

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra ekologie a životního prostředí



**Predace sumce velkého (*Silurus glanis*) na trdlišti bolenu dravých
(*Leuciscus aspius*)**

Predation of European catfish (*Silurus glanis*) on the breeding ground of asp
(*Leuciscus aspius*)

Bc. Jan Augustynek

Diplomová práce

předložená na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků
na získání titulu Mgr. v oboru
Hydrobiologie

Vedoucí práce: RNDr. Marek Šmejkal, Ph.D.

Olomouc 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Marka Šmejkal, Ph.D., a jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Olomouci

.....

Bc. Jan Augustynek

Bibliografická identifikace:

Augustynek J. Bc. 2023. Predace sumce velkého (*Silurus glanis*) na trdlišti bolenuů dravých (*Leuciscus aspius*). Diplomová práce. Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci. 52 pp.

Abstrakt

Predace je nejvíce sledovaná druhová interakce v ekologii a je klíčová k zachování druhové rozmanitosti. Jedním z méně prozkoumaných rybích druhů v České republice i ve světě je z hlediska predace a chování při nízkých teplotách vody sumec velký (*Silurus glanis*). Cílem této práce bylo doplnit a rozšířit poznatky o predaci sumce velkého na trdlišti bolenuů dravých (*Leuciscus aspius*) na vodárenské nádrži Švihov, kde dochází ke tření největšího hejna bolenuů dravých v České republice, při teplotách vody okolo 5 °C–14 °C. Po dobu třech reprodukčních sezón jsem zaznamenával data o pohybu sumců na trdlišti bolenuů na řece Želivce při ústí do přehrady. Při výzkumu byla využita pasivní telemetrie, která detekovala značené jedince sumce velkého na trdlišti bolenuů, a také metody vizuální analýzy obsahu potravy žaludku sumce velkého. Zásadním přínosem práce je potvrzení aktivity sumců při nízkých teplotách vody, která byla naopak v minulosti řadou odborníků vyvrácena. Nové detailní poznatky mohou pomoci ke zlepšení vnímání postavení sumce velkého jako vrcholového rybího predátora v České republice a přispět k osvětě široké veřejnosti o důležitosti tohoto rybího druhu ve vodách České republiky v rámci trofického systému vod.

Klíčová slova: sumec velký (*Silurus glanis*), reprodukce ryb, predace, nízká teplota vody, pasivní telemetrie, migrace

Bibliographical identification:

Augustynek J. Bc. 2023. Predation of European catfish (*Silurus glanis*) on the breeding ground of asp (*Leuciscus aspius*). Master thesis. Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc. 52 pp.

Abstract

Predation is the most studied interaction in ecology and it is the key to maintaining species diversity. One of the less explored fish species in the Czech Republic and in the world in terms of predation and behavior at low water temperatures is the European catfish (*Silurus glanis*). The aim of this work was to supplement and expand knowledge about the predation of European catfish on the breeding ground of asp (*Leuciscus aspius*) at the Švihov Reservoir, where the largest flock of asps in the Czech Republic spawns, at water temperatures of around 5°C–14°C. For three breeding seasons, I recorded data on the movement of catfish in the asp breeding grounds on the Želivka river at the tributary of the reservoir. During the research, passive telemetry was used, which detected tagged individuals of European catfish in the breeding ground, was used, as methods of visual analysis of the food content of the catfish's stomach. The essential contribution of the work is the confirmation of the activity of catfish at low water temperatures, which, on the other hand, was refuted by a number of experts in the past. New detailed findings can help to improve the perception of the position of the European catfish (*Silurus glanis*) as a top fish predator in the Czech Republic and contribute to the education of the general public about the importance of this fish in the waters of the Czech Republic within the trophic system of freshwaters.

Key words: European catfish (*Silurus glanis*), fish reproduction, predation, low water temperature, passive telemetry, migration

Obsah

Seznam obrázků	viii
Seznam grafů.....	ix
Seznam tabulek	x
Seznam příloh.....	xi
Poděkování	xii
1 Úvod.....	13
1.1 Predace	13
1.2 Migrace a predační tlak na migrující živočichy	16
1.3 Predace sumce velkého	17
1.4 Ektotermie	18
1.5 Ektotermie ryb.....	18
1.6 Invazní druhy ryb	19
2 Cíle	21
3 Materiál a metody.....	22
3.1 Sumec velký (<i>Silurus glanis</i>)	22
3.1.1 Charakteristika	22
3.1.2 Výskyt	22
3.2 Popis studované lokality.....	22
3.3 Sběr dat, odlov a značení sumce velkého.....	23
3.3.1 Odlov sumce velkého	24
3.3.2 Značení sumce velkého	26
3.4 Vizuální analýza obsahu žaludku sumce.....	27
4 Výsledky.....	28
4.1 Výsledky detekce sumců na trdlišti bolenů v časovém rozložení v průběhu dne	28
4.2 Velikost značených a detekovaných sumců	30

4.3 Přítomnost sumců v závislosti na dnu v roce, teplotě, početnosti bolenů, početnosti cejnů a interakci dne a hodiny	31
4.3.1 Interakce dne a hodiny	32
4.3.2 Vliv teploty, početnosti bolenů a početnosti cejnů na početnost sumců v roce 2020 .	33
4.3.3 Vliv teploty, početnosti bolenů a početnosti cejnů na početnost sumců v roce 2021 .	34
4.3.4 Vliv teploty, početnosti bolenů a početnosti cejnů na početnost sumců v roce 2022 .	35
5 Diskuse	36
6 Závěr.....	39
7 Seznam literatury.....	40
8 Přílohy	48

Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozmístění telemetrických antén napříč korytem řeky Želivky, pod vodárenským jezem v letech 2020–2022.....	23
Obrázek 2: Schéma nastražení a odlovu sumce velkého pomocí dlouhých sumcových šňůr..	25
Obrázek 3: Schéma značení sumce velkého pomocí PIT tagů o rozměru 32 mm.	26
Obrázek 4: Značený jedinec sumce velkého, který byl podroben vizuální analýze obsahu žaludku. Jeho tělní dutina obsahovala natráveného menšího jedince sumce velkého.	27

Seznam grafů

Graf 1: Počet detekcí sumců v dvouhodinových časových intervalech v letech 2020, 2021 a 2022.	30
Graf 2: Počet značených sumců v letech 2019–2022. Velikost označených jedinců byla měřena včetně ocasu (tj. celková délka).....	30
Graf 3: Počet detekovaných sumců v letech 2020–2022 pomocí telemetrických antén.	31
Graf 4: Vliv interakce dne a hodiny na počet sumců na trdlišti bolenu v letech 2020–2022...	32
Graf 5: Graf počtu zaznamenaných bolenu dravých, cejnů velkých a sumců velkých, proložený teplotou vody v roce 2020.	33
Graf 6: Graf počtu zaznamenaných bolenu dravých, cejnů velkých a sumců velkých, proložený teplotou vody v roce 2021.	34
Graf 7: Graf počtu zaznamenaných bolenu dravých, cejnů velkých a sumců velkých, proložený teplotou vody v roce 2022.	35

Seznam tabulek

Tabulka 1: Časové rozložení sumčí aktivity na trdlišti bolenuů.	29
Tabulka 2: Přítomnost sumců v závislosti na dnu v roce, teplotě, početnosti bolenuů, početnosti cejnů a interakci dne a hodiny.	31

Seznam příloh

Příloha 1: Telemetrické antény napříč korytem řeky Želivky.....	48
Příloha 2: Čtecí zařízení telemetrické antény napájené 12 V bateriemi.	48
Příloha 3: Odlov jedinců sumce velkého za pomoci dlouhých sumcových šňůr.	49
Příloha 4: Čtení pomocí čtečky PIT tagů, zda není jedinec sumce velkého již značený.	50
Příloha 5: Aplikování PIT tagu do tělní dutiny sumce.	50
Příloha 6: Vizuální analýza obsahu potravy žaludku sumce.	51
Příloha 7: Detailní pohled při analýze potravy žaludku sumce.	52

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce RNDr. Marku Šmejkalovi, Ph.D., za vstřícný a velmi profesionální přístup, poskytnutí telemetrických dat, mnoha rad a informací a za jeho čas. Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni Kláře a rodičům za podporu.

1 Úvod

1.1 Predace

Predace a kompetice jsou nejvíce sledované druhové interakce v ekologii, které jsou klíčové k zachování druhové rozmanitosti (Chesson & Kuang, 2008). Pokud se tedy v ekosystému nachází takzvaný klíčový predátor (keystone predator), který je schopný redukce dominantních druhů, udržuje tak celý ekosystém ve stabilní rovnováze (Menge et al., 1994; Mills et al., 1993). Predace tak hraje důležitou roli v terestrických (Sinclair et al., 2003), i vodních ekosystémech (Estes et al., 1998) a představuje jeden ze zásadních faktorů pro složení zvířecího společenstva (Lima & Lawrence, 1990). Predátoři jsou důležití k udržení základních ekosystémových služeb v ekosystémech (Wilmers et al., 2003). Velcí predátoři, jako jsou kupříkladu vlci (*Canis lupus*), pomáhají udržovat zdravou dynamickou populaci lesních sudokopytníků – např. losa amerického (*Alceus americanus*), či jejich věkovou strukturu (Hebblewhite & Pletscher, 2002).

Je nutné, aby systém predátor – kořist vykazoval určitou stabilitu. Počet predátorů na kořist je obecně v souladu s teorií rovnováhy (Abrams, 2001). Predace jako selekční faktor je primární silou, která řídí vývoj fenotypů kořisti a je tedy zásadní pro utváření ekosystémových struktur. Predační cyklus zahrnuje sérii kroků počínaje “searching time“ (fází hledání) a počátečním setkáním s kořistí, následuje detekce, útok, ulovení, a nakonec konzumace kořisti, přičemž čas mezi nalezením kořisti a jejím pozřením se nazývá “handling time“. Po úspěšném požití kořisti se tento cyklus opakuje (Giller, 1980; Marrone, 2013).

Optimální teorie shánění potravy (“Optimal foraging theory“) umožňuje pomocí srovnání predikovaného a pozorovaného chování při shánění potravy vytvořit kvantifikovanou předpověď ideálního chování při shánění potravy, které vede k maximalizaci úspěšnosti predátora. To představuje jeden ze způsobů porozumění vztahu predátor – kořist, například část studie zaměřená na ryby ukázala, že jsou ryby během shánění potravy více ohrožené tím, že se samy stanou kořistí (Townsend & Winfield, 1985). Vztahy predátor – kořist ve vodních ekosystémech jsou založené především na čichové a sluchové komunikaci. Špatná propustnost světla ve vodě, zejména v zakalených vodách, snižuje využití zraku u vodních organismů. Vodní organismy z mnoha různých taxonů a funkčních skupin mohou reagovat na nepatrné koncentrace chemických látek uvolňované jinými organismy. Kořist tak může reagovat na chemické látky uvolňované predátorem (Bronmark & Hansson, 2000; Hermes-Lima & Storey, 1996).

Predátoři ve sladkých vodách tvoří nejvyšší stupeň trofického řetězce. Trofický řetězec se skládá ze tří a více stupňů (pater). Zpravidla první stupeň představují primární producenti, druhý stupeň představují konzumenti herbivorů a třetí stupeň představují predátoři. Pokud mají predátoři ve sladkých vodách pod kontrolou primární producenty, označujeme tento jev jako "top-down control". Pokud je pak ve vodě více zdrojů živin, vede to ke zvětšení biomasy primárních producentů. Používání velkých rybích predátorů býložravých ryb k redukci planktivorních ryb za účelem zlepšení kvality vody nazýváme biomanipulace (Dodds & Whiles, 2010; Vejřík, 2018). Vrcholový predátor, který se využívá v částech Evropy (s jeho původním areálem výskytu) do nádrží, rybníků a jezer k úspěšné "top-down control" biomanipulaci, je sumec velký (*Silurus glanis*). Dalšími druhy mohou být bolen dravý (*Leuciscus aspius*), štika obecná (*Esox lucius*), candát obecný (*Sander lucioperca*) nebo okoun říční (*Perca fluviatilis*) (Adamek et al., 1999; Wysujack & Mehner, 2005).

Existují dvě základní predační strategie. První vyčkávací, takzvaný lov ze zálohy ("sit and wait") a druhá pronásledovací, takzvaný lov aktivním vyhledáváním kořisti ("pursuit"). Při strategii lovu ze zálohy ("sit and wait") predátor neaktivně vyčkává a čeká na bezprostřední přiblížení kořisti, následně dochází k útoku predátora. K této vyčkávací taktice se často přiklání zvířata, která vyhledávají kořist větší než je predátor, kvůli vynaložení vysokých nákladů k získání velké kořisti (O'Brien et al., 1990). Kupříkladu lov ze zálohy, "sit and wait" strategie, využívají larvy vážek druhu *Aschnea*, které tímto způsobem loví pulce žab (Teplitsky et al., 2004). Nebo ještěrka zebří (*Callisaurus draconoides*), která také využívá lov ze zálohy ("sit and wait" strategie) při lovu kořisti v otevřených plochách, kde spoléhá na dokonalé maskování těla (Hasson et al., 1989). Z rybiho zastoupení lovu ze zálohy ("sit and wait") využívá kupříkladu štika obecná (*Esox lucius*), která tak loví svou kořist. Štika umí dokonale splynout s prostředím a pak pomocí rychlého útoku ulovit kořist, na kterou se zaměřila (Eklöv, 1992).

Druhou predační strategií je lov aktivním vyhledáváním kořisti – "pursuit". Této strategie často využívají predátoři, kteří loví kořist menší, než jsou oni sami, ale zato ve větším množství. Lov aktivním vyhledáváním kořisti ("pursuit") zahrnuje schopnost přiblížení a chycení kořisti a také vnímání relativní polohy kořisti (Peterson et al., 2021). Predátoři s touto predační strategií využívají častých pauz kvůli spotřebě energie, ovšem potvrdilo se, že i v průběhu těchto pauz svou kořist pasivně hledají. Například u lipana arktického (*Thymallus arcticus*) je prokázáno, že pokud byla dostupná velká, lehce získatelná kořist na vodní hladině v podobě hmyzu, pauzy během hledání kořisti se zkrátily na minimum, než když bylo dostupné více menší kořisti (O'Brien et al., 1990). Typickým dravcem z vodní říše využívajícím lov

aktivním vyhledáváním kořisti (“pursuit“) predanční strategie je tuňák žlutoploutvý (*Thunnus albacares*), který pronásleduje svou kořist při vertikální migraci napříč oceánem (Ménard et al., 2006). Rybím druhem, který aktivně vyhledává kořist (“pursuit“) na českém území, je bolen dravý (*Leuciscus aspius*), který nejčastěji loví hejna ouklejí obecných (*Alburnus alburnus*) u hladiny a pronásleduje tak hejna napříč biotopem (Krho-Četković et al., 2010).

Predace a aktivita organismů se napříč ročními obdobími může lišit, a to především z důvodu rozdílných teplot (Bates et al., 2009). Mnoho teplotně závislých rybožravých predátorů tak využívá zimní období a chladnou vodu k výrazné predaci. Nízké teploty totiž u ryb snižují metabolismus, rychlost trávení a schopnost pohybu ve vodě (plavání) (Marsden et al., 2021). Dalším aspektem nadržujícím rybožravým predátorům je v zimním období dynamický led, který nekontrolovatelně pluje řekou a může vytvářet zdrže a ucpávat koryto řeky a tím zvedat hladinu, nebo kotevní led utvářející se na hladině v klidnějších částech toku (Ferrick & Mulherin, 1989; Shen, 2010). Pro ryby jsou ledové toky a podmínky s vysokou vodou spojenou s táním sněhu na začátku jara obrovskou zkouškou, taková situace může vést k fyziologickému stresu a v extrémních případech ke smrti jedinců (Brown et al., 2011). Změny teploty jsou pro ektotermní organismy, jejichž tělesná teplota je do velké míry určována teplotou prostředí, velkou výzvou (Radermacher et al., 2014). Při nízkých teplotách vody je pro ryby mírného pásu důležitý dobrý srdeční výkon k udržení teplotní tolerance (Ekström et al., 2017; Jensen et al., 2017). Schopnost udržet srdeční výkonnost při zvýšené i snížené teplotě je částečně závislá na produkci ATP aerobními metabolickými cestami a mitochondriální funkcí, hraje tak důležitou roli v tepelné toleranci u ryb (Iftikar et al., 2015).

Jedním z rybožravých predátorů, který využívá nízké teploty vody a případný led k efektivnější predaci, je kormorán velký (*Phalacrocorax carbo*), který může predovat kupříkladu na pstruhovi obecném (*Salmo trutta*) (Čech & Vejřík, 2011) nebo pstruhovi duhovém (*Oncorhynchus mykiss*) (Stewart et al., 2005). Dalším rybožravým predátorem využívajícím zvýšené predace na rybách v zimním období je vydra říční (*Lutra lutra*). Její predanční tlak v zimním období výrazně vzrůstá (Kortan et al., 2007). Zvětšený predanční tlak v zimním období je určován především tím, že vydra říční jako endotermní druh si musí udržovat stálou tělesnou teplotu, a tak na její udržení v nízkých teplotách potřebuje více potravy (Leerink, 2010). Vydra říční upřednostňuje v zimě větší rybí jedince před malými. Proto jsou často lovenými rybami kupříkladu kapr obecný (*Cyprinus carpio*) nebo štika obecná (*Esox lucius*). Především pak v zimních měsících loví na zamrzlých rybnících a jezerech skrz nezamrzlé přítoky vodních ploch nebo přes jakékoliv otvory v ledu (Kortan et al., 2007). Když

dojde vydře zdroj potravy v tekoucích nebo stojatých vodách, obrací svou pozornost na obojživelníky (Smiroldo et al., 2019). Vydra a kormorán jsou považováni za nejvýznamnější a nejvíc problematické predátory žijící se rybami v České republice (Adámek et al., 2007; Čech & Vejřík, 2011).

1.2 Migrace a predační tlak na migrující živočichy

Migrující organismy se vyskytují napříč všemi zvířecími taxony, a proto se migrace odehrává pomocí všech známých způsobů pohybu: plaváním, létáním, unášením a chůzí (Dingle & Drake, 2007). Migrace zvířat patří mezi jeden z nejviditelnějších ekologických jevů v přírodě. Probíhá nejčastěji za účelem reprodukce, hledání potravy a vody nebo díky měnícím se klimatickým či sezónním podmínkám a změnám a je často úzce spojena s ročním cyklem (Berger et al., 2008; Wilcove & Wikelski, 2008). Například migrace ptáků v mírném pásu odehrávající se pomocí létání je spojena s ročním cyklem. Vlivem střídání ročních období se určité druhy ptáků mírného podnebného pásu stěhují každoročně na jih za mírnějšími klimatickými podmínkami. Tato migrace probíhá jako reakce na přicházející zimu v mírném pásu a tím způsobený pokles teplot a dostupnost potravy (Newton & Dale, 1996). Migrace pomocí dalšího způsobu pohybu unášením (“drift“) probíhá při kolonizaci nebo rekolonizaci nových úseků vodního toku bentickými organismy, které se nechávají unášet a využívají tak vodního proudu k obsazení jiných částí toku (Williams, 2016). Migrace pomocí plavání jako způsobu pohybu probíhá při anadromní migraci lososa čavyči (*Oncorhynchus tshawytscha*) do domovských řek za účelem rozmnožení (Dolan et al., 2016). Migraci pomocí chůze nejlépe symbolizuje každoroční migrace pakoňů (*Connochaetes sp.*) v národním parku Serengeti v Africe. Zde v africké savaně se každý rok musí přemístit vlivem dešťů a dostupnosti potravy přes milion pakoňů a velké množství zeber rodu *Equus* (Holdo et al., 2009). Ti čelí ve velké míře predaci lvů (*Panthera leo*) a krokodýlů (*Crocodylus niloticus*), kteří jejich migrace napříč africkou savanou využívají ve svůj prospěch (Grant et al., 2014). Při migraci se tedy predátorům mění častokrát až několikanásobně dosažitelná hustota kořisti (Furey et al., 2018). A jednou ze skupin zvířat, kde je tento jev při jejich migraci nejvíce patrný, jsou ryby.

Ryby, ale i ostatní organismy, jsou vystaveny výraznému riziku predace při migraci. Migrující organismy čelí možnosti predace ze strany neznámých predátorů v často neznámém prostředí (Sabal et al., 2021). Migrační koridory ryb se stávají “hotspoty“ pro predátory s různými predačními schopnostmi i taktikami. Tyto koridory zajišťují, aby jednotlivé populace nebyly fragmentované. Při překonání migračního koridoru jsou ryby často vyčerpané a tudíž

snadnou kořistí predátorů čekajících v celé délce koridoru (Agostinho et al., 2012). Migrace ryb koridory probíhá častokrát právě za účelem rozmnožení, jako tomu je například při anadromní migraci lososa obecného (*Salmo salar*). Kvůli vysokému predatornímu tlaku na strategických místech migračních koridorů je migrace lososa doprovázena vysokou mortalitou (Friedland et al., 2012).

Migrace živočichů je celosvětově ohrožená, a to především lidskou činností. Příčiny ohrožení migrace se dělí do čtyř kategorií: ničení stanovišť, klimatické změny, nadměrné využívání krajiny a vytváření migračních překážek, jako jsou například přehrady, jezy, ploty, silnice (Schäfer, 2021; Wilcove & Wikelski, 2008). Například katadromní migrace úhoře říčního (*Anguilla anguilla*) do Sargasového moře z evropského kontinentu za účelem rozmnožení a následný návrat vytřených larev úhořů jsou ohroženy nejčastěji vytvářením příčných překážek a objektů na vodních tocích (Acou et al., 2008; Bonhommeau et al., 2010). Stejně tak brání migraci při přirozeném rozmnožování bolenů dravých (*Leuciscus aspius*) betonový jez, který se nachází na řece Želivce při vtoku do přehrady Švihov v České republice, kde tvoří neprostupnou příčnou překážku (Augustynek, 2021; Šmejkal et al., 2018).

1.3 Predace sumce velkého

Sumec velký (*Silurus glanis*) se živí dravým způsobem života (Kottelat & Freyhof, 2007). Není specializovaný pouze na lov ryb, živí se celým spektrem bezobratlých živočichů a obratlovců (Baruš & Oliva, 1995; Copp et al., 2009; Vejřík, 2018). Sumec využívá strategie lovu ze zálohy ("sit and wait") zejména při pobytu ve svém úkrytu (Fu et al., 2008, 2005), ale i predatorní strategii aktivního vyhledávání kořisti ("pursuit") při nočním aktivním lovu (Pohlmann et al., 2001). Je to oportunistický predátor, který se může živit širokou škálou zdrojů kořisti. Dle studie Adámka et al. (1999) sumec preferuje jako potravu v rámci rybiho společenství bolena dravého (*Leuciscus aspius*) nebo hořavku duhovou (*Rhodeus sericeus*) před ploticí obecnou (*Rutilus rutilus*) či jelcem tlouštěm (*Squalius cephalus*). Sumec se ale také dokáže přizpůsobit nové kořisti a ukázat trofickou specializaci prostřednictvím shánění potravy, například může záměrným způsobem lovit lososa atlantického (*Salmo salar*) či mihuli mořskou (*Petromyzon marinus*) při anadromní migraci (Boulêtreau et al., 2020, 2018), nebo také různé druhy suchozemských ptáků, jako například holuby (*Columba livia*) (Cucherousset et al., 2012).

Sumec vykazuje největší známky konzumní produktivity v nočních hodinách (Boujard, 1995; Boulêtreau et al., 2020; Pohlmann et al., 2001). Při lovu používá hmatové vousky a Weberův aparát, který přenáší vibrace do vnitřního ucha ryby (Wysocki et al., 2009). Sumec

má poměrově vůči tělu malé oči, tudíž je při lovu kořisti používá minoritně (Hanel & Lusk, 2005). Sumec je silně teritoriální ryba, která si své domovské území agresivně hájí a loví svou kořist poblíž svého úkrytu stejně tak, jako štika obecná (*Esox lucius*) (Pavlov & Kasumyan, 2002).

1.4 Ektotermie

Endotermní organismy savci a ptáci spoléhají především na interně generovanou tepelnou kombinaci se složitou regulací pro udržení relativně vysoké a konstantní tělesné teploty. Predátoři, kteří využívají v zimním období endotermie jako svou výhodu vůči své kořisti v podobě ektotermních ryb, jsou například kormorán velký (*Phalacrocorax carbo*) a vydra říční (*Lutra lutra*). Díky tomu, že jsou tito predátoři endotermové a po celý rok si udržují vysokou tělní teplotu, mají výhodu nad svou ektotermní potravou – rybami (Lanszki et al., 2006; Suter, 1998). Naproti tomu většinu druhů organismů tvoří ektotermové, kteří produkují mnohem méně tepla. Jejich vnitřní teplota je primárně určována prostředím (Radermacher et al., 2014), ektotermní živočichové tedy mají variabilní tělesnou teplotu, pokud nežijí v teplotně stálém prostředí. Ovlivnění rychlosti fyziologických procesů ektotermů teplotou má vliv na pohyb, komunikaci, shánění a vstřebávání potravy (Huey & Kingsolver, 1989), teplota vody v případě vodních organismů pak především na jejich pohybovou zdatnost (Brownscombe et al., 2017). Ryby jsou děleny na studenou vodu nebo teplou vodu preferující stenotermy nebo eurytermy. Stenotermní ryby mají omezený rozsah tolerance k teplotě, zatímco eurytermní ryby tolerují větší teplotní rozsah. Optimální teplotní rozsah je definován jako “rozsah, při kterém dochází ke krmení a nejsou tak žádné známky abnormálního chování ryb spojeného s tepelným napětím“ (Grove, 2002). Fyziologické procesy těchto živočichů jsou citlivé na teplotní výkyvy. Extrémní tělesné teploty ektotermních živočichů jsou většinou zdraví škodlivé až smrtelné, zatímco střední až vyšší teploty obvykle maximalizují produktivitu, výkon a metabolické procesy živočichů (Huey & Kingsolver, 1989; Zuo et al., 2012).

1.5 Ektotermie ryb

Významným vnějším faktorem ovlivňujícím ryby je teplota prostředí. Jsou tak vystaveny sezónním změnám teploty, což je faktor působící na jejich životní procesy (Wright & Cooper, 1981). Při snížení tělesné teploty u ryb dochází ke snížení metabolické aktivity. Aktivita glykolytických enzymů v bílé svalovině se značně liší podle pohybového režimu, hloubky výskytu, velikosti těla a stravovacích návyků různých druhů ryb. U eurytermních ryb v mírném pásmu vede aklimatizace na chlad ke snížení aktivity glykolytických enzymů ve svalech,

zatímco u ryb se severnějším areálem výskytu aklimatizace na nízké teploty zvyšuje hladinu fosfofruktokinázy (PFK), klíčového regulačního enzymu (Pelletier et al., 1995, 1993). Organizace svalového metabolismu se také může lišit mezi ročními obdobími nezávisle na vlivu teploty (Pelletier et al., 1993). U ryb žijících v oblasti mírného pásu můžou vést teploty k dormanci nebo také ke spuštění celé řady homeostatických reakcí sloužících k vyrovnání účinků snížené teploty těla ryb. Tyto kompenzační reakce na teplotu vody mohou trvat sekundy až měsíce (Johnston & Dunn, 1987).

Aktivita a plavecký výkon ryb se mohou s nižší teplotou vody zvýšit, ale rychlost metabolismu zůstává výrazně nižší než u ryb adaptovaných a aklimatizovaných na teplo (Johnston & Dunn, 1987). U většiny ryb také platí, že čím nižší je teplota okolí oproti jejich optimu, tím nižší je imunologická reaktivita jedinců (Wright & Cooper, 1981). Pro některé rybí druhy je ale ovšem zimní období obdobím vysoké predace, růstu nebo rozmnožování, zatímco letní období je stresové, tak tomu je například u mníka jednovouseého (*Lota lota*) (Marsden et al., 2021; Pavlov & Kasumyan, 2002). Teplota okolí má také u ryb vliv na soudržnost druhů. Ryby v chladném prostředí mají vyšší společenskou tendenci a soudržnost než ryby v teplejším prostředí (Pilakouta et al., 2023).

Sumec má fyziologické optimum při teplotě vody mezi 25 °C a 27 °C. I když sumec velký toleruje nižší teploty vody, můžou tak být jeho fyziologické procesy inhibovány, proto se jim snaží behaviorálně vyhnout (Nyqvist et al., 2022). Při teplotě vody 10 °C a nižší je sumec silně omezován, jeho růst se výrazně zpomalí (David, 2006). Doložená zvýšená míra predace sumce je při teplotě vody 15 °C a více (Wysujack & Mehner, 2005).

1.6 Invazní druhy ryb

Globální diverzita se mění především kvůli faktorům ovlivněným člověkem. V definici biodiverzity jsou zahrnuty veškeré suchozemské a sladkovodní organismy. Biologická invaze a introdukce mají klíčový negativní vliv na biologickou rozmanitost (Sala et al., 2000). Ekologický dopad invazních druhů na vodní prostředí a jejich okolí není často zjistitelný kvůli absenci dat před příchodem invazního druhu (Carol et al., 2009). Rozšiřování nepůvodních druhů ryb ve sladkých vodách představuje pro původní druhy značnou hrozbu, která může mít za následek úplné vyhubení původních populací nebo druhů (Boulêtreau et al., 2020). Invazním druhem v některých částech Evropy je také sumec velký, a to především v zemích jižní Evropy jako jsou Itálie, Francie nebo Španělsko a Portugalsko. Díky jeho nadměrné predaci téměř

všech rybích druhů představuje v zemích, kde je nepůvodním druhem, velké riziko pro původní druhy ryb a ekosystémy celkově (Copp et al., 2009).

Introdukce nepůvodních ryb má v Evropě dlouhou historii (Copp et al., 2005). První introdukovanou rybou na evropském území byl kapr obecný (*Cyprinus carpio*) zhruba na začátku prvního století našeho letopočtu v oblasti Říma, odkud se následně šířil napříč Evropou. Rozsáhlé vysazování rybích druhů mimo jejich původní areál výskytu je i poměrně nedávný jev, protože většina translokací rybích druhů proběhla v druhé polovině 20. století. Stejně tak je to u již zmiňovaného kapra obecného, který byl do České republiky introdukován v průběhu 20. století (Holčík, 1991; Hulak et al., 2010). V České republice došlo za poslední desetiletí k výraznému nárůstu managementu ve vysazování nepůvodních ryb za účelem rekreačního rybolovu, zvláště alarmující je pak přítomnost nepůvodních rybích druhů ve vodách pstruhového a lipanového pásma. Nyní se ve volné přírodě v České republice nachází 20 nepůvodních druhů ryb (Musil et al., 2010).

2 Cíle

V teoretické části diplomové práce popisují za využití odborné literatury predaci, predaci sumce velkého (*Silurus glanis*), ektotermii obecně, ektotermii ryb a invazní druhy ryb. Cílem praktické části práce je potvrdit či vyvrátit hypotézu, zda je sumec velký schopný predace i za nízkých teplot vody a zda aktivita sumce velkého koresponduje s početností kořisti v hlavním třecím období bolena dravého (*Leuciscus aspius*) na vodní nádrži Švihov. Dalším cílem je pak na základě těchto zjištění popsat dynamiku počtu sumce na trdlišti v průběhu dne. Prostřednictvím dat nasbíraných pomocí pasivní telemetrie dále potvrdím či vyvrátím hypotézu, že se jedinci sumce velkého zdržují na trdlišti bolenu dravých převážně ve večerních hodinách.

3 Materiál a metody

3.1 Sumec velký (*Silurus glanis*)

3.1.1 Charakteristika

Sumec velký je největší sladkovodní evropskou paprskoploutvou rybou a třetí největší sladkovodní rybou světa (Baruš & Oliva, 1995). Sumec je dlouhověká ryba, která se může dožít až 80 let (Kottelat & Freyhof, 2007). Jedná se o demerzální druh sladkých a brakických vod (Hanel & Lusk, 2005). Sumce charakterizuje široká nízká hlava s šesti hmatovými vousky v blízkosti ústní dutiny. Hlava, která nenápadně přechází v protáhlé tělo zužující se směrem k ocasu, může tvořit až 20 % hmotnosti jedince (Copp et al., 2009). Tělo kryje kůže bez šupin a silná vrstva slizu. Sumec dorůstá délky 250 až 300 cm a přesahuje hmotnost 100 kg (Hanel & Lusk, 2005).

3.1.2 Výskyt

Původním místem výskytu sumce velkého je centrální a východní Evropa. Od Německa původní areál sahá na východ přes Polsko k jihu Švédska, směrem dolů pak do jižního Turecka, severu Íránu, přes pobaltské státy do Ruska k Aralskému jezeru v Kazachstánu a Uzbekistánu (Copp et al., 2009). Sumec byl ale úspěšně člověkem introdukovan v 19. století do řek a jezer téměř v celé Evropě za účelem sportovního rybolovu a akvakultur (Boulêtreau et al., 2020), zejména pak ve Francii, Itálii, Belgii nebo Španělsku (Copp et al., 2009; Hanel & Lusk, 2005). Preferuje vodní prostředí s dostatkem úkrytů, členitým dnem a podemletými břehy (Hanel & Lusk, 2005), tudíž jsou přirozeným habitatem sumce dolní toky velkých řek, slepá ramena a vegetací zarostlá jezera a rybníky (Kottelat & Freyhof, 2007).

V České republice se sumec vyskytuje ve větších řekách a slepých ramenech. Je vysazován i do zatopených lomů, pískoven, rybníků a údolních nádrží v povodí Labe, Moravy a Odry. Jednou z údolních nádrží, kde se sumec velký nachází, je vodárenská nádrž Švihov (Hanel & Lusk, 2005). Nádrž je při své rozloze 1602 ha největší vodárenskou nádrží v České republice (Povodí Vltavy, 2012). Sumec je do vodárenských nádrží vysazován za účelem bimanipulace omnivorních druhů ryb (Wysujack & Mehner, 2005).

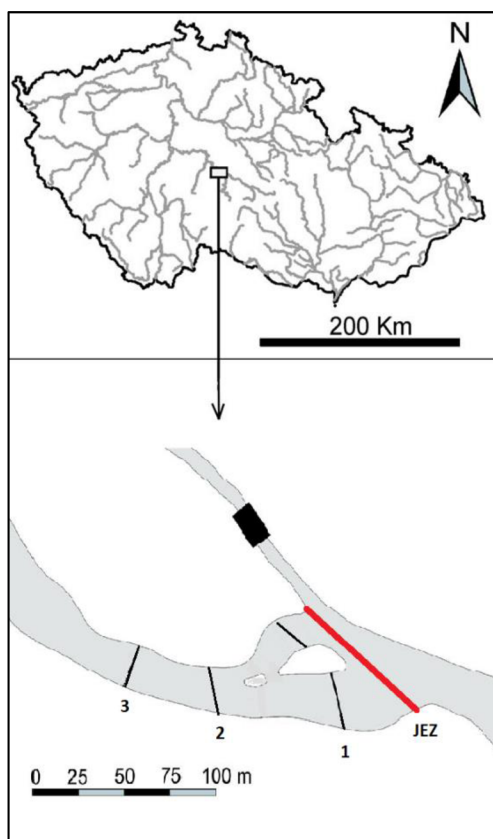
3.2 Popis studované lokality

Místo studie se nachází na řece Želivce, hlavním přítoku největší vodárenské nádrže v Evropě Švihov (39 km dlouhá, 1602 ha), (49°57'83"N, 15°25'37"E) v České republice (Povodí Vltavy,

2012; Šmejkal et al., 2023). Vodní nádrž Švihov slouží jako zdroj pitné vody pro Středočeský kraj a Prahu (Povodí Vltavy, 2012). Migrace všech druhů ryb proti proudu do řeky Želivky od třetího místa je na přehradě Švihov omezena betonovým jezem. Tento jez uměle upravuje třecí prostor bolenů na zhruba 100 m dlouhý a 22 m široký úsek (Šmejkal et al., 2018). Na přítoku se vytírá 2000-3000 dospělých bolenů dravých, kteří migrují z nádrže za účelem reprodukce brzy na jaře (Šmejkal et al., 2017).

3.3 Sběr dat, odlov a značení sumce velkého

Výzkum probíhal ve třech termínech 18. 3. až 27. 4. 2020, 18. 3. až 6. 5. 2021, 26. 3. až 3. 5. 2022 ve spolupráci s Biologickým Centrem Akademie věd České republiky. Tyto časové úseky byly zvoleny, jelikož hlavní třecí období bolena dravého začíná koncem měsíce března a pokračuje až do druhé poloviny měsíce dubna a již dříve zde byla v tuto dobu sumčí aktivita zaznamenána. V tomto období bývá intenzita v počtu rozmnožujících se bolenů nejintenzivnější, voda mívá teplotu v rozmezí 5–14 °C (Šmejkal et al., 2022, 2018).



Obrázek 1: Rozmístění telemetrických antén napříč korytem řeky Želivky, pod vodárenským jezem v letech 2020–2022. Zdroj: Šmejkal et al., 2021

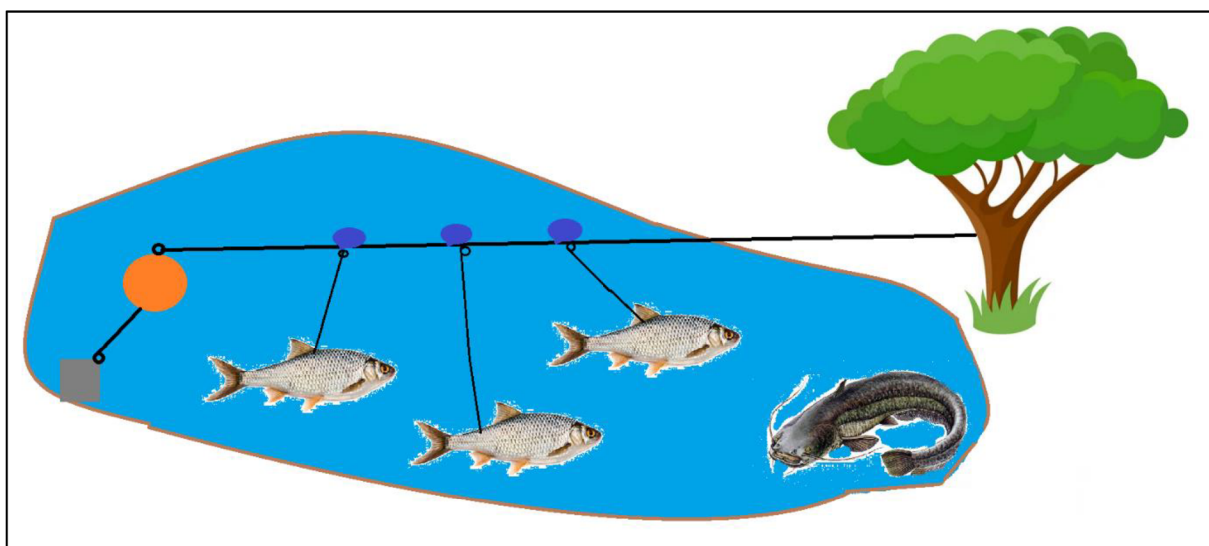
Výzkum byl v obou termínech proveden na hlavním přítoku přehrady Želivky (Švihov), kde boleni nacházejí ideální útočiště k rozmnožování. Řeka Želivka, hlavní přítok a zdroj vody pro přehradu, zde má rychlý spád, který boleni využívají k rozmnožení (Šmejkal et al., 2017). Právě v tomto období se v celé oblasti přítoku zdržuje největší možný počet predujících ryb na jikrách bolenů, jako jsou plotice obecná (*Rutilus rutilus*), ouklej obecná (*Alburnus alburnus*) a cejn velký (*Abramis brama*) (Bartoň et al., 2021).

3.3.1 Odlov sumce velkého

Odlov sumců probíhal za účelem získání informací o sumčí aktivitě, která na lokalitě již byla dříve zaznamenána při nízkých teplotách vody. Bylo potřeba zjistit, zda se sumci zdržují na trdlišti bolenů dravých, zda je sumec velký schopný predace i za nízkých teplot vody a zda aktivita sumce velkého koresponduje s početností kořisti. V roce 2022 bylo cílem odlovu naznačit pokud možno co nejvíce jedinců sumce velkého, aby se mi podařilo pomocí pasivní telemetrie získat velké množství dat a informací o pohybu sumců na trdlišti bolenů.

Odlov sumců probíhal prostřednictvím dvou metod. Pomocí dlouhých sumcových šňůr a pomocí elektrického proudu z lodě. Odlov první technikou tzv. dlouhých sumcových šňůr se jevil jako nejvíce úspěšný. Spočívá v tom, že se na vytipovaných úsecích na lokalitě natáhnou jednotlivé šňůry, které jsou 20-30 m dlouhé. Já jsem zvolil místa v okolí skal a spadlých stromů v blízkosti hlavního koryta, kde se sumci nejčastěji zdržují a pohybují. Jeden konec šňůry je přivázán pevně ke břehu, nejčastěji ke stromu, a je opatřen velkým plovákem, následně je na šňůře rozmístěno nejčastěji 10 menších pomocných plováků ve vzdálenostech dvou metrů, na kterých jsou přichyceny návazce s nástražními rybami. Tyto pomocné plováky tak slouží jako indikátory záběru. Druhý konec šňůry je také opatřen velkým plovákem a připevněn v podobě adekvátně těžkého závaží na dno vodní plochy. Závaží musí být dostatečně těžké, aby šňůra byla dopnutá a aby celou šňůru následně odchycené ryby nemohly odtáhnout pryč.

Výše popsanou metodou jsem lovil 5 dní po dobu výzkumu v roce 2022. Každý den v 9 hodin ráno a v 17 hodin odpoledne jsem nastražené šňůry kontroloval, opravoval a nastražoval nové nástražní ryby, kterými nejčastěji byly plotice obecná, cejn velký (*Abramis brama*) nebo jelec tloušť (*Squalius cephalus*). Také jsem vždy zkontroloval všechny plováky, zda na nich není ulovený jedinec sumce velkého, pokud ano, s co možná největší šetrností byla ryba naložena do kádě s čerstvou vodou a vzduchováním v lodi. Ostatní “nežádoucí“ druhy ryb, které se v malé míře chytly na nastražené ryby (nejčastěji štika obecná), byly s maximální šetrností vráceny zpět do vody.

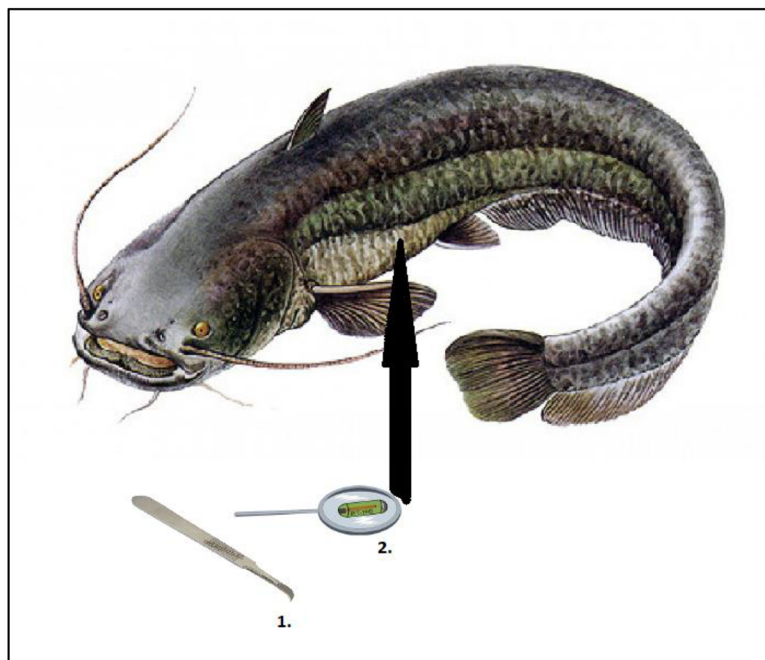


Obrázek 2: Schéma nastražení a odlovu sumce velkého pomocí dlouhých sumcových šňůr.

Odlov druhou technikou za pomoci elektrického proudu z lodě, kterým jsem lovil v letech 2020, 2021 a 2022 byl méně úspěšný, ale i přesto se podařilo několik jedinců sumce odlovit. Hlavní nevýhodou metody je, že je takto možné lovit jen v mělčích vodách, cca do dvou metrů hloubky, aby měl elektrický proud možnost rybu zasáhnout a bylo možné ji podebrat podběrákem do lodi (Šmejkal et al., 2022). Takto dočasně omráčení sumci, často díky své velké hmotnosti, zůstávají ležet u dna a díky špatné viditelnosti nebo zákalu vody není možné se k nim dostat. Touto technikou bylo loveno vždy v rozmezí minimálně tří dnů, aby byl odlov co nejvíce šetrný k rybám a ty tak nedostávaly příliš časté dávky elektrického proudu.

3.3.2 Značení sumce velkého

Značení sumce velkého začíná již zmiňovaným odlovem jedinců za pomoci elektrického zařízení umístěného na lodi nebo pomocí dlouhých šňůr, a to poblíž vytipovaných míst v blízkosti hlavního koryta, kde se sumci zdržují. Následně jsou ryby uspány v roztoku z hřebíčkového oleje, který na ně působí jako anestetikum. MS-222 (hřebíčkový olej) se nakape do kádě s vodou, v níž mohou být uspáni maximálně dva jedinci. K tělní dutině se nejprve přiloží čtečka PIT tagů, aby nedošlo k aplikování druhého PIT tagu už do dříve značeného jedince. Signál obou PIT tagů by se tak navzájem vyrušil a způsobil by nepřesnost ve značící databázi. Pokud čtečka nic nezaznamená, je sumci odstraněna tenká vrstva slizu v oblasti tělní dutiny v oblasti konce hrudního koše. Kůže se mírně nařízne a je do ní jemně vložen PIT tag – passive integrated transponder tag. Rozměr PIT tagů určených pro velké jedince je 32 mm (Šmejkal et al., 2018). Údaje o každém jedinci jsou zapisovány do záznamového archu. Nakonec se sumci nechají odpočinout ve studené prokysličené vodě a jsou vypuštěni zpět do přehrady.



Obrázek 3: Schéma značení sumce velkého pomocí PIT tagů o rozměru 32 mm.

3.4 Vizualní analýza obsahu žaludku sumce

Jedinci sumce velkého, uspaní pomocí anestetika MS-222 (roztoku hřebíčkového oleje) z předešlého značení, kteří měli vizuálně plnou břišní dutinu, byli podrobena vizuální analýze potravy žaludku. Tato metoda probíhá způsobem, kdy se ústa uspanému jedinci sumce otevřou, pokud možno co nejvíce. Je potřeba, aby otevřená ústa drželi jeden až dva lidé, aby nedošlo ke zranění sumce ani vědce. Následně se musí vsunout ruka, která je opatřena dlouhou gumovou rukavicí, přes ústa až do tělní dutiny a vytáhnout tak ze sumce vizuálně rozpoznatelnou natrávenou potravu. Sumec je následně nechán odpočinout ve studené prokysličené vodě a vrácen zpět do vodního prostředí (Vejiřik et al., 2017a). Získaná potrava z tělní dutiny sumce je následně rozložena na přehlednou čistou travní plochu a vizuálně zkoumána.



Obrázek 4: Značený jedinec sumce velkého, který byl podroben vizuální analýze obsahu žaludku. Jeho tělní dutina obsahovala natráveného menšího jedince sumce velkého.

4 Výsledky

4.1 Výsledky detekce sumců na trdlišti bolenu v časovém rozložení v průběhu dne

Během výzkumu v letech 2020, 2021 a 2022 se za pomoci pasivní telemetrie (telemetrických antén) zaznamenávala aktivita značených jedinců sumce velkého v průběhu dne na trdlišti bolena dravého na řece Želivce při vtoku do přehrady Švihov. Dne 11. 4. 2020 na trdlišti bolenu dravých byly zaznamenány pouze 3 detekce sumce velkého (Tab. 1) v rozmezí 18:01 –20:00, jednalo se o dva jedince. Nízký počet záznamů sumců v roce 2020 byl dán především tím, že zatím bylo označeno malé množství jedinců sumce velkého na lokalitě.

V roce 2021 bylo již detekované výrazně vyšší množství sumců, konkrétně 72 detekcí (Tab. 1), a to především díky vyšší proznačenost jedinců sumce na lokalitě. V rozmezí od 1. 4. 2021 do 6. 5. 2021 bylo celkem 25 dnů, kdy se sumci na trdlišti bolenu pohybovali.

V roce 2022 byla proznačenost jedinců sumce ještě vyšší než roky předešlé a telemetrické antény zaznamenaly 38 detekcí (Tab. 1). Od 27. 3. 2022 do 3. 5. 2022 bylo celkem 14 dnů, kdy se sumci na trdlišti bolenu vyskytovali. Dohromady bylo tedy za 3 roky v období jarního rozmnožování bolena dravého zaznamenáno 40 dnů sumčí aktivity a 113 detekcí sumců na trdlišti.

Časové rozložení sumčí aktivity je dobře patrné z tabulky (Tab. 1). V tabulce jsou zaznamenány detekce sumců na trdlišti bolenu ve dvouhodinových intervalech. Díky tomu, že každý jedinec má své unikátní číslo PIT tagu, je patrné, že se s vysokou pravděpodobností sumci vyskytovali na trdlišti v jednotkách kusů. Díky dvouhodinovému rozložení detekcí je z tabulky jasně patrné, že největší míra aktivity sumců byla na trdlišti cca od 16:00 h, kdy byla převážně nejvyšší teplota vody v daném dni, do cca 2:00 h dalšího dne. Soumrak a noc je z hlediska diurnálního rytmu (denního cyklu) časem největší aktivity sumců na trdlišti, jsou to části dne, kdy by sumci měli být nejvíce aktivní ve vyhledávání a lovu kořisti.

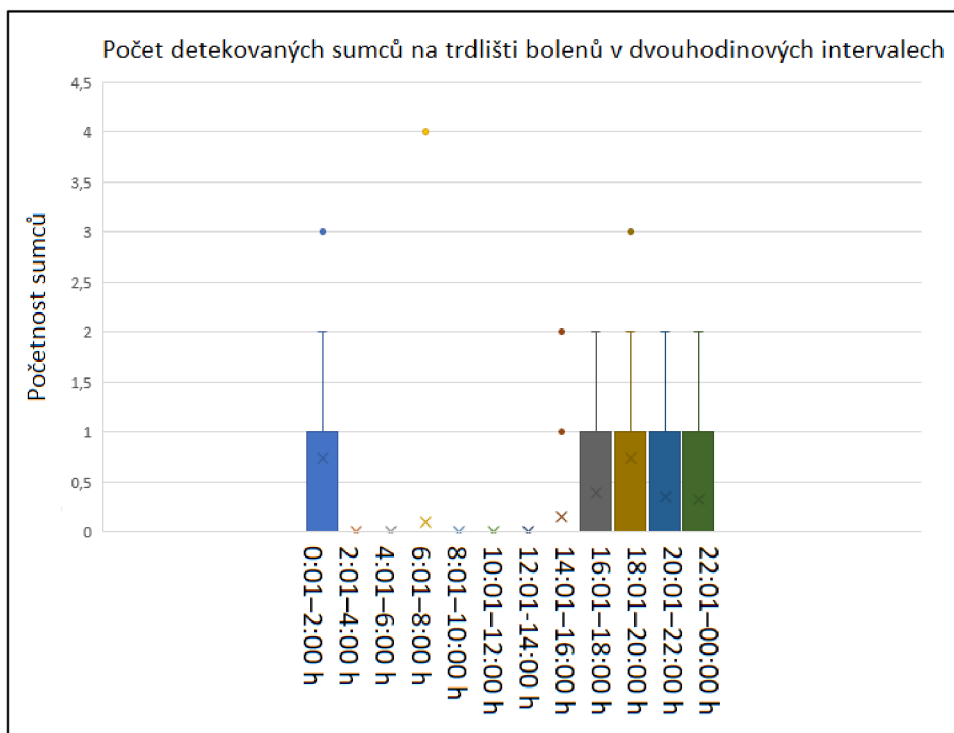
Dále je z tabulky patrné, že když jsou zde v brzkých ranních a denních hodinách téměř nulové detekce sumců, značení jedinci v tento čas opustili trdliště bolenu a tudíž museli vynaložit energii na pohyb (plavání) v nízkých teplotách vody, aby místo s vysokou koncentrací potravy (trdliště) opustili a následně opět vynaložili poměrně velké množství energie na návrat zpět na trdliště, proudnou poměrně silně tekoucí studenou vodou, za účelem velkého potravního zisku. Je tedy pravděpodobné, že jedinci sumce velkého na trdlišti bolenu

dravých získají více energie, než spotřebují aktivitou a pohybem ve studené vodě za účelem získání potravy.

Tabulka 1: Časové rozložení sumčí aktivity na trdlišti bolenů.

DATUM/ČAS	0:01–2:00	2:01–4:00	4:01–6:00	6:01–8:00	8:01–10:00	10:01–12:00	12:01–14:00	14:01–16:00	16:01–18:00	18:01–20:00	20:01–22:00	22:01–00:00
11.04.2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
31.03.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0
01.04.2021	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1
02.04.2021	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
03.04.2021	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
04.04.2021	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
05.04.2021	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
06.04.2021	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
07.04.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
08.04.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
09.04.2021	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
10.04.2021	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
11.04.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1
12.04.2021	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
13.04.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
14.04.2021	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0
21.04.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0
27.04.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
28.04.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0
29.04.2021	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
30.04.2021	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.05.2021	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
02.05.2021	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
03.05.2021	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
04.05.2021	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
05.05.2021	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
06.05.2021	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27.03.2022	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
30.03.2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
31.03.2022	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
01.04.2022	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0
16.04.2022	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
23.04.2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
26.04.2022	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1
27.04.2022	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
28.04.2022	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1
29.04.2022	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
30.04.2022	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
01.05.2022	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1
02.05.2022	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
03.05.2022	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

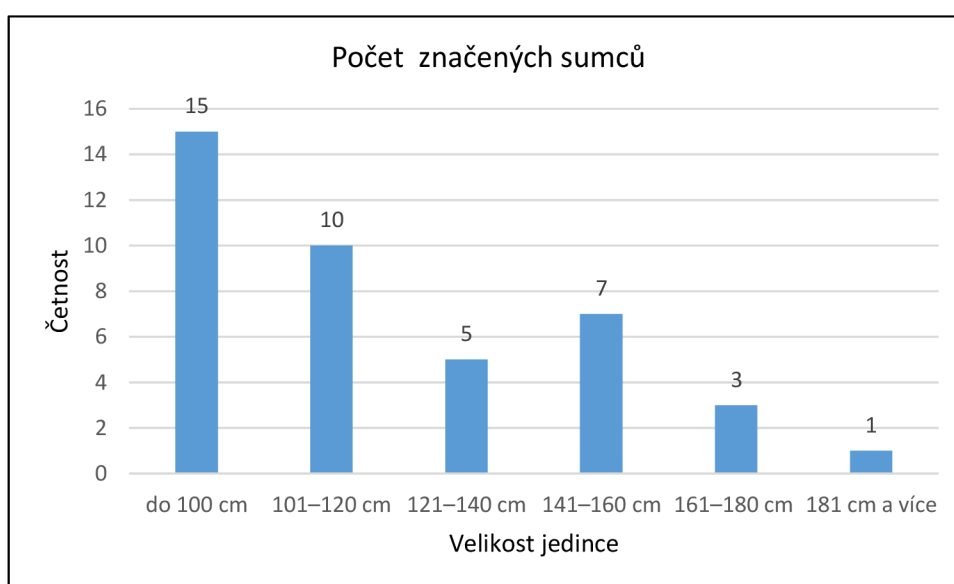
Rozložení detekcí sumců v průběhu dne (v letech 2020, 2021 a 2022) zobrazuje rovněž následující krabicový graf. Jednotlivé krabicové boxploty zobrazují kvartil Q1, průměr (křížek), kvartil Q3 a variabilitu nad třetím kvartilem, a to ve dvouhodinových časových intervalech. Graf potvrzuje, že sumci se na trdlišti bolenů vyskytují převážně ve večerních a nočních hodinách (přibližně od 16:01 do 2:00 hodin). Ve dvouhodinovém časovém intervalu byly na trdlišti zaznamenány nejvíce tři detekce, a to v časovém rozmezí 0:01 až 2:00 hodin a 18:01 až 20:00 hodin.



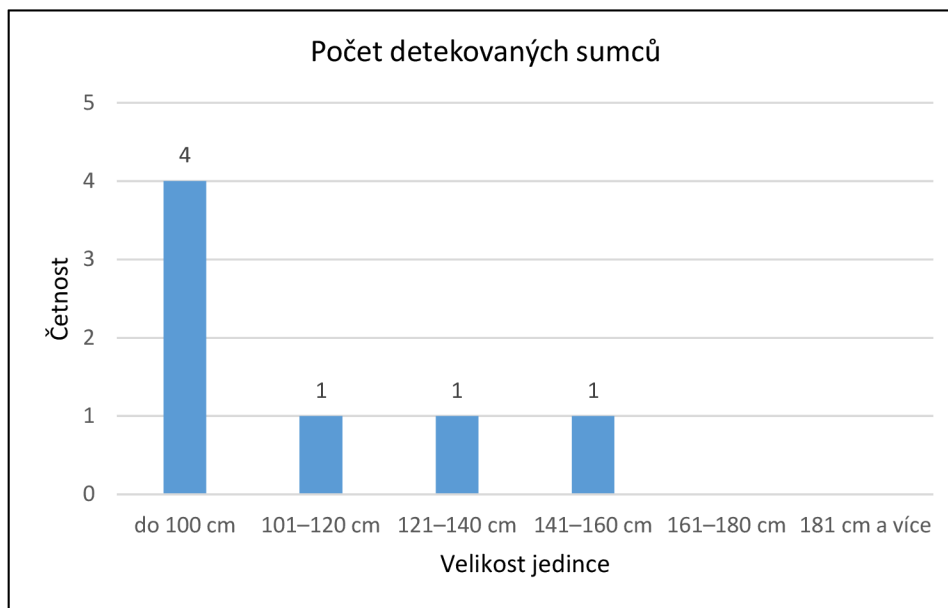
Graf 1: Počet detekcí sumců v dvouhodinových časových intervalech v letech 2020, 2021 a 2022.

4.2 Velikost značených a detekovaných sumců

Ze 41 sumců, kteří byli naznačeni v letech 2019–2022, docházelo na trdlišti bolenu k detekci sedmi z nich. Co se týče velikosti těla včetně ocasu, nejvíce označených jedinců spadá do kategorie do 100 cm včetně (Graf 2). Taktéž detekovaní jedinci měli ve většině případů délku těla do 100 cm (Graf 3).



Graf 2: Počet značených sumců v letech 2019–2022. Velikost označených jedinců byla měřena včetně ocasu (tj. celková délka).



Graf 3: Počet detekovaných sumců v letech 2020–2022 pomocí telemetrických antén.

4.3 Přítomnost sumců v závislosti na dnu v roce, teplotě, početnosti bolenů, početnosti cejnů a interakci dne a hodiny

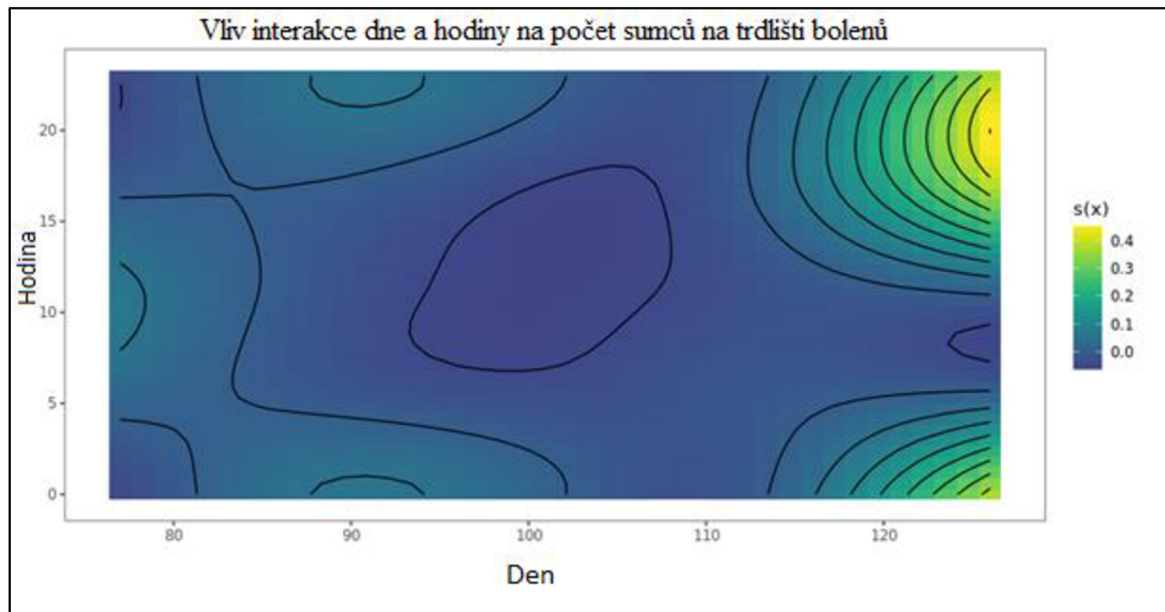
V programu R byl vytvořen generalizovaný aditivní model (GAM) zobrazující přítomnost bolena v závislosti na dnu v roce, teplotě vody, početnosti bolenů, početnosti cejnů a interakci dne a hodiny. Proměnná „den v roce“ není signifikantní, tedy neprokázal se vliv dne v roce na přítomnost sumce. Zbývající čtyři proměnné naopak vyšly jako signifikantní (Tab. 2). Signifikantní kódy jsou následující: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1. Je tedy zřejmé, že největší vliv na přítomnost sumce na trdlišti bolenů má početnost bolenů a interakce dne a hodiny, dále teplota vody a početnost cejnů.

Tabulka 2: Přítomnost sumců v závislosti na dnu v roce, teplotě, početnosti bolenů, početnosti cejnů a interakci dne a hodiny.

Proměnná	p-value	Signifikantnost
Interakce dne a hodiny	< 2e-16 ***	ANO
Početnost bolenů	< 2e-16 ***	ANO
Teplota vody	0.00114 **	ANO
Početnost cejnů	0.01631 *	ANO
Den v roce	0.542	NE

4.3.1 Interakce dne a hodiny

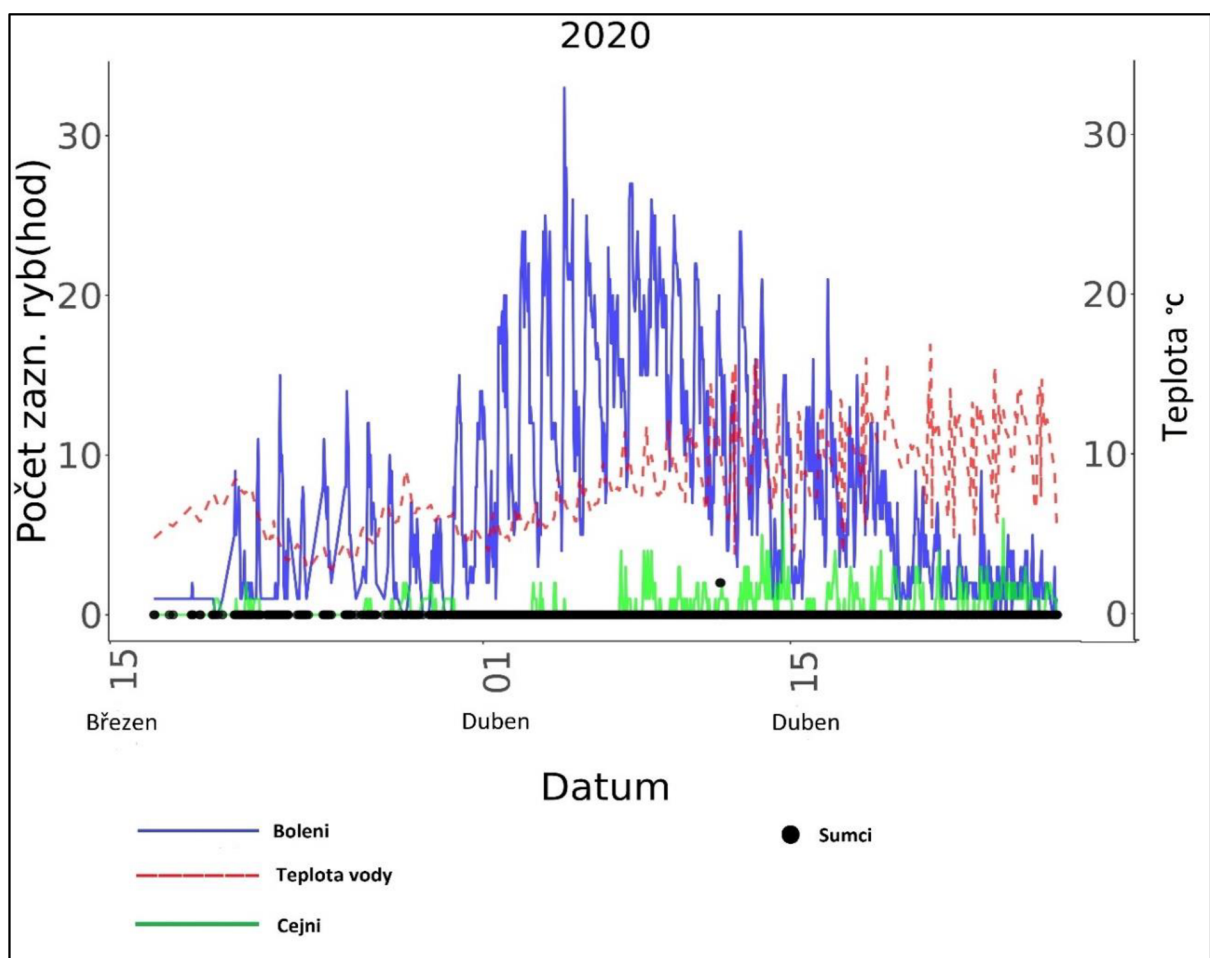
Jako velmi statisticky významná pro výskyt sumců na trdlišti bolenů se ukázala interakce dne a hodiny. Na začátku sezóny reprodukce bolenů není hodina pro výskyt sumců na trdlišti bolenů příliš zásadní. Naopak v závěrečné části sezóny se sumci na trdlišti bolenů vyskytují ve večerních, nočních a brzkých ranních hodinách (Graf 4).



Graf 4: Vliv interakce dne a hodiny na počet sumců na trdlišti bolenů v letech 2020–2022.

4.3.2 Vliv teploty, početnosti bolenů a početnosti cejnů na početnost sumců v roce 2020

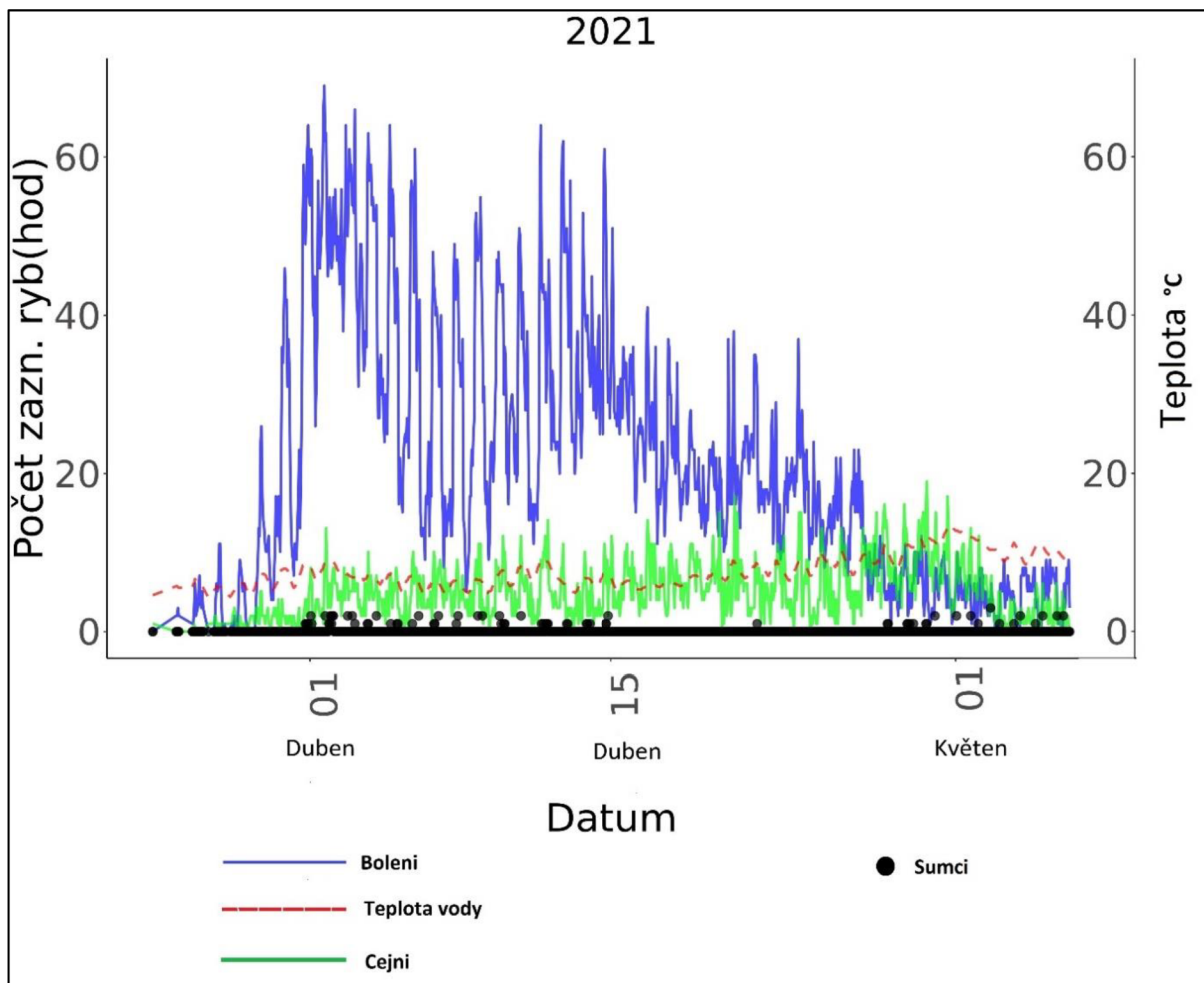
V roce 2020 probíhalo měření telemetrických antén od 12. 3. 2020 do 27. 4. 2020. V tomto období však byla zaznamenána pouze jedna detekce sumce na trdlišti bolenů, a to dne 11. 4., jak uvádí také Tab. 1. Kvůli této skutečnosti nelze v samostatném roce 2020 konstatovat, která proměnná měla na výskyt sumce největší vliv. V roce 2020 byl také velmi nízký počet detekcí cejna velkého, což bylo dáno především malou prozračností jedinců.



Graf 5: Graf počtu zaznamenaných bolenů dravých, cejnů velkých a sumců velkých, proložený teplotou vody v roce 2020.

4.3.3 Vliv teploty, početnosti bolenuů a početnosti cejnů na početnost sumců v roce 2021

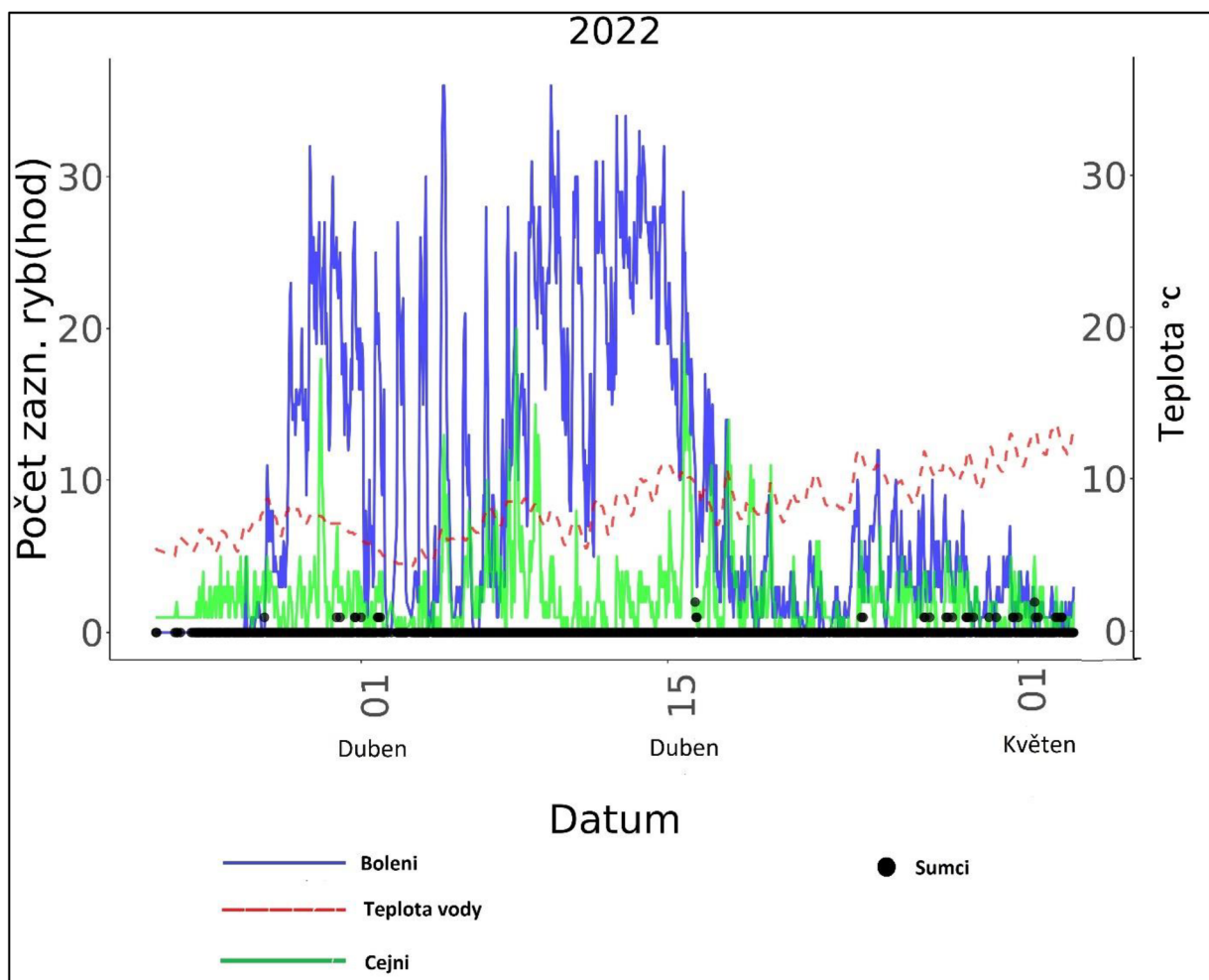
V roce 2021 probíhalo měření telemetrických antén od 25. 3. 2021 do 6. 5. 2021. Počet detekcí sumců na trdlišti bolenuů již byl značně vyšší. Důvodem může být vyšší počet označených jedinců, ale i vysoký počet zaznamenaných bolenuů během jedné hodiny, který převýšil 60 kusů. Grafické znázornění tedy dokazuje vysokou signifikantnost proměnné „početnost bolenuů“. Značně rozdílná byla oproti roku 2020 také teplota vody, která byla více konstantní a až na závěr sezóny na přelomu dubna a května se pohybovala pod 10 °C. V roce 2021 se také po dobu měření na trdlišti vyskytovali cejni velcí, kteří zde byli ve vyrovnaném a stabilním množství každý den.



Graf 6: Graf počtu zaznamenaných bolenuů dravých, cejnů velkých a sumců velkých, proložený teplotou vody v roce 2021.

4.3.4 Vliv teploty, početnosti bolenů a početnosti cejnů na početnost sumců v roce 2022

V roce 2022 probíhalo měření telemetrických antén od 26. 3. 2022 do 3. 5. 2022. Na trdlišti bolenů dravých bylo zaznamenáno 38 detekcí sumce velkého, což je méně než v roce 2021. Nižší počet detekcí sumce velkého může být dán tím, že bylo zaznamenáno méně bolenů dravých na trdlišti než v roce 2021. Početnost detekcí přesáhla pouze 30 kusů bolena za hodinu, na rozdíl od roku 2021, kdy byla překročena hranice 60 detekcí bolena. Křivka teploty vody byla v letech 2021 a 2022 téměř srovnatelná, tudíž měla pravděpodobně větší vliv na počet detekcí sumce početnost jedinců bolena dravého na trdlišti. Teplota vody tak byla v letech 2021 i 2022 stabilnější a ke konci měření začala mírně stoupat a přesahovat hranici 10 °C na rozdíl od roku 2020, kdy v teplotě vody docházelo k vysokým rozdílům napříč měřeným časovým úsekem. V roce 2022 byly výchyly v početnosti cejnů velkých napříč měřeným úsekem větší než v roce 2021 a 2020. Z grafu v roce 2022 je také jasně patrné, že se stoupající teplotou vody se projevila nižší detekovanost bolenů na trdlišti.



Graf 7: Graf počtu zaznamenaných bolenů dravých, cejnů velkých a sumců velkých, proložený teplotou vody v roce 2022.

5 Diskuse

Predace je důležitá ekologická druhová interakce, která je klíčová k zachování druhové rozmanitosti (Chesson & Kuang, 2008). Pokud vztah predátor – kořist vykazuje určitou rovnováhu (Abrams, 2001) a pokud se v ekosystému nachází takzvaný vrcholový predátor (apex predator), který je schopný redukce dominantních druhů, je tak zajištěna stabilita a rovnováha ekosystému (Menge et al., 1994; Mills et al., 1993). Klíčovým predátorem v oblasti rybího společenstva je v České republice sumec velký (*Silurus glanis*), který je zde vysazován především jako biomanipulační predátor omnivorních druhů ryb (Vejiřík et al., 2019). Jinak tomu není ani na největší vodárenské nádrži v České republice, Švihově (Hanel & Lusk, 2005).

Během tří let výzkumu, který jsem provedl v letech 2020, 2021 a 2022 na řece Želivce, přítoku vodárenské nádrže Švihov, jsem dokázal naznačit 25 jedinců sumce velkého, jejichž aktivitu jsem pak následně na trdlišti bolenů dravých zaznamenával pomocí pasivní telemetrie při nízkých teplotách vody. Dle zjištěných výsledků lze říct, že se naznačení jedinci vyskytují na trdlišti bolenů za účelem predace a vynakládají značnou aktivitu v pohybu na trdlišťě a zpět do přehrady, a to ve velmi studené vodě při teplotě v rozmezí 5 °C až 15 °C.

Naproti tomu dle jiných studií, například Nyqvista et al. (2022), je studená voda na přítocích pro sumce druhu *Silurus glanis* značně limitující, protože sumec velký má fyziologické optimum při teplotě vody mezi 25 °C a 27 °C. Dle studie Davida (2006) je sumec při teplotě vody 10 °C a nižší silně omezován a jeho růst se výrazně zpomalí, stejně tak i jeho aktivita. Také studie Daňka et al. (2016) definuje zvýšenou aktivitu a větší areál výskytu sumce s rostoucí teplotou vody 15 °C a více. Studie Pavlova & Kasumyana (2002) dokonce tvrdí, že některým rybím druhům se při nízkých teplotách vody výrazně sníží intenzita krmení nebo krmení úplně přeruší. Mezi tyto druhy je ve studii řazen konkrétně sumec velký (*Silurus glanis*) nebo také bolen dravý (*Aspius aspius*). Omezený či úplně přerušovaný příjem potravy u bolena dravého je opodstatněný tím, že se rozmnožuje při teplotě vody 5–12 °C (Šmejkal et al., 2022, 2018), proto přestává přijímat potravu. Ovšem výsledky mé studie zvýšený pohyb, aktivitu a konzumaci potravy ve studené vodě při teplotě vody 5 °C až 15 °C u sumců velkých potvrzují.

Dále z výsledků vyplynulo, že se jedinci sumce velkého na trdlišti bolenů dravých vyskytovali spíše samotářsky, výjimečně na trdlišti telemetrické antény detekovaly dva různé jedince sumce zároveň, a to převážně v podvečerních hodinách. V nočních hodinách se pak již sumci vyskytovali vždy po jednom jedinci na lokalitě. To by mohlo nasvědčovat silné teritoriálnosti u sumce, což potvrzují studie Fořta (2012) a Pavlova & Kasumyana (2002).

Ovšem neznám celkový počet jedinců sumce velkého vyskytujících se na trdlišti bolenuů dravých, pouze počet značených jedinců. Celkový počet sumců nacházejících se na trdlišti mohl být i dvojnásobný až trojnásobný. Do budoucna by bylo zajímavé naznačit pokud možno co nejvíce jedinců sumce, aby se hypotéza o teritoriálnosti potvrdila, či vyvrátila.

Při vizuální analýze žaludku sumce jsem byl schopný rozeznat šest druhů kořisti sumce velkého: ouklej obecnou, cejna velkého, mladého jedince sumce velkého, úhoře říčního, plotici obecnou a natrávené jikry – pravděpodobně bolenuů dravých. Je tedy pravděpodobné, že sumci zde primárně nepredují účelně na jedincích bolenuů, ale shromažďují se zde díky vysoké koncentraci různé potravy a vědomě tak neselektují rybí druhy. Dle studie Adámka et al. (1999) ale při pokusech v laboratorních podmínkách sumec preferoval jedince bolenuů před ostatními druhy ryb, je tedy možné, že se mi pouze při výzkumu nepodařilo odlovit sumce s požitým jedincem bolena dravého.

Bylo by také zajímavé zjistit velikost sumce, od které je schopný predovat na pohlavně dospělých jedincích bolena dravého, kteří mají zpravidla 40–50 cm (Bartoň et al., 2022). Dle studie Milardiho et al. (2022) jsou mladí jedinci sumce velkého pod 100 cm délky srovnatelně horší v úspěšnosti predace na vodních ptácích než jedinci sumce větších rozměrů. Lze tedy předpokládat, že podobně tomu bude napříč spektrem lovené potravy sumce velkého. Dle studie Kuzishchina et al. (2018) sumci do 30 kg váhy tělesné hmotnosti nepreferovali konkrétní druh rybího druhu a následně od tělesné váhy 30 kg a více sumci lovenou kořist selektovali v podobě kapra obecného, cejna velkého a bolena dravého. Dle mého názoru budou schopni predace na pohlavně dospělých jedincích bolena dravého sumci větší 120 cm délky, kteří také dle studie Vejřika et al. (2017a) byli schopni pozřít pohlavně zralé boleny. Boleny dravé menších velikostí a nepohlavně zralé dle mého názoru sumci neodlišují od jiných ryb, kupříkladu oukleje obecné či cejna velkého. Mladí jedinci sumce velkého se tak na trdlišti bolenuů dravých s velkou pravděpodobností živí i jikrami bolenuů. Dle studie Vejřik et al. (2017b) je dokázané, že sumec velký je schopný žít se jikrami okounů říčních (*Perca fluviatilis*).

Sumec vykazuje největší známky aktivity a konzumní produktivity právě v nočních hodinách (Boujard, 1995; Boulêtreau et al., 2020; Pohlmann et al., 2001). Stejně tak se potvrdila převážně podvečerní a noční aktivita značených jedinců sumců i na základě výsledků výzkumu. Ve studii Carola et al. (2007) byla taktéž potvrzena největší aktivita a přesuny na větší vzdálenost sumců v nočních hodinách.

Při sledování migrace sumce velkého pomocí pasivní telemetrie je jednoznačné pozitivum v tom, že tento druh výzkumu zachovává maximální šetrnost k rybám. Nedochozí tak k nutné mortalitě jedinců, jako tomu bývá při jiných metodách vědeckých výzkumů. Nízkou mortalitu na základě značení PIT tag plotice obecné potvrzuje také studie Skova et al. (2005).

Značeným jedincům jsou aplikovány PIT tagy s neomezenou životností, a mohou se tak zaznamenávat data o jedinci po celou dobu jeho života (Šmejkal et al., 2021). Je také důležité správně volit velikost PIT tagů vůči velikosti rybiho jedince, aby nedocházelo ke zbytečné mortalitě zkoumaných ryb. Jak dokazuje studie Wiika et al. (2020), u juvenilních lososovitých ryb je potřeba, aby PIT tag nepřesahoval 17,5 % tělesné velikosti jedince při značení. Pozitivum této značící technologie je fakt, že se dá aplikovat na sledování i jiných živočišných druhů než pouze ryb. Dle studie Schulta & Steinfartze (2007) lze této metody využít například při sledování pohybových vzorců mloka skvrnitého (*Salamandra salamandra*) na evropském území. Metody pasivní telemetrie pro výzkum čolka velkého (*Triturus cristatus*) v České republice na lokalitě Tověř také využil Weber et al. (2019). Při tomto výzkumu byly použity PIT tagy menších rozměrů, vzhledem k velikosti těla čolků, a to konkrétně PIT tagy velikosti 12 mm.

Dle mého názoru predace sumce velkého na trdlišti bolenů dravých v naturové lokalitě na přítoku přehrady Švihov nemá zásadní negativní vliv na početnost naturového třecího hejna bolenů dravých. Právě naopak, sumec jako vrcholový predátor udržuje celý ekosystém vzniklý při ústí řeky Želivky do vodárenské přehrady Švihov v přírodě prospěšné a zdravé rovnováze – ovšem aby zůstal celý ekosystém v rovnováze, nesmí dojít k přemnožení vrcholového predátora (Menge et al., 1994; Mills et al., 1993). Dle mého názoru nejsou počty predujících sumců na trdlišti tak vysoké, aby docházelo k negativnímu ovlivnění třecího hejna bolenů, a to i za předpokladu, že sumců mohl být na trdlišti po dobu výzkumu až trojnásobný počet.

6 Závěr

V diplomové práci jsem popsal predaci sumce velkého na trdlišti bolenu dravých na přítoku přehrady Švihov na řece Želivce. V teoretické části práce jsem se zaměřil na predaci obecně, na stabilitu ve vztahu predátor – kořist, popsal jsem dvě základní predační strategie a charakterizoval predaci živočichů napříč ročními obdobími a s tím spojené problémy predace vůči rybám v České republice. Dále jsem se zaměřil jak na rozbor predačního tlaku při migraci živočichů obecně, tak i na problémy týkající se predačního tlaku při migraci rybích druhů a s tím spojené problémy s migračními překážkami. Popsal jsem predaci a predační strategii sumce velkého a jeho preferované teplotní limity při aktivní predaci. Dále jsem rozebral ektotermii živočichů obecně a následně přešel k rozboru ektotermie ryb, která je důležitá k pochopení aktivity ryb a s tím spojeného plaveckého výkonu v různých teplotních maximech a minimech teploty vody. V praktické části diplomové práce jsem se zaměřil na potvrzení či vyvrácení hypotézy, zda je sumec velký schopný predace i za nízkých teplot vody a zda aktivita sumce velkého koresponduje s početností kořisti v hlavním třecím období bolena dravého na vodní nádrži Švihov. Zvolenými metodami pro výzkum predace sumce velkého byly odlov za pomoci dlouhých sumcových šňůr a pomoci elektrického proudu z lodě za pomoci agregátu a také pasivní telemetrie. Na základě výsledků jsem potvrdil aktivitu sumce velkého při nízkých teplotách vody pod 15 °C. Také jsem potvrdil, že aktivita sumce velkého při nízké teplotě vody je na řece Želivce závislá na početnosti bolenu na trdlišti. Dále jsem za pomoci dat z pasivní telemetrie, jež umožňuje snímat značené jedince sumce velkého, sestavil tabulku výskytu sumce na trdlišti v průběhu dne. Je tak jasně patrné, že sumci se zde vyskytují převážně v podvečerních, večerních a nočních hodinách, v pozdně ranních hodinách a v průběhu dne však nikoliv. Tento fakt potvrzuje i graf interakce dne a hodiny. Tato data také vypovídají o přesunu značených jedinců sumce velkého na a z trdliště bolenu. Sumci trdliště vyhledávají za účelem predace a získání vysokého energetického příjmu. Z důvodu velkého proudu a nízké teploty vody však následně trdliště opouští, přičemž pohyb ve studené vodě (častokrát pod 10 °C) vyžaduje vynaložení velkého množství energie. Pro opětovné získání energie se sumci na trdliště následně znovu vracejí. Získaná data a výsledky by mohly dát široké veřejnosti i vědcům nový pohled na aktivitu převážně dravých ryb při nízkých teplotách vody. Především pak mohou sloužit jako vědecký podklad pro možnou změnu hájení sumce velkého v návaznosti na výkon rybářského práva. V budoucnu by bylo zajímavé tento výzkum aktivity rozšířit i na jiné druhy ryb žijících v České republice a dozvědět se tak více o chování při nízkých teplotách vody.

7 Seznam literatury

- Abrams, P.A., 2001. The evolution of predator-prey interactions: theory and evidence. *Montaz. i Spetsial'nye Rab. v Stroit.* 28–31.
- Acou, A., Laffaille, P., Legault, A., Feunteun, E., 2008. Migration pattern of silver eel (*Anguilla anguilla*, L.) in an obstructed river system. *Ecol. Freshw. Fish* 17, 432–442. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2008.00295.x>
- Adamek, Z., Fašaić, K., Siddiqui, M.A., 1999. Prey selectivity in wels (*Silurus glanis*) and African catfish (*Clarias gariepinus*). *Croat. J. Fish.* 52, 47–60.
- Adámek, Z., Kortan, D., Kortan, J., Flajšhans, M., 2007. Piscivorous predators and their impact upon fish stocks in aquaculture facilities and natural waterbodies. *Fishery* 131–134.
- Agostinho, A.A., Agostinho, C.S., Pelicice, F.M., Marques, E.E., 2012. Fish ladders: Safe fish passage or hotspot for predation? *Neotrop. Ichthyol.* 10, 687–696. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400001>
- Augustynek, J., 2021. Ethology of asp (*Leuciscus aspius*) during reproduction. Palacký University.
- Bartoň, D., Brabec, M., Sajdlová, Z., Souza, A.T., Duras, J., Kortan, D., Blabolil, P., Vejřík, L., Kubečka, J., Šmejkal, M., 2022. Hydropeaking causes spatial shifts in a reproducing rheophilic fish. *Sci. Total Environ.* 806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150649>
- Bartoň, D., Bretón, F., Blabolil, P., Souza, A.T., Vejřík, L., Sajdlová, Z., Kolařík, T., Kubečka, J., Šmejkal, M., 2021. Effects of hydropeaking on the attached eggs of a rheophilic cyprinid species. *Ecohydrology* 14. <https://doi.org/10.1002/eco.2280>
- Baruš, V., Oliva, O., 1995. Míhulovci Petromyzontes a ryby Osteichthyes. Academia, Praha.
- Bates, A.E., Hilton, B.J., Harley, C.D.G., 2009. Effects of temperature, season and locality on wasting disease in the keystone predatory sea star *Pisaster ochraceus*. *Dis. Aquat. Organ.* 86, 245–251. <https://doi.org/10.3354/dao02125>
- Berger, J., Young, J.K., Berger, K.M., 2008. Protecting migration corridors: Challenges and optimism for Mongolian saiga. *PLoS Biol.* 6, 1365–1367. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060165>
- Bonhommeau, S., Castonguay, M., Rivot, E., Sabatié, R., Le Pape, O., 2010. The duration of migration of Atlantic *Anguilla* larvae. *Fish Fish.* 11, 289–306. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2010.00362.x>
- Boujard, T., 1995. Diel rhythms of feeding activity in the European catfish, *Silurus glanis*. *Physiol. Behav.* 58, 641–645. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(95\)00109-V](https://doi.org/10.1016/0031-9384(95)00109-V)
- Boulêtreau, S., Carry, L., Meyer, E., Filloux, D., Menchi, O., Mataix, V., Santoul, F., 2020. High predation of native sea lamprey during spawning migration. *Sci. Rep.* 10, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62916-w>
- Boulêtreau, S., Gaillagot, A., Carry, L., Tétard, S., De Oliveira, E., Santoul, F., 2018. Adult Atlantic salmon have a new freshwater predator. *PLoS One* 13, 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196046>

- Bronmark, C., Hansson, L.A., 2000. Chemical communication in aquatic systems: An introduction. *Oikos* 88, 103–109. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.880112.x>
- Brown, R.S., Hubert, W.A., Daly, S.F., 2011. A primer on winter, ice, and fish: What fisheries biologists should know about winter ice processes and stream-dwelling fish. *Fisheries* 36, 8–26. <https://doi.org/10.1577/03632415.2011.10389052>
- Brownscombe, J.W., Cooke, S.J., Algera, D.A., Hanson, K.C., Eliason, E.J., Burnett, N.J., Danylchuk, A.J., Hinch, S.G., Farrell, A.P., 2017. Ecology of exercise in wild fish: Integrating concepts of individual physiological capacity, behavior, and fitness through diverse case studies. *Integr. Comp. Biol.* 57, 281–292. <https://doi.org/10.1093/icb/ixc012>
- Carol, J., Benejam, L., Benito, J., García-Berthou, E., 2009. Growth and diet of European catfish (*Silurus glanis*) in early and late invasion stages. *Fundam. Appl. Limnol.* 174, 317–328. <https://doi.org/10.1127/1863-9135/2009/0174-0317>
- Carol, J., Zamora, L., García-Berthou, E., 2007. Preliminary telemetry data on the movement patterns and habitat use of European catfish (*Silurus glanis*) in a reservoir of the River Ebro, Spain. *Ecol. Freshw. Fish* 16, 450–456. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2007.00225.x>
- Čech, M., Vejřík, L., 2011. Winter diet of great cormorant (*Phalacrocorax Carbo*) on the River Vltava: Estimate of size and species composition and potential for fish stock losses. *Folia Zool.* 60, 129–142. <https://doi.org/10.25225/fozo.v60.i2.a7.2011>
- Chesson, P., Kuang, J.J., 2008. The interaction between predation and competition. *Nature* 456, 235–238. <https://doi.org/10.1038/nature07248>
- Copp, G.H., Bianco, P.G., Bogutskaya, N.G., Eros, T., Falka, I., Ferreira, M.T., Fox, M.G., Freyhof, J., Gozlan, R.E., Grabowska, J., Kováč, V., Moreno-Amich, R., Naseka, A.M., Peňáz, M., Povž, M., Przybylski, M., Robillard, M., Russell, I.C., Stakenas, S., Šumer, S., Vila-Gispert, A., Wiesner, C., 2005. To be, or not to be, a non-native freshwater fish? *J. Appl. Ichthyol.* 21, 242–262. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2005.00690.x>
- Copp, G.H., Robert Britton, J., Cucherousset, J., García-Berthou, E., Kirk, R., Peeler, E., Stakenas, S., 2009. Voracious invader or benign feline? A review of the environmental biology of European catfish *silurus glanis* in its native and introduced ranges. *Fish Fish.* 10, 252–282. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00321.x>
- Cucherousset, J., Boulêtreau, S., Azémar, F., Compin, A., Guillaume, M., Santoul, F., 2012. „Freshwater killer whales”: beaching behavior of an Alien fish to hunt land birds. *PLoS One* 7, 1–6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050840>
- Daněk, T., Horký, P., Kalous, L., Filinger, K., Břicháček, V., Slavík, O., 2016. Seasonal changes in diel activity of juvenile European catfish *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758) in Byšická Lake, Central Bohemia. *J. Appl. Ichthyol.* 32, 1093–1098. <https://doi.org/10.1111/jai.13146>
- David, J.A., 2006. Water quality and accelerated winter growth of European catfish using an enclosed recirculating system. *Water Environ. J.* 20, 233–239. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2006.00021.x>
- Dingle, H., Drake, V., 2007. What is migration? *Bioscience* 57, 113–121. <https://doi.org/10.1641/B570206>
- Dodds, W., Whiles, M., 2010. *Freshwater Ecology, Concepts and environmental applications*

of limnology. Elsevier.

- Dolan, B.P., Fisher, K.M., Colvin, M.E., Benda, S.E., Peterson, J.T., Kent, M.L., Schreck, C.B., 2016. Innate and adaptive immune responses in migrating spring-run adult chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Fish Shellfish Immunol.* 48, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.11.015>
- Eklöv, P., 1992. Group foraging versus solitary foraging efficiency in piscivorous predators: the perch, *Perca fluviatilis*, and pike, *Esox lucius*, patterns. *Anim. Behav.* 44, 313–326. [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(92\)90037-A](https://doi.org/10.1016/0003-3472(92)90037-A)
- Ekström, A., Axelsson, M., Gräns, A., Brijs, J., Sandblom, E., 2017. Influence of the coronary circulation on thermal tolerance and cardiac performance during warming in rainbow trout. *Am. J. Physiol. - Regul. Integr. Comp. Physiol.* 312, R549–R558. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00536.2016>
- Estes, A.J.A., Tinker, M.T., Williams, T.M., Doak, D.F., Estes, J.A., Tinker, M.T., Williams, T.M., Doak, D.F., 1998. Killer whale predation on sea otters linking oceanic and nearshore ecosystems published by: American Association for the Advancement of Science Stable Oceanic and Near. *Science* (80-). 282, 473–476.
- Ferrick, M., Mulherin, N., 1989. Framework for control of dynamic ice breakup by river regulation. *Regul. Rivers Res. Manag.* 3, 79–92.
- Fořt, M., 2012. Prostorová distribuce jedinců sumce velkého *Silurus glanis* ovlivněná známostí. *Universita Karlova*.
- Friedland, K.D., Manning, J.P., Link, J.S., Gilbert, J.R., Gilbert, A.T., O’Connell, A.F., 2012. Variation in wind and piscivorous predator fields affecting the survival of Atlantic salmon, *Salmo salar*, in the Gulf of Maine. *Fish. Manag. Ecol.* 19, 22–35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2011.00814.x>
- Fu, S.J., Cao, Z.D., Peng, J.L., Wang, Y.X., 2008. Is peak postprandial oxygen consumption positively related to growth rate and resting oxygen consumption in a sedentary catfish *Silurus meridionalis*? *J. Fish Biol.* 73, 692–701. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.01968.x>
- Fu, S.J., Xie, X.J., Cao, Z.D., 2005. Effect of meal size on postprandial metabolic response in southern catfish (*Silurus meridionalis*). *Comp. Biochem. Physiol. - A Mol. Integr. Physiol.* 140, 445–451. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2005.02.008>
- Furey, N.B., Armstrong, J.B., Beauchamp, D.A., Hinch, S.G., 2018. Migratory coupling between predators and prey. *Nat. Ecol. Evol.* 2, 1846–1853. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0711-3>
- Giller, P.S., 1980. The control of handling time and its effects on the foraging strategy of a heteropteran predator, *Notonecta*. *J. Anim. Ecol.* 49, 699. <https://doi.org/10.2307/4222>
- Grant, J., Hopcraft, C., Morales, J.M., Beyer, H.L., Borner, M., Mwangomo, E., Sinclair, A.R.E., Olf, H., Haydon, D.T., 2014. Competition, predation, and migration: individual choice patterns of Serengeti migrants captured by hierarchical models. *Ecol. Monogr.* 84, 355–372.
- Grove, D.J., 2002. Food intake in fish, fish and fisheries. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2002.00073.x>

- Hanel, L., Lusk, S., 2005. Ryby a Mihule České republiky. Český svaz ochránců přírody Vlašim.
- Hasson, O., Hibbard, R., Ceballos, G., 1989. The pursuit deterrent function of tail-wagging in the zebra-tailed lizard (*Callisaurus draconoides*). *Can. J. Zool.* 67, 1203–1209. <https://doi.org/10.1139/z89-174>
- Hebblewhite, M., Pletscher, D.H., 2002. Effects of elk group size on predation by wolves. *Can. J. Zool.* 80, 800–809. <https://doi.org/10.1139/z02-059>
- Hermes-Lima, M., Storey, K.B., 1996. Relationship between anoxia exposure and antioxidant status in the frog *Rana pipiens*. *Am. J. Physiol. - Regul. Integr. Comp. Physiol.* 271. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1996.271.4.r918>
- Holčík, J., 1991. Fish introductions to Europe with special reference to its central and eastern part. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 13–23.
- Holdo, R.M., Holt, R.D., Fryxell, J.M., 2009. Opposing rainfall and plant nutritional gradients best explain the wildebeest migration in the serengeti. *Am. Nat.* 173, 431–445. <https://doi.org/10.1086/597229>
- Huey, R.B., Kingsolver, J.G., 1989. Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance. *Trends Ecol. Evol.* 4, 131–135. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(89\)90211-5](https://doi.org/10.1016/0169-5347(89)90211-5)
- Hulak, M., Kaspar, V., Kohlmann, K., Coward, K., Tešitel, J., Rodina, M., Gela, D., Kocour, M., Linhart, O., 2010. Microsatellite-based genetic diversity and differentiation of foreign common carp (*Cyprinus carpio*) strains farmed in the Czech Republic. *Aquaculture* 298, 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.10.021>
- Iftikar, F.I., Morash, A.J., Cook, D.G., Herbert, N.A., Hickey, A.J.R., 2015. Temperature acclimation of mitochondria function from the hearts of a temperate wrasse (*Notolabrus celidotus*). *Comp. Biochem. Physiol. -Part A Mol. Integr. Physiol.* 184, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2015.01.017>
- Jensen, D.L., Overgaard, J., Wang, T., Gesser, H., Malte, H., 2017. Temperature effects on aerobic scope and cardiac performance of European perch (*Perca fluviatilis*). *J. Therm. Biol.* 68, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.04.006>
- Johnston, I.A., Dunn, J., 1987. Temperature acclimation and metabolism in ectotherms with particular reference to teleost fish. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 41, 67–93.
- Kortan, D., Adámek, Z., Poláková, S., 2007. Winter predation by otter, *Lutra lutra* on carp pond systems in South Bohemia (Czech Republic). *Folia Zool.* 56, 416–428.
- Kottelat, M., Freyhof, J., 2007. Handbook of European Freshwater Fishes. Published by Authors.
- Krpo-Četković, J., Hegediš, A., Lenhardt, M., 2010. Diet and growth of asp, *Aspius aspius* (Linnaeus, 1758), in the Danube River near the confluence with the Sava River (Serbia). *J. Appl. Ichthyol.* 26, 513–521. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01456.x>
- Kuzishchin, K. V., Gruzdeva, M.A., Pavlov, D.S., 2018. Traits of Biology of European Wels Catfish *Silurus glanis* from the Volga–Ahtuba Water System, the Lower Volga. *J. Ichthyol.* 58, 833–844. <https://doi.org/10.1134/S0032945218060103>
- Lanszki, J., Molnár, M., Molnár, T., 2006. Factors affecting the predation of otter (*Lutra*

- lutra*) on European pond turtle (*Emys orbicularis*). J. Zool. 270, 219–226.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2006.00132.x>
- Leerink, T., 2010. Bergmann's rule reviewed for Endotherms & Ectotherms. University of Groningen.
- Lima, S., Lawrence, D., 1990. Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. Can. J. Zool. 68, 619–640.
- Marrone, P., 2013. The taste of predation and the defences of prey. Etica e Polit. 15, 583–605.
<https://doi.org/10.1093/acprof>
- Marsden, J.E., Blanchfield, P.J., Brooks, J.L., Fernandes, T., Fisk, A.T., Futia, M.H., Hlina, B.L., Ivanova, S. V., Johnson, T.B., Klinard, N. V., Krueger, C.C., Larocque, S.M., Matley, J.K., McMeans, B., O'Connor, L.M., Raby, G.D., Cooke, S.J., 2021. Using untapped telemetry data to explore the winter biology of freshwater fish. Rev. Fish Biol. Fish. 31, 115–134. <https://doi.org/10.1007/s11160-021-09634-2>
- Ménard, F., Labrune, C., Shin, Y.J., Asine, A.S., Bard, F.X., 2006. Opportunistic predation in tuna: A size-based approach. Mar. Ecol. Prog. Ser. 323, 223–231.
<https://doi.org/10.3354/meps323223>
- Menge, B.A., Berlow, E.L., Blanchette, C.A., Navarrete, S.A., Yamada, S.B., 1994. The keystone species concept: Variation in interaction strength in a rocky intertidal habitat. Ecol. Monogr. 64, 249–286. <https://doi.org/10.2307/2937163>
- Milardi, M., Green, A.J., Mancini, M., Trotti, P., Kiljunen, M., Torniainen, J., Castaldelli, G., 2022. Invasive catfish in northern Italy and their impacts on waterbirds. NeoBiota 72, 109–128. <https://doi.org/10.3897/neobiota.72.80500>
- Mills, L.S., Soulé, M.E., Doak, D.F., Soule, M.E., 1993. The Keystone-Species Concept in Ecology and Conservation. Bioscience 43, 219–224.
- Musil, J., Jurajda, P., Adámek, Z., Horký, P., Slavík, O., 2010. Non-native fish introductions in the Czech Republic - species inventory, facts and future perspectives. J. Appl. Ichthyol. 26, 38–45. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01500.x>
- Newton, I., Dale, L.C., 1996. Bird migration at different latitudes in eastern North America. Auk 113, 626–635. <https://doi.org/10.2307/4088983>
- Nyqvist, D., Calles, O., Forneris, G., Comoglio, C., 2022. Movement and activity patterns of non-native Wels catfish (*Silurus glanis* Linnaeus, 1758) at the confluence of a large river and its colder tributary. Fishes 7. <https://doi.org/10.3390/fishes7060325>
- O'Brien, W.J., Brownman, H.I., Evans, B.I., 1990. Search of foraging strategies animals patterns saltatory of in a wide range of animals indicate most foragers that. Am. Sci. 78, 152–160.
- Pavlov, D., Kasumyan, A., 2002. Feeding diversity in fishes: Trophic classification of fish. J. Ichthyol. 42, S137–S159.
- Pelletier, D., Blier, P., Dutil, J., Guderley, H., 1995. How should enzyme activities be used in fish growth studies? J. Exp. Biol. 198, 1493–1497.
<https://doi.org/10.1242/jeb.198.7.1493>
- Pelletier, D., Guderley, H., Dutil, J. -D, 1993. Effects of growth rate, temperature, season, and body size on glycolytic enzyme activities in the white muscle of atlantic cod (*Gadus*

- morhua*). J. Exp. Zool. 265, 477–487. <https://doi.org/10.1002/jez.1402650503>
- Peterson, A.N., Soto, A.P., McHenry, M.J., 2021. Pursuit and evasion strategies in the predator-prey interactions of fishes. Integr. Comp. Biol. 61, 668–680. <https://doi.org/10.1093/icb/icab116>
- Pilakouta, N., O'Donnell, P.J., Crespel, A., Levet, M., Claireaux, M., Humble, J.L., Kristjánsson, B.K., Skúlason, S., Lindström, J., Metcalfe, N.B., Killen, S.S., Parsons, K.J., 2023. A warmer environment can reduce sociability in an ectotherm. Glob. Chang. Biol. 29, 206–214. <https://doi.org/10.1111/gcb.16451>
- Pohlmann, K., Grasso, F.W., Breithaupt, T., 2001. Tracking wakes: The nocturnal predatory strategy of piscivorous catfish. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 98, 7371–7374. <https://doi.org/10.1073/pnas.121026298>
- Povodí Vltavy, 2012. VD Želivka – Švihov [WWW Document]. URL <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/svihov.pdf>
- Radermacher, P.T., Myachina, F., Bosshardt, F., Pandey, R., Mariappa, D., Müller, H.A.J., Lehner, C.F., 2014. O-GlcNAc reports ambient temperature and confers heat resistance on ectotherm development. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 111, 5592–5597. <https://doi.org/10.1073/pnas.1322396111>
- Sabal, M.C., Boyce, M.S., Charpentier, C.L., Furey, N.B., Luhring, T.M., Martin, H.W., Melnychuk, M.C., Srygley, R.B., Wagner, C.M., Wirsing, A.J., Ydenberg, R.C., Palkovacs, E.P., 2021. Predation landscapes influence migratory prey ecology and evolution. Trends Ecol. Evol. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.04.010>
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L.R., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., Wall, D.H., 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. Science (80-.). 287, 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Schäfer, T., 2021. Legal protection schemes for free-flowing rivers in Europe: An overview. Sustain. 13. <https://doi.org/10.3390/su13116423>
- Schulte, U., Steinfartz, S., 2007. A PIT tag based analysis of annual movement patterns of adult fire salamanders (*Salamandra salamandra*) in a Middle European habitat. Amphibia-Reptilia 1–6.
- Shen, H.T., 2010. Mathematical modeling of river ice processes. Cold Reg. Sci. Technol. 62, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2010.02.007>
- Sinclair, A.R.E., Mduma, S., Brashares, J.S., 2003. Patterns of predation in a diverse predator-prey system. Nature 425, 288–290. <https://doi.org/10.1038/nature01934>
- Skov, C., Brodersen, J., Hansson, L., 2005. Evaluation of PIT - tagging in cyprinids. Evaluation of PIT-tagging in cyprinids. J. Fish Biol. 67, 1195–1201. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2005.00814.x>
- Šmejkal, M., Bartoň, D., Blabolil, P., Kolařík, T., Kubečka, J., Sajdlová, Z., Souza, A.T., Brabec, M., 2023. Diverse environmental cues drive the size of reproductive aggregation in a rheophilic fish. Mov. Ecol. 11, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40462-023-00379-0>

- Šmejkal, M., Bartoň, D., Brabec, M., Sajdlová, Z., Souza, A.T., Moraes, K.R., Blabolil, P., Vejřík, L., Kubečka, J., 2022. Behaviour affects capture probability by active sampling gear in a cyprinid fish. *Fish. Res.* 249. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106267>
- Šmejkal, M., Bartoň, D., Brabec, M., Sajdlová, Z., Souza, A.T., Moraes, K.R., Soukalová, K., Blabolil, P., Vejřík, L., Kubečka, J., 2021. Climbing up the ladder: male reproductive behaviour changes with age in a long-lived fish. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 75. <https://doi.org/10.1007/s00265-020-02961-7>
- Šmejkal, M., Ricard, D., Vejřík, L., Mrkvička, T., Vebrová, L., Baran, R., Blabolil, P., Sajdlová, Z., Vejříková, I., Prchalová, M., Kubečka, J., 2017. Seasonal and daily protandry in a cyprinid fish. *Sci. Rep.* 7, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04827-x>
- Šmejkal, M., Souza, A.T., Blabolil, P., Bartoň, D., Sajdlová, Z., Vejřík, L., Kubečka, J., 2018. Nocturnal spawning as a way to avoid egg exposure to diurnal predators. *Sci. Rep.* 8, 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33615-4>
- Smiroldo, G., Villa, A., Tremolada, P., Gariano, P., Balestrieri, A., Delfino, M., 2019. Amphibians in Eurasian otter *Lutra lutra* diet: osteological identification unveils hidden prey richness and male-biased predation on anurans. *Mamm. Rev.* 49, 240–255. <https://doi.org/10.1111/mam.12155>
- Stewart, D.C., Middlemas, S.J., Gardiner, W.R., Mackay, S., Armstrong, J.D., 2005. Diet and prey selection of cormorants (*Phalacrocorax carbo*) at Loch Leven, a major stocked trout fishery. *J. Zool.* 267, 191–201. <https://doi.org/10.1017/S0952836905007387>
- Suter, W., 1998. The effect of predation by wintering cormorants *Phalacrocorax carbo* on grayling *Thymallus thymallus* and trout (*Salmonidae*) populations. *J. Appl. Ecol.* 35, 611–616.
- Teplitsky, C., Plenet, S., Joly, P., 2004. Hierarchical responses of tadpoles to multiple predators. *Ecology* 85, 2888–2894. <https://doi.org/10.1890/03-3043>
- Townsend, C.R., Winfield, I.J., 1985. The application of optimal foraging theory to feeding behaviour in fish. *Fish Energ.* 67–98. https://doi.org/10.1007/978-94-011-7918-8_3
- Vejřík, L., 2018. Biology of predatory fishes in dam reservoirs and lakes. University of South Bohemia in České Budějovice.
- Vejřík, L., Vejříková, I., Blabolil, P., Eloranta, A.P., Kočvara, L., Peterka, J., Sajdlová, Z., Chung, S.H.T., Šmejkal, M., Kiljunen, M., Čech, M., 2017a. European catfish (*Silurus glanis*) as a freshwater apex predator drives ecosystem via its diet adaptability. *Sci. Rep.* 7, 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16169-9>
- Vejřík, L., Vejříková, I., Kočvara, L., Blabolil, P., Peterka, J., Sajdlová, Z., Jůza, T., Šmejkal, M., Kolařík, T., Bartoň, D., Kubečka, J., Čech, M., 2019. The pros and cons of the invasive freshwater apex predator, European catfish *Silurus glanis*, and powerful angling technique for its population control. *J. Environ. Manage.* 241, 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.005>
- Vejřík, L., Vejříková, I., Kočvara, L., Sajdlová, Z., Hoang The, S.C., Šmejkal, M., Peterka, J., Čech, M., 2017b. Thirty-year-old paradigm about unpalatable perch egg strands disclaimed by the freshwater top-predator, the European catfish (*Silurus glanis*). *PLoS One* 12, 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169000>

- Weber, L., Šmejkal, M., Bartoň, D., Rulík, M., 2019. Testing the applicability of tagging the Great crested newt (*Triturus cristatus*) using passive integrated transponders. PLoS One 14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219069>
- Wiik, K., Robert, V., Eva, J.L., Samuel, B.T., Shad, H.L., Joacim, M., Ba, K., Stryhn, H., Dohoo, I., 2020. Systematic review and meta-analysis of PIT tagging effects on mortality and growth of juvenile salmonids. Rev Fish Biol Fish. 30, 553–568. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09611-1>
- Wilcove, D.S., Wikelski, M., 2008. Going, going, gone: Is animal migration disappearing? PLoS Biol. 6, 1361–1364. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060188>
- Williams, A.D.D., 2016. Movements of benthos during the recolonization of temporary streams 29, 306–312.
- Wilmers, C.C., Stahler, D.R., Crabtree, R.L., Smith, D.W., Getz, W.M., 2003. Resource dispersion and consumer dominance: Scavenging at wolf- and hunter-killed carcasses in Greater Yellowstone, USA. Ecol. Lett. 6, 996–1003. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00522.x>
- Wright, R.K., Cooper, E.L., 1981. Temperature effects on ectotherm immune responses. Dev. Comp. Immunol. 5, 117–122. [https://doi.org/10.1016/0145-305X\(81\)90016-1](https://doi.org/10.1016/0145-305X(81)90016-1)
- Wysocki, L.E., Montey, K., Popper, A.N., 2009. The influence of ambient temperature and thermal acclimation on hearing in a eurythermal and a stenothermal otophysan fish. J. Exp. Biol. 212, 3091–3099. <https://doi.org/10.1242/jeb.033274>
- Wysujack, K., Mehner, T., 2005. Can feeding of European catfish prevent cyprinids from reaching a size refuge? Ecol. Freshw. Fish 14, 87–95. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2004.00081.x>
- Zuo, W., Moses, M.E., West, G.B., Hou, C., Brown, J.H., 2012. A general model for effects of temperature on ectotherm ontogenetic growth and development. Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 279, 1840–1846. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.2000>

8 Přílohy



Příloha 1: Telemetrické antény napříč korytem řeky Želivky.



Příloha 2: Čtecí zařízení telemetrické antény napájené 12 V bateriemi.



Příloha 3: Odlov jedinců sumce velkého za pomoci dlouhých sumcových šňůr.



Příloha 4: Čtení pomocí čtečky PIT tagů, zda není jedinec sumce velkého již značený.



Příloha 5: Aplikování PIT tagu do tělní dutiny sumce.



Příloha 6: Vizuální analýza obsahu potravy žaludku sumce.



Příloha 7: Detailní pohled při analýze potravy žaludku sumce.