

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Ústav akvakultury a ochrany vod

Diplomová práce

Porovnání populací okouna říčního (*Perca fluviatilis* L.) z intenzivní akvakultury – vliv původu ryb na chování a kritickou rychlost plavání

Autor: Bc. Ondřej Tomášek

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vlastimil Stejskal, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: MSc. Hung Tran Quang

Studijní program: Rybářství a ochrana vod

Forma studia: Prezenční

Ročník studia: 2.

České Budějovice, 2022

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě, případně v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných FROV JU. 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 29.4. 2022

Bc. Ondřej Tomášek

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce Ing. Vlastimilu Stejskalovi Ph.D. za odborné vedení a konzultance. Za konzultace děkuji MSc. Hung Tran Quangovi. MSc. Tatyane Gebauer Ph.D. děkuji za odborné rady a pomoc při provádění experimentu. Dále bych chtěl poděkovat za pomoc ostatním zaměstnancům Laboratoře řízené reprodukce a intenzivního chovu ryb. Velké díky patří mé rodině za psychickou a finanční podporu při studiu.

Obsah

1. Úvod	6
2. Literární přehled	8
2.1. Biologie a význam okouna říčního (<i>Perca fluviatilis</i>).....	8
2.1.1. Biologická charakteristika.....	8
2.1.2. Zoogeografické rozšíření	9
2.1.3. Pohlavní dospělost	9
2.1.4. Přirozená a umělá reprodukce	10
2.1.5. Způsoby komerčního chovu	11
2.1.6. Význam okouna v akvakultuře.....	12
2.2. Vliv původu ryb na produkční charakteristiky	16
2.3. Vliv intenzivního chovu a domestikace na chování	19
2.3.1. Domestikace a charakteristika domestikovaných ryb	19
2.3.2. Plavání.....	21
2.3.3. Potravní chování.....	22
2.3.4. Sociální chování a agresivita.....	23
2.3.5. Stresová odolnost	24
2.3.5.1. Způsoby hodnocení odolnosti proti stresové zátěži.....	25
3. Materiál a metodika	27
3.1. Použitý materiál	28
3.1.1. Původ dovezených populací ryb	28
3.1.2. Aklimatizace a podmínky chovu v laboratorních podmínkách	29
3.3. Morfometrie, stav a poškození ploutví, somatické indexy	30
3.4. Kritická rychlost plavání (U_{crit}).....	33
3.5. Test stresové zátěže z přechodně zvýšené hustoty obsádky	35
3.6. Test explorativního chování po umístění nového objektu	35
3.7. Test ve volném prostoru – charakterizace personality ryb	37
3.8. Testování agresivity skupiny	37
3.9. Statistická analýza.....	38
4. Výsledky	39
4.1. Morfometrie, stav a poškození ploutví, somatické indexy	39
4.2. Kritická rychlost plavání (U_{crit}).....	43
4.3. Test stresové zátěže z vysoké hustoty obsádky	43

4.4.	Test explorativního chování po umístění nového objektu	48
4.5.	Test ve volném prostoru – charakterizace personality ryb	49
4.6.	Testování agresivity skupiny	50
5.	Diskuze.....	51
6.	Závěr.....	57
7.	Zdroje	59
8.	Abstrakt.....	75
9.	Abstract	76

1. Úvod

V současné světové živočišné produkci tvoří akvakultura nezanedbatelnou část. Akvakultura patří mezi nejrychleji rostoucí odvětví světové živočišné produkce, a to průměrným ročním tempem 5,7 % od roku 2000 do roku 2017. Celosvětově se produkčně chová 208 druhů ryb. Z celkové produkce vodních organismů, 47,7 % tvoří produkce ryb o celkovém finančním objemu 139,7 bilionů amerických dolarů (Tacon, 2019). V rámci intenzivní akvakultury má nezanedbatelný podíl chov ryb ve specializovaných odchovných systémech: RAS (recirkulační akvakulturní systémy). Na území České republiky se tento typ odchovných systémů začíná velmi dynamicky rozvíjet. Produkce v roce 2018 byla na úrovni 1 242 tun, přitom ještě v roce 2016 dosahovala poloviční produkce (655 tun) (Situační a výhledová studie RYBY, 2019). Neopomenutelnými výhodami RAS systémů ve středoevropských podmínkách jsou velká úspora vody, eliminace škod rybožravými predátory, vysoká biomasa chovaných ryb na objem vody (např. u sumečka afrického až 300 kg/ m³), nižší dopad na životní prostředí a kvalitu povrchových vod nebo možnost celoroční produkce tržních ryb (v porovnání s rybníční akvakulturou, kde je produkce sezónní).

V současné době roste popularita okounovitých ryb v gastronomii díky kvalitě a chuti masa, ale také díky absenci mezisvalových kůstek. Ve střední Evropě patří mezi atraktivní okounovité ryby s potenciálem pro chov v RAS candát obecný (*Sander lucioperca*) a okoun říční (*Perca fluviatilis*). Maso těchto druhů ryb je velmi žádané a považováno za delikatesu převážně v alpských státech (Rakousko, Švýcarsko, Německo). Současnou poptávku po těchto druzích není schopen evropský farmový chov uspokojit, proto velká část ryb na trhu pochází z odlovu z volných vod v Kazachstánu, Finsku, Rusku nebo Skandinávii a také z rybníčních chovů. Chov okounovitých ryb v RAS není technologicky snadnou záležitostí, ale naopak vyžaduje mnoho znalostí a zkušeností s chovem ryb a chemismem vody. Existuje stále mnoho neznámých a nepopsaných informací, které by mohly chov okounovitých ryb zjednodušit a zefektivnit (Kestemont a kol., 2003; Mandiki a kol., 2007; Król a kol., 2015).

Tato diplomová práce si klade za cíl přinést nové poznatky o chování, fitness, morfometrii, stresové odolnosti a biometrice chovaných okounech říčních (*Perca fluviatilis*) pocházejících z různých intenzivních chovů v Evropě. S dalšími poznatky o chování okounů pocházejících z intenzivních chovů se otevírá šance na vylepšení metod

jejich komerčního farmového chovu. Z informací vzešlých z pokusů se také bude dát zjistit, která ze zkoumaných populací je nejvhodnější ke komerčnímu chovu z hlediska rychlosti růstu a odolnosti.

2. Literární přehled

2.1. Biologie a význam okouna říčního (*Perca fluviatilis*)

2.1.1. Biologická charakteristika

Okoun říční (*Perca fluviatilis*) je řazen do čeledi okounovitých, mezi které patří i další hospodářsky využívaný druh, candát obecný (*Sander lucioperca*), se kterým sdílí velmi podobnou biologickou a hospodářskou charakteristiku. V přírodních podmínkách dorůstá délky až 65 cm, váhy až 4,75 kg a maximálního věku až 22 let (Hanel a Andreska, 2013). Vyskytuje se v tekoucích i stojatých sladkých vodách, ale je i velmi tolerantní k brakickým vodám.

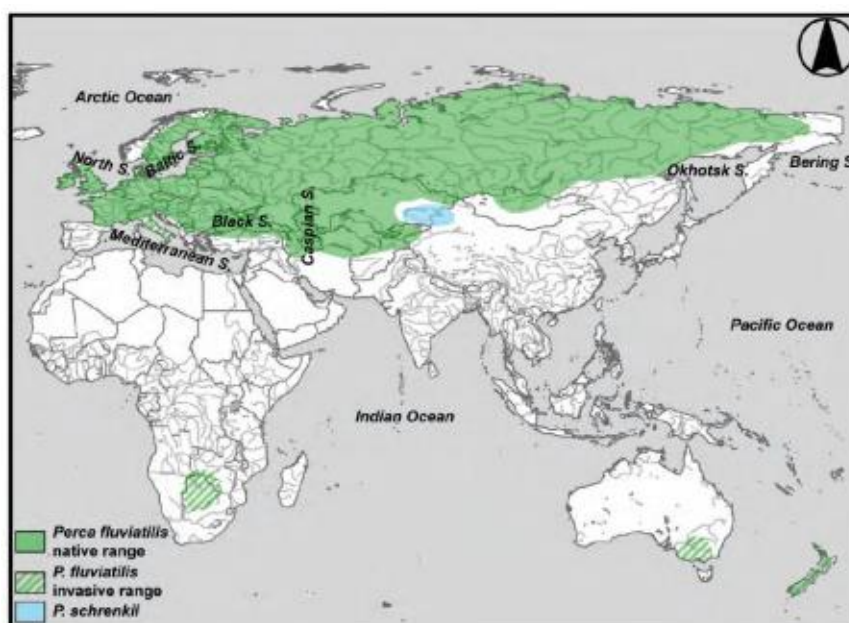
Tělo okouna je kuželovitého tvaru s typickým koncovým postavením úst. Je pokryto malými šupinami ktenoidního typu a je zbarveno do zelena s několika bočními černými svislými pruhy. Skřelové víčko je vybaveno koncovým trnem. Významným znakem okounovitých ryb jsou dvě hřbetní ploutve. První hřbetní ploutev je tvořena až 23 tvrdými paprsky, druhá hřbetní ploutev 1–2 tvrdými paprsky a následně až 16 měkkými paprsky (Luna a Bailly, 2009). Ploutve na ventrální straně těla (břišní, prsní, řitní a částečně i ocasní) jsou zbarveny do typicky oranžové barvy.

Okoun říční patří mezi typické karnivorní druhy ryb. Jeho prvotní potravu tvoří zooplankton a zoobentos. K lovu drobných ryb se jedinci okouna dostávají až s odpovídající velikostí, která nastává přibližně kolem jednoho roku stáří (Dubský a kol., 2003). Ve volných vodách se potravní preference okouna se liší s ročním obdobím a dostupností různých druhů potravy. Dle Mikla a kol., (2018) byl u okounů, jimi zkoumaných, zaznamenán kanibalismus, a to na úrovni 15 % z celkové potravy.

V mladších vývojových stádiích jsou okouni typicky hejnovitou rybou, ale se stoupajícím věkem a velikostí jedinci žijí samotářsky. Hejna okounů mohou čítat stovky kusů (Dubský a kol., 2003).

2.1.2. Zoogeografické rozšíření

Okoun říční patří mezi euroasijské druhy. Jeho rozšíření je zmapováno po celé Evropě s výjimkou nejj jižnějších částí, jako jsou jižní části Pyrenejského, Apeninského a Balkánského poloostrova. Dále se vyskytuje v severní části Asie, především v úmoří Severního ledového oceánu. Díky toleranci brakické vody se rozšířil i do Baltského moře. Nicméně, rozšíření tohoto druhu je limitováno teplotními podmínkami. V minulosti byl uměle rozšířen na území Evropy do španělské řeky Ebro nebo Skadarského jezera na hranicích Černé Hory a Albánie (Hanel a Andreska, 2013). Dále byl introdukován i do lokalit v Jižní Africe, Austrálii nebo na Nový Zéland. Celkové rozšíření okouna říčního je vyznačeno na Obr. č. 1.



Obr. č. 1. Původní oblast rozšíření okouna říčního (*Perca fluviatilis*) a oblasti, do kterých byl introdukován. Nadále je v obrázku vyznačena oblast výskytu příbuzného okouna Schrenkova (Stepien a kol., 2015).

2.1.3. Pohlavní dospělost

Pohlavní dimorfismus u okouna říčního není výrazně vyvinut, jako je tomu například u jiných rybích druhů (např. *Cichlidae*). Nejlépe jde rozpoznat pohlaví v předvýtěrové době, kdy se jikernačkám výrazně zvětší břišní partie a je patrná vystouplá močopohlavní papila (Dubský a kol., 2003). Je známo, že každé pohlaví pohlavně dospívá v různém věku. Ve střední Evropě udává Švátora (1986) pohlavní dospělost u samic ve věku 1–2

let a u samic ve 2.-3. roce života. Švátora (1986) také udává souvislost s pohlavní dospělostí u samců s minimální velikostí 82 mm. V chladných podnebních podmínkách mohou dospívat samice i ve 3. roce života (Kouřil a kol., 2002), což souvisí s tím, že pohlavní dospělost je závislá na teplotních podmínkách prostředí, ve kterém určitý jedinec žije. U pohlavní dospělosti závisí i na jiných faktorech, jako je například dostatek a kvalita potravy nebo chemické parametry vody.

2.1.4. Přirozená a umělá reprodukce

Pro stimulaci výtěru okouna je dle Švátory (1986) nutná manipulace s fotoperiodou a teplotou vody. V podnebných podmínkách přirozeného výskytu probíhá v zimním a jarním období při teplotách vody 8-20 °C (Lusk a kol., 1983). Díky těmto podmínkám, které stimulují výtěr probíhá reprodukce v různých nadmořských výškách v jiných obdobích roku. V nížinných oblastech probíhá výtěr, dříve než v horských oblastech. Rovněž na slunných místech a v mělkém prostředí probíhá výtěr dříve než na stinných a hlubokých lokalitách. Jak udává Studer (2020), výtěr okouna probíhá až do hloubky 12 m. V průběhu výtěru samice uvolňuje pásy jiker, na které samec, často skupina samců uvolňuje(i) spermie. Okoun není náročný na výběr výtěrového substrátu. Jako výtěrový substrát k uchycení pásů jiker nejčastěji slouží vodní vegetace nebo ponořené větve, kořeny a kameny (Švátora, 1986). Dle Švátory (1986) jsou pásy jiker zpravidla dlouhé 1–2 m. Inkubace jiker a následné kulení plůdku je závislé na teplotních podmínkách vody. Kouřil (2002) uvádí, že kulení probíhá při teplotách 13 °C dva týdny, respektive 4 dny při teplotách 25 °C. Rugeot a kol. (2008) uvádí že, pro kulení plůdku je potřeba až 160 denních stupňů (d°). Relativní plodnost samic okouna udává Policar a kol. (2009) v rozmezí 90 000–140 000 ks/kg tělesné hmotnosti. Absolutní plodnost uvádí Švátora (1986) v rozmezí 950–300 000 ks jiker, které je schopna vyprodukovat jedna samice. Absolutní plodnost závisí na velikosti a fyzickém stavu jikernačky.

Pro potřeby umělého výtěru doporučuje Kouřil a kol. (2002) využít generační ryby o hmotnosti přibližně 100 g u samců a 200 g u samic za předpokladu, že jsou ryby fyzicky zdravé a kvalitně živěné. Takto selektované ryby vykazují vysokou pravděpodobnost, že jejich pohlavní produkty budou velmi kvalitní, zdravé, a tudíž i vhodné pro potřeby umělé reprodukce. Poměr pohlaví je doporučen Kouřilem a kol. (2002) v poměru 1:2 samic a samců. Pro zefektivnění a synchronizaci výtěru ryb se doporučuje přistoupit u samic

k hormonální stimulaci, a to hormonem GnRH, jak doporučuje Kouřil a kol. (2002), nebo přípravkem Supergestran (založen na obsahu hormonu GnRH-Lecirelin), který doporučuje Policar a kol. (2009). Doba latence od injekční intramuskulární aplikace hormonu do hřbetních částí těla až do ovulace jiker nastává při teplotách 14 °C přibližně za čtyři a půl dne (Policar a kol. 2008a). Jikry jsou uměle oplozeny pomocí spermatu uvolněného přímo na jikry v nádobě, nebo odsátého do stříkaček. Zpravidla se využívá sperma několika samců na jikry jedné samice (Kouřil a kol., 2002). Oplozenost při umělé reprodukci udává Policar a kol. (2008a) v rozmezí 65–70 %. Oplozenost může ve výjimečných případech maximálně dosáhnout hodnot 90–100 %.

2.1.5. Způsoby komerčního chovu

Pro produkci tržních okounovitých ryb jsou celosvětově používány tři metody. První, a nejstarší metodou, je konzervativní extenzivní chov v polykulturách s jinými druhy ryb. Dále je využívána metoda intenzivního chovu v podmínkách RAS, nebo metoda polo intenzivního chovu (kombinace extenzivního a intenzivního RAS chovu) (Policar a kol., 2015).

V tradičním extenzivním (rybničním) hospodářství (např. v ČR, SR nebo Polsku) se okoun říční chová v polykultuře s kaprovitými rybami (nejčastěji s kaprem obecným (*Cyprinus carpio*), kde představuje přibližně 2–5 % obsádky. Z velké části je okoun v extenzivních chovech jako nežádoucí druh obsádky, například kvůli jeho predačnímu tlaku na cílově chovaná juvenilní stádia ryb (Kestemont a kol., 1996; Kestemont a kol., 2008). Na území Evropy se v současné době vyskytují i rybniční monokulturní chovy s okounem (například Česká republika, Irsko) (Policar a kol., 2008). Kestemont a kol. (2008) považují za velkou výhodu tohoto způsobu chovu fakt, že jsou jedinci udržováni na přirozené potravě.

V průběhu 90. let minulého století se začaly používat pro intenzivní chov okouna RAS systémy (Toner, 2015). Využitím této metody se omezily nevýhody extenzivního chovu v rybnících především zkrácením produkční doby ryb do tržní velikosti. I přes tento výrazný posun k efektivitě chovu okounů se nedaří postup zdokonalit tak, aby se chovy staly finančně rentabilní pro komerční chovy (Žarski a kol., 2017; Policar a kol., 2015) s výjimkou několika farem ve Švýcarsku a Francii. Mezi současné problémy

omezující efektivitu RAS systémů patří závislost juvenilních jedinců na živé potravě a jejich vysoká náchylnost k onemocnění a změně kvality vody, vysoká heterogenita růstu, kanibalismus, problémy s plněním plynového měchýře nebo asynchronní a sezónní výtěr (Overton a Paulsen, 2005; Policar a kol., 2008; Rougeot a Mélard, 2008; Kestemont a Henrotte, 2015).

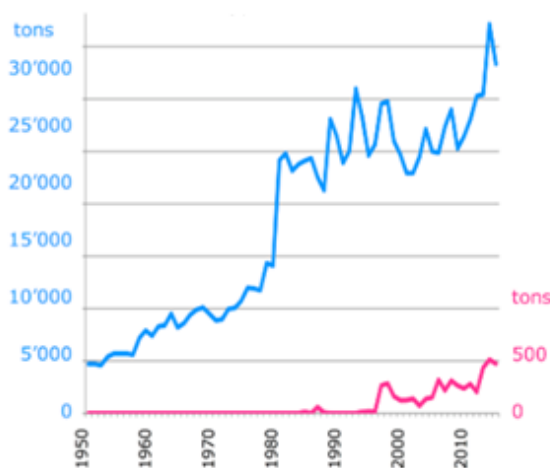
Posledním využívaným způsobem pro produkci okouna říčního je kombinace chovu v rybnících a RAS (Policar a kol., 2015). V první fázi procesu je využíváno malých rybníků, kde juvenilní jedinci okounů po vykulení vyrůstají na přirozené potravě, která je díky předem dobře připravenému rybníčnímu prostředí hojná. Tato fáze trvá přibližně 45–60 dní, tedy do té doby, než obsádka okounů zkonzumuje většinu přirozené potravy (Stejskal a kol., 2010). Následně je rychlený plůdek vyloven a přesunut do podmínek RAS systémů, kde jsou okouni vykrmeni až do tržní velikosti. Mezi velké výhody tohoto způsobu chovu patří nízké náklady na odchov juvenilních jedinců v rybnících, efektivita, kvalita odchovaných ryb nebo vysoká míra přežití (20–40 %) (Kestemont a kol., 2015).

2.1.6. Význam okouna v akvakultuře

Jak udávají statistiky Evropského parlamentu, tak evropská produkce akvakultury v období 1990 až 2017 vykazovala stabilitu v porovnání se světovou produkcí, která se v tomto období zvýšila na čtyřnásobek (FAO, 2020). Průměrná celoevropská produkce ryb z akvakultury byla v tomto období 1,2 milionů tun ryb. V posledních letech však evropské úřady zaznamenaly růst až o 24 % vůči roku 1990. V roce 2017 dosahovaly hodnoty evropské produkce z akvakultury přibližně 5,6 miliard euro. Zatímco produkce akvakultury na evropském území narůstá a v roce 2018 se podílela z 20 % na dodávání vodních živočichů na evropský trh, odlov ryb a jiných organismů z volných vod vykazuje pomalé snižování. Na celkové produkci se ze 76 % podílely rybí výrobky a zbylých 24 % představovala produkce měkkýšů a korýšů. Nejvíce akvakulturně chovanými druhy ryb byl v Evropě losos obecný (*Salmo salar*), který dosahoval 15 % z celkové produkce, a pstruh duhový, který dosahoval přibližně 14 % z celkové produkce (FAO 2020). Vývoj produkce ryb v Evropské unii od roku 1990 do 2018 a porovnání se světovým vývojem je vyobrazen v Obr. č. 2.



Obr. č. 2. Vývoj Evropské a světové produkce vodních organismů v letech 1990–2018 (FAO 2020).



Obr. č. 3. Vývoj světové produkce (růžová křivka) a výlovu z volných vod (modrá křivka) okouna říčního z let 1950–2014. (Studer, 2020).

Okoun říční má v akvakultuře svou nezastupitelnou roli a význam. Velký biologický význam má tento druh i v ichtyofauně a biodiverzitě. V neposlední řadě je okoun velmi oblíbenou a vyhledávanou rybou pro sportovní rybolov, jak z hlediska možnosti úlovku trofejního kusu, nebo využití menších jedinců jako nástražní rybu pro lov jiných dravých druhů ryb. Atraktivnost okouna pro sportovní rybáře zvyšuje i chuť jeho masa bez mezisvalových ypsilonových kůstek (Švátora, 1986).

Významným rybím druhem je okoun pro potřeby biomanipulací prováděných za účelem zlepšení kvality vody zejména ve vodárenských nádržích. Zde okoun po boku ostatních druhů dravých ryb, jakými jsou candát obecný, štika obecná (*Esox lucius*), bolen

dravý (*Leuciscus aspius*), sumec velký (*Silurus glanis*), redukuje obsádku planktonofágních ryb, které svým zvýšeným výskytem a predaním tlakem zhoršují početnost výskytu hrubého zooplanktonu (Randák a kol., 2013). Zapletal a kol. (2013) zjistili, že jimi zkoumaní okouni na nádrži Hamry tvořili predaním tlak až ve věkové skupině pět a více let, kdy planktonfágní ryby tvořily přibližně 20 % z celkové potravy. U mladších věkových kategoriích tvořil největší potravní složku zooplankton, což neodpovídá základním požadavkům pro biomanipulace.

V komerčních akvakulturních chovech má výskyt okouna dvě roviny, a to okoun jako nežádoucí druh ryby, který může vyvolávat nechtěný predaním tlak na cílové druhy ryb (zejména jejich juvenilní stádia) převážně v rybničních chovech, ale dále potencionálně velmi perspektivní ryba pro uzavřené intenzivní akvakultury. Nejvýraznější negativní vliv okouna v akvakultuře je díky jeho predaním tlaku na juvenilní stádia odchovávaných, zpravidla kaprovitých, druhů ryb v plůdkových rybnících (Dubský a kol., 2003). Naopak velmi pozitivní a i ekonomický přínos má chov okouna, jako vedlejší ryby, v polokulturních rybničních chovech, kde je dominantní složkou obsádky kaprovitá ryba (kapr obecný, lín obecný (*Tinca tinca*)) (Policar a kol., 2009). V těchto chovech se okoun podílí na eliminaci nežádoucích druhů ryb, jakými jsou především invazivní střevlička východní (*Pseudorasbora parva*) nebo původní plotice obecná (*Rutilus rutilus*) (Adámek a kol., 2010). Dále také okoun tvoří významnou potravní složku u dalších akvakulturně velmi významných druhů jako je štika obecná nebo candát obecný (Spurný a kol., 2015). Dalším hospodářským pozitivem produkce okounů v akvakultuře jsou možnosti intenzivních a polointenzivních chovů. V těchto chovech jsou okouni chováni v ideálních podmínkách (optimální teplota vody, chemismus vody, trvalý příjem kvalitní potravy nebo vysoké nasycení kyslíkem), které u ryb způsobují jejich rychlejší růst oproti přirozeným podmínkám, a tím zkracují jejich produkční interval k dosažení tržní velikosti. V těchto typech chovů jsou v porovnání s rybničními chovy vysoké obsádky ryb (až 60 kg.m⁻³), čímž se zvyšuje efektivita chovu (Mélard a kol., 1996). V evropských chovech probíhá domestikace okouna teprve posledních 28 let a jeho úroveň domestikace na některých farmách dosáhla čtvrtého stupně (Fontaine a Teletchea, 2019; Kestemont a kol., 2003). Účelným chovem okouna v akvakultuře lze napomoci diverzifikaci evropského trhu se sladkovodními rybami (Policar a Adámek, 2013).

Dalším významným přínosem okouna je jeho vysoká četnost výskytu v některých přirozených lokalitách (zejména jezera a řeky), především v severní části Evropy nebo

v postsovětských zemích. Z těchto lokalit se okoun získává odlovem do sítí (Watson, 2008)

Svalovina okounů tržní velikosti, která obsahuje jen velmi málo tuku a je bez mezisvalových ypsilonových kůstek, je velmi oblíbenou pochoutkou zejména v alpských zemích, jakými jsou Švýcarsko, Německo nebo Francie (Watson, 2008; Fontaine a kol., 1998). Dle Watson (2008) bylo v Evropě v roce 2005 vyprodukováno přibližně 21 492 tun tržních okounů, kteří převážně pocházeli z odlovů na volných vodách ve Finsku, Rusku nebo Estonsku. Nejvyšší produkci okounů z volných vod v roce 2005 zaznamenalo Finsko a to přibližně 13 102 tun. Ve stejném roce uvádí produkci okounů z akvakulturních chovů FAO (2007), která je oproti odlovům z volných vod více jak 68krát menší a dosahovala hodnot jen 315 tun. Akvakulturně okouny nejvíce produkovaly ruské (přibližně 170 tun), italské (přibližně 55 tun) a české (přibližně 18 tun) farmy. Ve své výroční zprávě z roku 2016 FAO uvádí, že produkce okouna z volných vod dosahovala až 34 000 tun, kdy největší množství bylo odloveno na území Ruska (přibližně 13 200 tun), Finska (9 400 tun) nebo Švédska (3 300 tun). V roce 2016 dosahovala evropská akvakulturní produkce okouna přibližně 585 tun (FAO, 2016). V roce 2018 již akvakulturní produkce okounů v Evropě vzrostla na přibližných 700 tun ročně (FAO, 2020). Tyto hodnoty budou pravděpodobně větší, protože v tabulkách FAO nebyly uvedeny veškeré evropské země. Mezi největší evropské farmy, které se zabývají intenzivním chovem okouna Toner (2015) uvádí Valperca SA (Švýcarsko), Percitech SA (Švýcarsko), Tropenhause AG (Švýcarsko), FTN Aquaart AG (Švýcarsko), Swissfish AG (Švýcarsko), Asialor SARL (Francie), a Lucas Perch (Francie).

Dle Watson (2008) je největším trhem pro okouny (v podobě filet) Švýcarsko s potenciální spotřebou až 6 000 tun a s možností zvyšování poptávky. Druhým největším trhem s okouními filety je Německo, které má roční poptávku okolo 2 000 tun. Požadavek evropských trhů na velikost tržní ryby z intenzivní akvakultury dle Toner (2015) je v rozmezí 80–100 g. V jiných publikacích od Watson (2008) nebo od Tamazouzta a kol. (1993) se uvádí rozdílné požadavky jednotlivých trhů. Skandinávští nebo němečtí a rakouští spotřebitelé upřednostňují ryby o hmotnosti až 300 g, ale například švýcarský konzument preferuje menší kusové hmotnosti ryb do 100 g.

Do budoucna může být okoun i velmi ekonomicky perspektivní druh pro rybí farmy, pokud se zefektivní jeho chov. Vývoj cen, za které se prodává kilogram živé váhy, se od

roku 2007, kdy se pohybovala okolo 2,08 USD, do roku 2017 zvýšil přibližně o 62 %, a to na cenu 3,36 USD (FAO, 2018). Cenové rozdíly na pultech supermarketů, které přicházejí ke konečnému zákazníkovi se velmi liší. Za nejvyšší ceny se prodávají mražené okouní filety ve Finsku, kde ceny dosahují až 28,30 EUR za kilogram. Ceny filet v Německu a Itálii se pohybují až do 22 EUR.kg⁻¹. Naopak nejnižší ceny za kilogram mražených filet jsou v Polsku, kde se cena pohybuje okolo 9,40 EUR (Eurofish, 2017). Farma Percitech SA prodává 200 g filety s kůží za cenu 15,50 CHF, což odpovídá ceně 75 EUR.kg⁻¹. U prodejce Local Fish (Švýcarsko) jsou prodávány 400 g filety za 34 CHF (82,6 EUR.kg⁻¹) nebo balení 5 kg filetů za 378 CHF (73,5 EUR.kg⁻¹).

2.2. Vliv původu ryb na produkční charakteristiky

Geografická diferenciaci mezi alopatickými populacemi (populace stejného taxonomického druhu, žijících v od sebe oddělených oblastech) je běžným jevem, vyskytujícím se ve volné přírodě (Mayr, 1942). Geografická diferenciaci vyplývá z odlišných demografických historií, náhodného genetického driftu, omezeného toku genů nebo místních adaptací (Avisé, 2000; Mayr, 1963). V mnoha studiích provedených na různých druzích ryb bylo zjištěno, že přítomnost vhodných vlastností pro akvakulturní chovy se může lišit mezi geograficky odlišnými a oddělenými divokými populacemi (Toomey a kol., 2019; Vanina a kol., 2019). Tato zjištění byla nalezena například u lososa obecného (Nicieza a kol., 1994a; Nicieza a kol., 1994b) nebo u mořčáka pruhovaného (*Morone saxatilis*) (Conover a kol., 1997). Geografické populační rozdíly u specifických vlastností nejspíše souvisejí s fenotypovou plasticitou a genetickými rozdíly mezi oddělenými populacemi. Jako podněty pro tyto změny mohou sloužit v přirozeném prostředí rozdílné životní podmínky, potravní režim, predace nebo vnitrodruhová a mezidruhová konkurence (Purchase a kol., 2005; Olsson a Ragnarsson, 2006; Pigliucci a kol., 2006; Tremblay a kol., 2008; Parker a kol., 2009; Wang a kol., 2009). Díky pravidelným vývojovým změnám biotopových podmínek reagovaly alopatické populace na změny odlišným vývojem (Pielou, 1992). Znalost rozdílů mezi populacemi ryb ve výkonnosti ryb při jejich chovu v akvakultuře je zásadní pro její co největší efektivitu (Vanina a kol., 2019).

Geografický původ vhodných znaků pro akvakulturu znamená, že výběr divoké populace okouna říčního vykazující optimální míru přežití, růst a hladinu kanibalismu

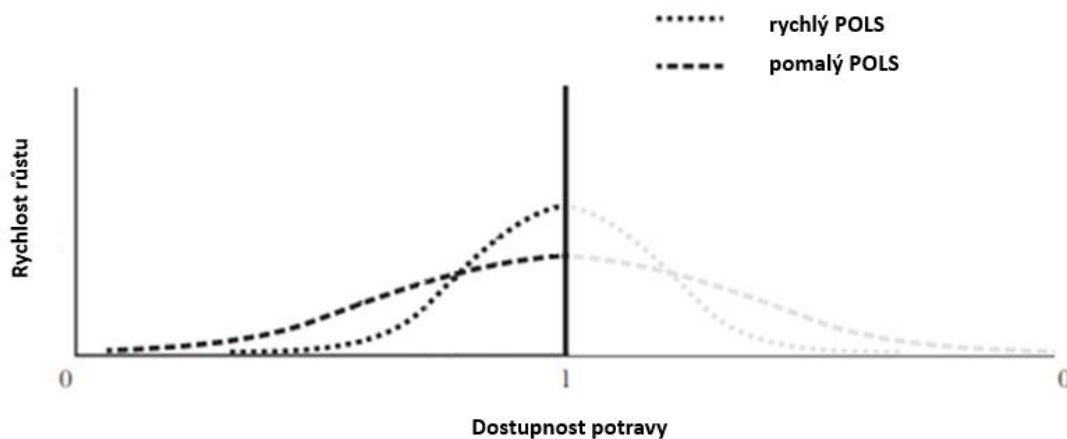
v podmínkách intenzivních chovů může hrát podstatnou roli v zakládání a posílení chovných populací. Toto zjištění se již prokázalo u okouna žlutého (*Perca flavescens*) (Rosauer a kol., 2011; Rosburg, 2017). Pokud by se podařilo zajistit populaci s lepšími růstovými vlastnostmi, než které mají současně chované populace okounů říčních, mohlo by dojít k zefektivnění jejich farmových chovů. Mandiki a kol. (2004) zjistili rozdílnou intenzitu růstu a rychlost metabolismu podávaného krmiva u juvenilních jedinců populací okounů z různých geografických oblastí. Byly také zaznamenány rozdíly mezi odlišnými geografickými populacemi v úspěšnosti naplnění plynového měchýře (Pimakhin a Žák, 2014).

Vliv původu ryb a způsob jejich domestikace ovlivňuje některé druhy ryb například tím, že vykazují nízkou odolnost vůči chorobám nebo nižší účinnost trávení potravy, které brání nebo zpomalují jejich další úroveň domestikace (Liao a Huang 2000; Otton 2004).

Genetické vlastnosti ryb, které jsou od začátku chovány v podmínkách intenzivních chovů, mohou být nadále ovlivňovány rodičovskými rysy a podmínkami prostředí, ze kterých pocházejí mateřské ryby (Mousseau a Fox, 1998). Pohyb populací ovlivněný klimatickými cykly a geografickými bariérami jsou historicky důležitými faktory při formování vnitrodruhové genetické diferenciaci (Bernatchez a Wilson, 1998; Bergek a Björklund, 2009). Tyto faktory mohou vést k přerušení toku genů mezi alopatrickými druhy, který podporuje místní genetickou specifitu genetický drift (Avisé, 2000). Takto izolované genofondy se mohou vyskytovat v různých typech stanovišť, klimatických podmínkách, s rozdílnou hustotou zarybnění nebo s dostupností a kvalitou potravy. Tyto fenotypové variance mohou být výsledkem rozdílných genetických adaptací na místní prostředí, například na abiotické a biotické faktory (Mayr, 1963; Losos a Ricklefs 2009). Mandiki a kol. (2004) pozorovali rozdíly v behaviorálních rysech, jakým je například agresivita, u rozdílných geograficky diferenciovaných populací. Behaviorální rysy agresivního chování mohou být ovlivněny i podmínkami intenzivní akvakultury. Projev těchto rysů může být v útočení na ostatní jedince stejného nebo odlišného druhu (Damsgård a Huntingford, 2012). V některých případech vede toto chování i ke kanibalismu, který je v akvakultuře nežádoucí (Baras, 2013).

U mnoha populací živočichů (tedy i ryb) je možné sledovat syndrom životního tempa (POLS), který naznačuje, že mezi chováním a fyziologií je souvislost s historií životních podmínek rozdílných populací stejného druhu (Reale a kol., 2010). POLS dělíme na rychlé a pomalé. Jedinci spadající do skupiny rychlého POLS vykazují například rychlejší

růst, vyšší metabolické procesy, vyšší náchylnost k vnějším vlivům, rychlejší pohlavní dozrávání, nižší citlivost na stres a mají kratší životnost. Pomalý POLS je definován jako přesný opak rychlého POLS – pomalý růst, nižší metabolické procesy, opožděné pohlavní dozrávání, nižší náchylnost k vnějším vlivům, citlivější imunitní vlastnosti a delší životnost (Polverino a kol., 2018; Ricklefs a Wikelski, 2002; Lee a kol., 2008). Reale a kol. (2010) uvádí, že jedinci rychlého POLS mohou dosáhnout podobné kondice ve srovnání s jedinci pomalého POLS, ale budou vykazovat vyšší aktivitu, agresivní chování a budou bojácnější. Závorka a kol. (2015) provedli pozorování růstu volně žijících pstruhů potočních (*Salmo trutta*). Zjištěním tohoto výzkumu bylo, že růst pstruhů závisí na komplexní interakci mezi individuální aktivitou a množstvím potravy. POLS rychlí jedinci rostli rychleji, než POLS pomalí ve stabilním prostředí bohatém na potravu. V situaci, kdy bylo potravy méně a byla hůře dostupná se růstové schopnosti vyrovnaly nebo pomalí POLS jedinci rostli rychleji, než rychlí POLS jedinci.



Obr. č. 4. Porovnání rychlosti růstu rychlých a pomalých POLS divokých jedinců pstruha potočního (*Salmo trutta*) (Závorka a kol., 2015).

Tab. č. 1. Porovnání růstových schopností v akvakulturních RAS podmínkách tří evropských populací okouna říčního v období 31, 59, 87 a 115 dní po výtěru (průměr + směrodatná odchylka) provedené Vanina a kol. (2019). Slovensko – ryby z řeky Váh; Česká republika – ryby z rybníků, Nové Hrady; Polsko – jezero, Stary Dwór.

	Dny po výtěru	Slovensko	Česká republika	Polsko
Celková hmotnost (g)	31	0.11 ± 0.02 ^b	0.13 ± 0.02 ^c	0.04 ± 0.01 ^a
	59	0.38 ± 0.04 ^a	0.60 ± 0.07 ^b	0.30 ± 0.03 ^a
	87	2.22 ± 0.22 ^a	4.12 ± 0.40 ^c	3.07 ± 0.33 ^b
	115	5.98 ± 0.46 ^a	8.95 ± 3.14 ^b	6.70 ± 0.46 ^a
SGR (%.den ⁻¹)	31-59	4.29 ± 0.31 ^a	5.41 ± 0.25 ^a	7.26 ± 0.61 ^b
	59-87	10.66 ± 0.34 ^a	12.28 ± 0.29 ^b	15.57 ± 0.53 ^c
	87-115	14.20 ± 0.49 ^a	14.89 ± 0.79 ^a	18.36 ± 0.67 ^b

2.3. Vliv intenzivního chovu a domestikace na chování

Populace chované a rozmnožované v zajetí neboli domestikované linie, podléhají přímým a nepřímým evolučním změnám, které jsou způsobeny umělým výběrem (selekcí) pro požadované vlastnosti. Tyto populace mohou podléhat i vlivu příbuzenské plemenitby a genetickému driftu, zejména kdy je efektivní velikost populace nedostatečná (Falconer, 1989). Mezi první rysy, které jsou ovlivněny domestikací, patří rysy chování (Kohane a Parsons, 1988).

2.3.1. Domestikace a charakteristika domestikovaných ryb

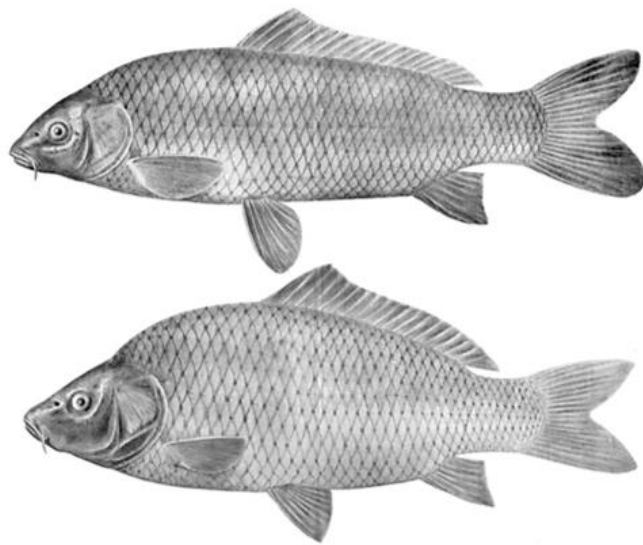
Pojmem domestikace neboli zdomácnění se chápe postupný přechod divoce žijících živočišných nebo rostlinných druhů v druhy umělého chovu vhodné (Červená a Anděra, 2001). Aby ryby byly považovány za domestikované a splňovaly základní požadavky domestikace musí, vykazovat některé charakteristiky. Mezi základní předpoklady domestikace patří dle Price (2002): nízké sklony k mezidruhové i vnitrodruhové agresivitě, samostatnost a bezproblémové oddělení potomků od rodičovského páru, omezená vnímavost jedinců na změnu prostředí a zároveň tolerance odchovného

prostředí, malá náročnost na kvalitu podávané potravy a ochota konzumovat ji. Tyto vybrané vlastnosti domestikované ryby splňují. Domestikované druhy živočichů netvoří jako divoké populace poddruhy, ale plemena.

První domestikace ryb započala se zpožděním oproti jiným hospodářským druhům, a to teprve před 2000-3500 lety. Mezi první domestikované druhy ryb patří kapr obecný a tlamoun nilský (*Oreocromis niloticus*). Kapr obecný se začal domestikovat díky jeho hojnému výskytu a snadnému transportu za účelem stravy vojáků římské armády (Balon, 2004). U tilápie nilské byl zaznamenán umělý výtěr na freskách v zavlažovacích nádržích na území starověkého Egypta (Harache, 2002; Diana a kol., 2013). Dále dlouze domestikovaným druhem je karas zlatý (*Carassius auratus*), který byl domestikován v Číně přibližně před 1000 lety (Chen, 1956).

Dle Balona (2004) u ryb neproběhla úplná domestikace, ale pouze její první stupeň, protože nedosáhly některých podmínek zejména tím, že alespoň nějakí jedinci nejsou schopni bez lidské pomoci přežít v přirozeném divokém prostředí.

Vlivem domestikace se změnilo mnohé charakteristické rysy divoce žijících jedinců stejného druhu. Například kapr, nejčastěji chovaná ryba na území České republiky, se díky domestikaci změnil od charakteristického nízkého torpédovitého tvaru těla k vysokému a širokému tvaru těla (Balon, 2004). Díky domestikaci se u kapra zvýšila variabilita zbarvení (Balon, 1995). Vlivem domestikace u pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) se z přirozené vlastnosti rozmnožovat jednou ročně vyvinula schopnost reprodukce celoročně, především díky selektivnímu chovu a umělému řízení délky dne. Dále se u pstruha duhového zvýšila rychlost růstu, odolnost vůči onemocněním a plodnost (Gall a Crandell, 1992; Fornshell, 2002). U lososa obecného, hojně chovaného domestikovaného druhu, se díky domestikaci zlepšily vlastnosti jako je ranná pohlavní dospělost, odolnost vůči nemocem a stresu, nebo zlepšení kvality masa (Gjedrem a kol, 2012; Gjedrem, 2012; Gjedrem, 2010; Gjedrem, 2000). Dle Gjedrema (2012) se za dobu domestikace snížila doba produkce tržních lososů na polovinu.



Obr. č. 5. Porovnání divoké (nahore) a domestikované (dole) formy kapra obecného (Balon, 2004).

2.3.2. Plavání

Plavání, jediná možnost pro pohyb ryb, je chování, které ryby využívají za účelem vyhledání potravy, vyhnutí se a útěku před predátory nebo reprodukce. Plavání je jedna z nejdůležitějších možností, jak mohou ryby zefektivnit vyhledávání potravy či únik před predátorem. V podmínkách umělého chovu ryb ale plavání ztrácí tento esenciální význam v porovnání s přirozeným prostředím. Obecně platí, že ryby v umělých chovech mají k dispozici méně prostoru k pohybu. Tato skutečnost neplatí, pokud jsou k domestikaci selektovány ryby podle jejich morfologických a fyziologických vlastností, které mohou přímo ovlivnit plavecké výkony (Pasquet, 2018). Na základě výzkumu provedeném Reinboldem a kol. (2009) byl zjištěn výrazně nižší plavecký potenciál u více domestikovaných jedinců pstruha duhového než u polodivokých jedinců i s faktem, že polodivocí jedinci měli nižší tělesnou hmotnost než více domestikovaní jedinci. Benhaïm a kol. (2012) ověřili, že divocí juvenilní jedinci mořčáka evropského (*Dicentrarchus labrax*) vykazovali větší rychlost plavání a únikovou vzdálenost než stejně staří jedinci z uzavřených chovů. Toto zjištění znamená, že divocí jedinci mají větší reaktivitu a delší únikovou vzdálenost než domestikovaní jedinci. Reinbold a kol. (2009) tvrdí, že rychleji rostoucí jedinci (jedinci domestikovaní) vykazují sníženou aktivitu a výkonnost ve srovnání s jedinci pomalu rostoucími (divocí jedinci). V pokusu, který provedl Wegner a

kol. (2018) zjistili, že jedinci divoce žijícího kranase amerického (*Seriola dorsalis*) měli výrazně vyšší plavecké schopnosti ($92.93 \pm 13.32 \text{ cm. s}^{-1}$) než jedinci pocházející z komerčního chovu ($77.08 \pm 9.36 \text{ cm.s}^{-1}$). Divocí jedinci kranase amerického měli zároveň o 36–42% nižší spotřebu kyslíku při nižší rychlosti plavání ($20\text{-}30 \text{ cm.s}^{-1}$), než jedinci z komerčního chovu. Ze zjištění, které zpracoval Pasquet (2018) do své rešerše vyplývá, že divoké ryby vykazovaly větší rychlost a plavecké schopnosti než ryby domestikované. Pasquet (2018) se domnívá, že domestikace snižuje plavecké výkony ryb, což dává do souvislostí s některými fyziologickými změnami (např. biometrické charakteristiky).

2.3.3. Potravní chování

Potravní chování ryb je velmi komplexní, složité a přímo souvisí s příjmem potravy. Ryby, které mají širokou škálu stravovacích návyků, jakými jsou: způsob příjmu potravy, mechanismy detekce potravy, frekvence příjmu potravy, potravní preference. Díky těmto návykům slouží ryby jako dobré modelové organismy pro studium potravního chování (Volkoff a Peter, 2006). Potravní chování ryb je ovlivněno řadou faktorů, nejvíce však environmentálními faktory, především teplotou vody a fotoperiodou. Například v mírném pásu (jedno z přirozených stanovišť okouna říčního) je známo, že se zkracující se fotoperiodou a snižující se teplotou vody v podzimních a zimních měsících se snižuje ochota příjmu potravy (Hart, 1993).

Příjem potravy, ale i rychlost růstu v komerčních chovech ovlivňuje množství podaného krmiva a frekvence krmných dávek (Boujard a Leatherland, 1992). Dwyer a kol. (2002) zjistili, že pokud se platýsovi zlatému (*Limanda ferruginea*) podává denně méně krmných dávek, jedinci zkonzumují větší množství podávaného krmiva. Sanchez a kol. (2001) zjistili, že domestikovaní juvenilní jedinci pstruha obecného přijímají po vykulení více potravy než jedinci z volného prostředí chovaní v totožných podmínkách. Potravní chování je ovlivněno i tím, jak ryby vnímají podávanou potravu. Čichové a chuťové chemoreceptory dokážou vnímat a rozlišovat složení stravy a tím stimulovat ochotu přijímat krmivo. Zejména se jedná o cukry, aminokyseliny a soli (Carr a kol., 1996). Narnawere a Peter (2002) přišli se zjištěním, že karas zlatý upřednostňuje krmivo s vysokým obsahem sacharidů před krmivem s jeho nižším obsahem a zároveň

upřednostňuje krmivo s vyšším obsahem tuků před krmivem s nižším obsahem. Geurden a kol. (2005) přišli se zjištěním, že pstruh duhový umí rozeznat složku krmiva, zda je přísadou rybí olej nebo olej rostlinného původu.

Příjem potravy je také ovlivněn strukturou biotopu nebo přítomností a četností predátorů. U ryb chovaných v akvakultuře je ovlivněn příjem potravy hustotou obsádky a sociálními interakcemi, kdy si dominantní jedinci monopolizují prostor, kde je podávána potrava (např. lososovité druhy ryb) (Volkoff a Peter, 2006; Gilmour a kol., 2005).

Parametry kvality rybí svaloviny (například: textura, vzhled, vůně nebo chuť a pigmentace), pro kterou jsou ryby komerčně chovány, je z velké části ovlivněna podávanou potravou. Zatím co divoké ryby využívají jako potravní zdroj přirozeně se vyskytující organismy v jejich přirozeném prostředí (převážně zooplankton, vodní rostliny, bentos, nebo jiné rybí druhy), komerčně chované ryby přijímají umělá krmiva složená z velké části z rybí moučky (Cahu a kol., 2004).

2.3.4. Sociální chování a agresivita

U ryb odchovávaných v podmínkách komerčních chovů se předpokládá působení jiných faktorů než v přirozeném prostředí a tím změna chování. Změna přirozeného chování je způsobena několika důvody, jakými jsou například zvýšená hustota obsádky, dostupnost potravy, absence predátorů, méně strukturovaný životní prostor (absence přirozených úkrytů a teritorií) (Brown a Laland, 2003). Ryby určené pro farmový chov jsou často selektivně chovány pro produkční vlastnosti, jakými jsou například rychlost růstu nebo zmasilost, které mají vliv na změnu chování u jedinců (Huntingford, 2004).

Agresivita je typ chování, které ryby využívají pro boj mezi sebou o potravu, teritorium nebo o přístup k partnerovi v reprodukci (Reebs, 2008). Ruzzante (1994) uvádí ve svém výzkumu, že domestikovaní jedinci jsou agresivnější než divocí jedinci stejného druhu. Důvodem větší agresivity domestikovaných jedinců je to, že jsou častěji vystavováni boji o potravu. Weir a kol. (2004) uvádí, že agresivita a dominantní chování je spojeno se znalostí prostředí. V podmínkách volného prostředí jsou dominantní divocí jedinci na úkor domestikovaných, naopak domestikovaní jedinci jsou dominantní v podmínkách umělého chovu. Abbot a kol. (1989) zjistili, že agresivita a dominantní

chování u dominantních jedinců pstruha duhového jsou neměnné a ryby mají v paměti své hierarchické místo. Tito dominantní jedinci vykazovali vyšší agresivitu a dominanci nad výrazně většími a těžšími subdominantními jedinci. V jiném experimentu provedeném Rowlandem (1989) na koljuškách tříostných (*Gasterosteus aculeatus*) se ukázalo, že vyšší dominanci a agresivitu vykazovali hmotnostně těžší jedinci nad jedinci lehčími.

Vlivem domestikace se u domestikovaných ryb ztratilo nebo silně omezilo anti-predátorské chování oproti volně žijícím jedincům. Johnsson a kol. (2001) zjistili horší a laxnější reakci domestikovaných lososů obecných na predátorovu přítomnost než u jedinců pocházejících z volné přírody v totožném prostředí. Změny v anti-predačním chování se mohou projevit už u první domestikované generace (Alvarez a Nieceza, 2003). Tyto změny v chování a sebezáchově jsou potenciálně rizikové pro domestikované ryby, které unikly do volného prostředí.

2.3.5. Stresová odolnost

Brett (1958) definoval stres jako stav produkovaný environmentálním nebo jiným faktorem, který rozšiřuje adaptivní reakci zvířete na normální situaci, nebo narušuje normální fungování do takové míry, kdy je šance na přežití výrazně snížena. Ryby jsou vystaveny stresorům v umělých podmínkách, nebo ve volné přírodě. Zda je stres účinnou obranou pro určité situace je ovlivněno jeho intenzitou nebo mírou trvání (Iwama a kol, 1998).

Dle Iwama a kol. (1998) se dají stresory (podněty pro stresovou reakci) rozdělit do tří kategorií, a to na environmentální, fyzikální a biologické. Mezi environmentální stresory se nejčastěji řadí nepříznivé chemické parametry vody (hodnota nasycení kyslíkem, pH, nebo znečištění nežádoucími látkami). Mezi fyzikální stresory přírodního původu patří například teplota nebo shloučení v období sucha. Mezi fyzikální stresory antropogenního původu patří například stresory v podobě přepravy nebo činnosti spojeny s výlovem ryb (shloučení v síti, třídění, mechanické poškození). Mezi biologické stresory můžeme řadit konkurenční boj a hierarchické uspořádání v populaci nebo různé patogeny.

Pokud jsou ryby vystaveny nadměrnému a dlouhotrvajícímu stresu, mohou u nich nastat některé změny. Stres například ovlivňuje působení kortikosteroidů a tím snižuje imunokompetenci (ovlivňuje počet lymfocytů a produkci protilátek), reprodukci (změna hladin reprodukčních hormonů) nebo růst a metabolismus (Barton a Iwama, 1991). V podmínkách běžné akvakultury je stres dle Bartona a Iwamy (1991) možné eliminovat řadou různých zootechnických postupů. U domestikace je předpoklad, že vede k nižší úrovni zvládnání stresu rybích populací v podmínkách akvakultury, ale naopak se může zhoršit, pokud ryby zažijí změnu v prostředí (Martos-Sytcha a kol., 2020). Rehman a kol., (2017) považují stres za jeden z hlavních problémů akvakultury. Zejména náchylné na vliv stresu se považují larvální stádia ryb, která procházejí intenzivním fyziologickým vývojem. Zlepšením zootechnické praxe v líhních by se mohla eliminovat vyšší mortalita raných vývojových stádií ryb. Náchylnost larválních stádií ryb na stres je způsobena neúplně funkčním imunitním systémem, zažívacím systémem nebo osmotickým systémem (Bricknell a Dalmo, 2005; Holt, 2011).

2.3.5.1. Způsoby hodnocení odolnosti proti stresové zátěži

Kortizol je hlavním kortikosteroidem u kostnatých ryb. Koncentrace kortizolu v krvi dramaticky stoupá při stresových situacích (Mommsen a kol., 1999). Při normálních nestresových situacích jsou hodnoty bazálního kortizolu typicky nižší než $10 \text{ ng} \cdot \text{ml}^{-1}$, ale některé druhy mohou vykazovat i vyšší hodnoty bazálního kortizolu. Variabilita hladiny kortikosteroidů je ovlivněna mnohými faktory, jakými jsou: úroveň stresu, pohlaví a pohlavní dospělost nebo denní a roční doba (Pankhurst, 2011). Každý rybí druh reaguje zvýšením hladiny kortizolu jinou koncentrací i když jsou vystaveny totožnému stresoru (Branson, 2008). Koncentrace kortizolu v krvi je nejvyšší přibližně hodinu od podnětu stresorem. Normální hodnoty koncentrace kortizolu nastávají do šesti hodin od konce podnětu způsobeného stresorem (Martínez – Porchas a kol., 2009). Kortizol je nejen nezbytným hormonem účastnícím se stresové reakce, ale dále hraje významnou roli v osmoregulaci (ovlivňuje retenci minerálních látek v těle), růstu nebo reprodukci (působením na centrální nervovou soustavu) (Mommsen a kol., 1999).

Pro stanovení a zejména porovnávání hladin kortizolu u rozdílných jedinců je nutné používat ryby ze stejných podmínek, kde jsou jedinci vystavováni stejným vlivům. Pro hodnocení a zjišťování hladiny kortizolu se používá několik metod. Nejvýznamnější a

nejpoužívanější metodou je stanovení koncentrace kortizolu v krvi (Branson, 2008). Pokud není možné odebrat vzorek krve nebo od podnětu stresu uplynula delší doba, lze koncentraci kortizolu stanovit ze žluče. Podle Bransona (2008) je možné určit přibližnou hladinu kortizolu z exkretů žaber, kudy ryby vylučují volný kortizol. Pokud je nutné zjistit hladinu kortizolu u juvenilních stádií ryb, využívá se metoda stanovení z celých těl ryb (Branson, 2008). Existují i neinvazivní metody zjištění kortizolu, a to z šupin ryb (stanovení dlouhodobého stresu) nebo z vody, ve které ryby žijí. Díky nulové manipulaci s rybami při vzorkování vody se výrazně předchází možnému spuštění stresové reakce (Scott a Elis, 2007).

3. Materiál a metodika

Pokusy byly provedeny v prostorách akvariálních místností Laboratoře intenzivní akvakultury a umělé reprodukce ryb na Ústavu akvakultury a ochrany vod Fakulty rybářství a ochrany vod v Českých Budějovicích v období od listopadu 2019 do února 2020. Pro potřeby pokusů byly použity čtyři geograficky rozdílné populace okouna říčního (*Perca fluviatilis*) původem z intenzivních farem v Maďarska, Francie (2 farmy) a Dánska.

Pokusy byly rozděleny na morfometrii, stav a poškození ploutví, somatické indexy, kritická rychlost plavání (U_{crit}); test stresové zátěže z přechodně zvýšené hustoty obsádky, test explorativního chování po umístění nového objektu, test ve volném prostoru – charakterizace personality ryb, testování agresivity skupiny. Pokusy byly provedeny bez vzájemné návaznosti s použitím všech čtyř populací. První částí bylo měření fitness ryb pomocí kritické hodnoty plavání. Druhou částí bylo testování stresové reakce snížením hladiny. Třetí část testovala reakci ryb na nový předmět v nádrži, čtvrtá část testovala aktivitu jednotlivých ryb. Pátým pokusem se testovala skupinová agresivita ryb.

3.1. Použitý materiál

3.1.1. Původ dovezených populací ryb

Do akvarijní místnosti byly během listopadu 2019 dovezeny čtyři rozdílné populace okouna říčního (*Perca fluviatilis*) pocházející z intenzivních chovů. Informace ohledně původu ryb a další podrobnosti jsou uvedeny v Tab. č. 2.

Tab. č. 2. Znamé informace o původu ryb

Farma	Asialor SARL (FRA-I)	Lucas Perches SARL (FRA-II)	Danmarks Center for Vildlaks (DAN)	H & H Carpio Fishfarming Ltd. (MAD)
Země	Francie	Francie	Dánsko	Maďarsko
GPS souřadnice	48°82'12,60" N 6°71'49,57" E	48°84'11,16" N 6°58'04,35" E	55°56'48,8" N 8°34'53,9" E	???
Počet jedinců	300	300	300	300
Stáří (dnů od vykolení)	180	???	366	???
Úroveň domestikace	F15 – F20	???	F3 – F4	F1
Krmivo	Efico Sigma, Biomar, Dánsko	???	Aller performa, Aller Aqua, Dánsko	???

3.1.2. Aklimatizace a podmínky chovu v laboratorních podmínkách

Okouni byli transportováni v polyethylenových pytlích naplněných z 1/3 vodou z odchovných nádrží a 2/3 kyslíkovou atmosférou. Pytle s rybami byly vloženy do termo boxů pro zachování teploty, ve které okouni byli odchováni.

Aklimatizace na laboratorní podmínky probíhala v prostorech akvariijní místnosti při zvyšující se teplotě o 1 °C za hodinu na požadovanou teplotu $23,0 \pm 1,0$ °C. Po aklimatizaci byly ryby umístěny do zelených kruhových nádrží (každá populace v samostatné nádrži) o objemu 800 l. Recirkulace vody byla nastavena na výměnu 1,5 objemu nádrže/hodinu a chemické parametry vody v nádržích jsou uvedeny v Tab. č. 3. Chemické parametry vody byly kontrolovány dvakrát denně pomocí multimetru (HACH Lange HQ40d, Německo). Každý druhý den byla sledována koncentrace celkového amoniaku a dusitanů pomocí spektrofotometru (DR 2800, HACH, USA) s požadovanou koncentrací viz Tab. č. 3. Fotoperioda byla nastavena: 12 hodin světlo a 12 hodin tma s intenzitou záření 400 lx. Intenzita měření byla měřena lux metrem (DT 8809, Cem, Čína).

Krmivo pro ryby bylo přivezeno stejné, jaké se používalo na odchovné farmě dané populace okounů, pro minimalizaci stresu změnou složení. Jednotlivé krmiva a jejich složení je uvedeno v Tab. č. 2. Denní krmná dávka byla stanovena na 1,5% celkové biomasy ryb v nádrži s frekvencí krmení třikrát denně (7:30; 14:00; 19:15). Pro aplikaci krmiva byla využita automatická krmítka (model 2582, Eheim Twinfeeder, Německo).

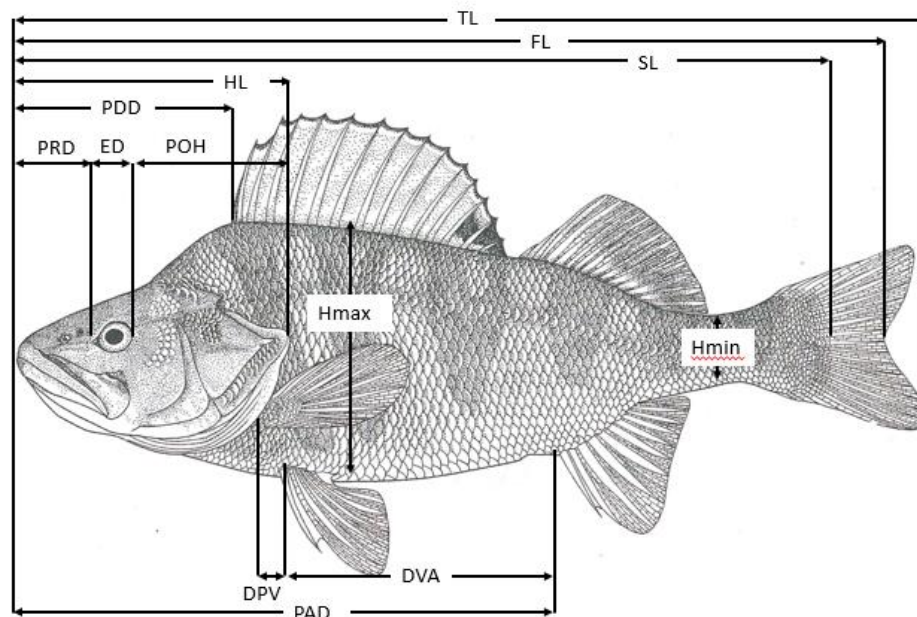
Tab. č. 3. Udržované chemické parametry v odchovných nádržích

Chemický parametr	Hodnoty
Teplota (°C)	$23,0 \pm 1,0$
pH	$7,0 \pm 0,3$
Nasycení kyslíkem (%)	90
Celkový amoniak (mg.l^{-1})	< 0,05
Dusitany (mg.l^{-1})	< 0,05

3.3. Morfometrie, stav a poškození ploutví, somatické indexy

Pro lepší poznání fyziologických vlastností ryb byly dva týdny po přivezení ryb a jejich adaptaci na laboratorní prostředí provedeny morfometrické měření a měření somatických indexů.

Pro morfometrické měření bylo použito 100 náhodně chycených ryb z každé skupiny (dohromady 400 kusů). Ryby byly před měřením uspány v koupeli s anestetikem (hřebíčkový olej, koncentrace 200 μ l na 10 l vody). Po anestezii ryb byly jednotlivě zváženy na váze (OHAUS Explorer, EX224M, USA) s přesností na 0,1 mg. Po zvážení byly ryby vyfoceny z obou boků a z ventrální strany pomocí fotoaparátu (Canon, DR5300). Analýza morfometrických vlastností byla se provedena v počítačovém softwaru, kdy se měřilo celkem 14 parametrů. Jako měřicí software byl použit ImageJ (Public Domain, BSD-2, USA) dle metodiky, kterou uvádí Rueden a kol. (2017).



Obr. č. 6. Měřené morfometrické vzdálenosti na těle ryb

Pro výpočet relativních délek ploutví a jejich poškození (druhá hřbetní ploutev, ocasní ploutev, řitní ploutev, dvě prsní ploutve, dvě břišní ploutve) byly použity vzorce uváděné v publikaci Stejskal a kol. (2020).

- $RD \text{ ploutve} = D \text{ ploutve} \times SD^{-1}$

Kdy D ploutve je změřená délka konkrétní ploutve (mm) a SD je standardní délka jedince (mm).

Součet všech celkových délek ploutví k poměru standardní délky těla (TRFL) byl použit pro vyjádření poškození ploutví (Stejskal a kol., 2020).

- $TRFL = (L_{RPF} + L_{LPF} + L_{RVF} + L_{LVF} + L_{SFD} + L_{FDF} + L_{CF} + L_{AF}) \times SD^{-1}$

Kdy L_{RPF} je délka pravé prsní ploutve, L_{LPF} je délka levé prsní ploutve, L_{RVF} je délka pravé břišní ploutve, L_{LVF} je délka levé břišní ploutve, L_{SFD} je délka druhé hřbetní ploutve, L_{FDF} je délka první hřbetní ploutve, L_{CF} je délka ocasní ploutve, L_{AF} je délka řitní ploutve a SD je standardní délka konkrétní ryby. Všechny hodnoty byly počítány v mm.

Pro zjištění somatických indexů získaných populací ryb bylo použito 20 náhodně vybraných jedinců z každé populace (dohromady 80 ryb). Ryby byly usmrceny v lázni s letální koncentrací hřebíčkového oleje dle metody uváděné v publikaci Hamáčková a kol. (2006). Z ryb byly následně vypreparovány jednotlivé orgány pro zvážení a následný výpočet somatických indexů. Pro zvážení jednotlivých orgánů byla použita váha (OHAUS Explorer, EX224M, USA) s přesností 0,1 mg. Hodnoty byly vypočítány dle následujících vzorců:

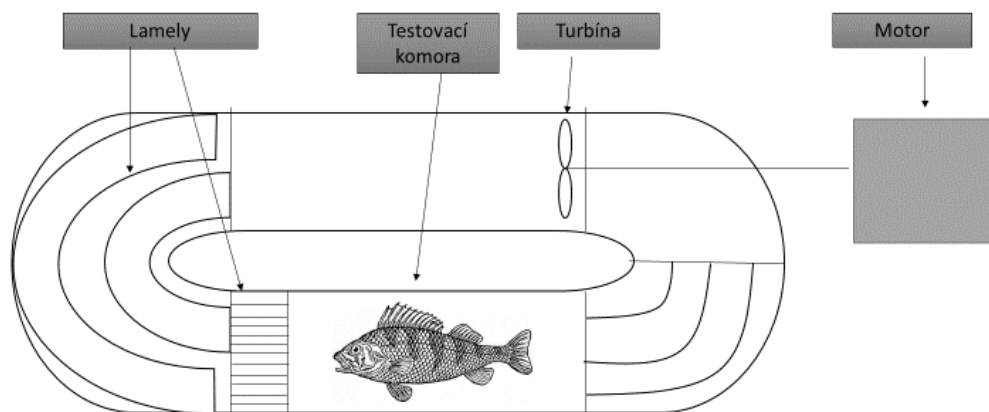
- Hepatosomatický index (HSI) = $100 \times \text{váha jater} / \text{váha těla}$
- Gonadosomatický index (GSI) = $100 \times \text{váha gonád} / \text{váha těla}$
- Index periviscerálního tuku (PVSI) = $100 \times \text{váha tuku} / \text{váha těla}$
- Splenosomatický index (SSI) = $100 \times \text{váha sleziny} / \text{váha těla}$
- Kardiosomatický index (CSI) = $100 \times \text{váha srdce} / \text{váha těla}$



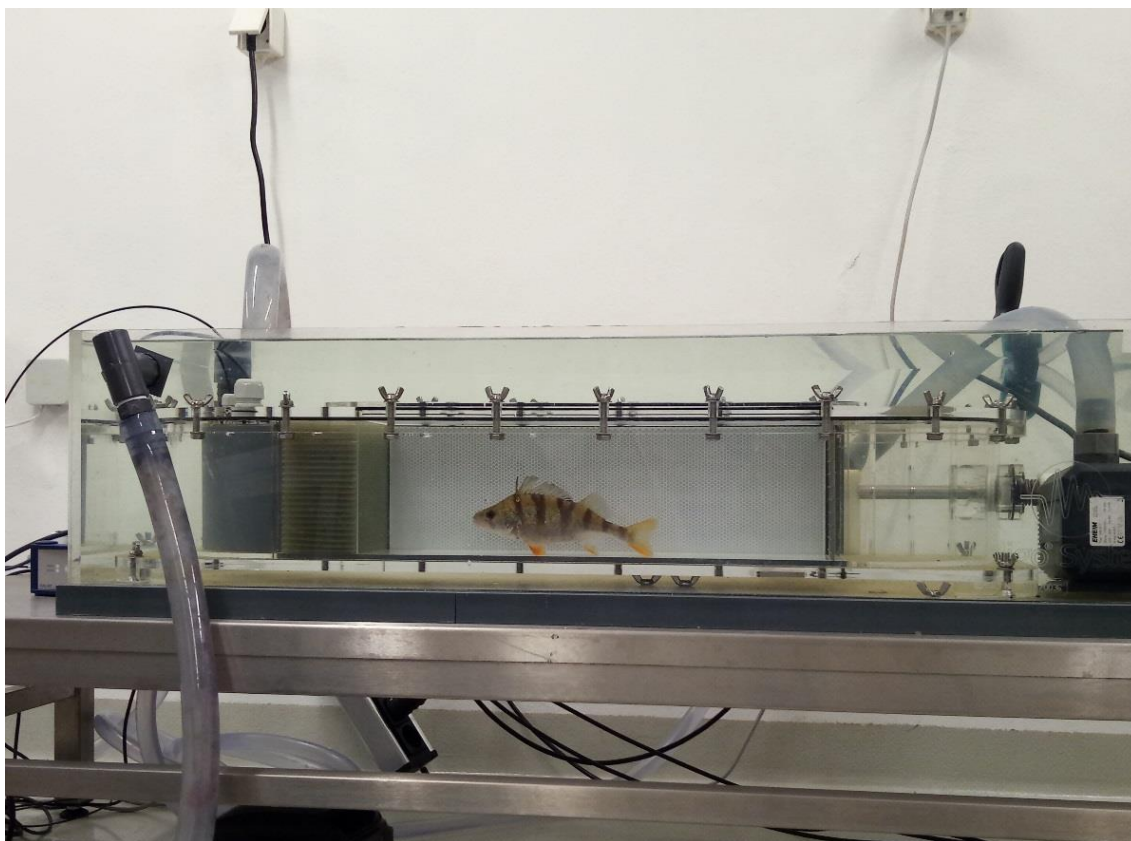
Obr. č. 7. Fotografie z průběhu měření morfometrie, stavu a poškození ploutví

3.4. Kritická rychlost plavání (U_{crit})

Pro měření kritické rychlosti plavání byl použit plavací tunel Steffensenova typu o objemu 10 l s kyslíkovou sondou od firmy Loligo System Inc., (Viborg, Dánsko). Velikost testovací komory byla 10 cm x 10 cm x 38 cm. Celý systém byl vybaven zásobní nádrží, kde probíhala aerace vody pomocí vzduchovacích kamenů. Aerovaná voda byla pumpována do plavacího tunelu pro následné měření.



Obr. č. 8. Schéma plavacího tunelu Steffensenova typu



Obr. č. 9. Fotografie z průběhu měření kritické rychlosti plavání okounů v Steffensenově tunelu

Pro měření kritické rychlosti plavání bylo využito 50 ryb z každé populace (celkově 200 ryb), kdy každá ryba byla měřena pouze jednou. Ryby z jednotlivých experimentálních skupin byly do testu umísťovány rotačním způsobem. Měření ryb v plavacím tunelu probíhalo po jedné rybě. Před umístěním ryby do tunelu byla změřena její přesná délka těla, výška těla a šířka těla. Poté probíhala aklimatizace ryby po dobu 20 minut při rychlosti proudění 5 cm/s. Po dokončení aklimatizace začal samotný test, při zvyšování rychlosti proudění 2 cm/s každou minutu, až do doby, než ryba přestala únavou plavat. Během každého měření byla sledována spotřeba kyslíku každou rybou, a to metodou uzavřené respirometrie. Kritická rychlost plavání byla vypočítána dle Bretta (1965). Každé měření začínalo při stejných chemických parametrech vody ($O_2 \geq 90\%$, $pH 7 \pm 0.5$, $T 23 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$).

3.5. Test stresové zátěže z přechodně zvýšené hustoty obsádky

Pro vyhodnocení reakce a změn krevního obrazu po shloučení ryb byla použita metoda snížení hladiny vody v každé nádrži na úroveň 5 cm nad hřbetní ploutve ryb po dobu 30 minut. Po uplynutí stanovené doby byla hladina vody vrácena na původní hladinu. Takovéto měření probíhalo postupně po jedné nádrži.

Před samotným odběrem vzorků krve byly ryby anestetovány v koupeli s hřebíčkovým olejem (koncentrace: 200 $\mu\text{l}/10\text{ l}$ vody). Pro odběr krve byly použity injekční stříkačky s heparinem od výrobce Omnifix-F Solo 1 ml (Braun, Melsungen, Německo). Místo odběru bylo zvoleno z ocasní tepny. Vzorky krve (plasmy) byly odebrány u sedmi náhodně vybraných jedinců před přechodným zvýšením hustoty obsádky (kontrola) a následně 30 minut, 12 hodin a 24 hodin po návratu původních podmínek v odchovné nádrži ($n = 112$). Takto odebrané vzorky byly následně přechovávány v Eppendorfových zkumavkách na ledu (maximálně 20 minut) než byly centrifugovány ($10\,000 \times g/10\text{ min}$). Takto centrifugované vzorky byly skladovány v $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, než byly odeslány na laboratorní analýzu (STAFILA, Česká republika) pro zjištění hodnot alanin aminotransferázy (ALT), aspartát aminotransferázy (AST), alkalická fosfatázy (ALP), laktát dehydrogenázy (LDH) a koncentrace glukózy, kortizolu a iontů draslíku (K^+).

3.6. Test explorativního chování po umístění nového objektu

Pro tento experiment byla použita metoda uváděná v práci Jones a Godin (2010). Celkově bylo testu podrobena 360 ryb (90 ryb z každé populace). Jako nádrže pro provedení byly použity plastové boxy bílé barvy o rozměrech 37 cm x 57,5 cm x 73,5 cm (H x Š x D), kde byly ryby umístěny individuálně. Chemické parametry dechlorované a odstáté vodovodní vody byly nastaveny na $\text{O}_2 \geq 90\%$, $\text{pH } 7 \pm 0,5$ a $T 23 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po každém pokusu byl celý objem vody v nádrži vyměněn.

Po umístění ryby do boxu probíhala 15 minut aklimatizace. Následně byla do nádrže vložena stavebnicová kostka LEGO žluté barvy (LEGO 6176 DUPLO), která představovala nový objekt v boxu. Chování ryby vůči tomuto, na střed umístěnému,

předmětu bylo po následujících 30 min sledováno a nahráváno kamerovým systémem (model DS – 2CD2043G0 – I, Hikvision, Hangzhou, Čína). Všichni měření jedinci byli použiti v testu pouze jednou.

Videozáznamy byly využity pro získání dat pro tři parametry a to, počet přiblížení k předmětu na vzdálenost < 5 cm, nejbližší vzdálenost k předmětu (do 5 cm) a doba trvání do nejbližšího přiblížení k předmětu. Video byla zpracována pomocí funkce zpracování obrazů v software Matlab. Pro úpravu nahrávaného videa byly nahrávané oblasti mimo experimentální nádrž v software označeny tak, aby nezasahovaly do vyhodnocení. Po označení hran experimentální nádrže byla ryba detekována jako největší objekt v obraze. Blok lega byl detekován jako žlutý objekt prahováním obrazu podle barvy. Vzdálenost mezi rybou a legem byla vypočítána z nejmenší vzdálenosti mezi hranami objektů v pixelech. Vzdálenost pixelů byla převedena na centimetry, kdy byla velikost pixelů vypočítána ze známé velikosti předem změřeného měrného pole. Časové hodnoty nejbližších přiblížení byly vypočítány ze snímkové frekvence kamerového systému.



Obr. č. 10. Fotografie průběhu experimentu s novým předmětem v nádrži (kostka LEGO)

3.7. Test ve volném prostoru – charakterizace personality ryb

Tento test byl uskutečněn na základě metody, která je uváděna v Závorka a kol. (2015). V rámci experimentu bylo použito 90 ryb z každé populace (celkově použito 360 ryb) v měření po jedné rybě. Pro experiment byla použita bílá kruhová nádrž o rozměrech 53 cm x 68 cm, kam byly ryby jednotlivě přesunuty z odchovné nádrže. Chemické parametry vody byly nastaveny na hodnoty: $O_2 > 90 \%$, $pH 7 \pm 0,5$, $T 23 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$. Po umístění ryby do experimentální nádrže probíhala 15 minut aklimatizace. Po aklimatizaci následoval samotný test, který trval 10 minut. Aktivita ryb během testu byla zaznamenána kamerovým systémem (DS – 2CD2043G0 – I, Hikvision, Hangzhou, Čína). Uplavaná vzdálenost za 10 minut byla použita jako hodnota pro aktivitu jednotlivé ryby. Každá ryba byla pro účely tohoto testu použita pouze jednou.

Videozáznamy byly zpracovány a vyhodnoceny stejnou metodou jako u testu reakce na nový předmět v nádrži. Uplavaná vzdálenost byla vypočítána na základě záběrů kamerového systému a změnám poloh ryb na jednotlivých snímcích.

3.8. Testování agresivity skupiny

Pro tento druh testu bylo použito hejno o 20 ks ryb ve třech opakováních. Pro test byla použita experimentální bílá kruhová nádrž o rozměrech 53 cm x 68 cm. Aklimatizace na nové prostředí probíhala 24 hodin ve vodě o chemických parametrech: $O_2 > 90 \%$, $pH 7 \pm 0,5$ a $T 23 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$, než začal samotný test. Délka testu byla nastavena na 30 minut, po kterou byla kamerovým systémem (DS – 2CD2043G0 – I, Hikvision, Hangzhou, Čína) pozorována vzájemná agrese. Pro lepší efektivitu testu nebyly ryby během celé aklimatizace a testu krmeny. Po každém testu byla nádrž vypláchnuta a vyměněna voda. Tento test byl proveden dle uváděné metodiky Toomey a kol. (2019).

3.9. Statistická analýza

Morfometrické indexy populací ryb nespĺňovaly předpoklad pro PCA analýzy, diskriminační analýzy ani parametrické ANOVY, proto byly tyto indexy porovnávané pomocí Kruskal – Wallisova H testu s vícenásobným porovnáním prostředků jako post – hoc testu.

Somatické indexy vykazovaly nestandardní distribuci dat, a proto byl pro vyhodnocení a porovnání těchto indexů použit Kruskal – Wallisův H test s vícenásobným porovnáním průměrů, jako post – hoc test.

Test kritické rychlosti plavání splňovaly všechny předpoklady a podmínky ANCOVY, která proto byla použita. Pomocí ANCOVY se určil vliv rozdílných populací na kritickou rychlost plavání (U_{crit}), s použitím kovariáty v podobě standardní délky těla. Údaje jsou udávané jako průměr $U_{crit} \pm$ směrodatná odchylka.

V testu explorativního chování po umístění nového objektu byla utvořena hodnotící škála (1–10) s počtem přiblížení: plachost (0 přiblížení), střed (1–5 přiblížení) a odvážnost (≥ 6 přiblížení). Parametry testu explorativního chování po umístění nového objektu, testu stresové zátěže z přechodně zvýšené hustoty obsádky, testu ve volném prostoru a testu agresivity nespĺňovaly předpoklad pro parametrický test (MANOVA, ANOVA) a proto byly analyzovány pomocí Kruskal – Wallisova H testu s vícenásobným porovnáním prostředků jako post – hoc testem.

4. Výsledky

4.1. Morfometrie, stav a poškození ploutví, somatické indexy

Statisticky signifikantní hmotnostní rozdíly byly zjištěny mezi jednotlivými populacemi okouna říčního. Největší individuální hmotnost vykazovali jedinci z francouzské populace (FRA-II). Další francouzská populace (FRA-I) a dánská populace (DAN) vykazovali podobné hmotnostní hodnoty. Nejnižší hmotnost vykazovali jedinci z maďarské populace (MAD).

Tab. č. 4. Individuální hmotnost jednotlivých populací okounů (n=200).

	FRA-I	FRA-II	DAN	MAD
Hmotnost (g)	43,0 ± 7,3 ^b	85,9 ± 20,4 ^a	41,4 ± 6,7 ^b	36,0 ± 7,4 ^c

Všechny naměřené morfometrické hodnoty na těle ryb u skupin FRA-I, FRA-II, DAN a MAD byly signifikantně rozdílné. Výjimku tvořila vzdálenost mezi prsními a břišními ploutvemi (viz. Tab. č. 5.).

Tab. č. 5. Naměřené morfometrické hodnoty u jednotlivých populací intenzivně chovaných okounů říčních Francie (FRA-I, FRA-II), Dánsko (DAN) a Maďarsko (MAD) (n = 100)

	FRA-I	FRA-II	DAN	MAD
PDD/SD	0,352 ± 0,002 ^a	0,348 ± 0,003 ^{ab}	0,344 ± 0,023 ^b	0,355 ± 0,027 ^a
HL/SD	0,281 ± 0,012 ^b	0,281 ± 0,013 ^b	0,285 ± 0,014 ^a	0,267 ± 0,023 ^b
PRD/SD	0,064 ± 0,006 ^b	0,064 ± 0,007 ^b	0,071 ± 0,008 ^a	0,059 ± 0,008 ^c
POH/SD	0,155 ± 0,013 ^{ab}	0,159 ± 0,011 ^a	0,158 ± 0,011 ^a	0,148 ± 0,020 ^b
ED/SD	0,068 ± 0,007 ^a	0,064 ± 0,007 ^b	0,063 ± 0,007 ^b	0,063 ± 0,008 ^b
DPV/SD	0,071 ± 0,011	0,067 ± 0,009	0,069 ± 0,013	0,068 ± 0,012
PVD/SD	0,359 ± 0,014 ^b	0,356 ± 0,014 ^b	0,369 ± 0,021 ^a	0,349 ± 0,018 ^c
DVA/SD	0,331 ± 0,015 ^d	0,352 ± 0,018 ^b	0,340 ± 0,027 ^c	0,366 ± 0,024 ^a
PAD/SD	0,685 ± 0,014 ^b	0,701 ± 0,017 ^a	0,703 ± 0,025 ^a	0,707 ± 0,018 ^a
Hmax/SD	0,275 ± 0,024 ^b	0,264 ± 0,015 ^c	0,266 ± 0,022 ^c	0,289 ± 0,029 ^a
Hmin/SD	0,085 ± 0,006 ^a	0,076 ± 0,007 ^b	0,090 ± 0,019 ^a	0,087 ± 0,008 ^a

Legenda: SD – standardní délka, PDD – vzdálenost ryhce od prvního paprsku hřbetní ploutve, HL – délka hlavy, PRD – vzdálenost ryhce od oka, POH – vzdálenost oka od konce skřelového víčka, ED – velikost oka, DPV – vzdálenost prsní a břišní ploutve, PVD – vzdálenost ryhce od břišní ploutve, DVA – vzdálenost břišní a řitní ploutve, PAD – vzdálenost ryhce od řitní ploutve, Hmax – největší výška těla, Hmin – nejmenší výška těla

U délek ploutví testovaných populací byly zjištěny signifikantní rozdíly, které jsou vyjádřeny v Tab. č. 6. Statisticky signifikantní rozdíl relativních délek ploutví byl zaznamenán pouze u populací FRA-I a MAD v porovnání se zbylými dvěma populacemi. Nejnižší hodnoty v délce prsních ploutví vykazovala populace FRA-I zejména u levých prsních ploutví. Naopak nejvyšší hodnoty vykazovali levé prsní ploutve u populace MAD. Nejmenší hodnoty v délce břišních ploutví vykazovaly jedinci z populace MAD,

nejvyšší naopak populace FRA-I. Nejvyšší hodnoty u délky hřbetní ploutve, vykazovaly hodnoty u druhé hřbetní ploutve populace FRA-I.

Tab. č. 6. Naměřené morfometrické hodnoty ploutví u jednotlivých populací intenzivně chovaných okounů říčních Francie (FRA-I, FRA-II), Dánsko (DAN) a Maďarsko (MAD) (n = 100)

	FRA-I	FRA-II	DAN	MAD
PPP/SD	0,137 ± 0,017 ^b	0,150 ± 0,034 ^a	0,146 ± 0,023 ^a	0,136 ± 0,025 ^b
LPP/SD	0,156 ± 0,019 ^b	0,158 ± 0,037 ^{ab}	0,157 ± 0,025 ^{ab}	0,166 ± 0,022 ^a
PBP/SD	0,208 ± 0,023 ^a	0,201 ± 0,022 ^{ab}	0,206 ± 0,028 ^a	0,195 ± 0,028 ^b
LBP/SD	0,211 ± 0,030 ^a	0,207 ± 0,019 ^{ab}	0,206 ± 0,029 ^a	0,196 ± 0,024 ^b
DHP/SD	0,224 ± 0,019 ^a	0,189 ± 0,039 ^b	0,190 ± 0,037 ^b	0,205 ± 0,024 ^b
ŘP/SD	0,155 ± 0,018 ^b	0,141 ± 0,019 ^c	0,177 ± 0,018 ^a	0,157 ± 0,021 ^b
OP/SD	0,166 ± 0,032 ^b	0,186 ± 0,024 ^a	0,150 ± 0,026 ^c	0,150 ± 0,024 ^c
CPDP	1,257 ± 0,101 ^a	1,232 ± 0,111 ^{ab}	1,232 ± 0,125 ^{ab}	1,206 ± 0,114 ^b

Legenda: SD – standardní délka, PPP – pravá prsní ploutev, LPP – levá prsní ploutev, PBP – pravá břišní ploutev, LBP – levá břišní ploutev, DHP – druhá hřbetní ploutev, ŘP – řitní ploutev, OP – ocasní ploutev, CPDP – celková poměrná délka ploutví

Nejvyšší hodnoty hepatosomatického indexu vykazovaly ryby z populace MAD a FRA-I, naopak nejnižší ryby z populace DAN a FRA-II. U gonadosomatického indexu vykazovaly nejvyšší hodnoty ryby z populace DAN, naopak nejnižší z populace MAD. Statisticky nejvýraznější rozdíl mezi populacemi byl naměřen u indexu periviscerálního tuku, kde nejvyšší hodnoty vykazovaly ryby z populace MAD, naopak populace FRA-I, FRA-II a DAN vykazovaly statisticky stejné hodnoty. Nejvyšší hodnoty u splenosomatického indexu vykazovaly ryby z populací DAN a MAD, nejnižší naopak ryby z populace FRA-II. U kardiosomatického indexu se naměřené hodnoty napříč populacemi statisticky nelišily.

Tab. č. 7. Somatické indexy (n = 20 jedinců z každé populace, uváděno v % individuální hmotnosti) jednotlivých populací. Uváděné hodnoty jsou průměrem naměřených hodnot + SD.

	FRA-I	FRA-II	DAN	MAD
HSI	1,44 ± 0,23 ^{ab}	1,15 ± 0,22 ^{bc}	0,98 ± 0,27 ^c	1,86 ± 0,46 ^a
GSI	0,54 ± 0,26 ^{ab}	0,87 ± 0,60 ^a	1,00 ± 0,61 ^a	0,41 ± 0,21 ^b
PVSI	2,51 ± 1,04 ^b	2,92 ± 1,03 ^b	2,96 ± 1,07 ^b	5,34 ± 1,02 ^a
SSI	0,09 ± 0,02 ^{ab}	0,08 ± 0,01 ^b	0,10 ± 0,03 ^a	0,10 ± 0,03 ^a
CSI	0,16 ± 0,04	0,15 ± 0,03	0,15 ± 0,03	0,14 ± 0,03

Legenda: HSI – hepatosomatický index, GSI – gonadosomatický index, PVSI – somatický index periviscerálního tuku, CSI – kardiosomatický index, SSI – splenosomatický index. p = 0,05

4.2. Kritická rychlost plavání (U_{crit})

Byly nalezeny statistické rozdíly v korigované kritické rychlosti plavání (U_{crit}) u zkoumaných populací okounů za pomoci standardizovaných délek ryb ANCOVOU, $F(3, 195) = 2,717$, $p = 0,046$, $\eta^2 = 0,04$. Post hoc analýza ukázala, že U_{crit} byla významně vyšší u populace D oproti populaci H, kdy průměrný rozdíl byl $0,516 \text{ BL}\cdot\text{s}^{-1}$ ($p = 0,041$; 95% CI 0,012 až 1,02). U populací pocházejících z Francie (FRA-I a FRA-II) nebyly nalezeny žádné statistické rozdíly oproti ostatním zkoumaným populacím. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. č. 8.

Tab. č. 8. Naměřené hodnoty průměrné standardní délky ryb a naměřená upravená a neupravená U_{crit} .

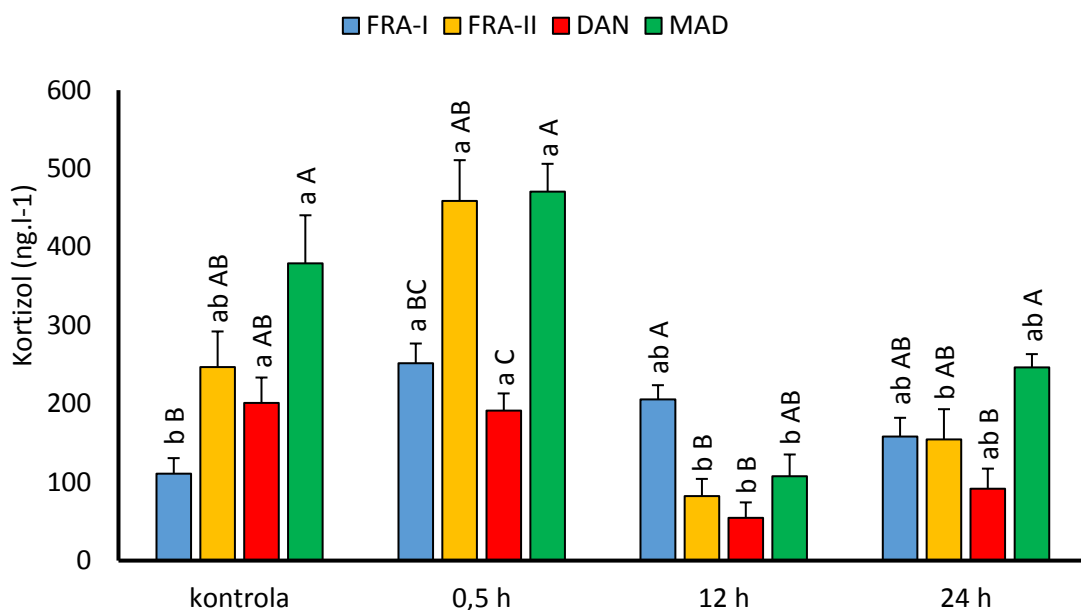
Populace	SD	U_{crit} ($\text{BL}\cdot\text{s}^{-1}$)	Korigovaná U_{crit} ($\text{BL}\cdot\text{s}^{-1}$)
FRA-I	15,3±1,04	4,23±0,13	4,19±0,13 ^{ab}
FRA-II	18,89±1,14	3,53±0,08	4,48±0,26 ^{ab}
DAN	14,14±1,1	4,59±0,14	4,24±0,15 ^a
MAD	13,3±0,72	4,29±0,17	3,72±0,19 ^b

Legenda: U_{crit} – relativní rychlost plavání (neupravená U_{crit} : pracuje se statisticky neupravenými U_{crit} ryb, korigovaná: pracuje s upravenými U_{crit} ryb pomocí ANCOVY).

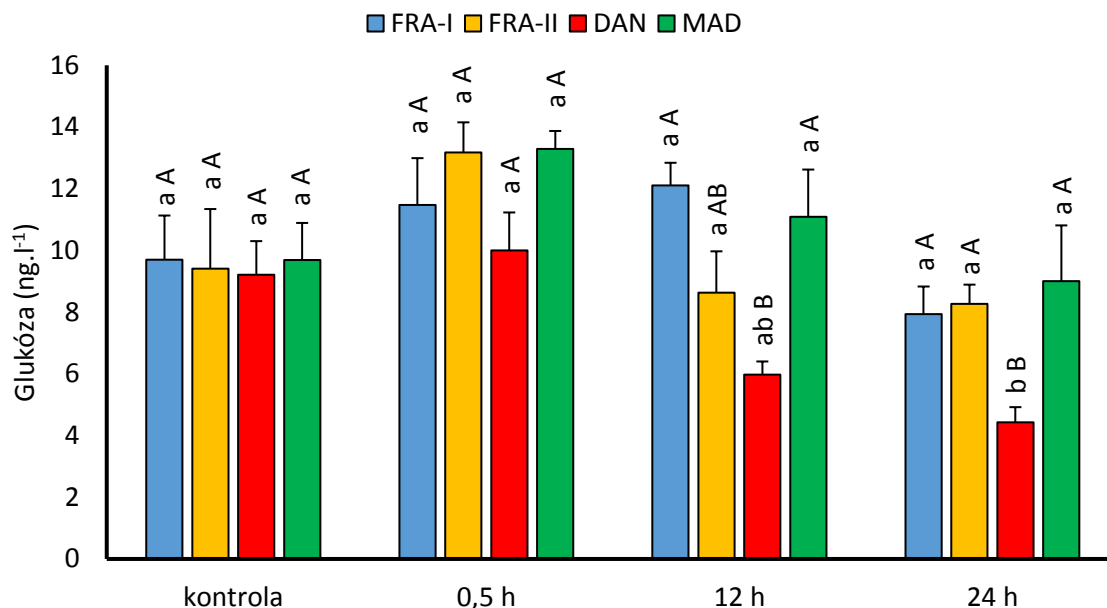
4.3. Test stresové zátěže z vysoké hustoty obsádky

V odebraných vzorcích byl zjištěn jen nepatrný vliv stresu ze zahuštěné obsádky na biochemické ukazatele krevního séra po provedeném testu stresové zátěže snížením hladiny vody. Laboratorně zjištěné hodnoty jsou uvedeny v grafech níže. U koncentrace kortizolu byly největší změny zaznamenány po 30 minutách po skončení testu. Hodnoty u vzorků odebraných 30 minut po stresové zátěži (T 0,5) se změnilly u populace FRA-I (2,3krát) a FRA-II (1,9 krát) oproti situaci před působením stresu (kontrola). Hodnoty T 0,5 se u populace DAN a MAD výrazně nezměnily. Nejnížší hladiny kortizolu byly naměřeny 12 hodin po dokončení testu, a to u populací FRA-II (3 krát), DAN (3,7 krát) a MAD (3,5 krát) oproti kontrole. Naopak u populace FRA-I se hladina kortizolu zvýšila po 12 hodinách téměř na dvojnásobek. Nejvyšší hodnoty kortizolu v krevním séru u

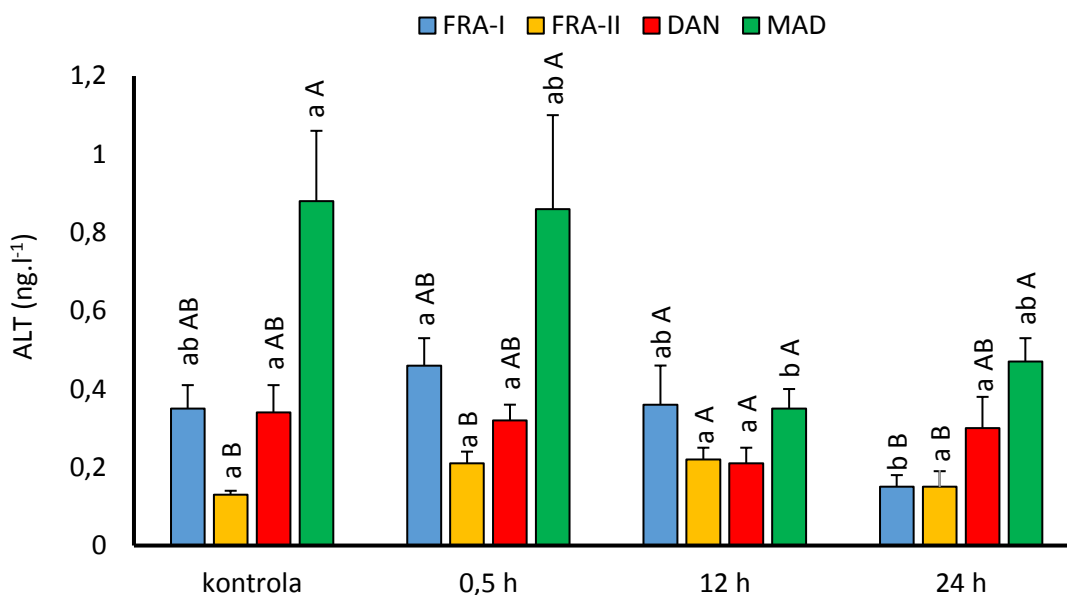
jedinců ze skupin bez působení stresu (kontroly) byly zaznamenány u populace MAD, které se zároveň statisticky nelišily od hodnot populace DAN a FRA-II. Nejnížší hodnoty kortizolu u kontrolních jedinců byly zaznamenány u ryb z populace FRA-I, které byly signifikantně rozdílné od hodnot populace MAD. U hodnot K+ byly zjištěny nejvyšší hodnoty v době T 0,5 u populací FRA-I (2 krát), FRA-II (3 krát) a MAD (1,7 krát) u populace DAN tento trend zaznamenán nebyl. U hodnot metabolických enzymů ALT, AST, ALP a LDH nebyly zaznamenány žádné výrazné změny. Pouze u populace DAN byly snižené hodnoty ALT, AST a LDH 12 hodin po ukončení testu.



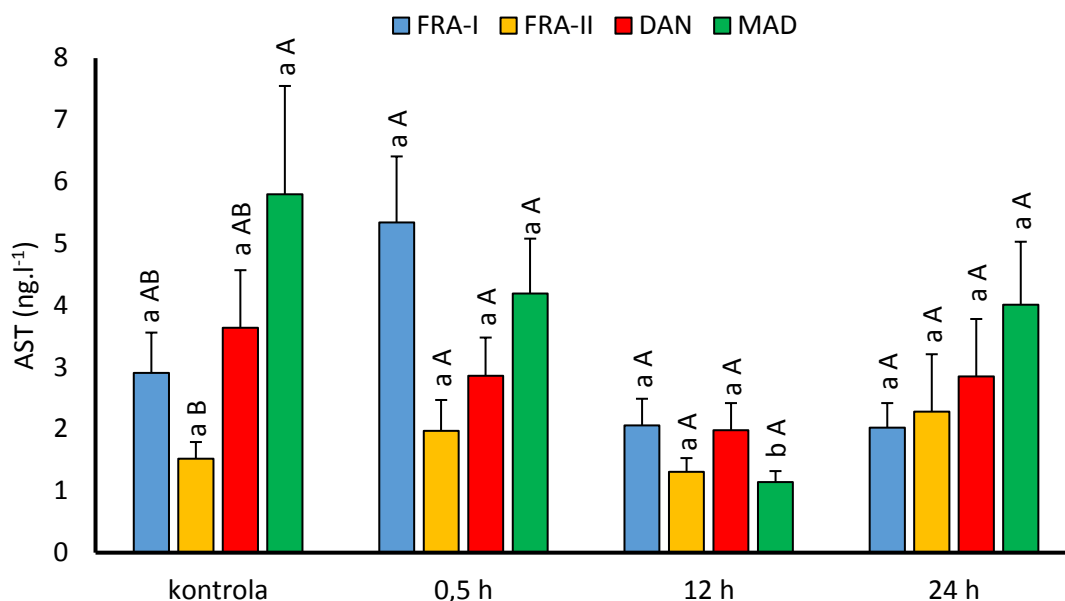
Graf č. 1. Výsledky rozboru krevního séra okouna říčního pro kortizol (ng.l⁻¹) a jeho průběh před stresovou situací a v různých časech po stresové události. Výsledky jsou uvedeny jako průměrná hodnota + směrodatná odchylka. Malé indexy jsou pro porovnávání hodnot stejné populace v různých časových osách. Velké indexy jsou pro porovnávání hodnot rozdílných populací ve stejné časové ose.



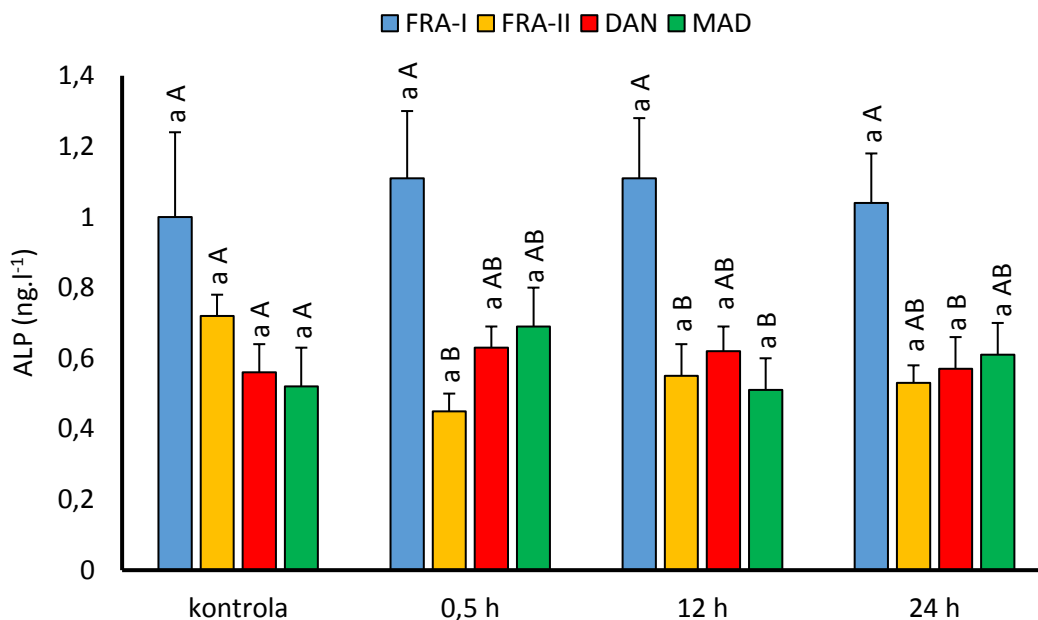
Graf č. 2. Výsledky rozboru krevního séra okouna říčního pro glukózu (ng.l⁻¹) a jeho průběh před stresovou situací a v různých časech po stresové události. Výsledky jsou uvedeny jako průměrná hodnota + směrodatná odchylka. Malé indexy jsou pro porovnávání hodnot stejné populace v různých časových osách. Velké indexy jsou pro porovnávání hodnot rozdílných populací ve stejné časové ose.



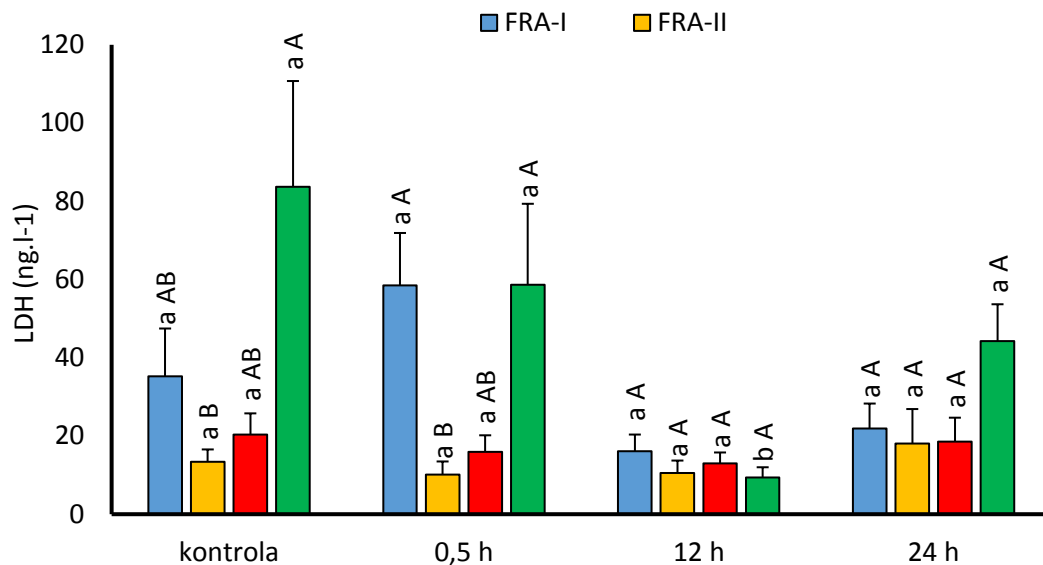
Graf č. 3. Výsledky rozboru krevního séra okouna říčního pro ALT (ng.l⁻¹) a jeho průběh před stresovou situací a v různých časech po stresové události. Výsledky jsou uvedeny jako průměrná hodnota + směrodatná odchylka. Malé indexy jsou pro porovnávání hodnot stejné populace v různých časových osách. Velké indexy jsou pro porovnávání hodnot rozdílných populací ve stejné časové ose.



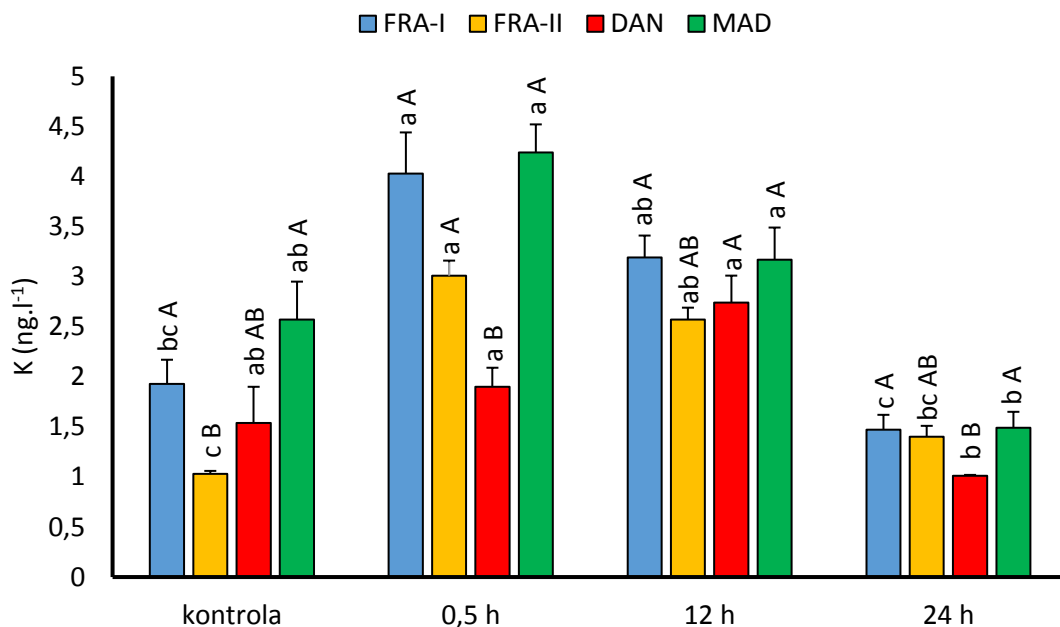
Graf č. 4. Výsledky rozboru krevního séra okouna říčního pro AST (ng.l⁻¹) a jeho průběh před stresovou situací a v různých časech po stresové události. Výsledky jsou uvedeny jako průměrná hodnota + směrodatná odchylka. Malé indexy jsou pro porovnávání hodnot stejné populace v různých časových osách. Velké indexy jsou pro porovnávání hodnot rozdílných populací ve stejné časové ose.



Graf č. 5. Výsledky rozboru krevního séra okouna říčního pro ALP (ng.l⁻¹) a jeho průběh před stresovou situací a v různých časech po stresové události. Výsledky jsou uvedeny jako průměrná hodnota + směrodatná odchylka. Malé indexy jsou pro porovnávání hodnot stejné populace v různých časových osách. Velké indexy jsou pro porovnávání hodnot rozdílných populací ve stejné časové ose.



Graf č. 6. Výsledky rozboru krevního séra okouna říčního pro LDH (ng.l⁻¹) a jeho průběh před stresovou situací a v různých časech po stresové události. Výsledky jsou uvedeny jako průměrná hodnota + směrodatná odchylka. Malé indexy jsou pro porovnávání hodnot stejné populace v různých časových osách. Velké indexy jsou pro porovnávání hodnot rozdílných populací ve stejné časové ose.



Graf č. 7. Výsledky rozboru krevního séra okouna říčního pro K (ng.l⁻¹) a jeho průběh před stresovou situací a v různých časech po stresové události. Výsledky jsou uvedeny jako průměrná hodnota + směrodatná odchylka. Malé indexy jsou pro porovnávání hodnot stejné populace v různých časových osách. Velké indexy jsou pro porovnávání hodnot rozdílných populací ve stejné časové ose.

4.4. Test explorativního chování po umístění nového objektu

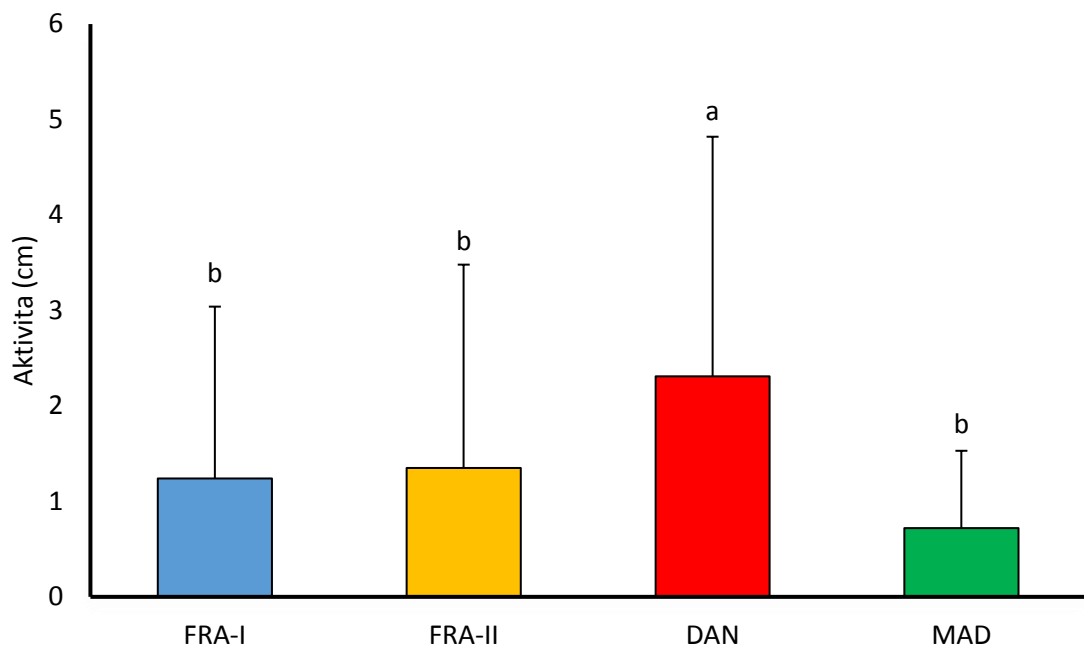
V testu bylo zjištěno, že převážná většina testovaných jedinců odpovídá zařazení do kategorie plachých. Pouze u populace DAN bylo zjištěno větší zastoupení středně aktivních a směhlých jedinců ve srovnání s ostatními testovanými populacemi. U populace DAN byly zjištěny nejnižší hodnoty latence v porovnání s ostatními testovanými populacemi. Naopak nejvyšší hodnoty latence vykazovaly jedinci z populace FRA-II. Rozdíly u testovaných populací v nejbližší vzdálenosti od kostky stavebnice LEGO nebyly prokázány. Pouze v populaci DAN u plachých jedinců byly zaznamenány menší nejbližší vzdálenosti od stavebnice LEGO.

Tab. č. 9. Zjištěné hodnoty explorativního chování u zkoumaných populací (n = 90 na populaci). Hodnoty latence a nejbližší vzdálenosti mezi populacemi se výrazně liší (p < 0,05). Data jsou uváděna jako průměr ± směrodatná odchylka.

		%	Latence (min)	Nejbližší vzdálenost (cm)	Počet přiblížení
FRA-I	plaší	90	568,8 ± 81,6 ^b	25,3 ± 1,2 ^a	2,10 ± 1,12 ^b
	středně aktivní	5,6	12,9 ± 12,6 ^a	1,8 ± 0,7 ^a	
	směhlí	4,4	52,5 ± 34,2 ^a	1,7 ± 1,0 ^a	
FRA-II	plaší	91,1	937,3 ± 90,0 ^a	26,5 ± 0,8 ^a	0,40 ± 1,73 ^b
	středně aktivní	5,6	0,1 ± 0,0 ^a	1,1 ± 0,7 ^a	
	směhlí	3,3	190,4 ± 187,0 ^a	1,7 ± 0,8 ^a	
DAN	plaší	75,6	158,8 ± 53,8 ^c	15,2 ± 1,0 ^b	1,99 ± 0,67 ^a
	středně aktivní	15,5	0,9 ± 0,22 ^a	2,9 ± 0,5 ^a	
	směhlí	8,9	10,7 ± 8,5 ^a	0,5 ± 0,1 ^a	
MAD	plaší	86,7	645,1 ± 90,5 ^b	28,0 ± 1,1 ^a	2,04 ± 1,15 ^b
	středně aktivní	8,9	73,5 ± 71,1 ^a	0,6 ± 0,2 ^a	
	směhlí	4,4	33,6 ± 11,8 ^a	1,9 ± 0,9 ^a	

4.5. Test ve volném prostoru – charakterizace personality ryb

V rámci testu bylo zjištěno, že pouze jedinci z populace DAN vykazovali signifikantně vyšší aktivitu než ostatní zkoumané populace (FRA-I, FRA-II, MAD), které vykazovaly podobnou aktivitu. Naměřené hodnoty jsou zobrazené v Graf č. 8. Mediánové skóre bylo statisticky významně odlišné mezi skupinami, $H(3) = 25,543$ a hodnota $p < 0,001$



Graf č. 8. Naměřené hodnoty z testu ve volném prostoru (n = 90 jedinců z každé populace).

4.6. Testování agresivity skupiny

Počty útoků na ostatní jedince stejné populace nebyly podobné, například u jedinců z populace DAN byly počty útoků nejvyšší. U populace FRA-II nebyl zjištěn v průběhu pokusu žádný útok na ostatní jedince. Provedením statistického porovnání bylo zjištěno, že rozdíly v počtu útoků nejsou signifikantní ($\chi^{2(3)} = 5,310$, $p = 0,15$). V průběhu pokusu nebyly zjištěny žádné jiné formy útoků na ostatní jedince, jakými jsou pronásledování nebo kousání.

Tab. č. 10. Kvantifikace počtu útoků na ostatní jedince (n = 60 jedinců z každé populace). Data jsou uváděna jako průměr \pm směrodatná odchylka.

	FRA-I	FRA-II	DAN	MAD
Útoky	0,67 \pm 1,15	0	2,33 \pm 2,31	0,67 \pm 0,58

5. Diskuze

Prostředí, ve kterém ryby žijí má obrovský vliv na jejich welfare neboli takzvanou životní pohodu a na to, jak se jedinci cítí komfortně (Chomo, 2020). Podle Bransona (2008) jsou behaviorální stavy a fyziologické systémy, které zprostředkovávají reakce v podobě stresu nebo bolesti v mnoha ohledech podobné jako u ostatních vyšších obratlovců. Nejdůležitějším aspektem pro welfare ryb je podle Bransona (2008) kvalita vody. Publikované studie zabývající se problematikou welfare ryb používaly pro jeho hodnocení zdravotní stav, zdatnost a vzorce chování (např. kritická rychlost plavání, aktivita, agresivita nebo odvaha ryb) spolu s biochemickými parametry v krvi (např. kortizol, glukóza nebo aktivita enzymů) (Huntingford a kol., 2006; Ellis a kol., 2012; Martins a kol., 2012; Molnár a kol., 2018). Na základě uvedených kritérií mohou být populace ryb, které vykazují požadované vlastnosti chování a fyziologickou odolnost vůči stresu v podmínkách intenzivní akvakultury, použity k usnadnění procesu selektivního chovu, produkci fyzicky zdatných a robustních ryb (Castanheira a kol., 2017; Toomey a kol., 2020b; Toomey a kol., 2020a).

V provedených pokusech se čtyři evropské populace okounů lišily v reakcích na podmínky, kterým byli vystaveny, kdy se jednalo o jejich behaviorální reakci nebo odolnost vůči stresu. Nepřímá úměra mezi délkou těla ryby a rychlostí plavání byla zdokumentována v mnoha předchozích studiích u rozdílných druhů ryb (Brett, 1965; Hammer, 1995; Mateus a kol., 2008; Xiong a kol., 2014; Hou a kol., 2018; Hachim a kol. al., 2020). V pokusech provedených Remenem a kol. (2016) zabývajících se vztahem mezi velikostí a kritickou rychlostí plavání u lososů obecných bylo zjištěno to, že ač v naměřené rychlosti byly nejrychlejší jedinci velkého vzrůstu (1750 ± 175 g) v přepočtu na délku těla za sekundu ($DT \cdot sec^{-1}$) byly tyto jedinci pomalejší než jedinci malého vzrůstu (80 ± 1 g). V této studii byl pozorován stejný trend, kdy největší ryby, které spadaly do populace FRA-II, vykazovaly nižší kritickou rychlost plavání (U_{crit}). Výsledky jsou uvedeny v Tab. č. 8. Pouze u jedinců z populace MAD nebyl v této studii potvrzen tento trend. Ačkoliv jedinci z populace MAD vykazovaly nejmenší velikosti, kritická rychlost plavání byla relativně nízká. Toto zjištění by mohlo být ovlivněno tím, že jedinci z populace MAD měli nejvyšší zatučnění těla – index periviscerálního tuku (PVSI). Výsledky jsou uvedeny v Tab. č. 7. Vysoký index periviscerálního tuku mohl být způsoben tím, neadekvátním krmným režimem nebo použitým krmivem na farmě odkud

ryby pocházely. Nevhodné krmné podmínky mohou způsobovat problémy s metabolismem, kdy může docházet k ovlivnění kvality ryb. Dubský a kol., (2003) uvádí podávání nevhodně zvoleného krmiva jako jeden z možných stresorů, negativně působících zejména na ryby v podmínkách intenzivní akvakultury. Toto zjištění bylo zdokumentováno u jedinců mořana zlatého (*Sparus aurata*) pocházejících z intenzivní akvakultury. V této studii byly u nevhodně krmených jedinců zaznamenány vysoké indexy PVSI (index periviscerálního tuku) a HSI (hepatosomatický index) (Grigorakis a kol., 2002). U populace MAD byl zaznamenán i nejvyšší hepatosomatický index, který se signifikantně lišil od indexu naměřeného u populace DAN. Nejvyšší hepatosomatický index ze zkoumaných populací zřejmě souvisí i s nejvyšším indexem periviscerálního tuku. O původních krmných podmínkách na farmě není dostatek informací, abychom mohli předpokládat, že nevhodné krmění může působit jako jeden ze stresorů a tím by mohlo ohrožovat dobré životní podmínky ryb a omezovat jejich schopnost plavat (López-Olmeda a kol., 2012).

Z informací získaných z původních farem bylo zjištěno, že populace FRA-I byla krmena peletovaným krmivem Effico Sigma (určeno pro výkrm jeseterů, 44% protein, 16% tuk) a populace DAN také peletovaným krmivem Aller Performa (určené pro juvenilní stádia ryb, 54-56% protein, 11-15% tuk). I při rozdílné úrovni obsahu proteinů (přibližně o 10 %) nebyly zaznamenány velikostní rozdíly mezi těmito populacemi. S tímto zjištěním by se dalo uvažovat, zda podávání krmiva s vyšším obsahem proteinů (zpravidla krmiva pro juvenilní stádia ryb) je efektivní a hospodárné pro komerční farmový chov, když nemají vliv na intenzitu růstu. Tato krmiva se na trhu prodávají za vyšší ceny než běžná krmiva určená pro výkrm ryb. Nízká efektivita podávaného krmiva pro juvenilní stádia se u zkoumaných populací potvrdila i ve výrazném rozdílu věku ryb (FRA-I 180 dní, DAN 366 dní), ale stejné velikosti. U ryb z populace DAN byla zjištěna nejvyšší aktivita, která by mohla ovlivňovat intenzitu růstu tím, že ryby vkládají větší množství přijaté energie do pohybu. Není však pravděpodobné, že by vyšší aktivita takto signifikantně ovlivnila rozdílný růst jedinců. U zbylých dvou okouních populací zkoumaných v této studii (FRA-II a MAD) se můžeme domnívat, že byly pravděpodobně krmeny některým z komerčně vyráběných krmiv určených pro výkrm lososovitých ryb.

U velikostí ryb použitých v pokusech byl zaznamenán signifikantní rozdíl, jedinci z populace FRA-II vykazovali největší velikosti, proto se můžeme domnívat, že byli ze zkoumaných populací nejstarší. V úvahu by se dalo brát i to, že ryby pocházely z lepších

odchovných podmínek a tím rychleji rostly nebo jejich genetická predispozice jim umožňuje rychlejší růst než u ostatních zkoumaných populací. Váhový rozdíl je však tak signifikantní a je přibližně dvojnásobný oproti ostatním populacím, že téměř s jistotou lze říct, že tento váhový rozdíl je způsoben vyšším věkem. Naopak jedinci z populace MAD byli nejmenší. U populace FRA-II se může uvažovat v souvislosti s rychlostí růstu i naměřená nulová agresivita. Díky nevyskytující se nebo jen minimální agresivitě se zvyšuje rybám jejich životní komfort, protože nejsou vystavováni stresu nebo fyzickým poraněním na těle způsobených útoky ostatních jedinců. Populace FRA-I a DAN vykazovaly stejné velikosti, ale jejich věk se výrazně lišil. Ryby z populace FRA-I byly 180 dní po vykulení naopak jedinci z populace DAN byly staré 366 dní. U populace FRA-I můžeme předpokládat jejich rychlejší růst oproti DAN nebo nesprávně nastavené odchovné podmínky u dánské populace (chemismus vody, stres, nevhodné krmné dávky, hydraulika v nádržích).

V biometrických měřeních byly zjištěny překvapivé rozdíly ve vzdálenosti břišní a řitní ploutve. U každé populace byly naměřeny statisticky se lišící hodnoty od ostatních zkoumaných populací. Takovéto zjištění, že by se ani dvě populace sobě nepodobaly, bylo zaznamenáno pouze u vzdáleností těchto dvou ploutví. U populace FRA-II bylo zjištěno, že jako vzrůstově největší jedinci vykazovali menší hodnoty ve výškách těla než jedinci z ostatních populací, které byly vzrůstově menší. U populace FRA-II byly naměřeny hodnoty $H_{max} = 0,264 \pm 0,015$ a $H_{min} = 0,076 \pm 0,007$. Naopak u populace vzrůstově nejmenší (MAD) byly naměřeny hodnoty $H_{max} = 0,289 \pm 0,029$ a $H_{min} = 0,087 \pm 0,008$. Tyto hodnoty ukazují, že tvar těla populace FRA-II je oproti tvaru těla populace MAD výrazně dorzoventrálně zploštělá. Toto zjištění ukazuje, že jedinci z populace MAD by mohly mít větší zmasilost těla a tím i větší výtěžnost svaloviny, než populace FRA-II. Výtěžnost masa, především na trhem nejžádanější filety, však nebyla v tomto pokusu i díky nedostatečné velikosti testovaných ryb provedena, proto se tato informace nedá s přesností určit. U velikostí ploutví bylo zjištěno, že ač jedinci z populace FRA-II byli největšího vzrůstu, jejich řitní ploutve vykazovaly statisticky rozdílné a také nejmenší hodnoty. Tento jev mohl být způsoben několika faktory, a to například genetickými, nebo životními podmínkami ryb na farmě původu. Velikost těchto ploutví nebyla pravděpodobně způsobena jejich poškozením vzájemnou agresivitou, protože agresivní chování v této populaci nebylo vůbec zaznamenáno. Zda nedocházelo k vzájemné agresivitě se však vyloučit nedá, jelikož vzájemná agresivita byla pozorována

pouze v jednom experimentu. Sledování agresivity bylo časově limitováno a neprobíhalo v průběhu celého odchovného procesu. Zajistit intenzivní sledování agresivity, po celou dobu odchovu, by bylo technicky velmi náročné.

Po standardizaci pomocí standardní délky ryb byla zjištěna nejvyšší rychlost plavání (U_{crit}) u jedinců z populace DAN (viz Tab. č. 8.). Kritická rychlost plavání je s největší pravděpodobností spojena s mechanismy odolnosti proti stresu, které zahrnují mnoho fyziologických a behaviorálních reakcí (Koolhaas a kol., 1999; Carbonara a kol., 2012). V nedávno vydaných studiích byly pozorovány dva hlavní styly zvládání situací u ryb a to proaktivní (aktivní nebo odvážní jedinci) a reaktivní (pasivní nebo plašší jedinci) (Øverli a kol., 2007; MacKenzie a kol., 2009; Martins a kol., 2011). U proaktivních jedinců se ukázalo, že vykazují vysokou míru agresivity (Øverli a kol., 2007), vyšší míru rizikového a odvážného chování (Øverli a kol., 2007; Millot a kol., 2009) nebo nižší hypothalamus-hypofýza-interrenální (HPI) aktivitu (například v nízké hladině kortizolu) (Molnár a kol., 2018) v porovnání s jedinci s reaktivním stylem zvládání situací. U proaktivních jedinců byla nadále zjištěna i odlišná sociální hierarchie (Castanheira a kol., 2013; Castanheira a kol., 2017). Do těchto zjištění zapadají informace, které byly zjištěny tímto měřením. U populace DAN byl nalezen vyšší podíl odvážných jedinců, s vyšší aktivitou a nižší dobou latence plachých jedinců v porovnání s ostatními zkoumanými jedinci (Tab. č. 9.). Mimo jiné byl u populace DAN zjištěn nejvyšší podíl přiblížení k novému objektu v podobě kostky LEGO. I přes to, že úroveň agresivity u porovnávaných populací se statisticky nelišila, nejvyšší počet útoků na ostatní jedince byl zaznamenán u populace DAN (Tab. č. 10.). Vyšší agresivita u populace DAN naznačuje existenci dominantních jedinců v této populaci. Za tímto zjištěním může být i to, že u některých jedinců bylo zaznamenáno submisivní chování. Tito jedinci se stávali terčem útoků od jedinců s dominantnějším postavením (Schreck, 1981; Mélard a kol., 1996). Hierarchické uspořádání v hejnech může představovat pro ryby stresující stav, a tím snižovat celkovou kvalitu života celého hejna a způsobovat vyšší míru mortality (Martins a kol., 2012). Proaktivní a odvážní jedinci pravděpodobně dominují hejnové hierarchii bez ohledu na jejich původ (Sundström a kol., 2004). Kromě toho je korelace mezi smělostí a dominancí také spojena s rizikovým agresivním fenotypem, u ryb často vedoucím k vyšší úmrtnosti a náchylnosti na stres. Tento fenotyp vyvolává změny v pohybové aktivitě (Øverli a kol., 1999) a způsobuje spontánní a nepředvídatelné chování, jaké jsme mohli pozorovat ve zkoumané populaci DAN s ohledem na kritickou rychlost

plavání (Tab. č. 8.). Podle Winberga a Thörnqvista (2016) se u ryb proaktivních a reaktivních liší aktivita funkce mozkového serotoninu 5-HT a tím zvládnutí stresových vlivů. I když se u agresivních jedinců předpokládá, že jejich chováním snižují životní podmínky celého hejna, je nutné poukázat i na pozitiva tohoto chování. Agresivnější a odvážní jedinci se zdají být potenciaálně vhodní pro budoucí výběr ryb k dalšímu stupni domestikace. Poukazují na to zjištění, že tito jedinci vykazují rychlejší tempo růstu, vyšší ochotu přijímat krmivo nebo vyšší toleranci ke stresovým situacím (Castanheira a kol., 2017; Molnár a kol., 2018). Toto tvrzení bylo potvrzeno i v této studii, protože jedinci z populace D vykazovali vyšší úroveň tolerance k napadání v období shloučení (viz. test stresové zátěže z přechodně zvýšené hustoty obsádky) oproti dalším zkoumaným populacím FI, FII a H.

Pro vyhodnocení odezvy na stres u zkoumaných čtyř populací okounů byly odebírány vzorky pro zaznamenání koncentrace stresového hormonu kortizolu a dalších se stresem souvisejících fyziologických parametrů, které se mohou měnit v průběhu metabolických procesů vyvolaných kortizolem, tj. enzymatické aktivity ALT, AST, ALP a LDH (Mommsen a kol., 1999). Naměřené hodnoty u koncentrace kortizolu v krvi je nutné interpretovat s rezervou. V měření bylo i u nestresovaných okounů, kteří byli použity jako kontrolní, zaznamenáno minimálně 100 ng v jednom litru krve okounů. Tato hladina kortizolu v krvi se u okounů definuje jako známka primární stresové reakce (Acerete a kol., 2004; Jentoft a kol., 2005). O fyziologii stresu kostnatých ryb bylo vydáno několik studií, které přišly se zjištěním, že i pouhý odběr vzorků krve, i když je dělán s největší šetrností, může být ovlivněn skrytými charakteristickými znaky stresové reakce. Toto zjištění zkresluje interpretaci zjištěných dat z odebraných vzorků krve. Jako příklad lze uvést zjištění, že při použití hřebíčkového oleje k anestezii ryb je ovlivněna hladina cirkulujícího kortizolu v krvi jinak u různých druhů (Tort a kol., 2002; Oliveira a kol., 2019). Velíšek a kol. (2005, 2006) přišli ke zjištění, že použitím hřebíčkového oleje k anestezii ryb dochází k nepřímému ovlivnění koncentrace glukózy v krvi a enzymatické aktivity ALT nebo AST. S velkou pravděpodobností se jedná o reakce na zvýšení dostupnosti energetických metabolitů, které jsou zprostředkovány působením kortizolu. Půl hodiny po stresové zátěži dosáhly průměrné hladiny glukózy vysokých hodnot (> 10 mg/dl) ve všech skupinách, i když se významně nelišily od ostatních vzorků odebraných v jiných časech (12 a 24 hodin). Souběžně s tímto zjištěním bylo zaznamenán u populací okounů FRA-I a FRA-II dvojnásobný nárůst koncentrací kortizolu.

Do souvislosti s tímto zjištěním je třeba brát v potaz fakt, že u jedinců z populace FRA-II byla dvojnásobně vyšší hustota biomasy v nádržích z důvodu nejvyšších hmotností ryb ze zkoumaných populací. Takto zvýšená biomasa však byla opřena o metodiku napsanou Policarem a kol. (2015), podle které je hustota obsádky na úrovni 2 jedinců na litr vody v nádrži považovaná za optimální podmínky, kdy rybám není omezován jejich životní prostor. Nádrže také splňovaly ostatní podmínky, které podle Policara a kol. (2015) vyhovují okounům a zajišťují jim dostatečný welfare (zelená barva nádrží, nastavení intenzity světla a fotoperioda). U populace DAN byly zaznamenány nejmenší změny ve zkoumaných parametrech krve a tím by se daly považovat ze nejvíce stabilními. Za poměrně stabilní a tím i odolnější populací se zdá být i FRA-I, která vykazuje podobný trend koncentrace kortizolu jako populace DAN. V porovnání populace MAD reaguje na stresové podněty a manipulaci lépe než populace DAN s nejmenšími změnami parametrů krve. Tento fakt by mohl odůvodňovat u populace MAD nejmenší naměřenou relativní kritickou rychlost plavání. Podobné hladiny kortizolu v krvi vykazovali i jedinci z populace FRA-II. Změny v koncentracích kortizolu v průběhu experimentu se u populací MAD a FRA-II v porovnání s populacemi FRA-I a DAN dají nazvat jako turbulentní. Studie, které byly provedeny na pstruhu duhovém prokázaly, že individuální koncentrace kortizolu je způsobena genetickými vlivy (Barton a Iwama, 1991; Pottinger a kol., 1992; Ortuño a kol., 2002). Také byla zjištěna relativně vysoká dědičnost hladiny kortizolu u potomstva pstruha duhového, kde vybraný genetický kmen vykazoval nízkou citlivost vůči stresu při dlouhodobé zátěži prostředím (Fevolden a kol., 2002). Informace o toleranci vůči stresu, například v podobě nízké hladiny kortizolu a případně dědičnosti tohoto znaku, by mohly sloužit jako jedna z důležitých informací pro budoucí zefektivnění chovu okouna říčního v podmínkách akvakulturních intenzivních chovů.

6. Závěr

Tato práce měla za úkol porovnat čtyři evropské populace okouna říčního, původem z podmínek intenzivní akvakultury, a dozvědět se více o jejich vlastnostech nebo vhodnosti pro chov v podmínkách uzavřených intenzivních chovů. Zkoumané populace byly podrobeny zkoumání z hlediska jejich morfometrických vlastností a poškození ploutví vlivem intenzivního chovu. Dále byly zkoumány a porovnány vzorce chování jednotlivých populací. Mezi zkoumané vlastnosti patřily kritická rychlost plavání (U_{crit}), stresová reakce na zvýšenou hustotu obsádky, explorativní chování, charakterizace personality a úroveň agresivity.

Vstupní hmotnost ryb se lišila, přičemž nejvyšší hmotnost měli jedinci z populace FRA-II ($85,9 \pm 20,4$ g) a nejnižší z populace DAN ($36,0 \pm 7,4$ g). Právě u těchto dvou populací nebylo možné určit, zda je váhový rozdíl způsoben jejich věkovým rozdílem nebo růstovými schopnostmi, jelikož nebylo známé jejich stáří. U somatických indexů byl zaznamenán největší rozdíl u indexu periviscerálního tuku (PVSI), kdy jedinci z populace MAD vykazovaly výrazně vyšší hodnoty než jedinci z ostatních zkoumaných populací. U zkoumaných vlastností ploutví jedinců různých populací byl zjištěn nejvýraznější statistický rozdíl v délkách ploutví mezi populacemi FRA-I a MAD.

V provedených měřeních byly zjištěny patrné rozdíly u behaviorálních vlastností populací okounů z Dánska (DAN) a Maďarska (MAD). Celkově byla zjištěna vyšší aktivita, smělost a agresivita u jedinců z populace DAN než u ostatních zkoumaných populací FRA-I, FRA-II a MAD. Statistický rozdíl byl zjištěn i u kritické rychlosti plavání (U_{crit}), kdy plavecké schopnosti populace DAN převyšovaly populaci pocházející z Maďarska (MAD). U odolnosti proti stresu se zdály být nejodolnější jedinci z populace DAN a MAD, u kterých se významně nezvýšila hladina kortizolu po stresové zátěži. V míře explorativního chování se ukázalo, že nejvíce plaší a bázliví jsou jedinci z populace FRA-II naproti populaci DAN, která měla zastoupení bázlivých jedinců nejmenší. U testování celkové aktivity populací výrazně dominovala aktivita jedinců z populace DAN nad ostatními populacemi (FRA-I, FRA-II a MAD), které vykazovaly podobnou aktivitu.

Pro další postup výzkumu a lepšího poznání populací okounů vhodných do podmínek intenzivní akvakultury by se mělo zvážit větší zaměření na genetické vlastnosti jednotlivých populací. Nové informace by měly pomoci při další domestikaci a

selektivnímu šlechtitelskému procesu okounů pro potřeby moderní intenzivní akvakultury. V neposlední řadě by nové informace měly napomoci k postupnému navýšení zastoupení okounů v evropské i světové intenzivní akvakultuře.

7. Zdroje

- Abbot, J. C., Lawrence M. D., 1989. The relative growth of dominant and subordinate juvenile steelhead trout (*Salmo gairdneri*). Behaviour, 108, 104-113.
- Acerete, L., Balasch, J., Espinosa, E., Josa, A., Tort, L., 2004. Physiological responses in Eurasian perch (*Perca fluviatilis*, L.) subjected to stress by transport and handling. Aquaculture, 237, 167-178.
- Adámek, Z., Helešic, J., Maršálek, B., Rulík, M., 2010. Aplikovaná hydrobiologie (2. rozšířené upravené vydání), FROV JU, Vodňany, 350 s.
- Alvarez, D., Nicieza, A. G., 2003. Predator avoidance behaviour in wild and hatchery-reared brown trout: the role of experience and domestication. Journal of Fish Biology, 63, 1565–1577.
- Avice, J. C., 2000. Phylogeography: The history and formation of species. Harvard University Press, London, England, MA, Harvard University.
- Balon, E. K., 1995. Origin and domestication of the wild carp (*Cyprinus carpio*): From roman gourmets to the swimming flowers. Aquaculture, 129, 3-48.
- Balon, E. K., 2004. About the oldest domesticates among fishes. Fish Biology, 65, 1–27.
- Baras, E., 2013. Cannibalism in fish larvae: what have we learned. Larval fish aquaculture, 167-199
- Barton, B. A., Iwama, G. K., 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. Annual Review of Fish Diseases, 1, 3-26.
- Benhaïm, D., Péan, S., Lucas, G., Blanc, N., Chatain, B., Bégout, M. L., 2012. Early life behavioural differences in wild caught and domesticated sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Applied Animal Behaviour Science, 141, 79-90.
- Bergek, S., Bjorklund, M., 2009. Genetic and morphological divergence reveals local subdivision of perch (*Perca fluviatilis* L.). Biological Journal of the Linnean Society, 96, 746–758.

- Bernatchez, L., Wilson, C. C., 1998. Comparative phylogeography of Nearctic and Palearctic fishes. *Molecular Ecology*, 7, 431–452.
- Boujard, T., Leatherland, J. F., 1992. Circadian rhythms and feeding time in fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 35, 109–131.
- Branson, E. J., 2008. *Fish Welfare*. Monmouthshire: Blackwell Publishing, 311 s.
- Brett, J. R., Hollands, M., Alderdice, D. F., 1958. The effect of temperature on the cruising speed of young sockeye and coho salmon. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 15, 587-605.
- Brett, J. R., 1965. The relation of size to rate of oxygen consumption and sustained swimming speed of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 22, 1491-1501.
- Brett, J. R., 1958. Implications and assessments of environmental stress. *Investigations of fishpower problems*, 69-83.
- Bricknell, I., Dalmo, R. A., 2005. The use of immunostimulants in fish larval aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*, 19, 457–472.
- Brown, C., Laland, K. N., 2003. Social learning in fishes: a review. *Fish and Fisheries*, 4, 280–288.
- Cahu, Ch., Salen, P., de Lorgeril, M., 2004. Farmed fish and wild fish for the prevention of cardiovascular diseases: assessing possible differences in lipid nutritional value. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 14, 34-41.
- Carbonara, P., ZuPa, W., Lembo, G., 2012. Swimming performances and energetic expenditure in *Pagrus pagrus pagrus* (Linnaeus, 1758)/performance di nuoto e metabolismo energetico in *Pagrus pagrus pagrus* (Linnaeus, 1758). *Biologia Marina Mediterranea*, 19, 152.
- Castanheira, M.F., Conceição, L.E., Millot, S., Rey, S., Bégout, M.L., Damsgård, B., Kristiansen, T., Höglund, E., Øverli, Ø., Martins, C.I., 2017. Coping styles in farmed fish: consequences for aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 9, 23-41.

- Castanheira, M.F., Herrera, M., Costas, B., Conceição, L.E., Martins, C.I., 2013. Linking cortisol responsiveness and aggressive behaviour in gilthead seabream *Sparus aurata*: Indication of divergent coping styles. *Applied Animal Behaviour Science*, 143, 75-81.
- Carr, W. E. S., Netherton, J. C., Gleeson, R. A., Derby, C. D., 1996. Stimulants of feeding behavior in fish: analyses of tissues of diverse marine organisms. *The Biological Bulletin*, 190, 149–160.
- Conover, D. O., Brown, J. J., Ehtisham, A., 1997. Countergradient variation in growth of young striped bass (*Morone saxatilis*) from different latitudes 1. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54, 2401-2409.
- Červená, A., Anděra, M., 2001. Svět zvířat XII – Domácí zvířata, Albatros, 182 s.
- Damsgård, B., Huntingford, F., 2012. Fighting and aggression. Wiley-Blackwell West Sussex, UK, 248–285.
- Diana, J. S., Egna, H. S., Chopin, T., Peterson, M. S., Cao, L., Pomeroy, R., Verdegem, M., Slack, W. T., Bondad-Reantaso, M. G., Cabello, F., 2013. Responsible aquaculture in 2050: Valuing local conditions and human innovations will be key to success. *BioScience*, 63, 255-262.
- Dubský, K., Kouřil, J., Šrámek, V., 2003. Obecné rybářství. Praha: Informatorium, 308 s.
- Dwyer, K. S., Brown, J. A., Parrish, C., Lall, S. P., 2002. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). *Aquaculture*, 213, 279–292.
- Ellis, T., Yildiz, H. Y., López-Olmeda, J., Spedicato, M. T., Tort, L., Øverli, Ø., Martins, C. I., 2012. Cortisol and finfish welfare. *Fish physiology and biochemistry*, 38, 163-188.
- Eurofish, 2017. Market Prospects for Aquaculture Species. Eurofish International Organisation, Copenhagen, Denmark, 106 s.
- Falconer, D. S., 1989. Introduction to Quantitative Genetics, 3rd ed. Harlow Longman Sci Tech. 448 s.

- FAO yearbook, 2020. Food and agriculture organization. Rome, Italy, 110 s.
- FAO, 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome, Italy, 200 s.
- FAO, 2018. FAO yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics., Rome, 104 s.
- Fevolden, S. E., Røed, K. H., Fjalestad, K. T., 2002. Selection response of cortisol and lysozyme in rainbow trout and correlation to growth. *Aquaculture*, 205, 61-75.
- Fontaine, P., Sulisty, I., Capdeville, B., Kestemont, P., 1998. Avancees recentes concernant la biologie et le controle de la reproduction de la perche eurasiennne (*Perca fluviatilis*). *La Pisciculture Francaise*, 133, 27–33.
- Fontaine, P., Teletchea, F., 2019. Domestication of the European Perch (*Perca fluviatilis*). In *Animal domestication*. IntechOpen, 170 s.
- Fornshell, G., 2002. Rainbow trout – Challenges and solutions. *Reviews in Fisheries Science*, 10, 545–557.
- Gall, G. A. E., Crandell, P. A., 1992. The rainbow trout. *Aquaculture*, 100, 1–10.
- Geurden, I., Cuvier, A., Gondouin, E., Olsen, R. E., Ruohonen, K., Kaushik, S., 2005. Rainbow trout can discriminate between feeds with different oil sources. *Physiology & Behavior*, 85, 107–114.
- Gilmour, K. M., DiBattista, J. D., Thomas, J. B., 2005. Physiological causes and consequences of social status in salmonid fish. *Integrative and Comparative Biology*, 45, 263–273.
- Gjedrem, T., 2000. Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquaculture Research*, 31, 25–33.
- Gjedrem, T., 2010. The first family-based breeding program in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 2, 2–15.
- Gjedrem, T., 2012. Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture: A personal opinion review. *Aquaculture*, 344, 12–22.

- Gjedrem, T., Robinson, N., Rye, M., 2012. The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: a review. *Aquaculture*, 350, 117–129.
- Grigorakis, K., Alexis, M. N., Taylor, K. A., Hole, M., 2002. Comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*); composition, appearance and seasonal variations. *International journal of food science & technology*, 37, 477-484.
- Hachim, M., Rouyer, T., Dutto, G., Kerzerho, V., Bernard, S., Bourjea, J., McKenzie, D.J., 2020. Oxygen uptake, heart rate and activities of locomotor muscles during a critical swimming speed protocol in the gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Journal of fish biology*, 98, 886-890.
- Hamáčková, J., Kouřil, J., Kozák, P., Stupka, Z., 2006. Clove oil as an anaesthetic for different freshwater fish species. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 12, 185.
- Hammer, C., 1995. Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 112, 1-20.
- Hanel, L., Andreska, J., 2013. Ryby evropských vod v ilustracích Květoslava Híska. Aventinum 352 s.
- Harache, Y., 2002. Development and diversification issues in aquaculture. A historical and dynamic view of fish culture diversification. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 59, 15-23.
- Hart, P. J. B., 1993. Teleost foraging: facts and theories. *Behaviour of Teleost Fishes*, 2, 253–284.
- Holt, G. J., 2011. Larval Fish Nutrition. John Wiley and Sons, Chichester, UK. 1208 s.
- Hou, Y., Cai, L., Wang, X., Chen, X., Zhu, D., Johnson, D., Shi, X., 2018. Swimming performance of 12 Schizothoracinae species from five rivers. *Journal of fish biology*, 92, 2022–2028.
- Huntingford, F. A., 2004. Implications of domestication and rearing conditions for the behaviour of cultivated fishes. *Journal of Fish Biology*, 65, 122–142.
- Chen, S. C., 1956. A history of the domestication and the factors of the varietal formation of the common goldfish (*Carassius auratus*). *Scientia Sinica*, 5, 287–321.

- Chomo, V., 2020. European inland fisheries and aquaculture advisory commission: Report from the thirtieth session and international symposium. *FAO Aquaculture Newsletter*, 22-22.
- Iwama, G. K., Afonso, L. O., Vijayan, M. M., 1998. Stress in fish. *Annals-New York Academy of Sciences*, 851, 304-310.
- Jentoft, S., Aastveit, A. H., Torjesen, P. A., Andersen, Ø., 2005. Effects of stress on growth, cortisol and glucose levels in non-domesticated Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) and domesticated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 141, 353-358.
- Johnsson, J. I., Höjesjö, J., Fleming, I. A., 2001. Behavioural and heart rate responses to predation risk in wild and domesticated Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 58, 788–794.
- Jones, K. A., Godin, J. G. J., 2010. Are fast explorers slow reactors? Linking personality type and anti-predator behaviour. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277, 625-632.
- Kestemont P., Dabrowski, K., Summerfelt, R. C., 2015. *Biology and culture of percid fishes: principles and practices*. Springer, 901 s.
- Kestemont, P., Henrotte, E., 2015. Nutritional requirements and feeding of broodstock and Early life stages of Eurasian perch and pikeperch. In: Kestemont P., Dabrowski, K., Summerfelt, R.C. (Eds.), *Biology and culture of percid fishes: principles and practices*. Springer, 539–564.
- Kestemont, P., Henrotte, E., Wang, N., Hamza, N., Paulsen, H., Overton, J., 2008. Feeding and nutrition of European percid broodstock and early life stages. In *Proceeding of abstracts and short communications of the workshop Percid Fish Culture From Research to Production*, Namur, 28-34.
- Kestemont, P., Jourdan, S., Houbart, M., Mélard, C., Paspatis, M., Fontaine, P., Cuvier, A., Kentouri, M., Baras, E., 2003. Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae: biotic and abiotic influences. *Aquaculture*, 227, 333–356.

- Kestemont, P., Mélard, C., Fiogbe, E., Vlavonou, R., Masson, G., 1996. Nutritional and animal husbandry aspects of rearing early life stages of Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Journal of Applied Ichthyology*, 12, 157-165.
- Kohane, M. J., Parsons, P. A., 1988. Domestication. Evolutionary change under stress. *Evolutionary Biology*, 23, 31-48.
- Koolhaas, J., Korte, S., De Boer, S., Van Der Vegt, B., Van Reenen, C., Hopster, H., De Jong, I., Ruis, M., Blokhuis, H., 1999. Coping styles in animals: current status in behavior and stress-physiology. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 23, 925–935.
- Kouřil, J., 2002. Hormonálně indukovaný poloumělý a umělý výtěr okouna říčního (*Perca fluviatilis*). Aqua-Flow letter, TL2002-CZ-003.
- Kouřil, J., Hamáčková, J., Lepič, P., Mareš, J., 2002. Poloumělý a umělý výtěr okouna říčního a odchov jeho raného plůdku. *Edice metodik VÚRH JU Vodňany* 68, 1–12.
- Króľ, J., Dauchot, N., Mandiki, S.N., Van Cutsem, P., Kestemont, P., 2015. Cannibalism in cultured Eurasian perch, *Perca fluviatilis* (Actinopterygii: Perciformes: Percidae)-- Implication of maternal influence, kinship, and sex ratio of progenies. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 45, 65-73.
- Lee, K. A., Wikelski, M., Robinson, W. D., Robinson, T. R. Klasing, K. C., 2008. Constitutive immune defences correlate with life-history variables in tropical birds. *Journal of Animal Ecology*, 77, 356–363.
- Liao, I. C., Huang, Y. S., 2000. Methodological approach used for the domestication of potential candidates for aquaculture. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 47, 97-107.
- Lopez-Olmeda, J., Noble, C., Sánchez-Vázquez, F., 2012. Does feeding time affect fish welfare? *Fish physiology and biochemistry*, 38, 143–152.
- Losos, J. B., Ricklefs, R. E., 2009. Adaptation and diversification on islands. *Nature*, 457, 830–836.
- Luna, S. M., Bailly, N., 2009. *Perca fluviatilis*, European Perch. FishBase.org

- Lusk, S., Baruš, V., Vostradovský, J., 1983. Ryby v našich vodách. Academia nakladatelství ČSAV, Praha. 212 s.
- Mandiki, S. N. M., Blanchard, G., Mélard, C., 2004. Effects of geographic origin on growth and food intake in Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.) juveniles under intensive culture conditions. *Aquaculture*, 229, 117–128.
- Mandiki, S., Babiak, I., Krol, J., Rasolo, J., Kestemont, P., 2007. How initial predator–prey ratio affects intra-cohort cannibalism and growth in Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L) larvae and juveniles under controlled conditions. *Aquaculture*, 268, 149-155.
- Mateus, C. S., Quintella, B. R., Almeida, P. R., 2008. The critical swimming speed of Iberian barbel *Barbus bocagei* in relation to size and sex. *Journal of Fish Biology*, 73, 1783-1789.
- Martínez-Porchas, M., Martínez-Cordova, L. R., Ramos-Enriquez, R., 2009. Cortisol and glucose: reliable indicators of fish stress? *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 158-178
- Martins, C.I., Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M.T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J.-C., Carter, T., 2012. Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38, 17–41.
- Martos-Sitcha, J. A., Mancera, J. M., Prunet, P., Magnoni, L. J., 2020. Welfare and stressors in fish: Challenges facing aquaculture. *Frontiers in Physiology*, 11, 162.
- Mayr, E., 1942. *Systematics and the origin of species*. Columbia University Press. New York, 334.
- Mayr, E., 1963. *Animal species and evolution*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- MacKenzie, S., Ribas, L., Pilarczyk, M., Capdevila, D.M., Kadri, S., Huntingford, F.A., 2009. Screening for coping style increases the power of gene expression studies. *PLoS One*, 4, e5314.
- Martins, C.I., Silva, P.I., Conceição, L.E., Costas, B., Höglund, E., Øverli, Ø., Schrama, J.W., 2011. Linking fearfulness and coping styles in fish. *PLoS One*, 6, e28084.

- Martins, C.I., Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M.T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J.-C., Carter, T., 2012. Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38, 17-41.
- Melard, C., Kestemont, P., Grignard, J. C., 1996. Intensive culture of juvenile and adult Eurasian perch (*Perca fluviatilis*): Effect of major biotic and abiotic factors on growth. *Journal of Applied Ichthyology*, 12, 175–180.
- Míkl, L., Adámek, Z., Šlapanský, L., Všeticková L., Jurajda P., 2018. Potrava dravých ryb vodárenských nádrží povodí Moravy.
- Millot, S., Bégout, M.-L., Chatain, B., 2009. Exploration behaviour and flight response toward a stimulus in three sea bass strains (*Dicentrarchus labrax* L.). *Applied Animal Behaviour Science*, 119, 108-114.
- Molnár, T., Csuvár, A., Benedek, I., Molnár, M., Kabai, P., 2018. Domestication affects exploratory behaviour of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) during the transition to pelleted food. *Plos one*, 13, e0196118.
- Mommsen, T. P., Vijayan, M. M., Moon, T. W., 1999. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 9, 211–268.
- Mousseau, T., Fox, C. W., 1998. The adaptive significance of maternal effects. *Trends in Ecology & Evolution*, 13, 403–407.
- Narnaware, Y. K., Peter, R. E., 2002. Influence of diet composition on food intake and neuropeptide Y (NPY) gene expression in goldfish brain. *Regulatory Peptides*, 103, 75–83.
- Nicieza, A. G., Reiriz, L., Braña, F., 1994a. Variation in digestive performance between geographically disjunct populations of Atlantic salmon: countergradient in passage time and digestion rate. *Oecologia*, 99, 243-251.
- Nicieza, A. G., Reyes-Gavilán, F. G., Braña, F., 1994b. Differentiation in juvenile growth and bimodality patterns between northern and southern populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Canadian Journal of Zoology*, 72, 1603-1610.

- Oliveira, R. H. F. D., Pereira-da-Silva, E. M., Viegas, E. M. M., 2019. Clove oil attenuates stress responses in lambari, *Astyanax altiparanae*. *Aquaculture Research*, 50, 3350-3356.
- Olsson, J., Ragnarsson, H., 2006. Small scale genetic differentiation between ecotypes of Eurasian perch from Lake Malaren. Sweden *Journal of Fish Biology*, 69, 238–238.
- Ortuño, J., Esteban, M. A., Meseguer, J., 2002. Lack of effect of combining different stressors on innate immune responses of seabream (*Sparus aurata* L.). *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 84, 17-27.
- Otton, D. D., 2004. Establishment of an agribusiness model for assessing the commercial viability of new species for aquaculture. Doctoral dissertation, University of Tasmania.
- Øverli, Ø., Sørensen, C., Pulman, K.G., Pottinger, T.G., Korzan, W., Summers, C.H., Nilsson, G.E., 2007. Evolutionary background for stress-coping styles: relationships between physiological, behavioral, and cognitive traits in non-mammalian vertebrates. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 31, 396-412.
- Øverli, O., Olsen, R. E., Lovik, F., Ringo, E. 1999. Dominance hierarchies in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L.: differential cortisol profiles of dominant and subordinate individuals after handling stress. *Aquaculture Research*, 30, 259–264.
- Overton, J. L., Paulsen, H., 2005. First feeding of Perch (*Perca fluviatilis*) larvae. Startfodring af aborrelarver, 3730.
- Pankhurst, N. W., 2011. The endocrinology of stress in fish: an environmental perspective. *General and comparative endocrinology*, 170, 265-275.
- Parker, A. D., Stepien, C. A., Sepulveda-Villet, O. J., Ruehl, C. B., Uzarski, D. G., 2009. The interplay of morphology, habitat, resource use, and genetic relationships in young yellow perch. *Transactions of the American Fisheries Society*, 138, 899–914.
- Pasquet, A., 2018. Effect of domestication on fish behaviour. In *Animal Domestication*. IntechOpen.
- Pielou, E. C., 1992. *After the ice age: the return of life to glaciated*. North America University of Chicago Press, Chicago, USA, 376 s.

- Pigliucci, M., Murren, C. J., Schlichting, C. D., 2006. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation. *Journal of Experimental Biology*, 209, 2362–2367.
- Pimakhin, A., Žák, J., 2014. Effect of body size on swim bladder inflation in intensively cultured Eurasian perch larvae from different locations. *World Aquaculture*, 45, 37–41.
- Polícar, T., Adámek, Z., 2013. Diversification in inland aquaculture preface. *Aquaculture International*, 21, 737–738.
- Polícar, T., Kouřil, J., Hamáčková, J., 2008a. Induced artificial and semiartificial spawning by Supergestran in perch (*Perca fluviatilis*) under different temperature. In: Fontaine, P., Kestemont, P., Teletchea, F., Wang, N. (eds.). *Percid fish culture. From Research to Production*, Namur, Belgium, 124-125.
- Polícar, T., Samarin, A., M., Mélard, Ch., 2015. Culture methods of Eurasian perch during on-growing. In: Fontaine P, Kestemont P, Teletchea F, Wang N (eds) *Proceeding of percid fish culture. From Research to Production*, Presses Universitaires de Namur, 415– 435.
- Polícar, T., Stejskal, V., Bláha, M., Alavi, S. M. H., Kouřil, J., 2009. Technologie intenzivního chovu okouna říčního (*Perca fluviatilis* L.). *Edice metodik (Technologická řada)*, FROV JU, Vodňany, č. 89.
- Polícar, T., Toner, D., Alavi, S., Linhart, O., 2008. Reproduction and spawning. In: Toner D., Rougeot, C. (Eds.), *Farming of Eurasian perch*, Special publication BIM. Aquaculture development division, Bord Iascaigh Mhara, Crofton road, Dun Laoghaire, Dublin, 22–29.
- Polverino, G., Santostefano, F., Díaz-Gil, C., Mehner, T., 2018. Ecological conditions drive pace-of-life syndromes by shaping relationships between life history, physiology and behaviour in two populations of Eastern mosquitofish. *Scientific Reports*, 8, 1-10.
- Pottinger, T., Pickering, A., Hurley, M. A., 1992. Consistency in the stress response of individuals of two strains of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 103, 275-289.
- Price, E. O., 2002. *Animal domestication and behavior*. Department of Animal Science, University of California, Davis, USA.

- Purchase, C., Collins, N., Morgan, G., Shuter, B., 2005. Predicting life history traits of yellow perch from environmental characteristics of lakes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 134, 1369–1381.
- Randák, T., Slavík, O., Kubečka, J., Adámek, Z., Horký, P., Turek, J., Vostradovský, J., Hladík, M., Peterka, J., Musil, J., Prchalová, M., Jůza, T., Kratochvíl, M., Boukal, D., Vašek, M., Andreji, J., Dvořák, P., 2013. *Rybářství ve volných vodách*. FROV JČU Vodňany, 463 s.
- Reale, D., Garant, D., Humphries, M. M., Bergeron, P., Careau, V., Montiglio, P. O., 2010. Personality and the emergence of the pace-of-livesyndrome concept at the population level. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 4051–4063.
- Reebs, G. S., 2008. *Aggression in fishes*. Université de Moncton, 1–13.
- Rehman, S., Gora, A. H., Ahmad, I., Rasool, S. I., 2017. Stress in aquaculture hatcheries: source, impact and mitigation. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 3030-3045.
- Remen, M., Solstorm, F., Bui, S., Klebert, P., Vågseth, T., Solstorm, D., Hvas, M., Oppedaal, F., 2016. Critical swimming speed in groups of Atlantic salmon (*Salmo salar*) *Aquaculture Environment Interactions*, 8, 659-664.
- Reinbold, D., Thorgaard, G. H., Carter, P. A., 2009. Reduced swimming performance and increased growth in domesticated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66, 1025–1032.
- Ricklefs, R. E., Wikelski, M., 2002. The physiology/life-history nexus. *Trends in Ecology & Evolution*, 17, 462–468.
- Rosauer, D. R., Biga, P. R., Lindell, S. R., Binkowski, F. P., Shepherd, B. S., Palmquist, D. E., Schmick, C. A., Goetz, F. W. 2011. Development of yellow perch (*Perca flavescens*) broodstocks: initial characterization of growth and quality traits following grow-out of different stocks. *Aquaculture*, 317, 58-66.
- Rosburg, A. J., 2017. *Growth Potential and Genetic Diversity of Yellow Perch in South Dakota*. South Dakota State University.

- Rougeot, C., Mélard, C., 2008. Genetic improvement of growth. In: Toner D., Rougeot, C. (Eds.), Farming of Eurasian perch, special publication BIM. Aquaculture development division, Bord Iascaigh Mhara, Crofton road, Dun Laoghaire, Dublin, Ireland, 42–51.
- Rowland, W. J., 1989. The effects of body size, aggression and nuptial coloration on competition for territories in male threespine sticklebacks, *Gasterosteus aculeatus*. *Animal Behaviour*, 37, 282–289.
- Rueden, C.T., Schindelin, J., Hiner, M.C., DeZonia, B.E., Walter, A.E., Arena, E.T., Eliceiri, K.W., 2017. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinform.* 18, 529.
- Ruzzante, D. E., 1994. Domestication effects on aggressive and schooling behavior in fish. *Aquaculture*, 120, 1–24.
- Sanchez, M. P., Chevassus, B., Labbé, L., Quillet, E., Mambrini, M., 2001. Selection for growth of brown trout (*Salmo trutta*) affects feed intake but not feed efficiency. *Aquatic Living Resources*, 14, 41–48.
- Scott, A. P., Ellis, T., 2007. Measurement of fish steroids in water—a review. *General and Comparative Endocrinology*, 153, 392–400.
- Schreck, C.B., 1981. Stress and compensation in teleostean fishes: response to social and physical factors. *Stress and fish*.
- Spurný, P., Mareš, J., Kopp, R., Řezníčková P., 2015. *Hydrobiologie a rybářství*. Mendelova univerzita v Brně, 254 s.
- Stejskal, V., Matoušek, J., Prokešová, M., Podhorec, P., Křišťan, J., Policar, T., Gebauer, T., 2020. Fin damage and growth parameters relative to stocking density and feeding method in intensively cultured European perch (*Perca fluviatilis* L.). *Journal of fish diseases*, 43, 253–262.
- Stejskal, V., Policar, T., Bláha, M., Křišťan, J., 2010. Produkce tržního okouna říčního (*Perca fluviatilis*) kombinací rybníčního a intenzivního chovu. *Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Vodňany*, 15–17.

- Stepien, C. A., Behrman – Godel, J., Bernatchez, L. 2015. Evolutionary relationships, population genetics, and ecological and genomic adaptations of perch (*Perca*). *Biology of Perch*, 7-46.
- Studer, B. H. 2020. *Perca fluviatilis* (Summary). In: FishEthoBase, ed. Fish Ethology and Welfare Group. World Wide Web electronic publication. Version 1.74.
- Sundström, L.F., Petersson, E., Höjesjö, J., Johnsson, J.I., Järvi, T., 2004. Hatchery selection promotes boldness in newly hatched brown trout (*Salmo trutta*): implications for dominance. *Behavioral Ecology*, 15, 192-198.
- Švátora, M., 1986. Okoun říční. Naše vojsko, Praha, 82 s.
- Tacon, A. G. J., 2019. Trends in global aquaculture and aquafeed production: 2000–2017. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 1–14.
- Tamazouzt, L., Dubois, J. P., Fontaine, P., 1993. Production et marche actuels de la perche *Perca fluviatilis* L. en Europe. *Pisciculture Francaise d'Eau Vive et d'Etang Saumâtre et Marine*, 114, 4–8.
- Toomey, L., Fontaine, P., Lecocq, T., 2020a. Unlocking the intraspecific aquaculture potential from the wild biodiversity to facilitate aquaculture development. *Reviews in Aquaculture*, 12, 2212-2227.
- Toomey, L., Dellicour, S., Vanina, T., Pegg, J., Kaczkowski, Z., Kouřil, J., Teletchea, F., Bláha, M., Fontaine, P., Lecocq, T., 2020b. Getting off on the right foot: integration of spatial distribution of genetic variability for aquaculture development and regulations, the European perch case. *Aquaculture*. 521, 734981.
- Toomey, L., Bláha, M., Mauduit, E., Vanina, T., Baratçabal, M., Ledoré, Y., Vesela, S., Fontaine P. Pasquet, A., Lecocq, T., 2019. When behavioural geographic differentiation matters: inter-population comparison of aggressiveness and group structure in the European perch. *Aquaculture International*, 27, 1177–1191.
- Toner, D., 2015. The market for Eurasian perch. In: Kestemont, P., Dąbrowski, K., Summerfelt, R.C. (Eds.), *Biology and culture of percid fishes*. Springer Netherlands, Dordrecht, 865–879.

- Tort, L., Puigcerver, M., Crespo, S., Padrós, F., 2002. Cortisol and haematological response in sea bream and trout subjected to the anaesthetics clove oil and 2-phenoxyethanol. *Aquaculture Research*, 33, 907-910.
- Tremblay, A., Lesbarreres, D., Merritt, T., Wilson, C., Gunn, J., 2008. Genetic structure and phenotypic plasticity of yellow perch (*Perca flavescens*) populations influenced by habitat, predation, and contamination gradients. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 4, 264–266.
- Vanina, T., Gebauer, R., Toomey, L., Stejskal, V., Rutegwa, M., Kouřil, J., Bláha, M., Lecocq, T., 2019. Genetic and aquaculture performance differentiation among wild allopatric populations of European perch (*Percidae*, *Perca fluviatilis*). *Aquaculture*, 503, 139-145.
- Velíšek, J., Własow, T., Gomulka, P., Svobodová, Z., Novotný, L., Ziomek, E., 2006. Effects of clove oil anaesthesia on European catfish (*Silurus glanis* L.). *Acta Veterinaria Brno* 75, 99-106.
- Velíšek, J., Svobodova, Z., Piačková, V., 2005. Effects of clove oil anaesthesia on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Acta Veterinaria Brno* 74, 139-146.
- Volkoff, H., Peter, R., 2006. Feeding behavior of fish and its control. *Zebrafish*, 3, 131-140.
- Wang, H. P., Li, L., Wallat, G., Brown, B., Yao, H., Gao, Z., Tiu, L., O'Bryant, P., Rapp, D., MacDonald, R., 2009. Evaluation of relative growth performance and genotype by environment effects for cross-bred yellow perch families reared in communal ponds using DNA parentage analyses. *Aquaculture Research*, 40, 1363–1373.
- Watson, L., 2008. The European market for perch (*Perca fluviatilis*). In: Fontaine, P., Kestemont, P., Teletchea, F., Wang, N. (Eds), *Percid fish culture – from research to production, proceeding of abstracts and short communications of the workshop*, Namur, Belgium, 10–14.
- Wegner, N., Drawbridge, M., Hyde, J. R., 2018. Reduced swimming and metabolic fitness of aquaculture-reared California Yellowtail (*Seriola dorsalis*) in comparison to wild-caught conspecifics, 486, 51–56.

- Weir, L. K., Hutchings, J. A., Fleming, I. A., Einum, S., 2004. Dominance relationships and behavioural correlates of individual spawning success in farmed and wild male Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Animal Ecology*, 73, 1069–1079.
- Winberg, S., Thörnqvist, P. O., 2016. Role of brain serotonin in modulating fish behavior. *Current Zoology*, 62, 317-323.
- Xiong, F., Wang, C., Liu, D., Kou, F. L., Mo, W. J., Liu, W., Shi, X. T., 2014. Comparative study of burst swimming speed of black carp, grass carp, silver carp and bighead carp from Songhua River. *Ecology Science*, 33, 339-343.
- Zapletal, T., Koza, V., Špaček, J., 2013. Does feeding activity of non-commercial fishery fry cause a decrease in zooplankton abundance in reservoirs? *Práce a studie*, 23, 123-132.
- Žarski, D., Bernáth, G., Król, J., Cejko, B. I., Bokor, Z., Palińska-Żarska, K., Milla, S., Fontaine, P., Krejszeff, S., 2017. Effects of hCG and salmon gonadoliberine analogue on spermiation in the Eurasian perch (*Perca fluviatilis*). *Theriogenology*, 104, 179-185.
- Závorka, L., Aldvén, D., Näslund, J., Höjesjö, J., Johnsson, J. I., 2015. Linking lab activity with growth and movement in the wild: explaining pace-of-life in a trout stream. *Behavioral Ecology*, 26, 877–884.

8. Abstrakt

Porovnání populací okouna říčního (*Perca fluviatilis* L.) z intenzivní akvakultury – vliv původu ryb na chování a kritickou rychlost plavání.

Okoun říční je potencionální rybou pro chov v podmínkách intenzivní akvakultury. Po tomto druhu ryby je poměrně velká poptávka, zejména v zemích Alpského regionu, kvůli jeho velmi chutnému masu. Pro producenty je atraktivní poměrně vysoká výkupní cena filet. Problémy v chovu okouna v podmínkách evropské intenzivní akvakultury může zmírnit další proces domestikace tohoto druhu nebo jeho selektivní chov. Tato úskalí negativně korelují s welfare ryb. V této práci jsme zkoumali morfometrické (morfometrie, poškození ploutví, somatické indexy), behaviorální (aktivita, agresivita, smělost a kritická rychlost plavání) a fyziologické (kortizol, glukóza, enzymová aktivita, draslík) parametry u čtyř populací okounů dovezených z různých evropských intenzivních chovů (Francie – dva chovy, Maďarsko, Dánsko) zabývajících se jejich chovem. Z pokusů provedených v této práci se ukázalo, že ze zkoumaných populací vykazovaly nejvyšší aktivitu jedinci z populace ryb pocházejících z Dánska, a to včetně kritické rychlosti plavání ($4,24 \pm 0,15 \text{ BL} \cdot \text{s}^{-1}$). U populace z Dánska bylo dále zjištěno i nejvyšší procento zastoupení (8,9 %) smělého explorativního chování, které následně i zvyšovalo agresivní chování v rámci této populace. Počet útoků na ostatní jedince z hejna dosáhl u této populace nejvyšších naměřených hodnot ($2,33 \pm 2,31$ útoků). Dále bylo pokusy zjištěno, že jedinci z Dánské populace vykazovali vyšší toleranci k nepříznivým environmetálním problémům v porovnání s ostatními populacemi z Maďarska nebo Francie. Tyto rozdíly, které byly zaznamenány u populace z Dánska lze interpretovat jako proaktivní mechanismus zvládnání stresu, které jsou charakteristické pro rychlý syndrom životního tempa (rychlé POLS). U ryb z maďarské populace bylo zjištěno vysoké zatučnění orgánů. Morfometrické vlastnosti všech populací byly signifikantně rozdílné. Přístupy s braním ohledu na genomické charakteristiky by se mohly tímto přístupem v blízké budoucnosti zabývat, a to zejména, aby zefektivnily procesy domestikace a podpořily procesy selektivního šlechtění okounů říčních vhodných pro evropské intenzivní akvakultury.

Klíčová slova: Okoun říční, behaviorální rysy, fitness ryb, RAS, fyziologické vlastnosti

9. Abstract

Comparison of European perch (*Perca fluviatilis* L.) populations from intensive aquaculture-influence of fish origin on behaviour and critical swimming speed.

European perch is one of potential fish for breeding in conditions of intensive aquaculture. This species of fish is in relatively high demand, especially in the Alpine region, because of its very tasty meat. The relatively high price of fillets is attractive for producers. The difficulties in perch farming in conditions of European intensive aquaculture may alleviate the further domestication process of this species or its selective breeding. These pitfalls are negatively correlated with fish welfare. In this thesis, we examined morphometric (morphometry, fin damage, somatic index), behavioural (activity, aggressivity, boldness and critical swimming speed) and physiological (cortisol, glucose, enzyme activity, potassium) parameters in four populations of perch imported from different European intensive farms (France - two farms, Hungary, Denmark) engaged in their producing. Experiments performed in this thesis showed that individuals from the Danish population has the highest activity of the studied populations, including the critical swimming speed ($4.24 \pm 0.15 \text{ BL}\cdot\text{sec}^{-1}$). The population from Denmark also found the highest percentage (8.9 %) of bold exploratory behaviour, which subsequently increased aggressive behaviour within this population. The number of attacks on other individuals from the flock reached the highest measured values in this experiment (2.33 ± 2.31 attacks). Furthermore, experiments showed that individuals from the Danish population showed a higher tolerance for adverse environmental problems compared to other populations from Hungary or France. These differences, which have been observed in the Danish population, can be interpreted as a proactive stress mechanism that is characteristic of fast pace syndrome (fast POLS). High perivisceral fat index was found in fish from the Hungary. The morphometric characteristics of all populations were significantly different. Genomic characteristics could address this approach in the near future, in particular to streamline domestication processes and support the selective breeding of perch suitable for European intensive aquaculture.

Key words: European perch, behavioural characteristics, fish fitness, RAS, physiological characteristics

