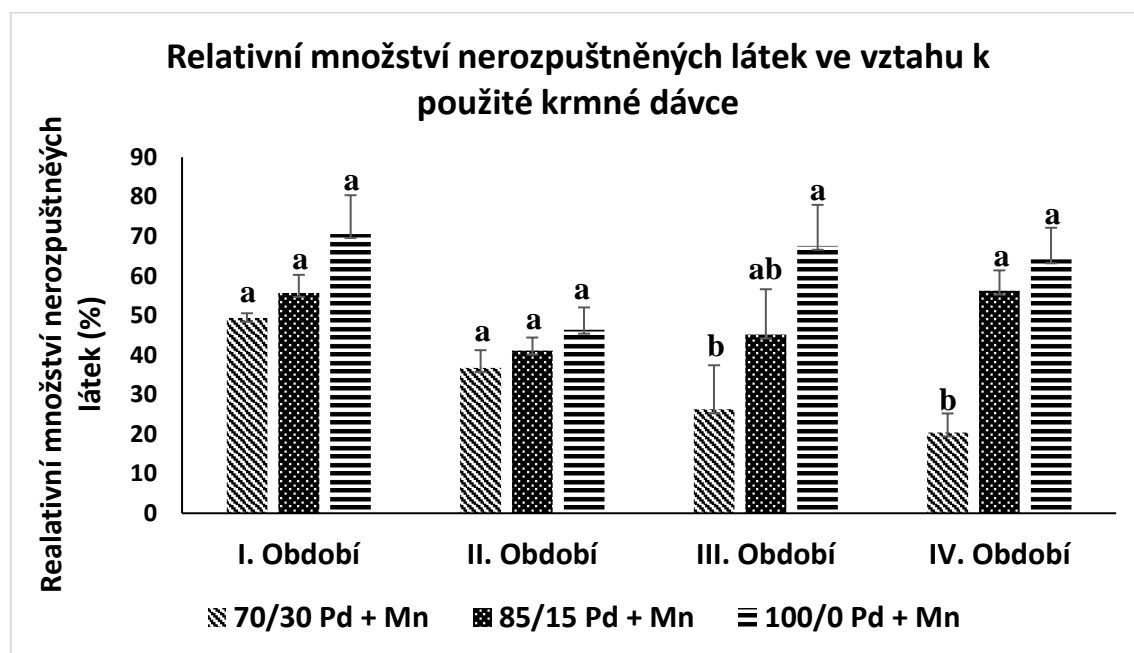
Z grafu 14 je vidět zvyšující se rozdílná tendence mezi experimentálními skupinami, zejména na konci III. a IV. období experimentu. Dle statistického vyhodnocení byl rozdíl na konci III. období mezi skupinami 70/30 x 100/0. Na konci IV. období byl pak rozdíl mezi skupinami 70/30 x 85/15 a 70/30 x 100/0.



Graf 14: Absolutní množství nashromážděných nerozpuštěných látek za jeden den v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin za jednotlivá období experimentu

4.2.2. Relativní množství nerozpuštěných látek ve vztahu k použité krmné dávce 24 hodin před jejich odběrem

Mezi skupinami 70/30 x 100/0 byl prokazatelný statistický rozdíl na konci III. období. Na konci dalšího IV. období se skupina 70/30 významně lišila od skupin 85/15 i 100/0 (Graf 15).

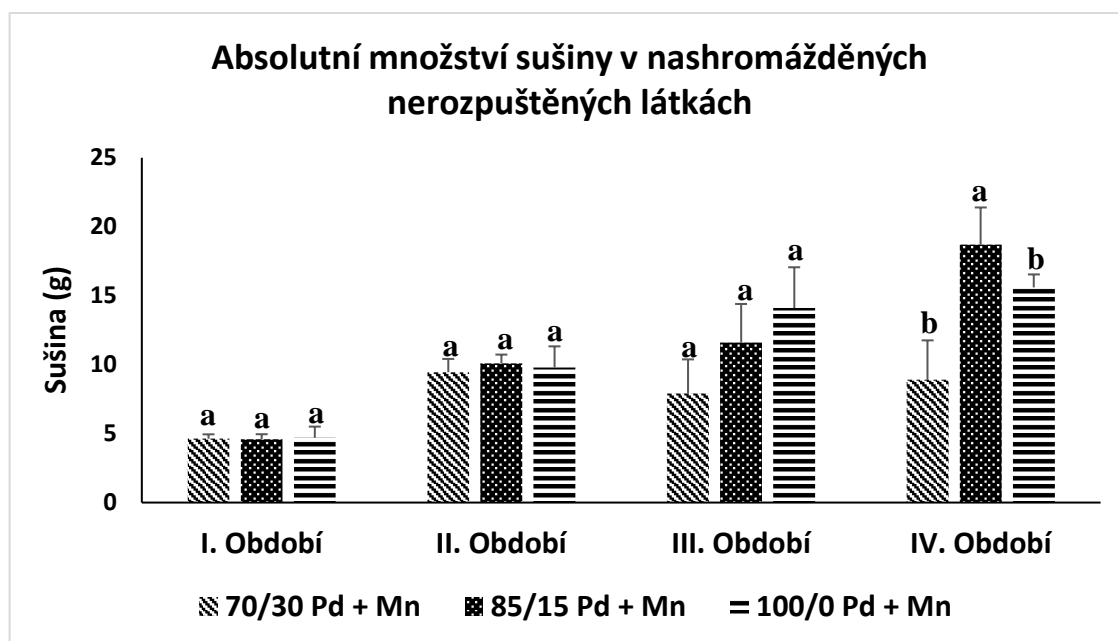


Graf 15: Relativní množství nerozpuštěných látek ve vztahu k použité krmné dávce za jeden den v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin za jednotlivá období experimentu

4.3. Analýza nerozpuštěných látek

4.3.1. Absolutní množství sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v gramech

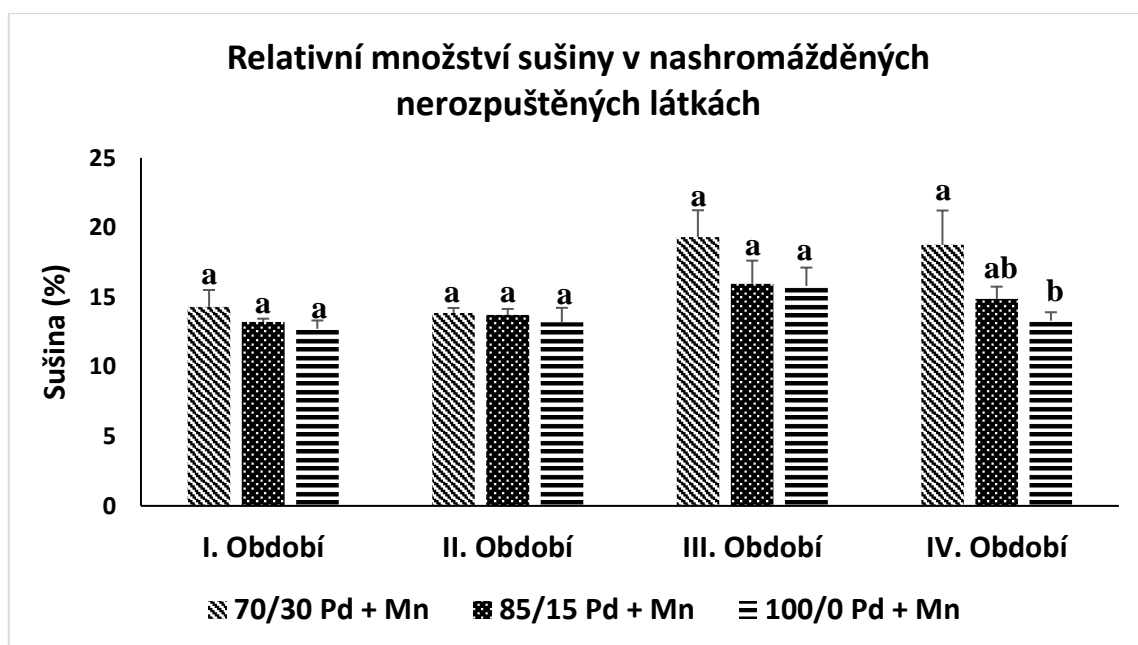
Sušina v nashromážděných látkách byla ve všech experimentálních skupinách podobná na konci I., II. a III. období experimentu. Na konci IV. období byl zjištěn statistický rozdíl mezi skupinou 70/30 (8,9 g) x 85/15 (18,7 g). Avšak nebyl prokázán statistický rozdíl mezi skupinou 70/30 x 100/0. Ovšem skupina 100/0 vykazovala v tomto období vyšší sušinu v množství odebraných nerozpuštěných látek oproti skupině 70/30. Tyto rozdíly přisuzují vlivu obsádky mníka jednovousého v nádržích, která pravděpodobně využívala zbytky krmiv či výkalů produkovaných pstruhy duhovými (Graf 16).



Graf 16: Absolutní množství sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin za jednotlivá období experimentu

4.3.2. Relativní množství sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v procentech

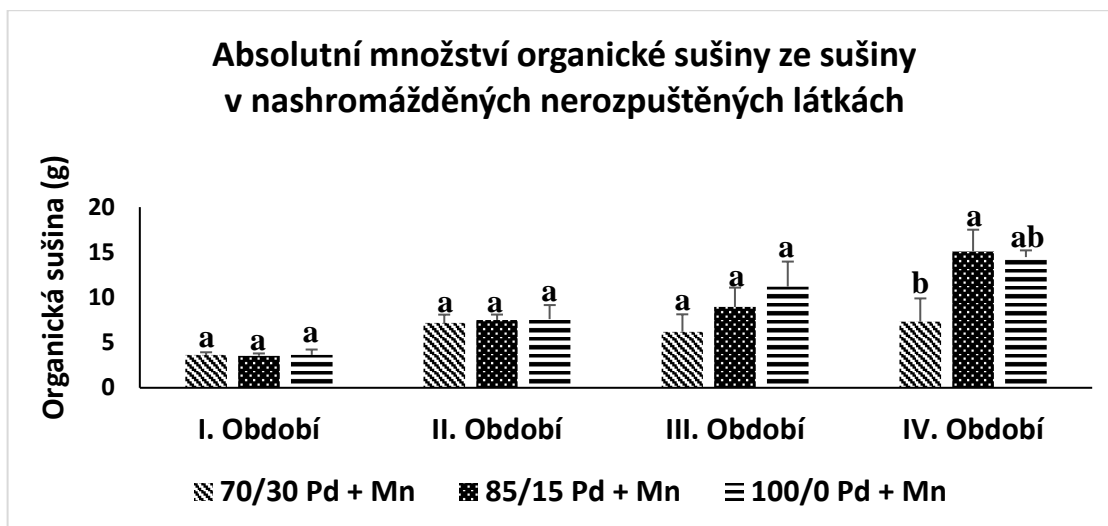
U relativního množství sušiny je vidět opačný trend než u absolutního množství sušiny (Graf 16). Byl zde významný rozdíl na konci IV. období mezi skupinami 70/30 a 100/0. V tomto období měla nejvyšší hodnotu skupina 70/30, a naopak v předchozím grafu 16 tato hodnota byla nejnižší, což bylo nejspíše způsobeno přítomností mníka jednovousého, který zahušťoval nespotřebovaná krmiva a výkaly po pstruzích duhových v daných nádržích (Graf 17).



Graf 17: Relativní množství sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin za jednotlivá období experimentu

4.3.3. Absolutní množství organické sušiny ze sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v gramech

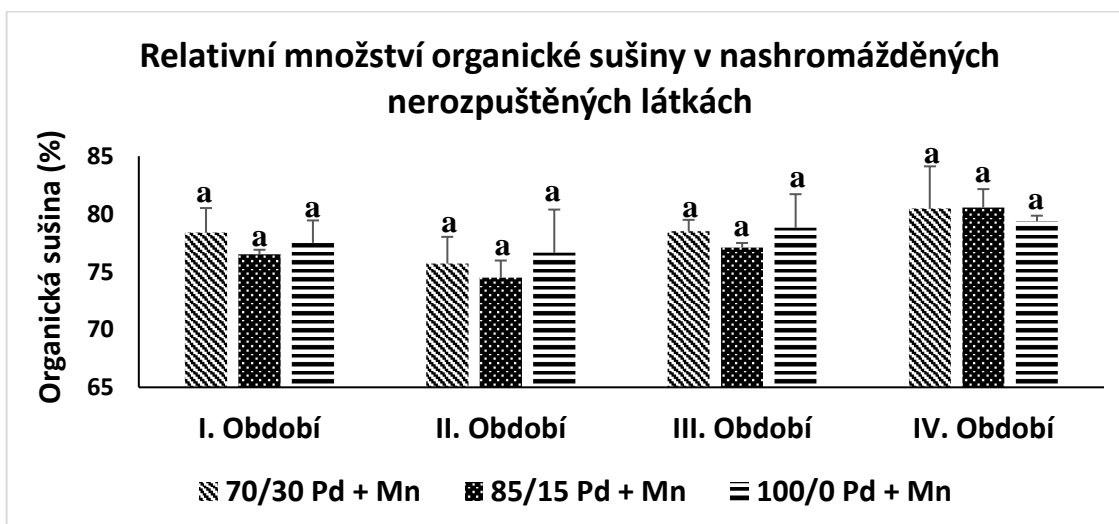
Podobný trend jako u absolutního množství sušiny byl viděn u absolutního množství organické sušiny, kde se statisticky významně lišily skupiny 70/30 a 85/15 ve IV. období. Zároveň ale nebyl viděn rozdíl mezi skupinami 70/30 x 100/0 a 85/15 x 100/0 (Graf 18).



Graf 18: Absolutní množství sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin za jednotlivá období experimentu

4.3.4. Relativní množství organické sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v procentech

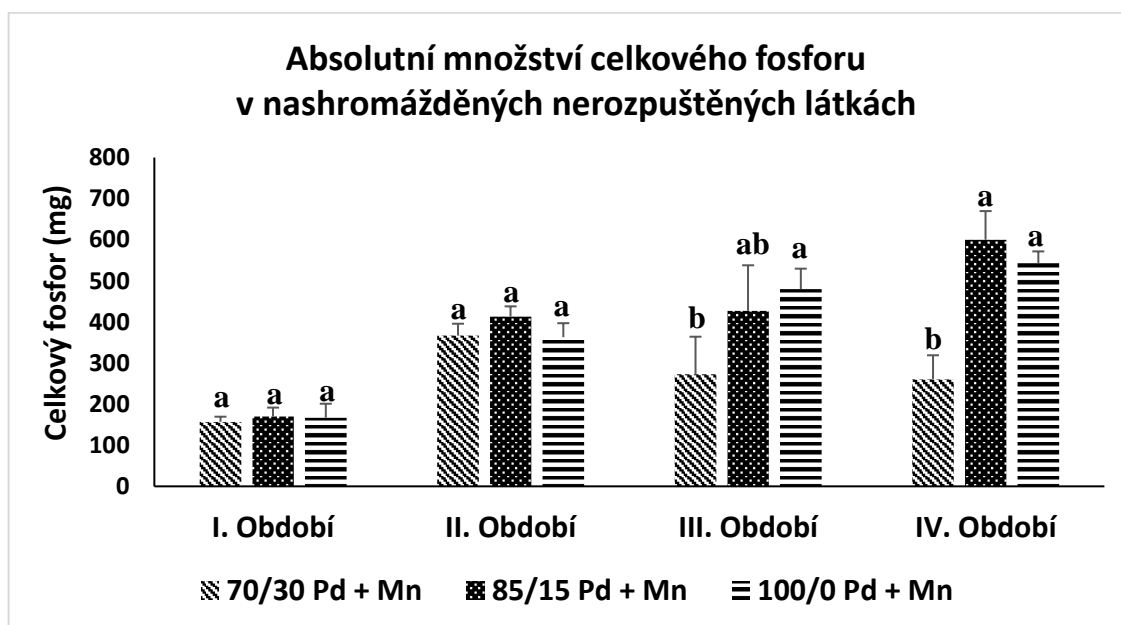
U relativního množství organické sušiny (Graf 19) nebyl žádný významný rozdíl mezi skupinami, ale byl opět viditelný opačný trend, než u předchozího grafu 18 a to především na konci III. a IV. období experimentu.



Graf 19: Relativní množství sušiny v nashromážděných nerozpuštěných látkách v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin za jednotlivá období experimentu

4.3.5. Absolutní množství celkového fosforu v nashromážděných nerozpuštěných látkách v miligramech

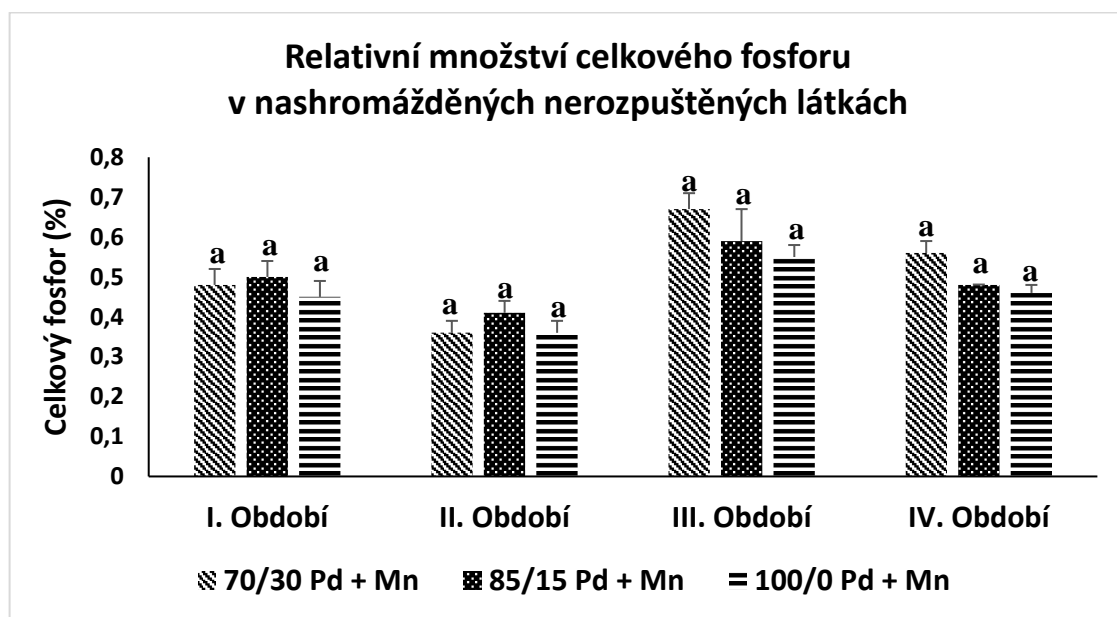
Statisticky významné rozdíly v množství celkového fosforu v nashromážděných nerozpuštěných látkách byly mezi skupinami až od konce III. období. Na konci III. období bylo nejnižší množství celkového fosforu v nashromážděných nerozpuštěných látkách statisticky průkazně zaznamenáno u skupiny 70/30 (273 mg) oproti skupině 100/0 (480 mg), která naopak vykazovala nejvyšší množství celkového fosforu v nerozpuštěných látkách. Podobně tomu bylo i na konci IV. období, kdy bylo zaznamenáno statisticky nejnižší množství celkového fosforu v nerozpuštěných látkách ve skupině 70/30 (260 mg) a nejvyšší ve skupině 85/15 (600 mg), která se statisticky nelišila od skupiny 100/0 (543 mg; Graf 20).



Graf 20: Absolutní množství celkového fosforu v nashromážděných nerozpuštěných látkách v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin za jednotlivá období experimentu

4.3.6. Relativní množství celkového fosforu v nashromážděných nerozpuštěných látkách v procentech

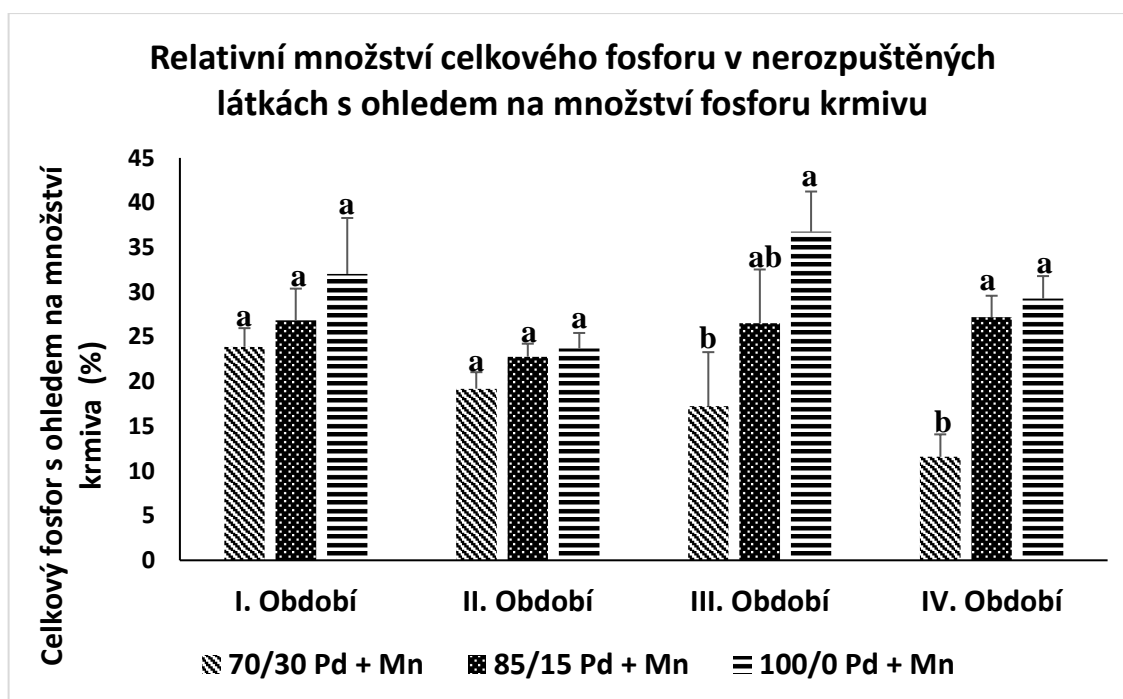
U relativního množství celkového fosforu (Graf 21) nebyl sledován žádný statisticky významný rozdíl, ale byl zde opačný trend než v grafu 20, zejména na konci III. a IV. období experimentu.



Graf 21: Relativní množství celkového fosforu v nashromážděných nerozpuštěných látkách v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin za jednotlivá období experimentu

4.3.7. Relativní množství celkového fosforu v nerozpuštěných látkách s ohledem na množství použitého fosforu v předloženém krmivu za 24 hodin před odběrem nerozpuštěných látek

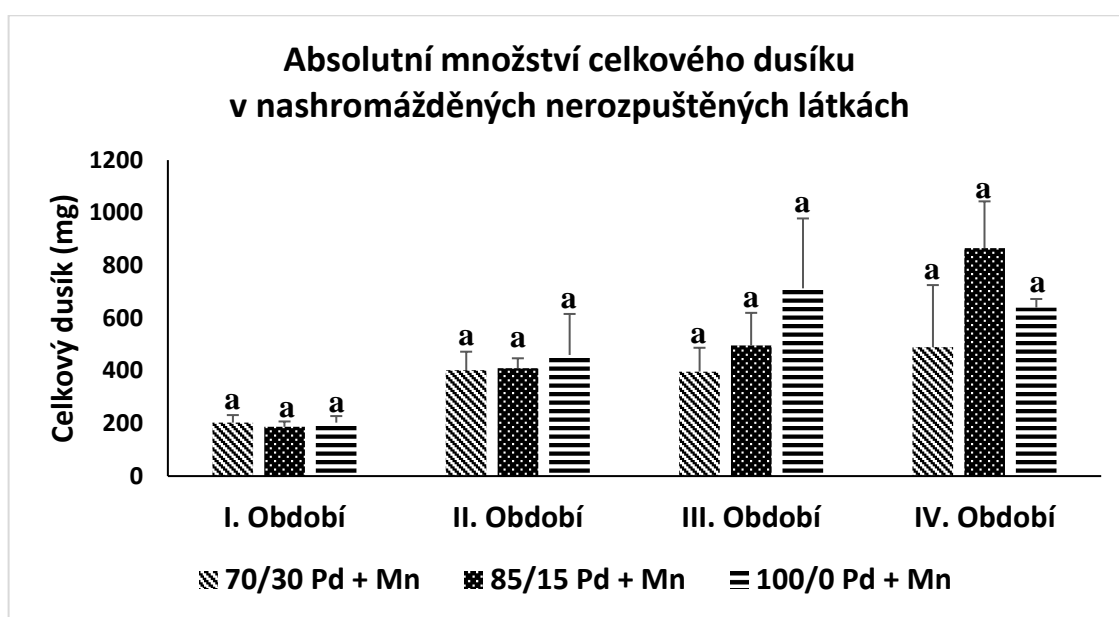
Ve všech obdobích je viditelný exponenciální trend směrem od skupiny 70/30 ke skupině 100/0. Statický rozdíl byl na konci III. a IV. období, kde se v obou případech lišila skupina 70/30 od skupiny 100/0. Za základě tohoto grafu je zřejmá lepší retence živin, konkrétně fosforu ve skupině 70/30 na konci III. a IV. období experimentu (Graf 22).



Graf 22: Relativní množství celkového fosforu v nerozpuštěných látkách s ohledem na množství krmiva za jeden den v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin za jednotlivá období experimentu

4.3.8. Absolutní množství celkového dusíku v nashromážděných nerozpuštěných látkách v miligramech

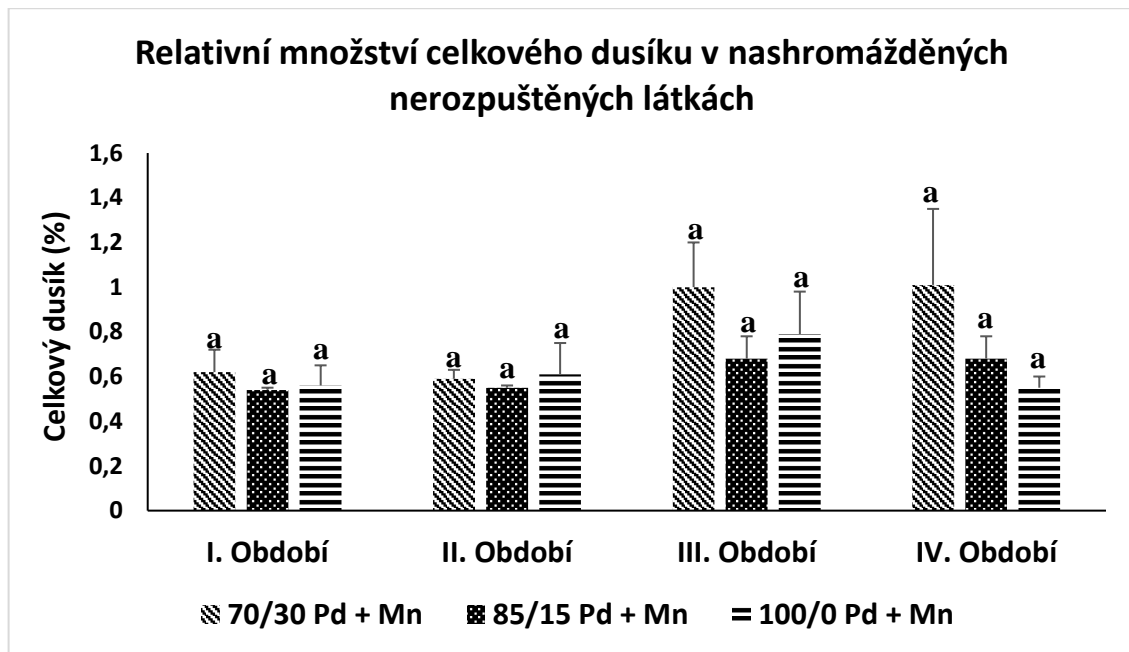
Jak je vidět z grafu, tak množství dusíku v nashromážděných nerozpuštěných látkách mělo v průběhu experimentu stoupající tendenci. Statisticky průkazné rozdíly mezi skupinami nebyly zaznamenány v průběhu celého experimentu. Větší, ale statisticky neprůkazné, rozdíly mezi skupinami byly sledovány v pozdějších obdobích (konec III. a IV. období) experimentu, kdy měla skupina 70/30 pokaždé nižší množství celkového dusíku v miligramech v nashromážděných nerozpuštěných látkách, konkrétně to bylo 397 mg na konci III. období a 490 mg na konci IV. experimentu (Graf 23).



Graf 23: Absolutní množství celkového dusíku v nashromážděných nerozpuštěných látkách v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin za jednotlivá období experimentu

4.3.9. Relativní množství celkového dusíku v nashromážděných nerozpuštěných látkách v procentech

Zde můžeme vidět opačný trend než u předchozího grafu 23. Opět bez statistických rozdílů (Graf 24).



Graf 24: Relativní množství celkového dusíku v nashromážděných nerozpuštěných látkách v jednotlivých odchovných nádržích daných skupin za jednotlivá období experimentu

4.4. Indexy, biochemie a oxidativní stres u odchovávaných mníků jednovousých

4.4.1. Index perviscerálního tuku, hematosomatický a spleenosomatický index

Index perviscerálního tuku nebyl nakonec počítán, jelikož u odchovávaných mníků jednovousých nebyl nalezen žádný viscerální tuk. Lze tedy konstatovat, že tento index byl roven nule. U hematosomatického indexu mníka jednovouseho nebyl potvrzen žádný významný statistický rozdíl, mezi skupinami 70/30 Mn ($7,13 \pm 1,82$) a 85/15 Mn ($6,12 \pm 2,42$; Tab. 1). Naopak tomu bylo u spleenosomatického indexu, kde byl mezi těmito skupinami prokázán statisticky významný rozdíl (Tab. 1).

Skupina/parametr	70/30 Mn	85/15 Mn	p - value
Hemato. index (%)	$7,13 \pm 1,82$	$6,12 \pm 2,42$	0,289
Spleen. Index (%)	$0,13 \pm 0,03$	$0,093 \pm 0,06$	0,025

Tab. 1: Hodnoty hematosomatického a spleenosomatického indexu u jednotlivých skupin mníka jednovouseho

4.4.2. Biochemie

U biochemické analýzy krve byl zaznamenán významný rozdíl mezi testovanými skupinami mníka jednovouseho pouze u hodnoty množství fosforu (PHOS) v krevní plazmě. U zbylých parametrů nebyl sledován žádný statistický rozdíl (Tab. 2).

Skupina/parametr	70/30 Mn	85/15 Mn	p - value
TP g/l	$35,33 \pm 1,60$	$38,83 \pm 4,71$	> 0,05
ALB g/l	$7,83 \pm 1,34$	$8,17 \pm 1,46$	> 0,05
GLOB g/l	$27,67 \pm 1,25$	$30,67 \pm 3,35$	> 0,05
ALP μ kat/l	$0,06 \pm 0,01$	$0,008 \pm 0,05$	> 0,05
ALT μ kat/l	$0,17 \pm 0,12$	$0,31 \pm 0,14$	> 0,05
AST μ kat/l	$2,03 \pm 1,26$	$1,90 \pm 1,65$	> 0,05
Ca mmol/l	$2,20 \pm 0,25$	$2,50 \pm 0,26$	> 0,05
PHOS mmol/l	$3,05 \pm 0,30$	$2,55 \pm 0,23$	0,015
GLU mmol/l	$2,09 \pm 0,71$	$1,34 \pm 0,86$	> 0,05
NH3 μ mol/l	$853,83 \pm 97,04$	$735,67 \pm 164,49$	> 0,05
Mg mmol/l	$0,95 \pm 0,10$	$1,18 \pm 0,25$	> 0,05
TRIG mmol/l	$1,13 \pm 0,15$	$1,12 \pm 0,21$	> 0,05

CK μkat/l	16,13 \pm 0,69	11,35 \pm 4,93	> 0,05
LDH μkat/l	17,00 \pm 2,17	18,61 \pm 1,44	> 0,05
LAC mmol/l	2,77 \pm 1,46	2,84 \pm 0,59	> 0,05
CREA μmol/l	17,00 \pm 8,02	7,83 \pm 4,63	> 0,05

Tab. 2: Výsledky biochemické analýzy krevní plazmy u jednotlivých skupin mníka jednovousého

4.4.3. Oxidativní stres

Při stanovení oxidativního stresu a množství antioxidantních enzymů byly zjištěny statistické rozdíly mezi skupinami mníka jednovousého pouze u střeva, a to konkrétně u hodnot GSH a TBARS (Tab. 3). Oba vyšší ukazatelé byli zjištěni u skupiny 70/30. U této skupiny pravděpodobně docházelo k horšímu příjmu krmiva mníky jednovousými než u skupiny 85/15 a z tohoto důvodu mníci trpěli vyšším oxidativním stresem, který byl prokázán právě u střevní tkáně. U ostatních hodnot nebyl potvrzen žádný rozdíl mezi skupinami mníka jednovousého na základě statistické analýzy.

SOD (nmol NBT/min/mg protein)			
<i>Skupina/parametr</i>	70/30 Mn	85/15 Mn	p - value
Játra	0,673 \pm 0,045	0,703 \pm 0,162	0,692
Žábra	0,145 \pm 0,046	0,244 \pm 0,130	0,137
Střevo	0,505 \pm 0,098	0,523 \pm 0,090	0,773
CAT (μmol H₂O₂/min/mg protein)			
<i>Skupina/parametr</i>	70/30 Mn	85/15 Mn	p - value
Játra	0,757 \pm 0,125	0,861 \pm 0,223	0,386
Žábra	0,426 \pm 0,060	0,538 \pm 0,111	0,076
Střevo	0,325 \pm 0,112	0,276 \pm 0,080	0,443
GST (nmol/min/mg protein)			
<i>Skupina/parametr</i>	70/30 Mn	85/15 Mn	p - value
Játra	4,455 \pm 0,683	4,040 \pm 0,956	0,449
Žábra	5,401 \pm 0,702	6,001 \pm 1,529	0,630
Střevo	1,716 \pm 0,612	1,415 \pm 0,376	0,370
GSH (nmol GSH /mg protein)			

<i>Skupina/parametr</i>	70/30 Mn	85/15 Mn	p - value
Játra	23,878±3,902	25,042±3,909	0,648
Žábra	10,954±0,800	11,215±1,337	0,716
Střevo	19,404±5,579	12,551±2,701	0,033
TBARS (nmol/mg protein)			
<i>Skupina/parametr</i>	70/30 Mn	85/15 Mn	p - value
Játra	0,536±0,164	0,426±0,114	0,246
Žábra	0,265±0,020	0,274±0,026	0,532
Střevo	0,304±0,064	0,237±0,022	0,048

Tab. 3: Výsledky oxidativního stresu u jednotlivých skupin mníka jednovousého

5. Diskuze

Výraz polokulturní chov či obsádka ryb je definován jakožto chov dvou a více různých druhů ryb v jednom rybníku, nebo v jiném akvakulturním systému (Chopin, 2006). Cílem polykulturního chovu je zvyšovat celkovou produkci skrze různé druhy, které mají rozdílné potravní či prostorové nároky na prostředí (New a kol., 2009). V recirkulačních akvakulturních systémech ale polykulturní chovy nejsou příliš běžné. Z hlediska prostorových nároků bylo v průběhu realizovaného experimentu této diplomové práce pozorováno, že pstruh duhový se zdržoval zejména ve vodním sloupci, odkud přijímal i krmivo, zatímco mník jednovousý se zdržoval pouze u dna nádrže. Tento fakt jen potvrdil rozdílné biologické požadavky obou druhů na životní niku. Bylo potvrzeno, že pstruh duhový je typickým obyvatelem vodního sloupce, zatímco mník jednovousý patří mezi bentické druhy ryb (Baruš a Oliva, 1995).

Pohybová aktivita u obou druhů byla v průběhu dne rozdílná. Při světelné periodě byla zvýšená pohybová frekvence zaznamenána u pstruha duhového, a naopak jedinci mníka jednovousého byli velmi pohybově pasivní a zdržovali se pouze u dna na odtokové mřížce z nádrže. Jinak tomu bylo v průběhu noci, kdy pstruzi duhová výrazně omezili pohyb, ale mníci jednovousí začali velmi aktivně vyhledávat potravu na dně celé nádrže. Důvodem může být především intenzita světla, která byla při světelné fázi v průměru 150 luxů. Pro pstruha duhového je optimální intenzita světla 100–250 luxů.m⁻², ale u mníka jednovousého je doporučována intenzita světla jen na úrovni 20–75 luxů.m⁻² (Policar a kol., 2018).

Výsledky ukazují, že přežití ryb v průběhu experimentu bylo výrazně nižší u mníka jednovousého než u pstruha duhového. Důvodů může být hned několik, na prvním místě se jedná o rozdílnou domestikaci u těchto zmíněných druhů a tím tedy i adaptace na intenzivní chov. Definicí domestikace je postupná adaptace organismů k podmínkám, které jsou nastaveny lidským zásahem a dochází u nich k reprodukci v kontrolovaných podmínkách, následně ke šlechtění a genetické modifikaci daného druhu (Flajšhans a kol. 2013). Pstruh duhový patří mezi nejvíce domestikovaný akvakulturní druh, naopak mník jednovousý není prozatím domestikován vůbec (Bilio, 2007). Dalším důvodem vyšší mortality mníků jednovousých po dobu odchovu mohla být kvalita a množství přijímané potravy, jelikož pstruh duhový se téměř pokaždé dostal ihned k předkládanému krmivu, naopak mník jednovousý byl často nucen konzumovat nespoteřebované krmivo, popřípadě výkaly pstruhů duhových na dně nádrže. Tento fakt mohl mít negativní dopad na trávení

potravy ve střevě a celkový stav střevní tkáně. To byl prokázáno skrze kontroly uhynulých mníků jednovousých, u kterých byl často diagnostikován částečný zánět střev veterinářkou MVDr. Jitkou Kolářovou. Současně bylo prokázáno, že mníci jednovouší ze skupiny 70/30 trpěli vyšším oxidativním stresem, který byl právě vázán na střevní tkáň. Pravděpodobně u této skupiny, kdy bylo v nádržích chováno větší množství mníků jednovousých, docházelo k vyššímu strádání chovaných mníků, než tomu bylo u skupiny 85/15, kde bylo chováno méně mníků jednovousých, kteří se dostali lépe ke krmivu či zbytkům krmiva.

Specifická rychlost růstu (SGR) byla signifikantně rozdílná mezi testovanými skupinami pstruha duhového v první polovině experimentu. Obecně se zároveň s postupným růstem ryb snižuje i rychlost růstu (Rasmussen a Ostenfeld, 2000), což je vidět i na datech z našeho experimentu. V I. a II. období experimentu byly hodnoty SGR vyšší než ve III. a IV. období. U mníka jednovouseho žádné rozdíly mezi skupinami nebyly, ale hodnoty SGR byly velmi odlišné mezi pstruhem duhovým a mníkem jednovousým. Příčinou byla nejspíše velká agresivita pstruha duhového na předkládané krmivo, které nemělo často možnost propadnout až na dno nádrže, kde by se ke krmení dostal následně i mník jednovousý. V potaz by se také měla brát průměrná teplota vody, která v našem experimentu byla téměř 18°C. Tato teplota vody je ideálnější pro pstruha duhového, zatímco pro růst mníka jednovouseho je vhodnější teplota vody kolem 15 °C (Policar a Svačina, 2014).

Teorií a předpokladem využití této bikulturní obsádky bylo zlepšení využití živin a snížení tak koeficientu konverze krmiva (FCR) v daném chovu. Mezi testovanými obdobími nebyly sice prokazatelné statistické rozdíly, ale ve 4. období došlo k výraznému snížení hodnoty FCR ve skupině 70/30 o hodnotu 0,2 v porovnání se skupinou 100/0, kde nebyl přítomen žádný mník jednovousý. I když zde nebyl signifikantní rozdíl, tak snížení FCR o 0,2 lze považovat za velmi dobrý výsledek s ohledem na rentabilitu potencionálního akvakulturního systému. Podobné výsledky byly publikovány ve zprávě z pilotního projektu od Policara a Svačiny (2014), kde testovali také využití bikulturní obsádky pstruha duhového a mníka jednovouseho v RAS dánského typu. Zde došlo ke snížení FCR ve skupinách s přítomností mníka jednovouseho v porovnání se skupinou, kde nebyl přítomen mník jednovousý, o hodnotu 0,0275. V tomto experimentu ale procentuální podíl mníků jednovousých tvořil jen cca 7,5 %, zatímco v našem experimentu to bylo 15 a 30 %. Rozdíl byl také v množství krmné dávky, jelikož v našem experimentu byla denní krmná dávka kalkulována pro obsádku celé nádrže (tedy mníka

jednovousého a pstruha duhového dohromady), zatímco v RAS dánského typu docházelo ke krmení skrze mechanická automatická krmítka a krmilo se *ad libitum*. Při tomto typu krmení i s ohledem na biologii obou druhů, začátek krmení nejspíše inicioval pouze pstruh duhový, zatímco mník jednovousý se k automatickým krmítkům vůbec nedostal. Tento jev můžeme ale pouze předpokládat na základě pozorování chování obou druhů ryb v realizovaném experimentu této diplomové práce.

V případě porovnání biomasy mezi pstruhem duhovým a mníkem jednovousým je viditelný výrazný exponenciální růst za jednotlivá období u pstruha duhového, ale u mníka jednovousého nikoliv. Velmi podobné výsledky jsou také u průměrných kusových hmotností, kde byl mezi skupinami u pstruha duhového signifikantní rozdíl. Největší kusová hmotnost u pstruha duhového ve skupině 70/30 a naopak nejnižší ve skupině 100/0 jen poukazuje na poměrně velkou agresivitu na předkládané krmivo u tohoto druhu. Hlavním důvodem výsledného rozrůstání pstruha duhového mezi skupinami 70/30, 85/15 a 100/0 bylo, že denní krmná dávka kalkulovaná pro obsádku mníka jednovousého byla konzumována právě přítomnými jedinci pstruha duhového, kteří potom v takovýchto skupinách přijímali krmivo a rostli na úkor mníka jednovousého.

Stejný trend byl viděn u celkové délky (TL), standardní délky (SL), hmotnosti (W) a Fultonova koeficientu (FK). U pstruha duhového ani u mníka jednovousého nebyl na začátku experimentu žádný signifikantní rozdíl mezi skupinami, ale na konci experimentu se u pstruha duhového již lišily všechny skupiny mezi sebou. Nejvyšší hodnoty TL, SL a W u pstruha duhového ve skupině 70/30 jen opět potvrdily agresivitu na předkládané krmivo. Fultonův koeficient je široce využíván v oblasti akvakultury, kde vyšší hodnoty FK ukazují na lepší výživný stav ryb a tím pádem i na lepší potenciální výtěžnost rybí svaloviny (Morton a Routledge, 2006). Signifikantně vyšší hodnoty FK byly u pstruha duhového zaznamenány na konci experimentu ve skupinách 70/30 a 85/15 v porovnání se skupinou 100/0. Což opět potvrzuje závěr, že pstruh duhový využíval předkládané krmivo na úkor mníka jednovousého ve skupinách 70/30 a 85/15.

Velmi podstatnou částí popisovaného experimentu v rámci této diplomové práce bylo také sledování množství nerozpuštěných látek, které jsou produkovány a následně odcházejí z odchovných nádrží, kde se chovají ryby. Bohužel neexistují žádné studie, které by porovnávaly využití bikulturní obsádky jakožto možnost snížení vypouštění nerozpuštěných látek z akvakulturních systémů. Bylo ale publikováno velké množství odborných článků, které popisují, že zejména z akvakulturních průtočných systémů odchází do říčních recipientů poměrně velké množství nerozpuštěných látek. Možností,

jak snížit množství těchto látek je skrze úpravu managementu krmení a zlepšení kvality předkládaných krmiv. V posledních letech byly také velmi aktivně instalovány mechanické filtry na odtocích z průtočných systémů, které výrazně pomohly minimalizovat tento problém (Cripps a Bergheim, 2000). Jestliže ale dochází k odstranění nerozpuštěných látek skrze mechanickou filtraci, tak chovatel přichází o velmi cenné živiny, které jsou z velké části tvořeny nespotřebovanými krmivem, nebo nestrávenými živinami z předkládaných krmiv (Pillay, 2008). V případě, že samočisticí funkce nádrže nefunguje tak jak má a nerozpuštěné látky neodcházejí kontinuálně z odchovných nádrží, tak zde dochází k jejich hromadění, což může způsobovat zhoršení kvality vody v nádržích potažmo v systému a následně zvýšení hladiny stresu a zhoršení zdravotního stavu u chovaných ryb (Rosenthal a kol., 1982). Velmi často dochází k fyziologickým problémům na žaberním aparátu a následnému omezení dýchací funkce s postupným propuknutím potencionálních bakteriálních infekcí (Liltved a Cripps, 1999) a také ke zvýšení potřeby vyšších koncentrací rozpuštěného kyslíku ve vodě (Shahidi a Naczka, 1992).

V popisovaném experimentu bylo zjištěno, že díky kombinaci chovu pstruha duhového a mníka jednovousého (především s vyšším 30% zastoupením mníka v obsádce) se podařilo signifikantně snížit absolutní množství nerozpuštěných látek odcházejících z nádrží, oproti skupině, kde nebyl přítomen žádný mník jednovousý, a to především na konci III. a IV. testovaného období daného experimentu. Mělo by být také zmíněno, že ve skupinách s mníkem jednovousým (70/30, 85/15) bylo krmivo signifikantně větší množství krmení než ve skupinách, kde byl pouze pstruh duhový (100/0). Velmi výrazný trend je také viděn u relativního množství nerozpuštěných látek ve vztahu k použité krmné dávce. Z těchto dat můžeme konstatovat, že mník jednovousý ve skupině 70/30 velmi výrazně eliminoval množství nerozpuštěných látek, potažmo nespotřebovaných krmiv a exkrementů pocházejících od pstruhů duhových. Jak uvádí i Miller a Semmens (2002), tak při správném managementu chovu ryb je zhruba 30 % hmotnosti krmení vyloučeno rybami v podobě pevných látek. Pod tuto hodnotu jsme se dostali právě ve skupině 70/30 na konci III a IV. období.

V RAS je často problematické odhadnout ideální množství krmení v rámci krmné dávky v jednotlivých nádržích. Z hlediska maximální produkce je proto zapotřebí udržovat co možná nejvyšší denní krmnou dávku, ale zároveň nesmí být zhoršována kvalita vody v systému. Ve velkokapacitních RAS je tak obtížné monitorovat množství nespotřebovaných krmiv, hlavně v případě použití automatických krmítek. Je možné

využít například sondy, které detekují nespotřebované krmivo na dně nádrže a automaticky tak dochází k ukončení krmného procesu v případě identifikace nespotřebovaného krmiva. Také při krmení ryb velmi záleží na přítomném personálu a jeho zkušenostech. Samozřejmostí by mělo být i využití samočistící funkce nádrží a automatické odkalování (Cripps a Bergheim, 2000), v rámci udržování vysoké zoohygieny v odchovném systému. I z tohoto hlediska vypadá využití bikulturní obsádky pstruha duhového s mníkem jednovousým velmi perspektivně a efektivně, jelikož chovatel může využít maximální odchovné kapacity systému a nemusí se obávat nespotřebovaných krmiv na dně nádrže. Další alternativou může být také využití plovoucích krmiv při intenzivním chovu ryb, kterých se v poslední době stále častěji využívá oproti typickým potápivým typům krmení (Miller a Semmens, 2002).

Na základě chemické analýzy nashromážděných nerozpuštěných látek z realizovaného experimentu v rámci této diplomové práce byly mezi skupinami potvrzené signifikantní rozdíly, a to zejména na konci IV. období. Absolutní hmotnost sušiny byla v porovnání s ostatními experimentálními skupinami nejnižší ve skupině 70/30, což jen koreluje s celkovým množstvím nashromážděných nerozpuštěných látek, které byly analyzovány. Opačný trend je viděn u relativního množství sušiny, kde byl naopak ve skupině 70/30 na konci IV. období experimentu procentuální podíl nejvyšší. Na základě těchto dat můžeme vyvodit závěr, že díky přítomným mníkům jednovousým docházelo k zahušťování těchto nerozpuštěných látek. Díky většímu procentuálnímu podílu sušiny je případné zahušťování kalů i méně nákladné a náročné, i s ohledem na to, že odpadní voda z akvakultury obsahuje většinou méně než 2 % nerozpuštěných látek (Van Rijn, 2013).

U absolutní hmotnosti organické sušiny byly vidět mezi skupinami opět rozdíly, kdy nejnižší hodnoty byly zaznamenány ve skupině 70/30. Množství organických látek na odtoku z RAS patří mezi hlavní indikátor využití živin z předkládaných krmiv, dále je to pak fosfor a dusík. Tyto parametry také slouží k určení potenciálního ovlivnění životního prostředí (Piedrahita, 2003). Z tohoto důvodu můžeme tvrdit, že v obsádce, kde se vyskytovalo 30 % mníků jednovousých byla lepší retence živin než ve dvou zbylých skupinách.

Nejnižší absolutní hmotnosti celkového fosforu v nashromážděných nerozpuštěných látkách u skupiny 70/30 na konci III. a IV. období experimentu opět ukazují na lepší retenci živin díky vyšší obsádce mníka jednovousého. Stejný trend je také viděn u relativního množství celkového fosforu v nerozpuštěných látkách s ohledem na množství

použitého fosforu v předloženém krmivu za jeden den. Jak je uváděno, tak množství fosforu je v rybích výkalech v rozmezí od 15 do 70 % (Piedrahita, 2003), což je poměrně velký rozptyl. Ve skupině 70/30 se tyto hodnoty pohybovaly na spodním uváděném rozhraním, což lze považovat za velmi dobrý výsledek. Mezi experimentálními skupinami u relativního množství celkového fosforu signifikantní rozdíly nebyly, ale vyšší hodnoty ve skupině 70/30 jen korelují s vyšším podílem relativního množství sušiny a celkovým množstvím nashromážděných nerozpuštěných látek.

U absolutního množství celkového dusíku nebyl mezi experimentálními skupinami potvrzen signifikantní rozdíl, ale nejnižší hodnoty bylo opět u skupiny 70/30 na konci III. a IV. období experimentu. Relativní poměr dusíku v kalech z RAS je při použití metody dle Kjeldahla (Chen a kol., 1997), která byla aplikována i v popisovaném experimentu, v rozmezí od 4 do 6 %. V případě tohoto experimentu ale tato hodnota dosahovala maximálně 1 % ve všech testovaných skupinách. Vzhledem k tomu, že publikace od Chen a kol., (1997) je starší více než 20 let, lze z daných dat usuzovat, že to může poukazovat na celkový vývoj výroby umělých peletovaných krmiv pro ryby. Tato moderní krmiva se vyznačují vyšší retencí živin v porovnání s krmivy, která byla vyráběna dříve. Samozřejmě musíme brát i ohled na technologický pokrok u RAS. Dalším možným důvodem, proč nebyl v této práci zaznamenán signifikantní rozdíl u celkového dusíku obsaženého v nerozpuštěných látkách je také fakt, že větší procentuální množství dusíkatých látek je rybami vylučováno v rozpustné formě (Van Rijn, 2013).

Při pohledu na celkovou analýzu nerozpuštěných látek je viditelné, že na konci I. a ve II. období popisovaného experimentu nebyly mezi skupinami žádné signifikantní rozdíly. Hlavním vysvětlením by mohlo být, že s vyšší hmotností ryb se snižuje jejich schopnost zakomponovat dusíkaté látky a sloučeniny obsahující fosfor do rybí svaloviny. S tímto názorem souhlasí také Kim a kol., (1998).

Indexy, biochemická analýza a oxidativní stres byly porovnávány pouze u mníků jednovousých za účelem zjištění, zdali vyšší nebo nižší biomasa pstruha duhového ovlivňuje nějakým způsobem přítomné jedince mníků jednovousých. Signifikantní rozdíl mezi skupinami u spleenosomatického indexu (vyšší u skupiny 70/30) může souviset s tím, že chování mníci jednovoucí v této skupině více trpěli fyziologickým stresem než mníci ve skupině 85/15, který byl pravděpodobně způsoben větší konkurencí mníků jednovousých o limitující zdroj potravy (zbytků krmiva či výkalů, které zbyly po pstruzích duhových). Obecně zvětšená slezina u ryb může být interpretována jako potenciální zdravotní problém či problém související s nevhodnou výživou (Kouřil a kol.,

2008), ale v případě mníků jednovousých ve skupině 70/30 tento fakt nebyl pozorován. Větší mortalita u mníků jednovousých byla zaznamenána ve skupině 85/15. U biochemické analýzy nebyly pozorovány téměř žádné rozdíly mezi skupinami. Signifikantní rozdíl byl pouze u fosforu (PHOS-anorganický fosfát), kde skupina 70/30 opět vykazovala větší hodnotu tohoto parametru. V rybím organismu má fosfor významný vliv na celou řadu metabolických procesů a je také součástí nukleových kyselin, fosfolipidů a nukleotidů. Změny u hladiny PHOS indikují poškození ledvin (Kolářová a Velíšek, 2012). I s ohledem na mortalitu ryb a vyšetření uhynulých ryb v průběhu experimentu žádné poškození ledvin nebylo pozorováno. Dále i rozsah hodnot PHOS je poměrně variabilní, například u pstruha duhového se tato hodnota pohybuje v rozmezí 1,62-5,19 mmol.l⁻¹ (Kolářová a Velíšek, 2012).

U oxidativního stresu byly ve střevě signifikantní rozdíly v parametrech GSH a TBARS, kde byly zaznamenány vyšší hodnoty opět ve skupině 70/30. Hodnota GSH souvisí v organismu se stabilizací oxidoredukčních procesů v erytrocytech a při detoxikaci xenobiotik (Hwang a kol., 1992), zatímco TBARS je přímo spojen s oxidativním stresem. Při analýze oxidativního stresu bylo analyzováno celkem pět parametrů, a to v játrech, žábřácích a střevech, dohromady tedy 15 možností, kde pouze u dvou z nich byl statistický rozdíl. Na základě toho lze konstatovat, že nebyl pozorován výrazný rozdíl u mníků jednovousých mezi skupinami 70/30 a 85/15. Ovšem přeci jen výživa u mníků jednovousých ve skupině 70/30 mohla být více deficitní oproti mníkům jednovousým ze skupiny 85/15, což mohlo způsobit vyšší oxidativní stres těchto ryb ve střevní tkáni.

Jak je uvedeno v publikaci Polícar a Svačina (2014), tak by v budoucnu měla být věnována pozornost velikosti obsádky mníků jednovousých v bikulturní obsádce se pstruhem duhovým, anajít ideální poměr těchto ryb pro růst obou druhů, aniž by docházelo k ovlivňování druhů navzájem. Při porovnání výsledků využití nerozpuštěných látek z tohoto popisovaného experimentu vyznívá jako ideálnější kusový poměr mníků jednovousých 30 % (než 15 %) ve společné obsádce se pstruhem duhovým. Na druhé straně vyšší poměr mníků jednovousých v nádrži může mít i negativní aspekty na jeho růst a fyziologický stav (stres, kondiční stav a výživu). Současně vyšší podíl mníka jednovousého v obsádce může způsobovat problémy s tříděním ryb zejména při použití automatických třídiček, nebo při další manipulaci s rybami jako je například výlov ryb a jiné. Dalším problémem této bikulturní obsádky je růst obou druhů ryb, jelikož pstruh duhový i v realizovaném experimentu mníka jednovousého jednoznačně přerostl.

Z tohoto hlediska je nutné brát v úvahu delší produkční interval u mníka jednovousého než u pstruha duhového. Nabízí se také otázka, zdali udržovat generační hejno mníků jednovousých pro vlastní produkci násadového materiálu, nebo se spolehnout na jiné dodavatele i s ohledem na finanční stránku poměrně složitého chovu a výtěru generačních ryb (Křišťan a kol., 2014). V případě, že se chovatel rozhodne nakupovat juvenilní jedince mníků jednovousých od jiných dodavatelů, tak bych z vlastních zkušeností doporučil využít mníků jednovousých v bikulturní obsádce se pstruhem duhovým především ve venkovních RAS, kde je vyšší riziko výskytu nemocí a jiných chovatelských problémů, v porovnání s uzavřenými RAS. V případě uzavřených RAS by připadalo v úvahu držet vlastní generační hejno mníků jednovousých a nákup od jiných dodavatelů by měl být eliminován, jelikož zde vždy hrozí velké potenciální riziko zavlečení onemocnění, nebo parazitů do těchto systémů.

6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo porovnat a ověřit využití bikulturní obsádky pstruha duhového s mníkem jednovousým v recirkulačním akvakulturním systému vzhledem k několika ukazatelům. Na základě porovnání produkčních ukazatelů byla i dle statistických rozdílů nejlépe hodnocena skupina 70/30. Avšak při interpretaci výsledků je nutné brát v potaz i to, že v této skupině pstruh duhový rostl lépe z důvodu konzumace většího množství krmení než v ostatních skupinách. Kalkulovaná krmná dávka pro mníka jednovouseho nepropadala až na dno nádrže a byla konzumována zejména pstruhem duhovým. V této skupině potom více potravně strádal mník jednovousý, který se vyznačoval vyšší konkurencí o limitovanou potravní základnu. O tom svědčí i horší získané fyziologické parametry těchto odchovávaných ryb v experimentální skupině 70/30 v porovnání se skupinou 85/15. Na druhé straně je právě tímto způsobem možné udržovat maximální možné denní krmné dávky a chovatel se nemusí obávat nespotřebovaných a nevyužitých zbylých krmiv na dně nádrže.

Výrazné rozdíly byly také při porovnání množství nashromážděných nerozpuštěných látek. Jako nejlépe byla hodnocena skupina 70/30, a to zejména na konci III. a IV. období experimentu. Menší množství nerozpuštěných látek v systému má následně pozitivní vliv na kvalitu vody, welfare ryb, nízké zatěžování mechanické filtrace a mnoho dalších výhod spojených s provozem RAS.

Dle chemické analýzy nerozpuštěných látek nejlépe vycházela opět skupina 70/30 a to zejména na konci IV. období experimentu. Signifikantním rozdílem se v této skupině podařilo snížit absolutní množství sušiny, absolutní množství organické sušiny a absolutní množství celkového fosforu, což je ukazatelem lepšího využití živin z předkládaných krmiv. Tyto živiny by jinak bez přítomnosti mníků jednovousých v nádrži odcházely ze systému pryč v průběhu mechanické filtrace a nedošlo by k jejich opětovnému využití. Navíc pokud z akvakulturního systému odchází menší množství živin, tak ho můžeme hodnotit jako ekologičtější a s menším vlivem na životní prostředí.

U mníků jednovousých byly mezi skupinami 70/30 a 85/15 signifikantní rozdíly u spleenosomatického indexu, oxidativního stresu ve střevu a v hodnotách fosforu v krevní plazmě. Tyto hodnoty byly vyšší u mníků jednovousých ve skupině 70/30, což poukazuje na závěr, že jedinci mníků jednovousých v této skupině byli více limitováni na zdroj potravy. Z tohoto důvodu byl fyziologický stav mníků jednovousých ve skupině 70/30 horší, než ve skupině 85/15.

Dle zmíněných výsledků vycházela jako nejvýhodnější v porovnání s ostatními testovanými skupinami s ohledem na množství nespotřebovaných látek a retence živin skupina 70/30. Na druhé straně z hlediska welfare a fyziologického stavu mníka jednovousého byla lépe hodnocena skupina 85/15 v porovnání se skupinou 70/30. Obecně mníka jednovousého v rámci tohoto testování můžeme považovat za nový potenciální druh s cílem více diverzifikovat sladkovodní akvakulturu. Tento druh v kombinaci se pstruhem duhovým přináší plno výhod, ať už z hlediska produkce, ekologie nebo rentability konkrétního chovu. Je ale stále důležité se v dalších experimentech zaměřit na optimální podíl mníka jednovousého v bikulturní obsádce se pstruhem duhovým, a to zejména s ohledem na různé hustoty a věk chovaných ryb.

7. Seznam použité literatury

- Alpaslan, A., & Pulatsü, S. (2008). The effect of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) cage culture on sediment quality in Kesikköprü Reservoir, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8(1), 65-70.
- Aslam, S. N., Navada, S., Bye, G. R., Mota, V. C., Terjesen, B. F., & Mikkelsen, Ø. (2019). Effect of CO₂ on elemental concentrations in recirculating aquaculture system tanks. *Aquaculture*, 734254.
- Aubin, J., Papatryphon, E., Van der Werf, H. M. G., & Chatzifotis, S. (2009). Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 17(3), 354-361.
- Avnimelech, Y. (2012). *Biofloc Technology – A Practical Guide Book*. 2.vyd. The World Aquaculture Society, 272 pp.
- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26-35.
- Baruš, V., & Oliva, O. (1995). *Fauna ČR a SR: Mihulovci (Petromyzontes) a ryby (Osteichthyes) 2*. Academia. Nakladatelství Akademie věd České republiky. ISBN 0430 - 120X.
- Bergheim, A. (1996). Waste production in aquaculture. *Aquaculture and water resource management*, 50-80.
- Bilio, M. (2007). Controlled reproduction and domestication in aquaculture. *Aquaculture Europe*, 32(1), 5-14.
- Blancheton, J. P., Eding, E. H., & Husson, B. (2002). Recent developments in recirculation systems. *Eur. Aquacult. Soc. Spec. Publ*, 32, 3-9.
- Bostock, J., Telfer, T., McAndrew, B., Penman, D., Young, J., & Muir, J. (2003). The potential impact of technological innovation on the aquaculture industry.
- Bregnballe, J. (2010). *A guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems*. Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation.
- Bromage, N., & Duston, J. (1986). The control of spawning in the rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) using photoperiod techniques. Report-Institute of Freshwater Research, Drottningholm (Sweden).

- Bromage, N. R., Elliott, J. A. K., Springate, J. R. C., & Whitehead, C. (1984). The effects of constant photoperiods on the timing of spawning in the rainbow trout. *Aquaculture*, 43(1-3), 213-223.
- Buřič, M., & Kouřil, J. (2012). *Technologie recirkulační líhně pro lososovité ryby*. Fakulta rybářství a ochrany vod, Jihočeská univerzita. ISBN 978-80-87437-57-5.
- Buřič, M. (2015). Možnosti, výhody a rizika recirkulačních systémů dánského typu v podmínkách ČR. Potenciál recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) pro české produkční rybářství. Vodňany, 1.-2. září 2015: sborník příspěvků z odborného semináře. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod. ISBN-80-7514-028-9.
- 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.
- Craig, S., Helfrich, L. A., Kuhn, D., & Schwarz, M. H. (2017). Understanding fish nutrition, feeds, and feeding.
- Cripps, S. J., & Bergheim, A. (2000). Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural engineering*, 22(1-2), 33-56.
- Czesny, S. J., Graeb, B. D., & Dettmers, J. M. (2005). Ecological consequences of swim bladder noninflation for larval yellow perch. *Transactions of the American Fisheries Society*, 134(4), 1011-1020.
- Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drengstig, A., Arvonen, K., & Pedersen, P. B. (2013). Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural engineering*, 53, 2-13.
- Davidson, J., Good, C., Welsh, C., & Summerfelt, S. T. (2014). Comparing the effects of high vs. low nitrate on the health, performance, and welfare of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* within water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 59, 30-40.
- Demir, N., Kirkagac, M. U., Pulatsü, S., & Bekcan, S. (2001). Influence of trout cage culture on water quality, plankton and benthos anatolian dam lake.
- Dias, J. D., Takahashi, É. M., Santana, N. F., & Bonecker, C. C. (2011). Impact of fish cage-culture on the community structure of zooplankton in a tropical reservoir. *Iheringia. Série Zoologia*, 101(1-2), 75-84.

- Duarte, C. M., Holmer, M., Olsen, Y., Soto, D., Marbà, N., Guiu, J., Black, K., & Karakassis, I. (2009). Will the oceans help feed humanity? *BioScience*, 59(11), 967-976.
- Dubský, K., Šrámek, V., & Kouřil, J. (2003). *Obecné rybářství. Informatorium*. ISBN 80-7333-019-9.
- Ebeling, J. M., & Timmons, M. B. (2012). Recirculating aquaculture systems. *Aquaculture production systems*, 245-277.
- FAO. 2018. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Flajšhans, M., Kocour, M., Ráb, P., Hulák, M., Petr, J., Šlechtová, V. B., Šlechta, V., Havelka, M., Kašpar, V., & Linhart, O. (2013). *Genetika a šlechtění ryb*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech. ISBN 978-80-87437-48-3.
- Fuiman, L. A., & Cowan Jr, J. H. (2003). Behavior and recruitment success in fish larvae: repeatability and covariation of survival skills. *Ecology*, 84(1), 53-67.
- Hanzlík, P. (2017). *Adaptace a intenzivní chov okounka pstruhového (Micropterus salmoides) v porovnání s intenzivním chovem candáta obecného (Sander lucioperca)*. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Fakulta rybářství a ochrany vod. Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický.
- Hartman, P., & Regenda, J. (2014). *Praktika v rybníkářství*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Fakulta rybářství a ochrany vod. ISBN 978-80-7514-009-8
- Harzevili, A. S., De Charleroy, D., Auwerx, J., Van Slycken, J., Dhert, P., & Sorgeloos, P. (2003). Larval rearing of burbot (*Lota lota* L.) using *Brachionus calyciflorus* rotifer as starter food. *Journal of Applied Ichthyology*, 19(2), 84-87.
- Harzevili, A. S., Dooremont, I., Vught, I., Auwerx, J., Aqutaert, P., & Charleroy, D. D. (2004). First feeding of burbot, *Lota lota* (Gadidae, Teleostei) larvae under different temperature and light conditions. *Aquaculture Research*, 35(4), 419-422.
- Holmer, M. (2010). Environmental issues of fish farming in offshore waters: perspectives, concerns and research needs. *Aquaculture Environment Interactions*, 1(1), 57-70.
- Howell, B. R., Day, O. J., Ellis, T., & Baynes, S. M. (1998). Early life stages of farmed fish. In 'Biology of Farmed Fish'. (Eds KD Black and AD Pickering.) pp. 27–66.
- Hua, K., & Bureau, D. P. (2006). Modelling digestible phosphorus content of salmonid fish feeds. *Aquaculture*, 254(1-4), 455-465.

- Hwang, C. J. S. A., Sinskey, A. J., & Lodish, H. F. (1992). Oxidized redox state of glutathione in the endoplasmic reticulum. *Science*, 257(5076), 1496-1502.
- Chen, S. (1993). Production, characteristics, and modeling of aquaculture sludge from a recirculating aquaculture system using a granular media biofilter. *Techniques for modern aquaculture*, 16-25.
- Chen, S., Coffin, D. E., & Malone, R. F. (1997). Sludge production and management for recirculating aquacultural systems. *Journal of the World Aquaculture Society*, 28(4), 303-315.
- Chopin, T. (2006). Integrated multi-trophic aquaculture, what it is and why you should care...and don't confuse in with polyculture. *Northern Aquaculture*, July/August 2006, pp. 4.
- Kim, J. D., Kaushik, S. J., & Breque, J. (1998). Nitrogen and phosphorus utilisation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with or without fish meal. *Aquatic living resources*, 11(4), 261-264.
- Křišťan, J., Polícar, T., Vaniš, J., & Svačina, P. (2014). Reprodukce a chov rychleného plůdku mníka jednovousého (*Lota lota*) v rybnících. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Fakulta rybářství a ochrany vod. ISBN 978-80-7514-023-4.
- Kolkovski, S. (2001). Digestive enzymes in fish larvae and juveniles—implications and applications to formulated diets. *Aquaculture*, 200(1-2), 181-201.
- Kolářová, J., Velíšek, J. (2012). Stanovení a vyhodnocení biochemického profilu krve ryb ryb. 1. vyd. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech. ISBN 978-80-87437-58-2.
- Kouba, A., 2012. Vývoj technologie likvidace odpadních kalů z RAS pro chov ryb pomocí vermikompostování. Závěrečná zpráva pilotního projektu CZ. 1.25/3.1.00/11.00257.
- Kouřil, J., Mareš, J., Pokorný, J., Adámek, Z., Randák, T., Kolářová, J., & Palíková, M. (2008). Chov lososovitých druhů ryb, lipana a síhů. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech. ISBN 978-80-85887-80-8.
- Kouřil, J., Hamáčková, J., & Stejskal, V. (2013). Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb. 2.vyd. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech.
- Kouřil, J. (2015). Úvod do intenzivního chovu ryb včetně přehledu RAS v České republice. Potenciál recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) pro české

- produkční rybníkářství. Vodňany, 1.-2. září 2015: sborník příspěvků z odborného semináře. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybníkářství a ochrany vod. ISBN-80-7514-028-9.
- Kucharczyk, D., Nowosad, J., Łuczyński, M. J., & Targońska, K. (2016). New technique for fertilizing eggs of burbot, asp and ide under hatchery conditions. *Animal reproduction science*, 172, 143-147.
- Kucharczyk, D., Nowosad, J., Kujawa, R., Dietrich, G., Biegaj, M., Sikora, M., & Luczynski, M. J. (2018). Comparison of spontaneous and hormone-induced reproduction of burbot (*Lota lota* L.) under hatchery conditions. *Aquaculture*, 485, 25-29.
- Jokumsen, A., & Svendsen, L. M. (2010). Farming of freshwater rainbow trout in Denmark. DTU Aqua. Institut for Akvatiske Ressourcer.
- Lang, Š., Kopp, R., & Mareš, J. (2015). Nabíhání filtrů na studenovodním RAS dánského typu. Potenciál recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) pro české produkční rybníkářství. Certifikovaná metodika R10/2015. Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-375-2.
- Läuchli, A., & Epstein, E. (1990). Plant responses to saline and sodic conditions. *Agricultural salinity assessment and management*, 71, 113-137.
- Lincoln, R. F., & Bye, V. (1984). Triploid rainbows show commercial potential. *Fish Farmer*, 7(5), 30-32.
- Liltved, H., Cripps, S.J., 1999. Removal of particle associated bacteria by prefiltration and ultraviolet irradiation. *Aquacult. Res.* 30, 445–450.
- Mareš, J., Lang, Š., Řezníčková, R., & Kopp, R. (2015). Recirkulační systémy „Dánského typu“ pro intenzivní chov lososovitých ryb. Potenciál recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) pro české produkční rybníkářství. Vodňany, 1.-2. září 2015: sborník příspěvků z odborného semináře. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybníkářství a ochrany vod. ISBN-80-7514-028-9.
- Martins, C. I. M., Eding, E. H., Verdegem, M. C., Heinsbroek, L. T., Schneider, O., Blancheton, J. P., d'Orbcastel, E. R., & Verreth, J. A. J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural engineering*, 43(3), 83-93.
- Meeus, W., Adriaen, J., Nevejan, N., Buyens, S., Rekecki, A., Chiers, K., Decostere, A., Charleroy, D. D., Policar, T., & Aerts, S. (2012). Culture of Burbot *Lota lota* (L.,

- 1758): Current Status, Research and Prospects. In World Aquaculture Society (pp. 705-705).
- Mifsud, C., & Rowland, S. J. (2008). Use of salt to control ichthyophthiriosis and prevent saprolegniosis in silver perch, *Bidyanus bidyanus*. *Aquaculture Research*, 39(11), 1175-1180.
- Miller, D., & Semmens, K. (2002). Waste management in aquaculture. *Aquaculture Information Series*, 1(2), 1-10.
- Morton, A., & Routledge, R. D. (2006). Fulton's condition factor: is it a valid measure of sea lice impact on juvenile salmon? *North American Journal of Fisheries Management*, 26(1), 56-62.
- Mráz, J., Dovalil, B. (2015). Akvapponické systémy – intenzivní chov ryb spojen s pěstováním rostlin. *Sborník příspěvků z odborného semináře, Vodňany*, 1(2), 62-77.
- Nam, Y. K., & Kim, D. S. (2004). Ploidy status of progeny from the crosses between tetraploid males and diploid females in mud loach (*Misgurnus mizolepis*). *Aquaculture*, 236(1-4), 575-582.
- Nell, J. A. (2002). Farming triploid oysters. *Aquaculture*, 210(1-4), 69-88.
- Neori, A., Shpige, M., Guttman, L., & Israel, A. (2017). Development of polyculture and integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in Israel: a review.
- New, M. B., Tidwell, J. H., D'Abramo, L. R., & Kutty, M. N. (Eds.). (2009). *Freshwater prawns: biology and farming*. John Wiley & Sons.
- North, B. P., Turnbull, J. F., Ellis, T., Porter, M. J., Migaud, H., Bron, J., & Bromage, N. R. (2006). The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 255(1-4), 466-479.
- Nowak, B. F. (2007). Parasitic diseases in marine cage culture—an example of experimental evolution of parasites? *International Journal for Parasitology*, 37(6), 581-588.
- Palińska-Żarska, K., Żarski, D., Krejszeff, S., Nowosad, J., Biłas, M., Trejchel, K., & Kucharczyk, D. (2014a). Dynamics of yolk sac and oil droplet utilization and behavioural aspects of swim bladder inflation in burbot, *Lota lota* L., larvae during the first days of life, under laboratory conditions. *Aquaculture international*, 22(1), 13-27.
- Palińska-Żarska, K., Żarski, D., Krejszeff, S., Nowosad, J., Biłas, M., Trejchel, K., ... & Kucharczyk, D. (2014b). The effect of age, size and digestive tract development on

- burbot, *L. ota lota* (L.), larvae weaning effectiveness. *Aquaculture nutrition*, 20(3), 281-290.
- Patterson, R. N., Watts, K. C., & Timmons, M. B. (1999). The power law in particle size analysis for aquacultural facilities. *Aquacultural Engineering*, 19(4), 259-273.
- Pillay, T. V. R. (2008). *Aquaculture and the Environment*. John Wiley & Sons.
- Pitter, P. (2009). *Hydrochemie*. 4., aktualizované vydání. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha. ISBN 978-80-7080-701-9.
- Piedrahita, R. H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1-4), 35-44.
- Piferrer, F., Beaumont, A., Falguière, J. C., Flajšhans, M., Haffray, P., & Colombo, L. (2009). Polyploid fish and shellfish: production, biology and applications to aquaculture for performance improvement and genetic containment. *Aquaculture*, 293(3-4), 125-156.
- Podduturi, R., Petersen, M. A., Vestergaard, M., & Jørgensen, N. O. (2020). Geosmin fluctuations and potential hotspots for elevated levels in recirculated aquaculture system (RAS): A case study from pikeperch (*Stizostedion lucioperca*) production in Denmark. *Aquaculture*, 514, 734501.
- Pokorný, J., Adámek, Z., Dvořák, J., & Šrámek, V. (1998). *Pstruhařství*. Informatorium, Praha. ISBN 80-86073-24-6.
- Polícar, T., Bláha, M., Křišťan, J., & Stejskal, V. (2011). Kvalitní a vyrovnaná produkce rychleného plůdku candáta obecného (*Sander lucioperca*) v rybnících. Edice Metodik (Technologická řada), FROV JU Vodňany, 110, 46.
- Polícar, T. & Svačina, P. (2014). Ověření technologie adaptace mníka jednovousého na peletované krmivo a jeho intenzivní chov. Technická zpráva z pilotního projektu. FROV JU, 37 s.
- Polícar, T., Blecha, M., Křišťan, J., & Svačina, P. (2015). Metody a postupy využívané v intenzivní akvakultuře. Potenciál recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) pro české produkční rybářství. Sborník příspěvků z odborného semináře, Vodňany, 1(2), 62-77.
- Polícar, T., Blecha, M., Křišťan, J. (2016). Hromadný poloumělý výtěr candáta obecného (*Sander lucioperca* L.) s použitím recirkulačního akvakulturního systému (RAS). Edice Metodik (Poloprovoz), FROV JU Vodňany, 163: 32 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.
- Rasmussen, R. S., & Ostefeld, T. H. (2000). Effect of growth rate on quality traits and feed utilisation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Aquaculture*, 184(3-4), 327-337.
- 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 high-temperature re-circulated water. *Aquaculture International*, 15(2), 97-107.
- Rougeot, C., & Mélard, C. (2008). Genetic improvement of growth in perch production: domestication, sex control, hybridization and strain selection. Book of abstracts: percid fish culture from research to production. Presses Universitaires de Namur, Namur, 35-39.
- Rosenthal, H., Hoffmann, R., Jörgensen, L., Krüner, G., Peters, G., Schlotfeldt, H. J., & Schomann, H. (1982). Water management in circular tanks of a commercial intensive culture unit and its effects on water quality and fish condition. In ICES Statutory meeting, CM.
- Shahidi, F., & Naczki, F. (1992). *Ecological Effects of Waste Water: Applied limnology and pollutant effects*. CRC Press.
- Sheehan, R. J., Shasteen, S. P., Suresh, A. V., Kapuscinski, A. R., & Seeb, J. E. (1999). Better growth in all-female diploid and triploid rainbow trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, 128(3), 491-498.
- Schneider, O., Sereti, V., Eding, E. H., & Verreth, J. A. J. (2005). Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquacultural engineering*, 32(3-4), 379-401.
- Suhr, K. (2014). Nitrogen removal in RAS farms for Baltic Sea coastal farming. *sciences*, 7, 3259-3271.
- Summerfelt, S.T., 1999. Waste-handling systems. In: Wheaton, F.W. (Ed.), *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp. 309–350.
- Švinger, W. V., & Kouřil, J. (2012). *Hormonálně řízená reprodukce lososovitých ryb*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech. ISBN 978-80-8747-63-6.

- Trabelsi, A., Gardeur, J. N., Teletchea, F., & Fontaine, P. (2011). Effects of 12 factors on burbot *Lota lota* (L., 1758) weaning performances using fractional factorial design experiment. *Aquaculture*, 316(1-4), 104-110.
- Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A. H., & Fang, J. G. (2009). Ecological engineering in aquaculture—potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 297(1-4), 1-9.
- Van Rijn, J., Tal, Y., & Schreier, H. J. (2006). Denitrification in recirculating systems: theory and applications. *Aquacultural engineering*, 34(3), 364-376.
- Van Rijn, J. (2013). Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 53, 49-56.
- Verdegem, M., Eding, E. H., van Rooij, J. M., & VERRETH, J. (1999). Comparison of effluents from pond and recirculating production systems receiving formulated diets. *WORLD AQUACULTURE-BATON ROUGE-*, 30(4), 28-33.
- Verdegem, M. C. J., Bosma, R. H., & Verreth, J. A. J. (2006). Reducing water use for animal production through aquaculture. *Water Resources Development*, 22(1), 101-113.
- Verdegem, M. C. J. (2007). Fishponds in farming system. Nutrient balances in ponds. Aquaculture and Fisheries Institute. Wageningen University – Academia Publisher, The Netherlands, 72-78 p.
- Vestergaard, M. General manager of pikepech production. AquaPri Denmark A/S.
- Vítek, T., Kopp, R., Lang, Š., Brabec, T., & Mareš, J. (2011). Technická řešení a možnosti efektivní regulace průtokových poměrů v zařízeních pro intenzivní chov ryb dánského typu. Certifikovaná metodika R01/15VD46246/2011-16230, Mendelova univerzita v Brne, Brno, 20 s.
- Vught, I., Harzevilli, A. S., Auwerx, J., De Charleroy, D., Paragamian, V. L., & Bennet, D. H. (2008). Aspects of reproduction and larviculture of burbot under hatchery conditions. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 59, p. 167). American Fisheries Society.
- Wang, Y., Yu, S., Wang, Y., Che, J., Zhao, L., Bu, X., & Yang, Y. (2016). Effect of replacing fish meal with soybean meal on growth, feed utilization and nitrogen and phosphorus excretion of juvenile *Pseudobagrus ussuriensis*. *Aquaculture Research*, 47(10), 3145-3155.
- Waller, U. (2001). Tank culture and recirculating systems. Environmental impacts of aquaculture. Sheffield Academic Press Ltd, Sheffield, 99-127.

- Waller, U., Bischoff, A., Orellana, J., Sander, M., & Wecker, B. (2003). An advanced technology for clear water aquaculture recirculation systems: results from a pilot production of sea bass and hints towards “zero discharge”. *Beyond Monoculture*. Trondheim, Norway, 356-357.
- Warrer-Hansen, I., (2015). A brief history of RAS. *Fish Farmer* 38: 22–25.
- Wocher, H., Harsányi, A., & Schwarz, F. J. (2011). Husbandry conditions in burbot (*Lota lota* L.): Impact of shelter availability and stocking density on growth and behaviour. *Aquaculture*, 315(3-4), 340-347.
- Wong, A. (2008). Lipidic profiles of tissue and liver oil of burbot, *Lota lota* (L.). *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 1(38).
- Żarski, D., Kucharczyk, D., Sasinowski, W., Targońska, K., & Mamcarz, A. (2010). The influence of temperature on successful reproductions of Burbot, *Lota lota* (L.) under hatchery conditions. *Pol. J. Nat. Sc.*, 25(1), 93-105.

8. Abstrakt

Tato diplomová práce byla zaměřena na chov pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) v kombinaci s mníkem jednovousým (*Lota lota*) v Recirkulačním Akvakulturním Systému (RAS). Porovnávány byly produkční růstové ukazatele, množství nashromážděných nerozpuštěných látek a jejich chemická analýza. U mníků jednovousých byly navíc mezi experimentálními skupinami porovnávány indexy, biochemická analýza a oxidativní stres.

Testovány byly tři skupiny ve třech opakováních. První experimentální skupina (70/30) obsahovala 70 ks pstruha a 30 ks mníka, ve druhé skupině (85/15) bylo 85 ks pstruha a 15 ks mníka a v poslední třetí skupině (100/0) bylo 100 ks pstruha a 0 ks mníka. Experiment trval 77 dní a kontrolní přelovení a převážení, včetně odběru nashromážděných nerozpuštěných látek probíhalo ve 21., 42., 63., a 77. dni, kdy byl experiment ukončen. Na začátku a na konci experimentu byla měřena u obou druhů celková délka (TL), standardní délka (SL) a hmotnost (W). Průměrná teplota vody byla $17,91 \pm 0,48$ °C a světelná perioda byla 12L:12D, s průměrnou intenzitou světla 150 luxů.

U pstruhů duhových nebyla zaznamenána téměř žádná mortalita, ale u mníků jednovousých byla mortalita 10 % ve skupině 70/30 a 24,4 % ve skupině 85/15. SGR u pstruha duhového bylo signifikantně nejvyšší ve skupině 70/30 v I. a II. období experimentu. U hodnoty FCR došlo ve IV. období ke snížení o 0,2 ve skupině 70/30 v porovnání se skupinou 100/0, ale nebyl zde statistický rozdíl. Za základě dat z tohoto experimentu o biomase a kusových hmotnostech, pstruh duhový jednoznačně přerostl mníka jednovouseho napříč všemi obdobími. Stejný výsledek byl viděn u TL, SL, W a FK.

Ve skupině 70/30 bylo statisticky významně sníženo absolutní množství nashromážděných nerozpuštěných látek za jeden den na konci III. a IV. období experimentu. Stejný výsledek je také u relativního množství nerozpuštěných látek ve vztahu k použité krmné dávce. Dle chemické analýzy nashromážděných nerozpuštěných látek došlo k signifikantnímu snížení absolutního množství sušiny a organické sušiny na konci IV. experimentálním období. Snížení absolutního množství fosforu a zlepšení jeho retence na základě relativního množství celkového fosforu v nerozpuštěných látkách s ohledem na množství krmiva bylo potvrzeno na konci III. a IV. období ve skupině 70/30.

U mníků jednovousých byly signifikantní rozdíly mezi skupinami 70/30 a 85/15 u spleenosomatického indexu, oxidativního stresu ve střevu a hodnoty fosforu v krevní plazmě. Tyto hodnoty byly vyšší u mníků jednovousých ve skupině 70/30, což poukazuje na to, že jedinci mníků jednovousých v této skupině byli více limitováni zdrojem potravy.

Dle zmíněných výsledků skupina 70/30 vycházela jako nejvýhodnější v porovnání s ostatními testovanými skupinami s ohledem na množství nerozpuštěných látek a retence živin. Na druhé straně z hlediska welfare a fyziologického stavu mníka jednovousého byla lépe hodnocena skupina 85/15 v porovnání se skupinou 70/30. Obecně mníka jednovousého v rámci tohoto testování můžeme považovat za nový potenciální druh s cílem více diverzifikovat sladkovodní akvakulturu.

Klíčová slova: pstruh duhový, mník jednovousý, recirkulační akvakulturní systémy (RAS), bikulturní chov ryb, retence živin

9. Abstract

This diploma thesis was focused on the culture of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in combination with burbot (*Lota lota*) in the Recirculation Aquaculture System (RAS). Production growth indicators, the amount of accumulated undissolved substances and their chemical analysis were compared. In addition, indexes, biochemical analysis and oxidative stress were compared between the experimental groups of burbot.

Three groups were tested in the three repetitions. The first experimental group (70/30) contained 70 pieces of trout and 30 pieces of burbot, in the second group (85/15) there were 85 pieces of trout and 15 pieces of burbot and in the last third group (100/0) there were 100 pieces of trout and 0 pieces burbot. The experiment lasted 77 days and control overfishing and weighing, including collection of accumulated undissolved substances, took place on days 21, 42, 63, and 77, when the experiment was terminated. At the beginning and at the end of the experiment, the total length (TL), standard length (SL) and weight (W) were measured for both species. The average water temperature was $17, 91 \pm 0.48$ ° C and the light period was 12L: 12D, with an average light intensity of 150 lux.

Almost no mortality was reported for rainbow trout, but for burbot the mortality was 10% in the group (70/30) and 24.4% in the group (85/15). The SGR for rainbow trout was the significantly highest in the group 70/30 in I. and II. experiment period. The FCR value occurred at the end of IV. period to decrease 0.2 in group 70/30 compared to group 100/0, but there was no statistical difference. Based on data from this experiment regarding biomass and weight of individual fish, rainbow trout has clearly outgrown burbot across all periods. The same result was seen for TL, SL, W and Fulton's condition factor (FC).

In the group (70/30), the amount of accumulated undissolved substances in one day was statistically significantly reduced at the end of III. and IV. experiment period. The same result was obtained for the relative amount of undissolved substances in relation to the feed ration used. According to the chemical analysis of the collected undissolved substances, there was a significant reduction in the absolute amount of dry matter and organic dry matter in IV. experimental period. The reduction of the absolute amount of phosphorus and the improvement of its retention based on the relative amount of total phosphorus in the undissolved substances with respect to the amount of feed was confirmed at the end of III. and IV. period in group 70/30.

There were significant differences in burbot between groups 70/30 and 85/15 in spleen somatic index, oxidative stress in the intestine, and phosphorus levels in blood plasma. These values were higher in burbot in the group (70/30), indicating that burbot in this group were more limited by the food source.

According to the mentioned results, the 70/30 group was considered like the most advantageous in comparison with the other tested groups with regarding to the amount of collected undissolved substances and nutrient retention. On the other hand, in terms of welfare and physiological condition of the burbot, the 85/15 group was better evaluated compared to the 70/30 group. In general, burbot can be considered as a new potential species according to this testing in order to more diversify of freshwater aquaculture.

Key words: rainbow trout, burbot, recirculating aquaculture systems (RAS), fish biculture, nutrient retention