

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Využití rypouna Petersova (*Gnathonemus petersii*) ke
kontrole kvality vody ve vodárenství
Bakalářská práce**

Leona Plasová

Akvakultura a péče o vodní ekosystémy

doc. Ing. Jiří Patoka, Ph.D., DiS.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití rypouna Petersova (*Gnathonemus petersii*) ke kontrole kvality vody ve vodárenství" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. 4. 2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala mému vedoucímu doc. Ing. Jiřímu Patokovi, PhD., DiS, za jeho odborné vedení, praktické rady a za přínosné konzultace. Také bych chtěla poděkovat mé rodině za trpělivost a podporu při psaní této bakalářské práce.

Využití rypouna Petersova (*Gnathonemus petersii*) ke kontrole kvality vody ve vodárenství

Souhrn

Znečištění pitné vody je v současnosti naléhavý problém, který vyžaduje efektivní monitorovací systémy pro případ havárie, aby se zamezilo ohrožení zdraví lidí. Biologické systémy včasného varování neboli bioindikátorové organizmy se proto staly široce využívanými při monitoringu kvality vody, protože reagují na znečišťující látky komplexně a včas. První část práce se zaměřuje na popis tradičních organizmů využívaných při biomonitoringu kvality pitné vody. Následující části literární rešerše jsou pak věnovány popisu rypouna Petersova (*Gnathonemus petersii*). Jsou zde popsány životní nároky, etologie a ekologie tohoto druhu. Důraz je v této části kladen na schopnost *Gnathonemus petersii* komunikovat s ostatními jedinci a orientovat se v prostředí pomocí elektrických signálů. Tyto signály je schopen aktivně generovat elektrickým orgánem a následně je vysílat do okolí. Pro tyto neobvyklé vlastnosti je zkoumán pro své potenciální využití v biomonitoringu pitné vody. V závěru této práce je proveden průzkum českého vodárenství. Nejčastějšími organizmy využívanými v tuzemských vodárnách jsou pstruh duhový, siven americký a jeseteři rodu *Acipenser*. Potenciál pro zavedení *Gnathonemus petersii* jako bioindikátoru je zatím stále nevýznamný. V této práci byly shrnuty dostupné metody využití tohoto druhu, kterými lze včasné indikovat nebezpečné látky ve vodě. Pro chov *G. petersii* je však zapotřebí vysokých teplot vody (25–28 °C), které znemožňují efektivní využití tohoto druhu na místech, kde teplota zdrojové vody nedosahuje tohoto teplotního rozmezí.

Klíčová slova: Mormyridae; Afrika; znečištění vody; indikátorový organizmus; elektrický orgán

Elephantnose fish (*Gnathonemus petersii*) exploitation in water treatment

Summary

Currently, drinking water contamination is an urgent problem that requires effective monitoring systems in case of an accident to avoid endangering human health. Biological early warning systems such as bioindicator organisms, have therefore become widely used in water quality monitoring because they respond to pollutants in a comprehensive and timely manner. The first part of this thesis is focused on the description of traditional organisms used in biomonitoring of drinking water quality. The following parts of the literature research are then devoted to the description of the elephantnose fish (*Gnathonemus petersii*). The life requirements, ethology and ecology of this species are described. Emphasis is placed on the ability of *Gnathonemus petersii* to communicate with other individuals and to orient itself in the environment using electrical signals. These signals can be actively generated by the electric organ and subsequently transmitted to the environment. Because of these unusual characteristics, it is being investigated for its potential role in drinking water biomonitoring. This thesis concludes with a survey of the Czech water industry. The most common organisms used in domestic water treatment are rainbow trout, brook trout and members of the genus *Acipenser*. The potential for the introduction of *Gnathonemus petersii* as a bioindicator is still insignificant. This thesis summarizes the available methods for using this species to provide an early indication of hazardous substances in water. However, high water temperature (25–28 °C) is required for breeding and it does not seem being efficient to use *Gnathonemus petersii* in countries where water sources do not naturally reach this high temperature value.

Keywords: Mormyridae; Africa; water pollution; indicator organism; electric organ

Obsah

1 Úvod.....	9
2 Cíl práce.....	10
3 Literární rešerše.....	11
3.1 Využití ryb člověkem	11
3.1.1 Historie.....	11
3.1.2 Současnost.....	12
3.2 Využití bioindikátorů ve vodárenství	14
3.2.1 Pstruh jako bioindikátor ve vodárenství.....	14
3.2.2 Hrotnatka velká jako bioindikátor ve vodárenství.....	15
3.2.3 GloFish jako bioindikátor ve vodárenství	16
3.3 Obecná charakteristika rypouna Petersova	17
3.3.1 Přirozený výskyt.....	17
3.3.2 Popis.....	17
3.3.3 Elektrosenzorické orgány.....	19
3.3.3.1 Elektrický orgán	20
3.3.3.2 Elektroreceptory	21
3.4 Etologie rypouna Petersova.....	23
3.4.1 Komunikace	23
3.4.2 Orientace v prostoru.....	24
3.4.3 Potrava.....	25
3.4.4 Rozmnožování.....	25
3.5 Rypoun Petersův jako bioindikátor ve vodárenství	27
3.6 Welfare ryb	31
3.7 Legislativa	32
4 Metodika	33
5 Výsledky	36
6 Diskuze	41
7 Závěr	43
8 Literatura.....	44
9 Seznam použitých zkratk a symbolů.....	52

1 Úvod

Od pradávna lidstvo nacházelo v rybách nejen zdroj potravy, ale také inspiraci a užitek. Význam ryb v lidské historii je nepopiratelný, ať už jako součást vyvážené stravy nebo prostřednictvím jejich využití v různých kulturách a tradicích (Stickney & Treece 2012). Ryby byly vždy důležitou součástí mnoha aspektů lidského života, ať už jako obchodní komodita, symbol či zdroj radosti a zábavy. S rozvojem společnosti a technologie přichází lidstvo stále na nové nápady, jak využívat ryby. Jedním ze současných využití ryb je jejich využívání ve vodárenství a v monitorování kvality vody (Van Der Schalie et al. 2001).

Voda, základní životní zdroj, čelí stále většímu tlaku způsobenému různými formami znečištění a narůstající potřebou pro čistou pitnou vodu. Znečištění vody představuje závažný ekologický problém a ohrožuje nejen životní prostředí, ale také zdraví a blahobyt lidí (Fawell & Nieuwenhuijsen 2003). V této souvislosti nabývá zásadní důležitosti monitorování kvality pitné vody a hledání inovativních přístupů k detekci toxických látek za použití vodních organismů (Kramer & Botterweg 1991).

Nejpopulárnějšími bioindikátory pro kontrolu kvality vody jsou ryby. Jejich behaviorální reakce jako například snížená aktivita při plavání (Cairns et al. 1970) nebo vyhýbání se ostatním jedincům jsou velmi snadno pozorovatelné (Little et al. 1990; Kane et al. 2004). Jejich reakce vůči znečištění jsou komplexní a odhalí problém rychleji než chemická analýza všech případných polutantů. Jednou z klíčových výhod biologických indikátorů je schopnost zachytit synergické účinky dvou a více různých látek ve vodě. Zatímco dvě látky samy o sobě nemusí překročit limity toxicity při chemické analýze, jejich kombinace však přesto může vytvořit toxické prostředí pro organizmy. Bioindikátory dokážou lépe zachytit tuto potencionální hrozbu a poskytnout informace o celkové úrovni rizika toxicity (Cairns & Mount 1990).

Kvůli individuálnímu chování jedinců je stále obtížné kvantifikovat a interpretovat získané údaje z biologického systému včasného varování. Hledají se proto stále nové přístupy analýz, jako jsou například více druhové monitorovací systémy (Kirkpatrick et al. 2006) či se zkoumají nové druhy pro svůj potenciál v biomonitoringu (Campbell et al. 1990). Úspěšný provoz biologického systému včasného varování závisí na 4 klíčových vlastnostech: výběr vhodného organismu podle typu monitorované vody (Bae & Park 2014), schopnost identifikovat širokou škálu polutantů, doba reakce organismů by měla být rychlá a dostatečně citlivá a v neposlední řadě by pořizovací náklady a náklady na údržbu měly být v přijatelném rozmezí (Gruber et al. 1994).

2 Cíl práce

Cílem této práce bylo provést literární rešerši o biologii, ekologii, etologii a životních nárocích rypouna Petersova (*Gnathonemus petersii*) a vyhledat dostupné informace o jeho využití jako indikátorového organismu ve vodárenství. Současně byly zpracovány informace o ostatních indikátorových organizmech, které se ve vodárenství tradičně využívají. Cílem vlastního výzkumu byla identifikace všech vodárenských společeností nacházejících se na území České republiky a získání informací o využívání těchto indikátorových organismů v praxi. Následně byl vyhodnocen potenciál rypouna Petersova k zavedení v tuzemských podmínkách.

3 Literární rešerše

3.1 Využití ryb člověkem

Ryby jsou již od pradávna využívány v mnoha odvětvích lidské činnosti. V průběhu historie například poskytovalo rybářství pracovní místa a zdroj jídla pro nespočet lidí (Sahrhage & Lundbeck 2012), v medicíně se nacházeli nové léčivé postupy s využitím částí ryb (Vallejo & González 2014) nebo akvarijní ryby poskytovaly zábavu a relaxaci (Kučerová 2012). Největší úlohu však stále hrají v lidské obživě (Stickney & Treece 2012).

3.1.1 Historie

Předpokládá se, že v Evropě se již v období před 100 000 lety první neandrtálci začali věnovat „rybolovu“ (Hardy & Moncel 2011). Je pravděpodobné, že preferovali místa s větším výskytem lososů či pstruhů, které dokázali chytit pouhou rukou. S nástupem prvních *Homo sapiens* v Evropě v době kamenné (před zhruba 50 000 lety) došlo k rozvoji systematického rybaření pomocí primitivních háčků či harpun vyráběných primárně z kostí. K nálezům takovýchto nástrojů z tohoto období dochází na místech po celé Evropě (Sahrhage & Lundbeck 2012). Postupem času se rybářské nástroje stále zdokonalovaly a začali se objevovat spletané vršové pasti či rybářské sítě (Brinkhuizen 2020). V oblastech blízko jezer, řek a moří se ryby staly hlavním zdrojem obživy (Guillaud et al. 2021). To nám dokazují například malby v jižní Africe z doby před 25 000 lety zobrazující početnou skupinu rybářů s harpunami a na lodích (Sahrhage & Lundbeck 2012).

Samotný vznik akvakultury pak může sahát do období 3 500–4 000 let př.n.l. v Číně. První rybou, která byla využívána v akvakultuře, byl kapr rodu *Cyprinus* Linnaeus, 1758 (Balon 1995). V počátcích akvakultury byli kapři odchytáváni z volné přírody a následně drženi v nádobách, ve kterých byli vykrmeni do dostatečné velikosti (Ling & Mumaw 1977). V pozdějších dobách pak začali lidé v Číně vylovovat z řek rybí potěr a vysazovat jej v umělých nádržích (Pillay & Kutty 2005). K rozvoji akvakultury v tomto období nedocházelo jen v Číně ale i v Egyptě. Nalezené hieroglyfy dokazují, že v Egyptě se akvakultura vyvíjela paralelně podobným tempem jako v Číně. Egyptané se soustředili na intenzivní chov tilápií pro konzumní účely v umělých nádržích, jak dokazují dochované hieroglyfy (Stickney & Treece 2012).

Od starověku mají ryby význam také v náboženství. Například v Indii byly některé druhy ryb uctívány pro svoji schopnost usmířit duše předků a zajistit tak oblíbenost u svatých

lesa. Indická náboženství považovala spoustu druhů zvířat včetně ryb za posvátná a díky tomu lidé chránili jejich přirozené prostředí (Gupta et al. 2016).

Rypouni byli považováni za posvátné ryby již u Asyřanů a Babyloňanů. Staroegyptská mytologie popisuje příběh boha plodnosti a úrody Usira (též Usireva nebo řecky Osirise) a jeho bratra Setha (též Seta nebo také Sutecha) (Velde 1977). Set záviděl Usirovi jeho panství, a proto jej nechal zabít. Usirovo tělo nechal roztrhat a vhodit do Nilu. Část jeho ostatků byla sežrána rypouny a od té doby je Egypťané považovali za posvátné a namísto jejich lovu je chránili a chovali (Hanel 2002).

Rovněž v umění hrají ryby důležitou roli již po tisíce let. Rybí vzory a obrazy od starověkých Řeků a Římanů měli často mytologický význam a časem se staly i náboženskými symboly křesťanství (Kant 1993). Ve starověkém Egyptě a západních civilizacích byly ryby také častým motivem. I v novodobých dějinách mnoho umělců (Picasso, Klee, Beckman) a představitelů nejrůznějších směrů umění ztvárňovalo ryby ve svých dílech (Moyle & Moyle 1991).

Již v Hippokratově medicíně byla zakomponována léčivá schopnost některých druhů ryb. Nejčastěji bylo využíváno rybí maso ke konzumaci, ale také se experimentovalo s elektrickými rybami. Jejich schopnost vytvořit elektrický výboj byla považována za vhodnou léčebnou metodu při bolestech hlavy (Kellaway 1946). Dále Hippokrates věřil, že úhoř říční napomáhá snadnému porodu a vyšší laktaci u kojících žen nebo býval jako lék používán sumec velký, u kterého lidé věřili, že napomůže léčbě respiračních onemocnění (Vallejo & González 2014). Ryby se pak také kvůli velkému množství jiker, které jsou schopné vyprodukovat, staly v medicíně symbolem plodnosti (Morales-Muñiz 1996).

3.1.2 Současnost

V současnosti je akvakultura jedním z nejvíce se rozvíjejících potravinářských průmyslů v globálním měřítku. Podle dat z OECD/FAO Agricultural z roku 2023 lehce přes 50% světové produkce ryb pochází z akvakulturních chovů, na rozdíl od předchozích let, kdy větší část produkce pocházela z komerčního rybolovu. V akvakultuře se začalo využívat znalostí moderní genetiky a pomocí tradičního šlechtění (selekce, hybridizace a křížení) či pomocí manipulace s DNA a chromozomy se vyvíjejí k zlepšení produkčních vlastností ryb (Robledo et al. 2018).

Takzvaný sportovní či rekreační rybolov získává stále větší oblibu. Používají se stále nové nástrahy a techniky, mezi které patří například plavaná (pasivní), přívlač nebo muškaření

(aktivní pohyb) (Dvořák 2012). Na rozdíl od našich předků, kteří praktikovali rybolov kvůli obživě, je dnes rybolov vnímán jako volnočasová aktivita a mezi rybáři je stále více oblíbený způsob rybolovu „chyt' a pust'“, při kterém se rybě vždy vyprostí háček z tlamy. Ryba je šetrným způsobem navracena do svého přirozeného prostředí a rybář odchází od vody s dobrým pocitem a fotografií svého úlovku (Lyach 2018).

V oblasti medicíny se také začaly aplikovat nové postupy využití ryb. Ryby jsou ve svém přirozeném prostředí neustále vystaveny velkému množství mikroorganismů a patogenů. Jejich kůže má proto silné antivirové a antibakteriální vlastnosti. Toho se dá využívat v aplikované dermatologii (Rakers et al. 2010). Hojně zkoumaná je například rybí kůže k léčbě pacientů s popáleninami. Z rybí kůže jsou vyrobeny štěpy, které se kladou na postižené části těla a ponechají se tak několik dnů až týdnů. Tyto štěpy obvykle pochází z atlantické tresky. Mají nízké riziko přenosu onemocnění na člověka a díky omega-3 mastným kyselinám a struktuře kolagenu urychlují dobu hojení ran u postiženého pacienta (Fiakos et al. 2020). I pouhá pravidelná konzumace ryb přispívá k obecnému zdraví jedinců. Studie naznačují, že pravidelná konzumace ryb mírně snižuje riziko výskytu mrtvice (He 2002).

Ryby mohou také být součástí zooterapie. Obzvláště v domovech pro seniory či jiných ústavech mají ryby v akváriích zklidňující účinek na místní rezidenty. Pouhé pozorování ryb simuluje bližší kontakt s přírodou a zvyšuje soustředěnost pacientů. Přítomnost akvária může sloužit jako podnět k debatám a zvýšit tak úroveň socializaci v ústavu (Fine 2010). Pacienti s možností sledovat akvarijní ryby mají nižší tlak, nižší míru úzkosti a v případě letargických pacientů vyšší míru pozornosti (Katcher 1983).

3.2 Využití bioindikátorů ve vodárenství

Vodárny jsou důležité struktury pro zajištění pitné vody. Úprava pitné vody a její následný monitoring je nezbytnou součástí bezpečnosti a kvality vody. Aby nedošlo k ohrožení lidského zdraví, je potřeba neustálého monitoringu, kterým lze zavčas zachytit nežádoucí a toxické látky. Pro tyto účely se nejlépe hodí živé organizmy, které dokáží rychle reagovat na chemické změny ve vodě i v malých koncentracích. Schopnost ryb akumulovat kontaminanty a na první pohled viditelně reagovat na změny vody z nich činí nejlepší možnou volbu pro kontinuální biomonitoring (Blübaum-Gronau et al. 2001). Chemické a fyzikální analýzy kvality vody nemusí být vždy dostupné kvůli finanční náročnosti. Dále stanovení výsledků pomocí laboratorních analýz trvá značnou dobu. Kvůli tomu se doplňkově využívají ryby pro kontinuální monitoring, aby vodárny měly možnost rychle detekovat přítomnost toxických látek. Přestože ryby neumí stanovit konkrétní koncentrace, jejich pouhým pozorováním se obsluha vodárny včas dozví problém a může podle toho reagovat (Blübaum-Gronau 1994). Součástí mnoha vodáren jsou proto akvária s druhy ryb, které jsou citlivé na kvalitu vody. V případě, že dojde ke kontaminaci vody toxickými látkami, bude správa vodárny včas upozorněna symptomy, jako je úhyn výše zmíněných ryb, pěna na hladině akvária či nezvyklé zbarvení vody (Vlachová 2011).

3.2.1 Pstruh jako bioindikátor ve vodárenství

Nejčastěji používanou rybou pro kontinuální biomonitoring v České republice v úpravárnách pitné vody je pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)). Pstruzi potřebují ke svému životu velmi kvalitní a čistou vodu, a proto jsou velmi citliví na jakoukoli změnu v chemizmu vody. Patří také dle mezinárodních norem OECD (Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj) mezi testovací organizmy pro testy toxicity (Randák 2011).

Základním principem biologického systému včasného varování je nepřetržité vystavení organismů testované vodě. Aby se včas dal identifikovat problém, musí být organizmy pod pravidelným dohledem a musí se hodnotit jejich fyziologická a behaviorální reakce. Mezi sledované behaviorální reakce lze zařadit: celkovou aktivitu, lokomoci, únikové chování nebo pozitivní reotaxe (pohyb proti proudu vody). U fyziologických reakcí lze sledovat frekvenci dýchání, tep, zpomalený růst (Kramer 2009). V případě úniku nebezpečných látek do vody je nejrychlejším ukazatelem nebezpečí nejprve změněné chování pstruha a až sekundárně jeho následný úhyn (Randák & Pokorný 2001). Díky schopnosti ryb akumulovat toxické látky ve své

svalovinně se využívají také pro dlouhodobý monitoring znečištění (Poels et al. 1980). Akvárium či jiná nádrž s rybí obsádkou se nejčastěji umísťuje před proces finální úpravy vody chlorem a ionizací, který má na exponované ryby letální účinky.

Monitorování stavu ryb v nádrži může být prováděno manuálně či automatizovaně. V prvním případě je nezbytné zajistit trvalou přítomnost pracovníků vodárny v místnosti s nádrží nebo zabezpečit, aby byly ryby pod nepřetržitým dohledem kamer (Randák 2011). Druhou možností je nákup automatizovaného monitorovacího systému. Tato zařízení jsou přizpůsobená na chov ryb uvnitř nádrže, kterou protéká monitorovaná voda (bbe Moldaenke 2021). V reálném čase je pak automaticky vyhodnocován stav ryb a v případě zvýšené toxicity je spuštěn alarm. Předním prodejcem těchto přístrojů je na evropské trhu firma bbe Moldaenke.

Pstruh duhový je využíván také jako indikátorový organizmus pro monitorování toxicity ve vodárenských čistírnách odpadních vod. Tento druh je velmi citlivý na expozici estrogením látkám, které ukládá ve žluči. Zkoumáním žluči samců lze stanovit znečištění vod již v koncentraci 0,008 ng estrogenu na litr vody (Tyler et al. 2005). Tato schopnost pstruha je důležitá pro monitorování expozice estrogením látkám ve vodních systémech a zároveň poskytuje cenné informace o vlivu těchto látek na vodní ekosystémy (Beghin et al. 2022).

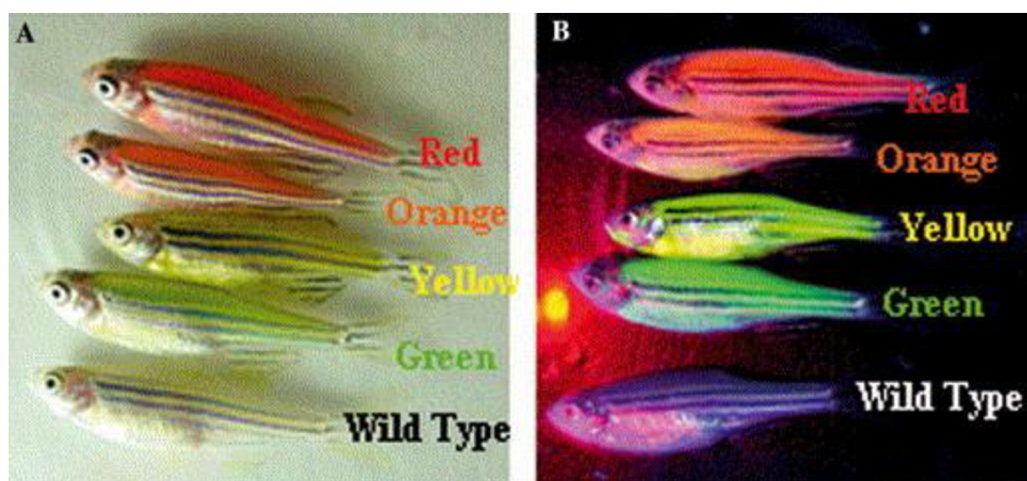
3.2.2 Hrotnatka velká jako bioindikátor ve vodárenství

Planktonní korýš hrotnatka velká (*Daphnia magna* Straus, 1820) se ve vodárenství využívá ve spojení s přístrojem DaphTox. Hrotnatky jsou citlivé na velké množství toxických látek a je velmi jednoduché je rozmnožit v laboratorních podmínkách. Proto jsou považovány za výhodné organizmy pro testování kvality vody (Bownik 2017). Na rozdíl od ryb hrotnatky prokazují vysokou citlivost na toxiny produkované sinicemi, které představují riziko kontaminace v letních měsících (Zanchett & Oliveira-Filho 2013).

Přístrojem DaphTox kontinuálně proudí testovaná voda, která je přiváděna do komory s hrotnatkami. Tato komora disponuje kamerou spojenou s integrovaným počítačem, který v reálném čase bez potřeby obsluhy vyhodnocuje aktivitu perlooček. Program graficky zaznamenává a posuzuje průměrnou rychlost plavajících hrotnatek, jejich polohu v komůrce a jako poslední faktor úhyn organismů (Soldán & Rambousek 2020). Podle těchto sledovaných parametrů přístroj vypočítá index toxicity a v případě rizika spustí alarm. Přístroj DaphTox je proto uživatelsky přívětivý, nevyžaduje specializované znalosti a stálou obsluhu může zajistit jakákoli zaškolená obsluha (bbe Moldaenke 2022). Systém je prověřen několikaletým bezproblémovým fungováním na řekách všech významných evropských povodí (Soldán 2011).

3.2.3 GloFish jako bioindikátor ve vodárenství

První ryby byly geneticky modifikovány v osmdesátých letech 20. století. Tyto genetické pokusy se soustředily hlavně na vyšší růstové schopnosti ryb v akvakultuře a jejich vyšší imunitu vůči různým patogenům (Nam et al. 2007). Panovala však kontroverze a obavy o bezpečí kvality masa z GMO (geneticky modifikovaný organizmus). Na přelomu 20. a 21. století bylo jako modelová ryba použito dáanio pruhované (*Danio rerio* (Hamilton, 1822)), kterému byl přidán gen s GFP (tj. zelený fluorescenční protein), YFP (tj. žlutý fluorescenční protein) a RFP (tj. červený fluorescenční protein), což umožnilo různě barevné kombinace (viz Obr. 1) pro okrasný chov ryb (Gong et al. 2003). Na tyto geneticky modifikovaná dáania pruhovaná byl podán patent a vznikla tak chráněná značka GloFish s celosvětovými právy na jejich prodej (Kamoun 2004).



Obr. 1 – Fluorescenční varianty dáania pruhovaného na denním světle (A) a pod ultrafialovým světlem 385 nm (B). Barevné varianty: červená, oranžová, žlutá, zelená a divoký typ v tomto pořadí od shora dolů.

Převzato z: Gong et al. 2003

Následně byly u GloFish prováděny pokusy s fluorescenčním proteinem jako reportérovým genem, který jde velmi snadno změřit díky jeho fluorescenčním vlastnostem. Do modelových ryb byl vložen gen schopný indikovat znečištění vody společně s GFP jako reportérovým genem. Tato sekvence DNA pak byla schopná indikovat polutanty ve vodě. V případě znečištění vody genová exprese způsobí viditelnou změnu barvy ryby. Díky tomu je možnost využívat GloFish k jednoduchému a spolehlivému biomonitoringu (Ng et al. 2011).

Ve Spojených státech amerických s výjimkou Kalifornie a v jihovýchodní Asii s výjimkou Singapuru jsou GloFish hojně prodávány převážně jako okrasné ryby (Van Eenennaam 2005; Davies 2014). V Evropě, Kanadě, Jižní Americe a Austrálii je však jejich prodej a komerční využití přísně zakázáno (Davies 2014).

3.3 Obecná charakteristika rypouna Petersova

Rypoun Petersův, známý také pod svým latinským názvem *Gnathonemus petersii* (Günther, 1862), je ryba schopná produkovat elektrické impulzy. Řadí se do čeledi Mormyridae, která obsahuje 22 rodů a celkem 232 druhů (fishbase.se). Svě druhové jméno nese po přírodovědci Wilhelmu Petersovi, který v roce 1842 cestoval do Mosambiku přes Angolu a vrátil se s obrovskou sbírkou exemplářů včetně *G. petersii* (Peters 1852).

3.3.1 Přirozený výskyt

Gnathonemus petersii přirozeně obývá sladkovodní řeky v deštných pralesech centrální Afriky (Okedi 1965). Je znám z celého povodí řeky Kongo, povodí Dolního Nigeru (Moritz 2010) a v menších tocích na území Angoly, Kamerunu, Středoafričké republiky, Nigérie a Zambie (Gianferrari 1932; IUCN 2019). Díky širokému areálu rozšíření a absenci vážných hrozeb pro *G. petersii*, jej Mezinárodní svaz ochrany přírody považuje za málo dotčený (IUCN 2019).

Preferuje tůň či úseky řeky s pomalým prouděním vody a písčným dnem či dnem s drobnými kamínky, které mu umožňují „hrabavé“ chování. *G. petersii* je velmi citlivý na teplotu i na chemické složení okolní vody. Optimální je teplá voda 26–28 °C a pH 6,8 až 7,2. V místech jeho přirozeného výskytu je zpravidla voda zakalená s vyšším podílem rozpuštěných látek, které způsobují mírně vyšší salinitu, a tedy i vyšší elektrickou vodivost. Právě ta je totiž důležitým abiotickým faktorem pro schopnost aktivní elektrické komunikace, kterou se *G. petersii* vyznačuje (Nana et al. 2023).

Během dne se jedinci ukrývají v dutinách, přilehlé vegetaci v blízkosti břehu a obvykle v místech s vyšším prouděním vody. Během noci se pak *G. petersii* stává aktivním predátorem a opouští úkryt, ve kterém se přes den schovával. V nočních hodinách usilovně hledá na dně řeky potravu, která se skládá převážně z larev chironomidů (Blake 1977b).

3.3.2 Popis

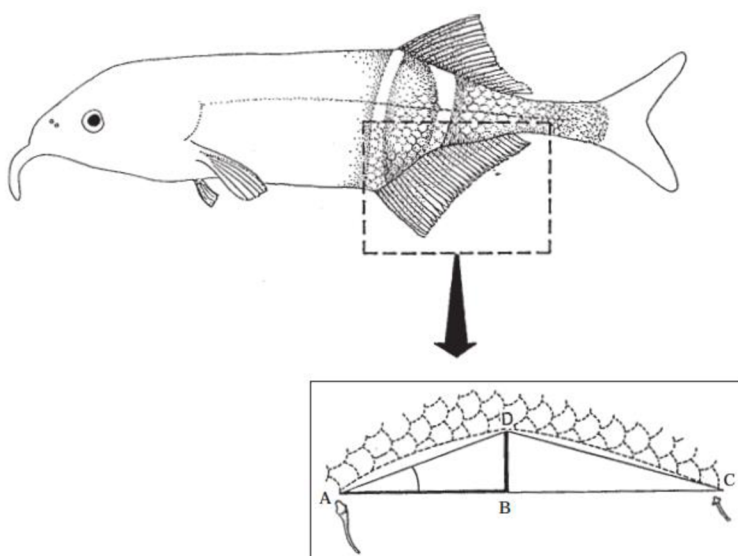
Gnathonemus petersii dosahuje průměrné délky těla 25 centimetrů. Tělo má laterálně zploštělé. Výrazným rozpoznávacím znakem je chobotu podobná protáhlá spodní čelist, podle které získal anglický název elephantnose fish, volně přeloženo jako ryba se sloním chobotem. Barva je tmavohnědá až černá a mezi středem hřbetní a řitní ploutve probíhá světlá linie. Řitní ploutev je o něco delší než hřbetní a obě jsou posunuté výrazně dozadu (viz Obr. 2) (Günther 1862).



Obr. 2 – Ilustrační obrázek *Gnathonemus petersii*.

Dostupné z: <https://www.fishbase.se/photos/UploadedBy.php?autoctr=37424&win=uploaded>
od autora Juan Carlos Palau Díaz

Za pohlavně dospělou rybu se považuje jedinec s délkou těla alespoň 16 cm. Pohlaví se rozlišuje pomocí tvaru řitní ploutve, samci ji mají konkávně vykrojenou (viz Obr. 3) a samice ji mají rovnou (Pezzanite & Moller 1998).



Obr. 3 – Vnější pohlavní dimorfismus samečka *G. petersii*. Je patrné konkávní vykrojení řitní ploutve. Hloubka vykrojení řitní ploutve koreluje s velikostí samečka.
Převzato z: Pezzanite & Moller 1998

Jedním z nejvýraznějších znaků u *G. petersii*, stejně jako u ostatních ryb z čeledi Mormyridae, je velká velikost mozku. Poměr hmotnosti těla a mozku je 1:50, tedy podobný jako u dospělého člověka (Paulin 1993). Nejvíce zvětšenou strukturou je mozeček a jeho část zvaná valvula, která pravděpodobně souvisí s vysokým stupněm vyvinutí postranní čáry

a následným vznikem elektroreceptivního orgánu (Nieuwenhuys & Nicholson 1967). Je známo, že mozeček je zodpovědný za kontrolu a koordinaci pohybů. Existují však nové důkazy, které ukazují, že funkci mozečku lze lépe chápat jako systém sledující pohyby a trajektorie objektů v blízkosti zvířete. Neustálá potřeba sledovat okolní objekty a analyzovat své vlastní pohyby a polohu vede k ovládní a koordinaci pohybů samotného zvířete (Paulin 1993).

Právě valvula může být zodpovědná za obrovskou spotřebu kyslíku. Mozek *G. petersii* spotřebuje 60 % tělesné spotřeby kyslíku, což je více, než bylo naměřeno u kteréhokoliv jiného druhu. Pro srovnání lidský mozek má spotřebu zhruba 20 % přijatého kyslíku (Mink et al. 1981). Takovouto spotřebu si udržuje i při velmi nízkých hladinách rozpuštěného kyslíku v okolní vodě. Při těžké hypoxii (<0,8 mg/l rozpuštěného kyslíku ve vodě) byly dokonce sledovány pokusy *G. petersii* polknout vzduch z hladiny. Možným důvodem této vysoké spotřeby se zdá být, kromě nadměrné velikosti mozku *G. petersii*, fakt, že se jedná o studenokrevný druh (Nilsson 1996).

Dalším zajímavým aspektem v anatomii je struktura oka a jeho úloha při orientaci v prostoru. *G. petersii* je druhem aktivním převážně v noci a šeru, ale i během dne je okolní voda zakalená a lesní porosty podél řek neposkytují příliš velké množství světla (Okedi 1965). Dříve se proto předpokládalo (bez jakýchkoli vědecky podložených studií), že *G. petersii* je téměř slepá ryba, která se spoléhá pouze na svoji schopnost aktivní elektrolokace. Pokračující studie a pitvy však prokázaly, že oko *G. petersii* obsahuje stovky prodloužených tyčinek a desítky čípků shromážděné do komplexních svazků obalených tapetum lucidum (odrazivá vrstva v oku bezprostředně za sítnicí) podobné rybám z řádu Siluriformes či některým vybraným druhům hlubinných ryb (McEwan 1938; Landsberger et al. 2008). Tato vysoká specializace oční sítnice umožňuje *G. petersii* využívat zrak v každodenním životě jako druhý nejdůležitější smysl hned po aktivní elektrolokaci. Zrak je zapojen do hledání potravy (Von Der Emde & Bleckmann 1998) i do sociálních interakcí mezi jedinci (Moller et al. 1982).

3.3.3 Elektrosenzorické orgány

Ryby využívají ke komunikaci vizuální, akustické, mechanické či chemické podněty. Jedním ze zajímavých způsobů komunikace, která se vyvinula u afrických ryb z čeledi Mormyridae a jihoamerických ryb z čeledi Gymnotidae jsou elektrické signály. Někdy totiž mohou být podmínky vodního prostředí nepříznivé kvalitou vody, silným prouděním nebo přítomností rozpuštěných látek, které následně zhoršují ostatní druhy smyslů (Patton & Braithwaite 2015).

Elektrický orgán u čeledí ryb Mormyridae a Gymnotidae vznikl nezávisle na sobě, i když jsou tyto dvě skupiny ryb vzdáleně příbuzné. Vznik elektrického orgánu byl umožněn celogenomovou duplikací předka těchto druhů, která se odehrála před více než 100 miliony lety. Pro vznik elektrického orgánu byla zásadní duplikace genového úseku SCNA kódujícího funkci sodíkových kanálků, které jsou zodpovědné za transport sodíkových iontů přes buněčné membrány, čímž umožňují vznik elektrického potenciálu. Jedna kopie genového úseku SCNA dodnes zajišťuje funkci sodíkových kanálků. Druhá kopie během milionů let evoluce několikrát zmutovala, což umožnilo vznik současného elektrického orgánu (Arnegard et al. 2010).

Elektrická komunikace je proces, při kterém ryby vysílají elektrické signály pomocí specializovaných orgánů, které se nacházejí v jejich těle (Bennett 1971). Tento způsob komunikace jim umožňuje zajistit informace o okolním prostředí a o dalších živočiších. Ryby dokáží rozlišit různé druhy signálů a podle nich určit, zda se jedná o stejný druh nebo cizího vetřelce (Hopkins & Bass 1981). Kromě toho mohou využívat elektrickou komunikaci k vyhrazení a udržení svého teritoria (Kramer & Bauer 1976). V období páření jedinci zase využívají svou elektrickou aktivitu k vytváření specifických vzorců elektrických signálů, které mohou být vnímány jinými rybami jako sexuální signál a přitahovat jedince opačného pohlaví (Hopkins 1981). Všechny tyto informace jsou důležité pro přežití ryb v jejich přirozeném prostředí.

Fyzikálním principem, kterým se elektrická komunikace ryb řídí, je využití elektrického pole. Jedinci produkují elektrické signály, které se šíří do okolí a jsou detekovány specializovanými orgány na těle druhých ryb. Jsou tedy zapotřebí dva vysoce specializované mechanismy, jeden pro vysílání elektrických signálů a druhý pro jejich příjem (Hopkins 1974).

3.3.3.1 Elektrický orgán

Elektrický orgán vznikl postupem času přeměnou svalových buněk. Slouží k výrobě elektrických impulzů (Lissmann 1958). Je složen z velkých mnohojaderných buněk a elektrocytů, které jsou poskládány do útvaru na ocasním násadci ryby a vytváří tak elektrický orgán schopný aktivně vysílat elektrické signály do okolního prostředí (Bennett 1971). Elektrocyty jsou buňky, které produkují akční potenciály neboli elektrické signály. Dokáží pomocí transportu iontů do a z buňky vytvořit synchronní výboje a veškerý jejich potenciál se následně sčítá do jednoho velkého elektrického impulzu. Pro komunikaci a detekci objektů *G. petersii* využije následně pouze zlomek z celkového výboje (Hopkins 1974). Elektrický orgánový výboj (EOD) trvá zhruba 400 μ s a při klidové aktivitě jsou generovány 3krát až 8krát za jedinou sekundu (Moller 1995).

3.3.3.2 Elektroreceptory

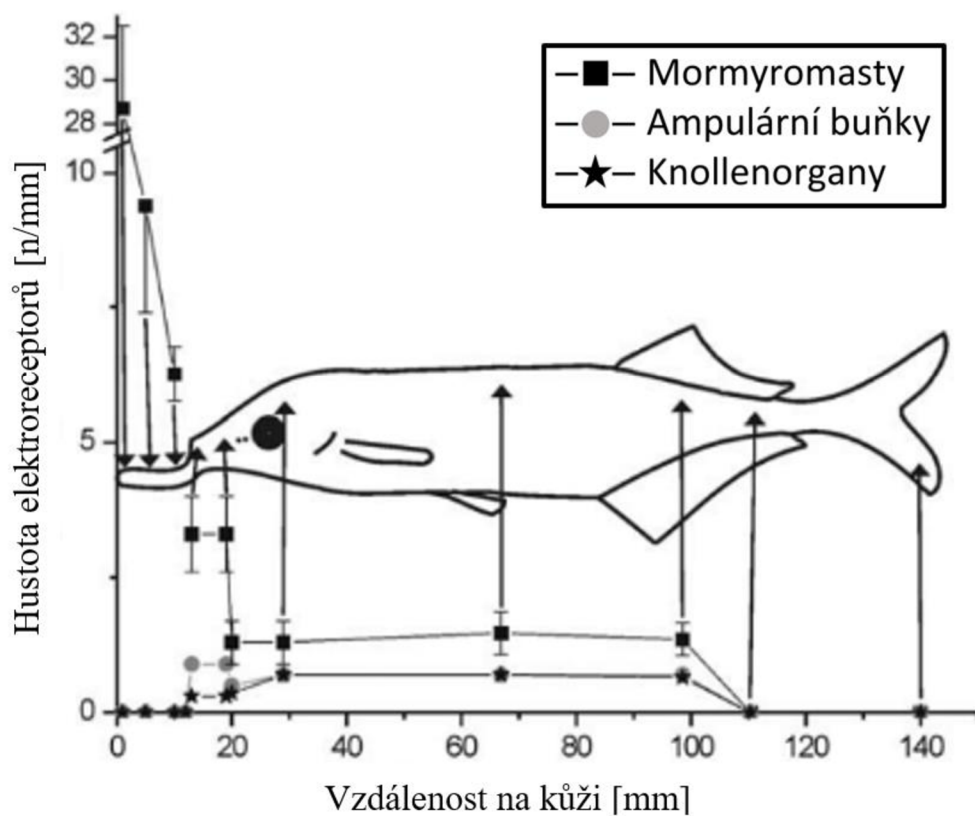
Elektrické signály se šíří do okolí vodou jako elektrické pole. Pro *G. petersii* je typický takzvaný Schnauzenorgan (odvozeno z německého Schnauze – čenich) vyskytující se na prodloužené bradě. Schnauzenorgan je důležitý kvůli přítomnosti stovek elektroreceptorů přijímajících EOD (Amey Özel et al. 2015). Elektroreceptory se v menším množství nalézají i v kůži ryb. Slouží k detekci objektů a k následnému přenosu informací do mozku ryby, kde jsou interpretovány jako signál od jiné ryby (Xu Friedman & Hopkins 1999), zdroj potravy nebo objekt v prostředí (Bell 1990).

Skládají se ze dvou typů buněk: ampulárních a tuberózních. Ampulární buňky jsou specializované a citlivé na nižší frekvence elektrického pole (pod 50 Hz) a jsou využívány spíše při pasivní elektrolokaci. Tyto buňky se nacházejí hlavně v nosní oblasti (Schwarz & Von Der Emde 2001).

Tuberózní buňky jsou naopak specializované na detekci vyšších frekvencí a amplitud EOD nad 50 Hz a právě díky těmto buňkám je *G. petersii* schopen aktivní elektrolokace a elektrokomunikace (Bullock 1973). Tuberózní buňky lze rozlišit na dva typy: Knollenorgany a mormyromasty.

Buňky zvané Knollenorgany se vyskytují téměř rovnoměrně po celém těle. Mají vysokou citlivost a jsou uzpůsobeny na přijímání EOD od jedinců vlastního druhu. Právě pomocí Knollenorganů *G. petersii* zachytává frekvence EOD od ostatních jedinců a využívá je k elektrokomunikaci v rámci druhu (Xu Friedman & Hopkins 1999).

Druhým typem jsou mormyromasty. Ty se v obrovském množství vyskytují na špičce Schnauzenorganu a velmi málo na zbytku těla (Von Der Emde & Schwarz 2002). Mormyromasty přijímají jedincovo vlastní EOD a slouží tedy výhradně k aktivní elektrolokaci (Bell 1990). Vzdálenost, na kterou je jedinec schopný aktivní elektrolokace, je obvykle stejná jako délka jeho těla (Schwarz & Von Der Emde 2001). Všechny tři typy elektroreceptivních buněk, jejich rozmístění a hustotu znázorňuje Obr. 4.



Obr. 4 – Hustota a rozmístění tří typů elektroreceptorových buněk na kůži *G. petersii*. Vertikální osa znázorňuje hustotu pokrytí, horizontální osa znázorňuje, ve které části těla se elektroreceptorové buňky nacházejí ve směru od protáhlé spodní čelisti směrem k ocasní ploutvi. Převzato z: Von Der Emde & Schwarz 2002, přeloženo

3.4 Etologie rypouna Petersova

3.4.1 Komunikace

Gnathonemus petersii je velmi společenská ryba, která ve volné přírodě žije ve větších skupinách jedinců stejného druhu, ale i příbuzných druhů. Počet jedinců v hejnu dosahuje i desítek jedinců (Moller 1980). V hejnu je stanovená hierarchie na základě délky těla a síly EOD. Zpravidla větší jedinci jsou schopni silnějšího EOD a stávají se dominantními v daném hejnu (Bell et al. 1974).

Během elektrické komunikace mezi více jedinci může být pozorován takzvaný „jamming“ neboli rušení. Pokud jsou dva jedinci dostatečně blízko sobě, může vysílání EOD jedné ryby narušit schopnost druhé ryby využívat vlastní elektrické signály, protože se jejich frekvence překrývají (Heiligenberg 1977). V důsledku toho jeden z dvojice může reagovat tím, že sníží frekvenci svých elektrických signálů. Tato strategie však má nežádoucí důsledky, protože nižší frekvence EOD mohou ovlivnit schopnost ryb orientovat se v prostoru pomocí elektrolokace. Druhou možností je zkrátit dobu trvání svých elektrických signálů. Tímto způsobem se snižuje pravděpodobnost překrytí signálů s druhým jedincem a zároveň to nemá vliv na elektrolokační schopnosti ryby (Hopkins 1981).

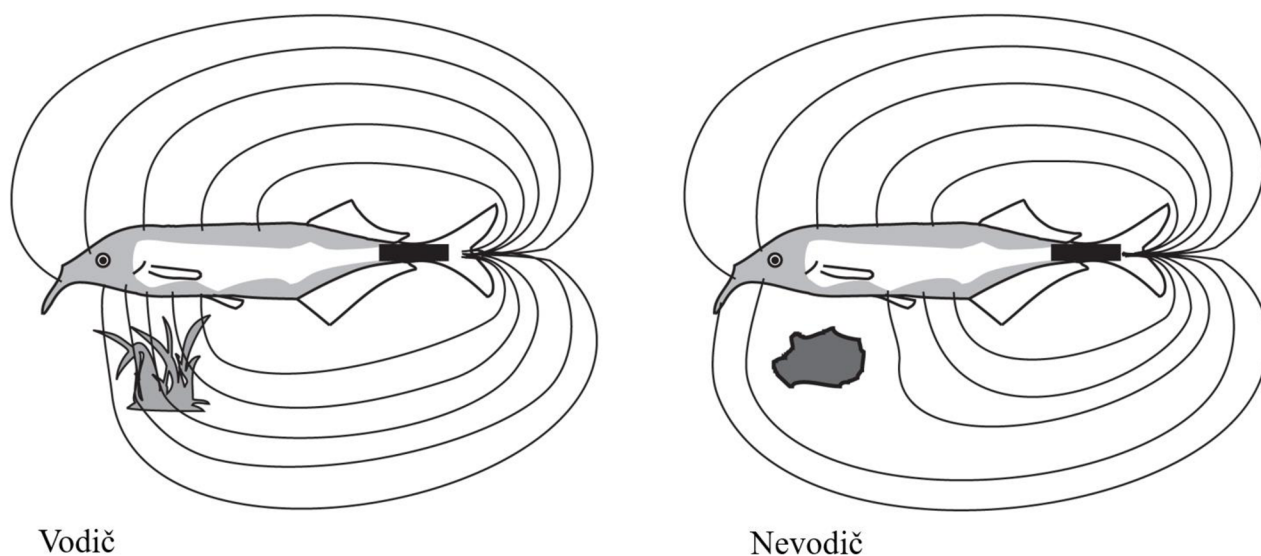
Elektrické signály nadále hrají svoji roli ve skupinovém chování u všech ryb čeledi Mormyridae. Ryby s aktivní elektrickou komunikací tvoří skupiny a během plavání se drží v hejnu (Moller 1976). Naopak u ryb bez aktivní elektrické komunikace (při laboratorních pokusech je rybě chirurgicky „umlčen“ elektrický orgán), které se nacházejí v zakaleném prostředí a nemohou se spolehnout na zrak, je pozorována nižší pohybová aktivita a neschopnost migrovat v soudržném hejnu. V případě, že se jedinec může spolehnout pouze na zrak či pouze na elektrickou komunikaci, vykazuje zvíře míru pohybové aktivity přesně v polovině hodnot mezi nedotčenými jedinci a umlčenými/slepými jedinci (Moller et al. 1982).

Elektrická komunikace je výborný zdroj dorozumívání, ale může mít i své zápory. Existují totiž predátoři, kteří sice nejsou schopni produkovat aktivní elektrické pole, ale dokáží vnímat cizí elektrické signály. Například někteří zástupci řádu Siluriformes jsou známí svou schopností elektrorecepce. Dokáží tedy vycítit elektrické impulzy o určité vlnové délce produkované jinou slabě elektrickou rybou a díky tomu ji snadno lokalizovat a následně ulovit (Hanika & Kramer 1999).

3.4.2 Orientace v prostoru

Využití elektrických výbojů hraje nejdůležitější roli v detekci objektů a orientaci v prostoru. Pro schopnost detekce objektů je nezbytné, aby objekty měly elektrické vlastnosti odlišné od vlastností okolní vody, tedy měly buď vyšší nebo nižší elektrickou vodivost. Díky těmto rozdílným vlastnostem objekty způsobují zkreslení elektrického pole. Výboje se od objektu odrazí, pozmění svůj tvar a intenzitu a jedinec je poté vnímá přes elektroreceptorový orgán jako takzvaný „elektrický obraz“ na své kůži (Caputi et al. 1998). Výsledný obraz, který ryba vnímá, je závislý na velikosti, tvaru, vzdálenosti a elektrických vlastnostech objektu. V případě, že se jedná o dobrý vodič, objekt přitahuje elektrické výboje a proudí jím tak více elektrického proudu. To má za následek hustší elektrický obraz na kůži ryby. Naopak objekt, který je dobrým izolantem, odpuzuje elektrické výboje a kůže ryby tak zachytí méně elektrického proudu (viz Obr. 5) (Von Der Emde 1999).

Změny napětí na své kůži pak jedinec zpracuje a přenesení signál do nervové soustavy a vyhodnotí polohu kořisti nebo překážky, které je potřeba se vyhnout. Tento proces se nazývá aktivní elektrorecepce (Bastian 1986). Jedinec je schopen se během nočních výprav za potravou spoléhat pouze na elektrické impulzy, které využívá k prostorové navigaci (Jung et al. 2019). Pokud dochází k nejasnostem vlivem například proměnlivých vlastností proudění, ryby si mohou pomoci jinými smysly. Systém bočních linií jako mechanoreceptor nebo čichový vjem často doplňuje chybějící informace o objektu (Von Der Emde & Bleckmann 1998).



Obr. 5 – Nákres elektrických siločar zobrazených jako tenké čáry. Elektroreceptivní povrch těla *G. petersii* je zobrazen šedě. Elektrické pole je zkresleno vodní rostlinou, která představuje dobrý vodič (vlevo), a kamenem, který je naopak nevodivý (vpravo).
Převzato z: Von Der Emde 1999

Protikladem aktivní elektrolokace je elektrolokace pasivní. Tu můžeme vysvětlit jako schopnost ryby vycítit cizí elektrické pole generované jinou rybou, živočichem či neživým objektem (Kalmijn 1974). Pasivní elektrolokace je dalším důležitým smyslem při orientaci v prostoru. Nevýhodou pasivní elektrolokace je, že ryby nejsou schopny bez aktivního pohybu lokalizovat vzdálenost ani směr elektrického zdroje. Pomocí systematického kmitavého pohybu vpřed však může ryba porovnávat intenzitu cizího elektrického pole s různými pozicemi vlastního těla a vyhodnotit vzdálenost a směr, kterým se cizí objekt/jedinec nachází (Schluger & Hopkins 1987).

3.4.3 Potrava

Gnathonemus petersii je výhradně noční lovec shánějící potravu na dně kalných řek. Převážnou část jeho jídelníčku tvoří larvy chironomidů (Blake 1977b). Při lovu ve tmě je aktivní elektrolokace nesmírnou výhodou. Nejedná se však o jediný smyslový vjem, podle kterého se orientuje. Důležitou roli hraje také zrak, mechanosenzorické vnímání či hmat. Při pokusech byla rypounům chirurgicky přerušena inervace elektrického orgánu a byla tak umlčena jejich možnost aktivní elektrolokace. V tomto případě se ryby více spoléhaly na pasivní elektrolokaci. Pokud i ta jim byla znemožněna, ale bylo přítomno světlo, zrak se ve většině případů stal dominantním smyslem. Živé larvy, které se více pohybovaly, a tedy i vydávaly více hydrodynamických podnětů, byly vždy nalezeny rychleji. To poukazuje i na důležitost mechanosenzorického vnímání laterální linie (Von Der Emde & Bleckmann 1998). Za různých podmínek každý jedinec individuálně preferuje kombinace odlišných smyslů pro co nejrychlejší nalezení potravy.

Na rozdíl od ostatních ryb využívajících elektrolokaci se *G. petersii* liší postojem svého těla. Při hledání potravy nakloní svoje tělo pod mírným sklonem 18° dopředu a díky tomu jsou elektroreceptory na Schnauzenorganu schopny získávat informace z prostředí před i po stranách jedince. Schnauzenorgan se při pohybu téměř dotýká dna a jedinec se pohybuje vpřed s rytmickým natáčením doprava a doleva a skenuje tak velkou plochu dna (Von Der Emde et al. 2008).

3.4.4 Rozmnožování

Většina zástupců mormyridních ryb, včetně *G. petersii*, kvůli páření migruje z velkých toků do menších říček. Období páření probíhá v době dešťů a záplav. Samice před obdobím

dešťů mají plno vajíček a jsou schopny během jedné sezóny opakovaného páření (Hopkins 1986). Tomu naznačuje nález tří různých velikostí vajíček dozrávajících v jedné samici (Blake 1977a).

Jedinci vysílají elektrické signály, které obsahují informace o identifikaci v rámci druhu, svém pohlaví, fyzické kondici, poloze a o svém věku (Smith 1968). Sexuální dimorfismus se u *G. petersii* projevuje pouze v období páření, poté jakékoliv změny mezi pohlavími v chování či elektrické aktivitě mizí (Landsman 1993b). Samci v tomto období mají výrazně delší trvání EOD než samice. Jedinci stanovují svou dominanci delším trváním, vyšší amplitudou EOD a mimo jiné také větším vzrůstem. Dominantní samice mohou své elektrické chování v době páření utlumit, aby byly schopny proniknout do samčích teritorií a zvýšit tak svoji šanci na páření (Terleph & Moller 2003).

Stále existuje pouze omezené množství informací o přirozené reprodukční strategii těchto ryb jako je substrát pro tření, námluvy nebo péče o mláďata (Kirschbaum & Schugardt 2002). V zajetí se již podařilo pomocí umělého oplodnění odchovat hybridní jedince mezi samcem *G. petersii* a samicí *Campylomormyrus compressirostris* (Boulenger, 1898) (Kirschbaum et al. 2016). Počet oplozených vajíček se pohyboval okolo 30 % a jen malé procento z nich se nevykulilo nebo vykazovalo malformace plůdku (Korniienko et al. 2022). Reprodukce mormyridních ryb může být v zajetí vyvolána snížením vodivosti vody, zvýšením hladiny vody a umělým deštěm, což simuluje období dešťů (Nguyen et al. 2017).

3.5 Rypoun Petersův jako bioindikátor ve vodárenství

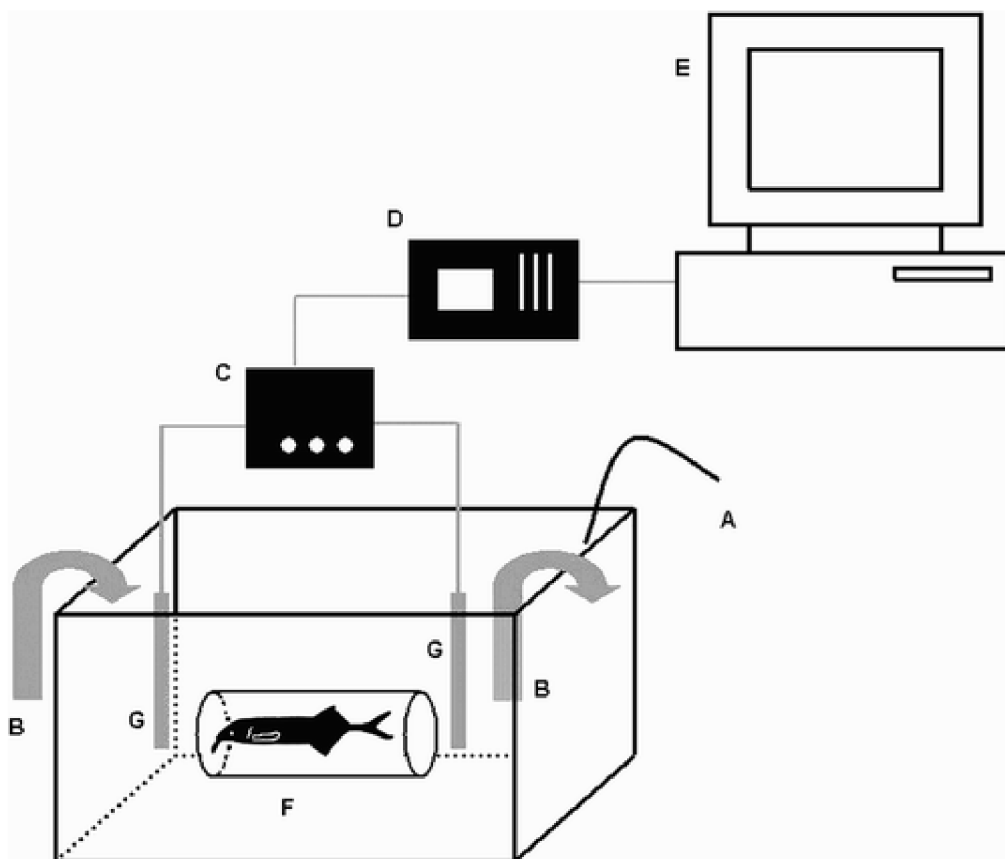
Problém znečištění životního prostředí je v současnosti naléhavý a vyžaduje efektivní monitorovací systémy. S vysokým počtem nově vytvořených chemikálií roste každý rok šance na znečištění povrchových vod sloužících jako zdroj pitné vody (Van Leeuwen 2000). Technická zařízení pro detekci těchto látek jsou navržena tak, aby identifikovala konkrétní a známou skupinu znečišťujících látek. Nové znečišťující chemikálie tedy mohou projít systémem bez povšimnutí, pokud není systém na tyto konkrétní látky navržen a připraven. Technologicky, finančně ani provozně však není možné detekovat více než čtyři miliony známých chemikálií kontinuálně na denní bázi. Biologické systémy včasného varování se proto staly široce využívanými při monitoringu kvality vody, protože reagují na znečišťující látky komplexně a jednoznačně určí, zda je látka letální či nikoliv (Bae & Park 2014).

Frekvence EOD u *Gnathonemus petersii* se mění v závislosti na podmínkách vody. Když dochází ke změně teploty, pH nebo nevyhovujícím podmínkám vody má to vliv na četnost EOD. Tato variabilita je důsledkem reakce ryby na okolní prostředí (Lewis & Kay 1991). Jelikož se jedná o společenský druh žijící převážně ve skupinách, předpokládá se, že změna elektrických signálů má varovat ostatní členy jejich skupiny před bližícím se nebezpečím (Clausen et al. 2012). Důležitým faktorem ovlivňujícím četnost EOD je i denní cyklus. *Gnathonemus petersii* je noční tvor, což znamená, že v noci je jeho aktivita vyšší a s tím souvisí i vyšší frekvence EOD, která se pohybuje v rozmezí 10–15 Hz. Naopak ve dne, kdy je převážně v klidu, je frekvence EOD nižší v rozmezí 8–10 Hz (Moller 1970). Pokud jsou podmínky vody stabilní a nejsou přítomny žádné vnější rušící faktory a ryba je již aklimatizována, měření frekvence EOD poskytuje spolehlivé a stabilní výsledky pro měření kvality vody (Campbell et al. 1990).

Přirozené prostředí *G. petersii* mu dovoluje obývat kalné vody s nízkým obsahem kyslíku na rozdíl od druhů preferujících studenou vodu a zároveň vyšší hladiny rozpuštěného kyslíku jako je například *Oncorhynchus mykiss* nebo *Salvelinus fontinalis* (Mitchill, 1815) (Geller 1984).

Základním rozložením zařízení pro biomonitoring kvality vody (viz Obr. 6) využívající *G. petersii* je skleněné akvárium obsahující obsádku ryb. Do vody jsou ponořeny dvě elektrody zachycující elektrické signály, každá na jedné straně akvária. K elektrodám je připojen zesilovač pro zesílení elektrických signálů. Ty jsou následně převedeny na digitální podobu do přídruženého mikropočítače. Data se uloží a pak je možné je dále analyzovat (Campbell et al. 1990; Clausen et al. 2012). Každá nádrž musí dále obsahovat provzdušňovač

a čerpadlo, které vyměňuje vodu a zajišťuje neustálý průtok nezbytný pro kontinuální biomonitoring (Geller 1984). Voda v nádrži je udržována pomocí ohřívače na teplotě 25–27 °C, která je pro ryby přirozená. Ideálními fyzikálními parametry vody jsou: konduktivita 742 us/cm, pH 7,5 a koncentrace kyslíku 81 % (Lewis et al. 1995). Vhodné je mít v nádrži např. hliněný tubus, kam se ryby mohou schovat, aby nebyly ve stresu. Takováto možnost skrýt se jim vynahrazuje jejich přirozené podmínky kalných vod s množstvím úkrytů (Clausen et al. 2012).



Obr. 6 – Obecné schéma pro zachycení EOD od *Gnathonemus petersii* v nádrži. A: přívod vzduchu, B: přívod vody (dovnitř a ven), C: zesilovač, D: převod EOD na digitální podobu, E: počítač pro ukládání a analýzu, F: umělá skrýš pro rybu, G: elektrody. Převzato z: Clausen et al. 2012

Během počátečních experimentů s *G. petersii* se zaměřovalo pouze na jednoho jedince, protože nebylo možné rozlišit elektrické výboje více jedinců (Geller 1984). Nicméně díky pokroku v technologii je nyní možné sledovat a měřit EOD u více jedinců zároveň. Měření čtyř jedinců současně se ukázalo jako efektivní řešení, které představuje spolehlivý vzorek pro získávání dat (Campbell et al. 1990; Lewis et al. 1992, 1995).

Reakční čas *G. petersii* na přítomnou toxickou látku závisí na průtoku vody ve sledovaném akváriu. Časy odpovědi na toxickou látku (viz Tab. 1) byly získány během

pokusu, při kterém byla testovací nádoba zásobovaná 8 až 10 litry vody za hodinu a 90 % objemu akvária bylo vyměněno během 60 min (Geller 1984).

Tab. 1 – Reakční doba *Gnathonemus petersii* na přítomnost různých toxických látek ve vodě
Převzato z: Geller 1984

Toxin	Koncentrace (mg/l)	Doba odpovědi (h)
Hg²⁺	0,1	20
	0,5	4
Cu²⁺	0,5	4
Cn⁻	0,1	4
NaAsO₂ (mg AS/l)	12	28
	18	24
	41	11
	58	8
	98	5

Při dalších pokusech již byla využita sestava čtyři 18 litrových nádrží pro monitoring více jedinců najednou. Do každé nádrže bylo každou hodinu přivedeno 20 litrů čisté vody o teplotě 27,5 °C. Přiváděná voda byla předem ohřátá, provzdušněná a dechlorovaná. Veškeré vizuální podněty byly minimalizovány pomocí začernění skel nádrže (Campbell et al. 1990; Lewis et al. 1992). Během těchto podmínek byly získány hodnoty reakčního času *G. petersii* (viz Tab. 2) k detekci amoniaku, dusičnanů, fosfátů a TBTO ve vodě (Lewis et al. 1995).

Tab. 2 – Reakční doba *Gnathonemus petersii* na přítomnost zkoumaných toxických látek ve vodě.
Převzato z: Lewis et al. 1995

Toxin	Koncentrace (mg/l)	Doba odpovědi (min)
NH₃	0,5	60
	5	15
	10	15
NO₃⁻	75	Bez odpovědi
[PO₄]³⁻	0,05	15
	0,02	15
TBTO	0,05	15
	0,01	30

Vystavení ryb jednotlivým toxickým látkám způsobuje mimo jiné značné poškození žaber. Pomocí elektronové mikroskopie žaber bylo zjištěno značné poškození při vystavení jedinců kadmiu, kyanidu a atrazinu (Alazemi et al. 1996). Při vystavení ryby 1 mg kadmia na litr vznikly velké subepiteliální prostory v sekundárních lamelách. Vyšší dávka kadmia o koncentraci 10 mg/l vedla ke vzniku lamelárního aneurysma. Poškození kyanidem při koncentraci 0,05 mg/l vedlo k drobnému olupování vláknitého epitelu žaber a při koncentraci 0,1 mg/l způsobilo úplné odstranění epitelu včetně tkáně pod ním. Atrazin při koncentraci 0,5 mg/l zapříčinil zlomy žaberního epitelu (Alazemi et al. 1996).

3.6 Welfare ryb

Základním parametrem pro posuzování pohody a zdraví zvířat je schopnost cítit bolest. Dříve se předpokládalo, že ryby kvůli svým neuroanatomickým a fyziologickým vlastnostem nejsou schopny vnímat bolest. Dnes je však již prokázáno, že se u ryb nacházejí nervy zodpovědné za přenos bolesti, které jsou identické jako ty u savců (Sneddon & Gentle 2002; Sneddon 2002).

Pro ryby je z hlediska welfare nejvýznamnější kvalita vody, která je neustále obklopuje a jsou s ní v těsné blízkosti. Při špatné kvalitě vody by byla porušena svoboda od nepohodlí (koncept pěti svobod (viz Tab. 3) (Webster & Špinka 1999)), která je pro ryby v tomto aspektu nejdůležitější (Branson 2008).

Při chovu ryb v akváriích ve vodárenských zařízeních, stejně jako kdekoli jinde, by se proto mělo dbát na poskytnutí vyvážené stravy, vhodného úkrytu a dostatečného prostoru pro přirozený pohyb ryb. Také je pro dobrý welfare nutno poskytnout prevenci proti chorobám a zajistit vhodnou kvalitu vody, kterou daný druh preferuje (Huntingford et al. 2006).

Tab. 3 – Koncept pěti svobod
Převzato z: Webster & Špinka 1999

Svoboda od žizně hladu a podvýživy	bezproblémový přístup k čerstvé vodě a krmivu dostačujícímu k zachování plného zdraví a síly
Svoboda od nepohodlí	poskytnutím vhodného prostředí včetně přístřeší a pohodlného místa k odpočinku
Svoboda od bolesti, zranění a nemoci	pomocí prevence nebo rychlé diagnózy a léčení
Svoboda projevit přirozené chování	poskytnutím dostatečného prostoru, vhodného vybavení a společnosti zvířat téhož druhu
Svoboda od strachu a bolesti	zabezpečení podmínek jež vylučují mentální strádání

3.7 Legislativa

Při chovu a využití ryb ke kontrole kvality vody je nezbytné dodržovat legislativu, týkající se této problematiky. V rámci České republiky je klíčový zákon č. 166/1999 Sb., o veterinární péči a o změně souvisejících zákonů, který upravuje nároky na zdraví zvířat a ochranu před nemocemi. Všichni chovatelé ryb jsou zároveň povinni zacházet se zvířaty v souladu se zákonem č. 246/1992 Sb., na ochranu zvířat proti týrání, ve znění pozdějších předpisů.

Dále je relevantní zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, který reguluje chov ryb, obsahuje nařízení týkající se povinností a pravidel pro provozování akvakultury, včetně chovu ryb ve vodárenských nádržích. Tato ustanovení zahrnují požadavky na kvalitu vody, hygienické normy a ochranu přírodních ekosystémů.

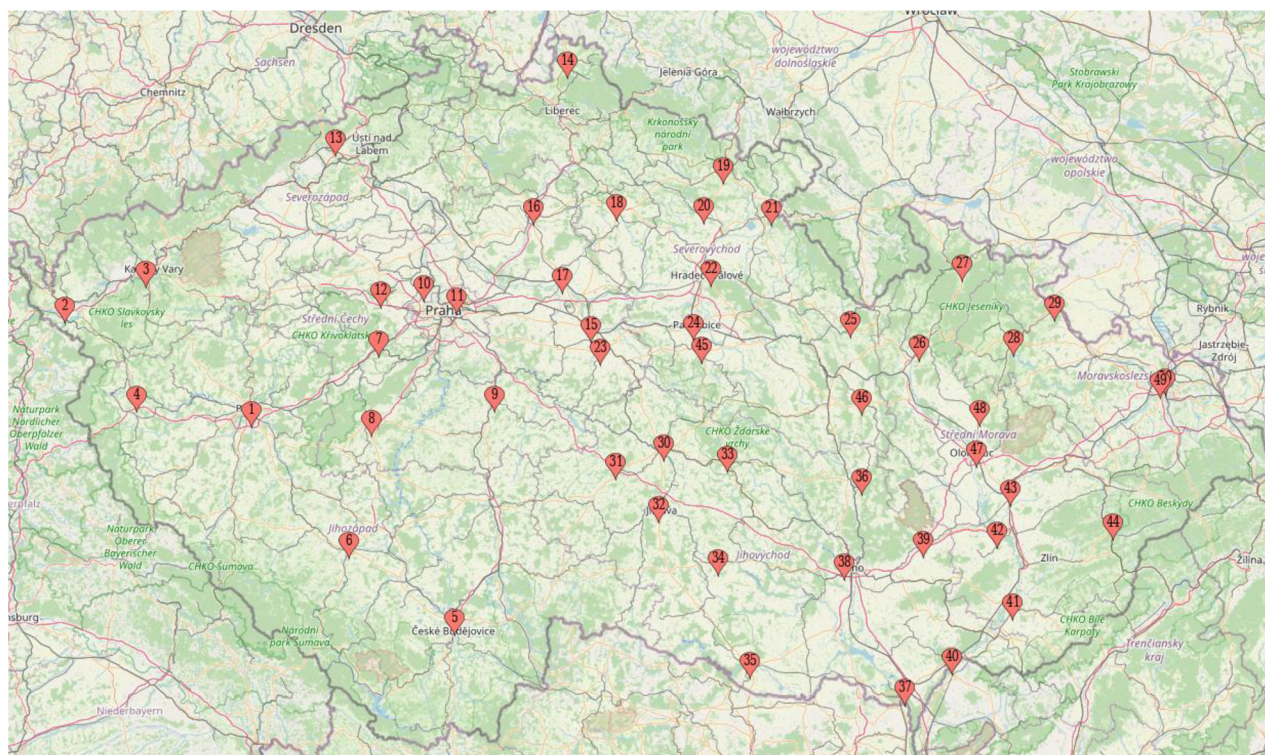
4 Metodika

V rámci této bakalářské práce byl proveden průzkum zaměřený na zhodnocení využívání systému včasného biologického varování ve vodárenských zařízeních v České republice. Byla zvolena metoda získání potřebných informací skrze elektronickou komunikaci prostřednictvím e-mailů mezi autorkou práce a představiteli vodárenských společností. Cílem tohoto šetření bylo zhodnotit, zda vodárny implementují systém včasného biologického varování, ať už v pozitivním či negativním světle, a získat náhled na jejich konkrétní zkušenosti s tímto systémem.

Nejprve byla provedena identifikace všech vodárenských subjektů na území České republiky. Pomocí webového portálu pravdaovode.cz byl sestaven seznam 50 vodárenských společností a následně na webových stránkách mapcustomizer.com byla vytvořena mapa (viz Obr. 7) vyznačující sídla těchto společností. Poté byl z oficiálních stránek jednotlivých subjektů vyhledán e-mail na zastupitele těchto společností.

V další části šetření byl sepsán e-mail oslovující vodárenské subjekty, v úvodu jim byla přiblížena problematika daného tématu následovaná žádostí o spolupráci ohledně poskytnutí informací a zkušeností z jejich praxe ve vodárenství. Druhá část e-mailu obsahovala sadu otázek zaměřující se na konkrétní problematiku a požadované informace. E-mail byl všem subjektům rozeslán jednotlivě a konverzace tedy byla soukromá pouze mezi autorkou této práce a zastupiteli vodáren. Osobní data nebyla shromažďována ani zjišťována.

Následně byla sledována a analyzována odpověď každého vodárenského zařízení s důrazem na přítomnost či absenci biologického systému včasného varování a zhodnocení zkušeností jednotlivých dotázaných subjektů. Průzkum skrze e-mailovou komunikaci umožnil získat aktuální a relevantní data, čímž poskytl komplexní pohled na současný stav a postoj vodáren k biologickému systému včasného varování v České republice. Průzkum byl prováděn mezi prosincem 2023 a lednem 2024.



Obr. 7 – Mapa České republiky s vyznačenými vodárenskými společnostmi a legendou:

1. Vodárna Plzeň a. s.
2. CHEVAK Cheb a. s.
3. Vodárny a kanalizace Karlovy Vary a. s.
4. Chodské vodárny a kanalizace a. s.
5. ČEVAK a. s.
6. Technické služby Strakonice s. r. o.
7. Vodovody a kanalizace Beroun a. s.
8. 1. SčV Příbram a. s.
9. Vodohospodářská společnost Benešov a. s.
10. 1. vodohospodářská společnost s. r. o.
11. Pražské vodovody a kanalizace a. s.
12. Středočeské vodárny a. s.
13. Severočeské vodovody a kanalizace a. s.
14. Frýdlantská vodárenská společnost a. s.
15. Energie AG Kolín a. s.
16. Vodovody a kanalizace Mladá Boleslav a. s.
17. Vodovody a kanalizace Nymburk a. s.
18. Vodohospodářská a obchodní společnost a. s.
19. Vodovody a kanalizace Trutnov a. s.
20. Městské vodovody a kanalizace Dvůr Králové nad Labem s. r. o.
21. Vodovody a kanalizace Náchod a. s.
22. Vodovody a kanalizace Hradec králové a. s.
23. Vodohospodářská společnost Vrchlice – Maleč a. s.
24. Vodovody a kanalizace Pardubice a. s.
25. Vodovody a kanalizace Jablonné nad Orlicí a. s.
26. Šumperská provozní vodohospodářská společnost a. s.

27. Vodovody a kanalizace Jesenicka a. s.
28. VaK Bruntál a. s.
29. Krnovské vodovody a kanalizace s. r. o.
30. Vodovody a kanalizace Havlíčkův Brod a. s.
31. VODAK Humpolec s. r. o.
32. Vodárenská akciová společnost a. s. - Jihlava
33. Vodárenská akciová společnost a. s. - Žďár nad Sázavou
34. Vodárenská akciová společnost a. s. - Třebíč
35. Vodárenská akciová společnost a. s. - Znojmo
36. Vodárenská akciová společnost a. s. - Boskovice
37. Vodovody a kanalizace Břeclav a. s.
38. Brněnské vodárny a kanalizace a. s.
39. Vodovody a kanalizace Vyškov a. s.
40. Vodovody a kanalizace Hodonín a. s.
41. Slovácké vodárny a kanalizace a. s.
42. Vodovody a kanalizace Kroměříž a. s.
43. Vodovody a kanalizace Přerov a. s.
44. Vodovody a kanalizace Vsetín a. s.
45. Vodárenská společnost Chrudim a. s.
46. VHOS a. s. - Moravská Třebová
47. Moravská vodárenská a. s.
48. VHS Sitka s. r. o.
49. Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a. s.
50. Ostravské vodárny a kanalizace a. s.

Sada otázek pro průzkum vodáren

- Je součástí Vaší vodárny akvárium či jiná nádrž, které je napájené Vámi upravenou vodou, a ve kterém chováte ryby či jiné organizmy, pro případ včasné detekce úniku nebezpečných látek?
- Jaké živočichy využíváte pro biologický systém včasného varování?
- Je nádrž s rybami napájena surovou či již upravenou pitnou vodou?
- Osvědčilo se Vám již někdy využívat ryby jako bioindikátor k detekci nebezpečných látek?
- Jakým způsobem kontrolujete a vyhodnocujete aktuální stav a aktivitu ryb?
- Slyšeli jste již někdy o využití ryby zvané rypoun Petersův (*Gnathonemus petersii*) ve vodárenství?
- Myslíte si, že by bylo možné zavést v českých vodárnách rypouna Petersova jako bioindikátor? Pokud ne z jakých důvodů?

5 Výsledky

Je součástí Vaší vodárny akvárium či jiná nádrž, které je napájené Vámi upravenou vodou, a ve kterém chováte ryby či jiné organizmy, pro případ včasné detekce úniku nebezpečných látek?

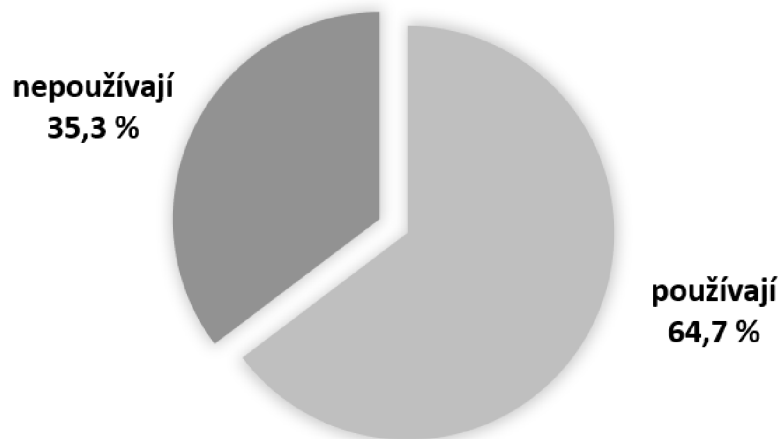
V průběhu analýzy na využití biologického systému včasného varování (BSVV) ve vodárenském sektoru České republiky bylo zjištěno, že více jak polovina vodáren (viz Obr. 8) integruje tento systém do svých úpraven vody a aktivně využívá ryby pro monitorování kvality vody a prevenci potenciálních biologických hrozeb. Nicméně stále velká část vodáren nevidí žádný důvod pro zavedení BSVV na svých pracovištích.

Důvody pro absenci využití ryb pro kontinuální biomonitoring kvality vody se liší, a to v závislosti na konkrétních podmínkách každé vodárny. Některé subjekty zdůvodňují nepoužívání BSVV tím, že se specializují na úpravu podzemní vody, která není stejným způsobem vystavena rizikům vniknutí toxických látek jako voda povrchová. Další vodárny uvádějí nedostatek personálu se znalostí odborných aspektů BSVV, který by se staral o hladký chod tohoto systému. Třetím nejčastějším důvodem pro nevyužití BSVV je problematika provozu akvariálních zařízení a dodržování veterinárních předpisů souvisejících s chovem a správou zvířat.

Vodárny, které využívají systém včasného biologického varování, zaznamenávají jeho prospěšnost a schopnost poskytnout důležité informace o stavu vody v případě havárie nebo pokud by selhaly automatizované senzory pro kontrolu kvality vody. Pouze jeden subjekt uvedl, že BSVV je pro ně povinný kvůli nařízení krajské hygienické stanice.

Neexistuje žádná významná korelace mezi přítomností BSVV a velikostí či výkonem vodárny. Zavedení tohoto systému záleží převážně na osobním přístupu personálu k problematice tohoto tématu.

VYUŽITÍ RYB K VČASNÉMU VAROVÁNÍ PŘED TOXICITOU



Obr. 8 – Graf znázorňující podíl mezi vodárnami, které používají ryby pro biologický systém včasného varování před toxickými látkami.

Jaké živočichy využíváte pro biologický systém včasného varování?

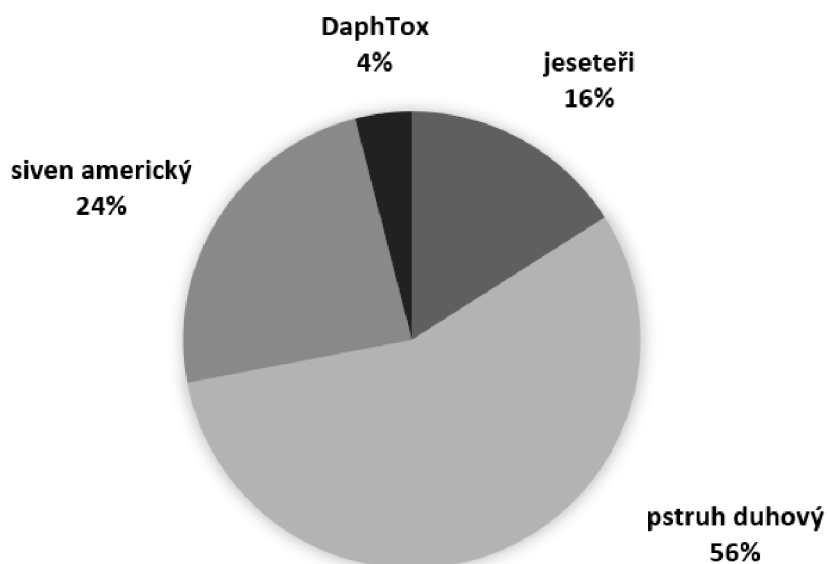
Vodárny využívají ke kontinuálnímu biomonitoringu kvality vody převážně ryby. Nejčastějším druhem pro kontrolu kvality vody je pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*) (viz Obr. 9), mezi další zástupce patří siven americký (*Salvelinus fontinalis*) a druhy rodu *Acipenser* Linnaeus, 1758 (viz Obr. 10). Jeseteři jsou využíváni kvůli své schopnosti snést vyšší teploty vody (10–18 °C) než pstruh duhový či siven americký a jsou taktéž velmi citlivý na kvalitu vody. Protože se jedná o netradiční rybu, jejich chov může navíc zvýšit zájem veřejnosti o problematiku kontroly kvality vody a přispět k povědomí o ochraně zdrojů pitné vody.

Dva subjekty uvedly použití systému Daphtox II, využívající hrotnatky velké (*Daphnia magna*) ke kontinuálnímu biomonitoringu. Tento přístroj neustále zaznamenává pohyb a aktivitu hrotnatky a automaticky vyhodnocuje případné riziko toxicity. Pokud softwarový systém Daphtox II vyhodnotí problém, samovolně spustí alarm.



Obr. 9 – Nádrž se pstruhy, kteří kontrolují kvalitu vody.
Převzato z: Randák 2011

DRUHY ŽIVOČICHŮ VYUŽÍVANÝCH PRO BSVV



Obr. 10 – Graf znázorňující četnost zastoupení jednotlivých druhů živočichů pro kontinuální biomonitoring pitné vody ve vodárnách.

Je nádrž s rybami napájena surovou či již upravenou pitnou vodou?

Každá vodárna napájí nádrže s rybí obsádkou v odlišných fázích úpravy vody. Záleží na technických a provozních možnostech každé vodárny. 55 % dotázaných subjektů má nádrže s rybami situované přímo na začátku procesu úpravy vody a napouštěné surovou vodou. Zbýlých 45 % vodáren napájí nádrže vodou, která již prošla filtrovacími zařízeními a je částečně vyčištěná. Zásadní však je, aby nádrže s rybami byly vždy umístěny tak, aby nedocházelo k jejich vystavení chemickým látkám používaných ve finálních procesech úpravy vody.

Osvědčilo se Vám již někdy využívat ryby jako bioindikátor k detekci nebezpečných látek?

Žádná z dotázaných vodárenských společností, která využívá ryby ke kontinuálnímu biomonitoringu kvality vody, nemá za celou dobu provozu BSVV žádnou zkušenost s úhynem ryb kvůli toxickým látkám. V našich podmínkách zatím tedy nebyl řešen úhyn ryb ve spojitosti kontaminace vod nebezpečnými chemickými látkami.

Pouze jeden subjekt popsal negativní zážitek, kdy mu ryby v nádržích uhynuly kvůli nedostatečné CHSK (chemická spotřeba kyslíku). Nízkou CHSK však lze v průběhu úpravy pitné vody lehce odstranit a úhyn ryb byl tedy zavádějící a vyvolal falešný alarm, kvůli kterému byla vodárna nucena zahájit odstávku po dobu, než se situace vysvětlila.

Jakým způsobem kontrolujete a vyhodnocujete aktuální stav a aktivitu ryb?

Všechny dotázané vodárny spoléhají na živý záznam z kamer. Nádrž s rybami je pod neustálým dohledem záznamového zařízení, které přenáší aktuální dění dispečerovi. Ten během své služby má možnost kdykoli zkontrolovat stav ryb a řešit případný problém. Žádná vodárna využívající k biomonitoringu ryby nedisponuje automatizovaným systémem (např. ToxProtect II od výrobce bbe Moldaenke (viz Obr. 11)). Vždy je tedy vyžadován proškolený a vzdělaný personál pro plynulý chod kontinuálního biomonitoringu vody a posouzení rizika.



Obr. 11 – Automatizovaný přístroj ToxProtect II ke sledování a ochraně vody před škodlivými látkami. Schopný automaticky sledovat a vyhodnocovat stav až deseti ryb.

Obrázek použitý se souhlasem bbe Moldaenke.

Dostupné z: <https://www.ekotechnika.com/produkt/toxprotect-64-30/#&gid=1&pid=1>

Slyšeli jste již někdy o využití ryby zvané rypoun Petersův (*Gnathonemus petersii*) ve vodárenství? Myslíte si, že by bylo možné zavést v českých vodárnách rypouna Petersova jako bioindikátor? Pokud ne z jakých důvodů?

O využití *G. petersii* ke kontrole kvality vody nikdo z dotázaných dříve neslyšel. Tento druh jim byl známý pouze jako akvarijní ryba. Po uvedení do tématu však 82 % subjektů projevilo zájem o myšlenku využití *G. petersii* ve vodárnách. Jako problém ale všichni uvedli, vysoké nároky této ryby na teplotu vody. V podmínkách České republiky voda pro úpravu pitné vody v průběhu roku dosahuje teplot maximálně 12 °C a bylo by tedy provozně i finančně náročné dodatečně ohřívat průtočnou vodu před přívodem do akvária. Takové tepelné úpravy by vyžadovaly energeticky náročný průtokový ohřívač vody, které by zajišťovalo konstantní teplotu vody v rozmezí vhodném pro chov *G. petersii*. Využití pstruhů, kterým lépe vyhovují místní podmínky a nevyžadují dodatečnou úpravu vody, vidí dotázané vodárny stále jako lepší řešení.

6 Diskuze

Gnathonemus petersii je jedním z druhů, který je zkoumán pro svou potenciální roli v kontrole kvality vody ve vodárnách. Ve srovnání s tradičně používanými druhy, jako jsou pstruzi (Randák 2011), má *G. petersii* specifické biologické a ekologické charakteristiky. Největší výhodou je schopnost tohoto druhu aktivně vysílat elektrické signály do prostředí a získávat díky nim potřebné informace o svém okolí (Bastian 1986; Caputi et al. 1998; Von Der Emde 1999). *G. petersii* je zároveň velmi citlivý na kvalitu vody a dokáže na toxické látky včas upozornit svým změněným chováním a změněnou elektrickou aktivitou (Geller 1984; Lewis et al. 1995). Tyto dva aspekty z něj činí zajímavý druh vhodný k využití ve vodárnách, jelikož detekci znečištění nemusí provázet mortalita indikátorových ryb, jako je tomu v případě pstruhů, sivenů aj. Je ovšem potřeba poznamenat, že některé polutanty, jako jsou těžké kovy, atrazin a kyanid poškozují žábry rypounů (Alazemi et al. 1996; Morales 2022).

Ze studií vychází, že ve srovnání s ostatními druhy ryb je *G. petersii* více citlivý na toxické látky ve vodě. Na nižší koncentrace reaguje rychleji než například pstruh duhový (Maršálek et al. 2004; Randák 2011). Zároveň je *G. petersii* schopný tolerovat větší nedostatek rozpuštěného kyslíku ve vodě (Geller 1984) a při jeho využití by tedy nedocházelo k falešným alarmům při nízkém obsahu kyslíku ve vodě, který pro vodárny nepředstavuje riziko.

Jelikož *G. petersii* dokáže zaznamenat toxické látky ve vodě pouze pomocí změny elektrické aktivity (Geller 1984; Lewis et al. 1995), není tedy nezbytné, aby ryby v rámci kontroly kvality vody uhynuly. Nicméně je prokázáno, že i nižší koncentrace toxických látek vedou k poškození žaber (Alazemi et al. 1996). Zde se tedy nabízí otázka welfare, zdali je úhyn ryb více či méně etický než ponechání ryb bolesti způsobené poškozením žaber.

Nákup jedinců druhu *G. petersii* je finančně náročnější než pořízení pstruha duhového. Byl identifikován jeden prodejce shrimpaqua.eu prodávající 10 cm velké jedince *Gnathonemus petersii* za 390 Kč. Doporučený počet jedinců pro monitoring kvality vody jsou čtyři kusy v jedné nádrži (Campbell et al. 1990). Celková cena za obsádku nádrže je tedy 1 560 Kč. Ve srovnání s pořizovací cenou *G. petersii* násada 7 až 10 cm velkých pstruhů duhových se pohybuje okolo částky 170 Kč za 1kg ryb (65 kusů v průměru) (Ministerstvo životního prostředí 2023), které postačuje na obsádku jedné nádrže (Randák 2011). Vyšší cena *G. petersii* je dána především omezenou schopností tohoto druhu rozmnožovat se v umělých podmínkách (Landsman 1993a) a převážná většina prodaných jedinců je odchycená z volné přírody. Vyšší cena rypounů se ovšem dá dobře zdůvodnit větším přežitím indikátorových ryb.

Z průzkumu českého vodárenství vyplývá oblíbenost pstruhů v českém vodárenství. Pstruzi duhový jsou již dlouhodobě využíváni pro kontrolu kvality vody a vodárny mají ověřené dlouholeté zkušenosti s jejich chovem a fungováním. Největší výhodou pstruhů je jejich aklimatizace na místní podmínky jako je teplota vody, chemizmus vody a jejich přirozený způsob života v tekoucích vodách (Randák 2011). Nedostatek ve využívání pstruhů spočívá v nutnosti manuální kontroly. Přestože jsou již vyvinuty systémy automatické detekce a analýzy behaviorálních reakcí ryb (bbe Moldaenke 2021), žádný z dotázaných subjektů jej nevyužívá a spoléhá pouze na vizuální kontrolu prováděnou zaměstnanci.

Přestože *G. petersii* představuje zajímavou možnost využití ke kontinuálnímu biomonitoringu kvality vody ve vodárnách, je stále zapotřebí dalšího výzkumu, aby bylo možné zavést tento druh do praxe. Jeho využití v České republice by mohlo být efektivní, pokud by byly vyvinuty strategie umožňující kontinuální ohřev vody bez větších energetických nákladů. V některých německých městech je *G. petersii* využíván k detekci olova a trichloretylenu ve vodárnách (Kunz 2007). Neexistuje však více podrobných studií, které by přesněji popisovaly metodu chovu *G. petersii* používanou v Německu. Celkem bylo identifikováno 18 studií zabývajících kontrolou kvality vody pomocí *G. petersii* (Clausen et al. 2012), všechny však popisují pouze laboratorní pokusy. Žádná ze studií nepopisuje metodiku zavedení tohoto systému do praxe.

7 Závěr

Gnathonemus petersii má potenciál k využití v monitoringu pitné vody ve vodárenství. Studie ukázaly, že může být efektivním bioindikátorem pro monitorování vody ve vodárenských zařízeních. Byla shromážděna data o schopnosti elektrické komunikace, životních nárocích *G. petersii*, vysoké citlivosti na toxické látky ve vodě a o schopnosti včas upozornit na změny v kvalitě vody svým změněným chováním a elektrickou aktivitou. Tyto vlastnosti z něj činí vhodného kandidáta pro monitorování vodních zdrojů.

Nicméně, zastupitelé vodáren v České republice plánují nadále využívat dosavadní bioindikátorové organizmy (pstruhy, siveny, jesetery a hrotnatky), jelikož jim tyto systémy fungují a jsou prověřeny několikaletou praxí. Zavedení *G. petersii* v České republice se v tuto chvíli zdá nereálné kvůli vysokým energetickým nákladům, které by museli být vynaložené na ohřev vody na přijatelnou teplotu pro tento druh. Možným řešením tohoto problému by mohla být spolupráce s firmou bbe Moldaenke na výrobě monitorovacího zařízení přizpůsobeného pro rypouny.

Využití *G. petersii* ve vodárenství vyžaduje další výzkum a vyvinutí strategií umožňujících jeho efektivní chov, zejména s ohledem na teplotní nároky tohoto druhu ryb. Doporučuje se také provést další výzkum, který by se zaměřil na reprodukční chování *G. petersii*, včetně identifikace optimálních podmínek pro množení v zajetí. Tyto poznatky by usnadnily chov a produkci tohoto druhu a zvýšili nabídky na trhu, zároveň by nemuselo docházet k odchytům rypounů z přírody. To by mohlo vést ke snížení prodejní ceny a pro konečné spotřebitele, jako jsou mimo jiné i vodárny, by chov a využití *G. petersii* bylo přitažlivější.

8 Literatura

- Kunz V. 2007. A ryba promluvila. Dostupné z <https://www.ceskatelevize.cz/porady/10121359557-port/207562241900030/0/80234-a-ryba-promluvila/> (viděno duben 14, 2024).
- Alazemi BM, Lewis JW, Andrews EB. 1996. Gill Damage in the Freshwater Fish *Gnathonemus Petersii* (Family: Mormyridae) Exposed to Selected Pollutants: An Ultrastructural Study. *Environmental Technology* **17**:225–238. <https://doi.org/10.1080/09593331708616381>.
- Amey-Özel M, Von Der Emde G, Engelmann J, Grant K. 2015. More a finger than a nose: The trigeminal motor and sensory innervation of the Schnauzenorgan in the elephant-nose Fish *Gnathonemus petersii*. *Journal of Comparative Neurology* **523**:769–789. <https://doi.org/10.1002/cne.23710>.
- Arnegard ME, Zwickl DJ, Lu Y, Zakon HH. 2010. Old gene duplication facilitates origin and diversification of an innovative communication system—twice. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **107**:22172–22177. <https://doi.org/10.1073/pnas.1011803107>.
- Bae MJ, Park YS. 2014. Biological early warning system based on the responses of aquatic organisms to disturbances: A review. *Science of The Total Environment* **466–467**:635–649. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.075>.
- Balon EK. 1995. Origin and domestication of the wild carp, *Cyprinus carpio*: from Roman gourmets to the swimming flowers. *Aquaculture* **129**:3–48. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00227-F](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00227-F).
- Bastian J. 1986. Electrolocation: behavior, anatomy and physiology. Strany 577–612 in Bullock TH, Heiligenberg J, editoři. *Electroreception*. John Wiley & Sons, New York. <https://doi.org/10.1007/0-387-28275-0>.
- bbe Moldaenke. 2021. ToxProtect II Fish as guardians of water quality. Dostupné z <https://www.ekotechnika.com/attachment/44.46fc90ddba/ekotechnika-bbe-brochure-toxprotect-II-en-2021.pdf> (viděno duben 13, 2024).
- bbe Moldaenke. 2022. Daphnia Toximetr II A powerful instrument for water toxicity assessment. Dostupné z <https://www.ekotechnika.com/attachment/53.25697a971f/ekotechnika--bbe--daphtox-II--brochure--en--2022.pdf> (viděno březem 3, 2024).
- Beghin M et al. 2022. Integrative multi-biomarker approach on caged rainbow trout: A biomonitoring tool for wastewater treatment plant effluents toxicity assessment. *Science of The Total Environment* **838**:155912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155912>.
- Bell CC. 1990. Mormyromast electroreceptor organs and their afferent fibers in mormyrid fish. III. Physiological differences between two morphological types of fibers. *Journal of Neurophysiology* **63**:319–332. <https://doi.org/10.1152/jn.1990.63.2.319>.
- Bell CC, Myers JP, Russell CJ. 1974. Electric organ discharge patterns during dominance related behavioral displays in *Gnathonemus petersii* (Mormyridae). *Journal of Comparative Physiology* **92**:201–228. <https://doi.org/10.1007/BF00694506>.
- Bennett MVL. 1971. Electric Organs. Strany 347–491 *Fish Physiology*. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60051-5](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60051-5).
- Blake BF. 1977a. Aspects of the reproductive biology of *Hippopotamys pictus* from Lake Kainji, with notes on four other mormyrid species. *Journal of Fish Biology* **11**:437–445. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1977.tb04138.x>.

- Blake BF. 1977b. Food and feeding of the mormyrid fishes of Lake Kainji, Nigeria, with special reference to seasonal variation and interspecific differences. *Journal of Fish Biology* **11**:315–328. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1977.tb04125.x>.
- Blübaum-Gronau E. 1994. The 'Koblenz behavioral fish test', an automated biotest based on the video processing system BehaviQuantR for monitoring of water quality. *Schriftenreihe des Vereins für Boden-, Wasser- und Lufthygiene* **93**:87–117.
- Blübaum-Gronau E, Hoffmann M, Spieser OH, Scholz W. 2001. Continuous Water Monitoring. Strany 123–141 in Butterworth FM, Gunatilaka A, Gensebatt ME, editors. *Biomonitoring and Biomarkers as Indicators of Environmental Change 2*. Springer US, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1305-6_8.
- Bownik A. 2017. Daphnia swimming behaviour as a biomarker in toxicity assessment: A review. *Science of The Total Environment* **601–602**:194–205. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.199>.
- Branson EJ, editor. 2008. *Fish welfare*. Blackwell Pub., Oxford.
- Brinkhuizen DC. 2020. Some notes on recent and pre-and protohistoric fishing gear from Northwestern Europe. Strany 7–53 *Palaeohistoria* 25 (1983). CRC Press.
- Bullock TH. 1973. Seeing the world through a new sense: electroreception in fish: sharks, catfish, and electric fish use low- or high-frequency electroreceptors, actively and passively, in object detection and social communication. *American Scientist* **61**:316–325.
- Cairns J, Dickson KL, Sparks RE, Waller WT. 1970. A Preliminary Report on Rapid Biological Information Systems for Water Pollution Control. *Journal (Water Pollution Control Federation)* **42**:685–703.
- Cairns JJr, Mount DI. 1990. Aquatic toxicology. Part 2. *Environmental Science & Technology* **24**:154–161. <https://doi.org/10.1021/es00072a001>.
- Campbell PR, Lewis JW, Toms IP. 1990. Microcomputer-based detection and analysis of the electric organ discharges in the mormyrid fish *gnathonemus petersi*. *Environmental Technology* **11**:41–50. <https://doi.org/10.1080/09593339009384837>.
- Caputi AA, Budelli R, Grant K, Bell CC. 1998. The Electric Image in Weakly Electric Fish: Physical Images of Resistive Objects in *Gnathonemus Petersii*. *Journal of Experimental Biology* **201**:2115–2128. <https://doi.org/10.1242/jeb.201.14.2115>.
- Clausen J, Van Wijk R, Albrecht H. 2012. Weakly electric fish for biomonitoring water quality. *Environmental Technology* **33**:1089–1099. <https://doi.org/10.1080/09593330.2011.610827>.
- Davies G. 2014. Searching for GloFish®: Aesthetics, Ethics, and Encounters with the Neon Baroque. *Environment and Planning A: Economy and Space* **46**:2604–2621. <https://doi.org/10.1068/a46271>.
- Dvořák V. 2012. Sportovní a rekreační rybaření v cestovním ruchu. Diplomová práce. Univerzita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Fawell J, Nieuwenhuijsen MJ. 2003. Contaminants in drinking water. *British Medical Bulletin* **68**:199–208. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg027>.
- Fiakos G, Kuang Z, Lo E. 2020. Improved skin regeneration with acellular fish skin grafts. *Engineered Regeneration* **1**:95–101. <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2020.09.002>.
- Fine AH, editor. 2010. *Handbook on animal-assisted therapy: theoretical foundations and guidelines for practice* 3rd. Ed. Elsevier Academic Press, Amsterdam Heidelberg.
- fishbase.se. (b.r.). FAMILY Details for Mormyridae - Elephantfishes. Dostupné z <https://fishbase.se/summary/FamilySummary.php?ID=40> (viděno duben 1, 2024).
- Geller W. 1984. A toxicity warning monitor using the weakly electric fish, *Gnathonemus petersi*. *Water Research* **18**:1285–1290. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(84\)90034-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(84)90034-4).

- Gianferrari L. 1932. Pesci raccolti in Africa dalla spedizione Baragiola-Durini. *Atti della Società italiana di scienze naturali e del Museo Civico di Storia naturale di Milano* **71**:138–144.
- Gong Z, Wan H, Tay TL, Wang H, Chen M, Yan T. 2003. Development of transgenic fish for ornamental and bioreactor by strong expression of fluorescent proteins in the skeletal muscle. *Biochemical and Biophysical Research Communications* **308**:58–63. [https://doi.org/10.1016/S0006-291X\(03\)01282-8](https://doi.org/10.1016/S0006-291X(03)01282-8).
- Gruber D, Frago CH, Rasnake WJ. 1994. Automated biomonitors — first line of defense. *Aquat Ecosyst Stress Recov* **3**:87–92. <https://doi.org/10.1007/BF00042938>.
- Guillaud E, Béarez P, Daujeard C, Defleur AR, Desclaux E, Roselló-Izquierdo E, Morales-Muñiz A, Moncel M-H. 2021. Neanderthal foraging in freshwater ecosystems: A reappraisal of the Middle Paleolithic archaeological fish record from continental Western Europe. *Quaternary Science Reviews* **252**:106731. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106731>.
- Günther ACLG. 1862. Eine neue art von Mormyrus. *Archiv für Naturgeschichte* **28**:64.
- Gupta N, Kanagavel A, Dandekar P, Dahanukar N, Sivakumar K, Mathur VB, Raghavan R. 2016. God's fishes: religion, culture and freshwater fish conservation in India. *Oryx* **50**:244–249. <https://doi.org/10.1017/S0030605315000691>.
- Hanel Lubomír. 2002. *Akvaristika: biologie a chov vodních živočichů. I., Obecná část2.,* přeprac. vyd. Karolinum, Praha.
- Hanika S, Kramer B. 1999. Electric Organ Discharges of Mormyrid Fish as a Possible Cue for Predatory Catfish. *Naturwissenschaften* **86**:286–288. <https://doi.org/10.1007/s001140050616>.
- Hardy BL, Moncel M-H. 2011. Neanderthal Use of Fish, Mammals, Birds, Starchy Plants and Wood 125-250,000 Years Ago. *PLoS ONE* **6**:e23768. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023768>.
- He K. 2002. Fish Consumption and Risk of Stroke in Men. *JAMA* **288**:3130. <https://doi.org/10.1001/jama.288.24.3130>.
- Heiligenberg W. 1977. *Principles of Electrolocation and Jamming Avoidance in Electric Fish: a Neuroethological Approach.* Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Hopkins CD. 1974. Electric communication in fish. *American Scientist* **62**:426–437.
- Hopkins CD. 1981. On the Diversity of Electric Signals in a Community of Mormyrid Electric Fish in West Africa. *American Zoologist* **21**:211–222. <https://doi.org/10.1093/icb/21.1.211>.
- Hopkins CD. 1986. Behavior of mormyridae. *Strany 527–576 Electroreception.* John Wiley & Sons, New York.
- Hopkins CD, Bass AH. 1981. Temporal Coding of Species Recognition Signals in An Electric Fish. *Science* **212**:85–87. <https://doi.org/10.1126/science.7209524>.
- Huntingford FA, Adams C, Braithwaite VA, Kadri S, Pottinger TG, Sandøe P, Turnbull JF. 2006. Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology* **68**:332–372. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.001046.x>.
- IUCN. 2019, září 3. *Gnathonemus petersii*: Olaosebikan, B.D., Awaïss, A., Moelants, T. & Lalèyè, P.: The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T181553A134970864. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T181553A134970864.en> Dostupné z <https://www.iucnredlist.org/species/181553/134970864> (viděno únor 29, 2024).
- Jung SN, Künzel S, Engelmann J. 2019. Spatial learning through active electroreception in *Gnathonemus petersii*. *Animal Behaviour* **156**:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2019.06.029>.
- Kalmijn AdJ. 1974. The Detection of Electric Fields from Inanimate and Animate Sources Other Than Electric Organs. *Strany 147–200* in Fessard A, editor. *Electroreceptors*

- and Other Specialized Receptors in Lower Vertebrates. Handbook of Sensory Physiology. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-65926-3_5.
- Kamoun S. 2004. Pet breeding has a long and colourful history. *Nature* **427**:485–485.
<https://doi.org/10.1038/427485d>.
- Kane AS, Salierno JD, Gipson GT, Molteno TCA, Hunter C. 2004. A video-based movement analysis system to quantify behavioral stress responses of fish. *Water Research* **38**:3993–4001. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.028>.
- Kant LH. 1993. The interpretation of religious symbols in the Greco-Roman world: A case study of Early Christian fish symbolism (Volumes I-III). Dissertation. Yale University.
- Katcher AH. 1983. Looking, talking, and blood pressure: the physiological consequences of interacting with the living environment. *Strany* 351–359 New perspectives on our lives with companion animals. University of Pennsylvania Press, Philadelphia.
- Kellaway P. 1946. The part played by electric fish in the early history of bioelectricity and electrotherapy. *Bulletin of the History of Medicine* **20**:112–137.
- Kirkpatrick AJ, Gerhardt A, Dick JTA, McKenna M, Berges JA. 2006. Use of the multispecies freshwater biomonitor to assess behavioral changes of *Corophium volutator* (Pallas, 1766) (Crustacea, Amphipoda) in response to toxicant exposure in sediment. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **64**:298–303.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.07.003>.
- Kirschbaum F et al. 2016. Intra-genus (*Campylomormyrus*) and inter-genus hybrids in mormyrid fish: Physiological and histological investigations of the electric organ ontogeny. *Journal of Physiology-Paris* **110**:281–301.
<https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2017.01.003>.
- Kirschbaum F, Schugardt C. 2002. Reproductive strategies and developmental aspects in mormyrid and gymnotiform fishes. *Journal of Physiology-Paris* **96**:557–566.
[https://doi.org/10.1016/S0928-4257\(03\)00011-1](https://doi.org/10.1016/S0928-4257(03)00011-1).
- Korniienko Y, Nzimora KC, Vater M, Tiedemann R, Kirschbaum F. 2022. Intergenous F1-hybrids of African weakly electric fish (Mormyridae: *Gnathonemus petersii* ♂ × *Campylomormyrus compressirostris* ♀) are fertile. *Journal of Comparative Physiology A* **208**:355–371. <https://doi.org/10.1007/s00359-022-01542-5>.
- Kramer B, Bauer R. 1976. Agonistic behaviour and electric signalling in a mormyrid fish, *Gnathonemus petersii*. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **1**:45–61.
<https://doi.org/10.1007/BF00299952>.
- Kramer KJM. 2009. Continuous Monitoring of Waters by Biological Early Warning Systems. *Strany* 197–219 in Gonzalez C, Greenwood R, Quevauviller P, editoři. *Water Quality Measurements*, 1. vydání. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470745427.ch3e>.
- Kramer KJM, Botterweg J. 1991. Aquatic biological early warning systems: an overview. *Strany* 95–126 *Bioindicators and Environmental Management*. Academic press, Kent.
- Kučerová K. 2012. Historie, vývoj a současné chovatelské trendy akvaristiky. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta.
- Landsberger M, Von Der Emde G, Haverkate D, Schuster S, Gentsch J, Ulbricht E, Reichenbach A, Makarov F, Wagner H-J. 2008. Dim light vision – Morphological and functional adaptations of the eye of the mormyrid fish, *Gnathonemus petersii*. *Journal of Physiology-Paris* **102**:291–303. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2008.10.015>.
- Landsman RE. 1993a. The effects of captivity on the electric organ discharge and plasma hormone levels in *Gnathonemus petersii* (Mormyriiformes). *Journal of Comparative Physiology A* **172**:619–631. <https://doi.org/10.1007/BF00213684>.

- Landsman RE. 1993b. Sex differences in external morphology and electric organ discharges in imported *Gnathonemus petersii* (Mormyriiformes). *Animal Behaviour* **46**:417–429. <https://doi.org/10.1006/anbe.1993.1211>.
- Lewis JW, Kay AN. 1991. The effect of temperature on electric organ activity in two species of *Gnathonemus* (family mormyridae). *Environmental Technology* **12**:815–819. <https://doi.org/10.1080/09593339109385073>.
- Lewis JW, Kay AN, Hanna NS. 1992. Responses of the electric fish *Gnathonemus tamandua* (family mormyridae) to changes in pH. *Environmental Technology* **13**:701–705. <https://doi.org/10.1080/09593339209385201>.
- Lewis JW, Kay AN, Hanna NS. 1995. Responses of electric fish (family mormyridae) to inorganic nutrients and triubinyrtin oxide. *Chemosphere* **31**:3753–3769. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(95\)00250-C](https://doi.org/10.1016/0045-6535(95)00250-C).
- Ling SW, Mumaw L. 1977. *Aquaculture in Southeast Asia: a historical overview*. A Washington sea grant publication. University of Washington Press, Seattle.
- Lissmann HW. 1958. On the Function and Evolution of Electric Organs in Fish. *Journal of Experimental Biology* **35**:156–191. <https://doi.org/10.1242/jeb.35.1.156>.
- Little EE, Archeski RD, Flerov BA, Kozlovskaya VI. 1990. Behavioral indicators of sublethal toxicity in rainbow trout. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **19**:380–385. <https://doi.org/10.1007/BF01054982>.
- Lyach R. 2018. The role of fish-eating predators and socio-economic trends in recreational fishing. Dizertační práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí, Praha.
- Maršálek B, Gregor J, Babica P. 2004. Detekce cyanotoxinů ve vodárenských systémech. Strany 181–184. W&ET Team, České Budějovice.
- McEwan MR. 1938. A COMPARISON OF THE RETINA OF THE MORMYRIDS WITH THAT OF VARIOUS OTHER TELEOSTS. *Acta Zoologica* **19**:427–465. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6395.1938.tb00692.x>.
- Ministerstvo životního prostředí. 2023. Ceník pro stanovení škod na rybích obsádkách dle vyhlášky č. 126/2021 Sb. platný od 1.7.2023. Dostupné z [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zvlaste_chranene_druhy/\\$FILE/ODOIM_Z-cenik_ryb_akt_2023-20230821.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zvlaste_chranene_druhy/$FILE/ODOIM_Z-cenik_ryb_akt_2023-20230821.pdf) (viděno březen 9, 2024).
- Mink JW, Blumenshine RJ, Adams DB. 1981. Ratio of central nervous system to body metabolism in vertebrates: its constancy and functional basis. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* **241**:R203–R212. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1981.241.3.R203>.
- Moller P. 1970. ‘Communication’ in weakly electric fish, *Gnathonemus niger* (Mormyridae) I. Variation of electric organ discharge (EOD) frequency elicited by controlled electric stimuli. *Animal Behaviour* **18**:768–786. [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(70\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0003-3472(70)90026-6).
- Moller P. 1976. Electric Signals and Schooling Behavior in a Weakly Electric Fish, *Marcusenius cyprinoides* L. (Mormyriiformes). *Science* **193**:697–699. <https://doi.org/10.1126/science.948747>.
- Moller P. 1980. Electroreception and the behaviour of mormyrid electric fish. *Trends in Neurosciences* **3**:105–109. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(80\)90041-7](https://doi.org/10.1016/0166-2236(80)90041-7).
- Moller P. 1995. *Electric fishes: history and behavior* 1st ed. Chapman & Hall fish and fisheries series 17. Chapman & Hall, London ; New York.
- Moller P, Serrier J, Squire A, Boudinot M. 1982. Social spacing in the mormyrid fish *Gnathonemus petersii* (Pisces): A multisensory approach. *Animal Behaviour* **30**:641–650. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(82\)80134-6](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(82)80134-6).

- Morales DV. 2022. Behavioral and Physiological Effects of Heavy Metals on Fish: A Review and Preliminary Results. CUNY Academic Works.
- Morales-Muñiz DC. 1996. El simbolismo animal en la cultura medieval. *Espacio Tiempo y Forma. Serie III, Historia Medieval*:229–255.
- Moritz T. 2010. Fishes of Iguidi River – a small forest stream in South-East Benin. *Ichthyological Exploration of Freshwaters* **21**:9.
- Moyle PB, Moyle MA. 1991. Introduction to fish imagery in art. *Environmental Biology of Fishes* **31**:5–23. <https://doi.org/10.1007/BF00002153>.
- Nam YK, Maclean N, Fu C, Pandian TJ, Eguia MRR. 2007. Development of transgenic fish: scientific background. Strany 61–94 in Kapuscinski AR, Hayes KR, Li S, Dana G, Hallerman EM, Schei PJ, editoři. *Environmental risk assessment of genetically modified organisms, Volume 3. Methodologies for transgenic fish*, 1. vydání. CABI, UK. <https://doi.org/10.1079/9781845932961.0061>.
- Nana PA, Nyamsi Tchatcho NL, Mama AC, Onana FM, Kamogne Nono D, Bassirou H, Bitja Nyom AR. 2023. Functional diversity of the fish fauna in the Nyong estuary (Atlantic Coast, Cameroon), and its correlation with environmental variables. *Heliyon* **9**:e15649. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15649>.
- Ng HBG, Lam SH, Sukardi H, Gong Z. 2011. Potential Applications of Transgenic Fish to Environmental Monitoring and Toxicology. Strany 267–280 in Fletcher GL, Rise ML, editoři. *Aquaculture Biotechnology*, 1. vydání. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470963159.ch17>.
- Nguyen L, Paul C, Mamonekene V, Bartsch P, Tiedemann R, Kirschbaum F. 2017. Reproduction and development in some species of the weakly electric genus *Campylomormyrus* (Mormyridae, Teleostei). *Environmental Biology of Fishes* **100**:49–68. <https://doi.org/10.1007/s10641-016-0554-1>.
- Nieuwenhuys R, Nicholson C. 1967. Cerebellum of Mormyrids. *Nature* **215**:764–765. <https://doi.org/10.1038/215764a0>.
- Nilsson GE. 1996. Brain and Body Oxygen Requirements of *Gnathonemus Petersii*, a Fish with an Exceptionally Large Brain. *Journal of Experimental Biology* **199**:603–607. <https://doi.org/10.1242/jeb.199.3.603>.
- Okedi J. 1965. The biology and habits of the Mormyrid fishes: *Gnathonemus longibarbis*, *G. victoriae*, *Marcusenius grahami*, *M. nigricans*, *Petrocephalus catostoma*. *J. appl. Ecol* **2**:408–409.
- Patton BW, Braithwaite VA. 2015. Changing tides: ecological and historical perspectives on fish cognition. *WIREs Cognitive Science* **6**:159–176. <https://doi.org/10.1002/wcs.1337>.
- Paulin MG. 1993. The Role of the Cerebellum in Motor Control and Perception. *Brain, Behavior and Evolution* **41**:39–50. <https://doi.org/10.1159/000113822>.
- Peters WCH. 1852. *Naturwissenschaftliche Reise nach Mossambique, auf Befehl Seiner Majestät des Königs Friedrich Wilhelm IV, in den Jahren 1842 bis 1848 ausgeführt, von Wilhelm C. H. Peters*. Zoologie. G. Reimer, Berlin. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.48863>.
- Pezzanite B, Moller P. 1998. A sexually dimorphic basal anal-fin ray expansion in the weakly discharging electric fish *Gnathonemus petersii*. *Journal of Fish Biology* **53**:638–644. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1998.tb01007.x>.
- Pillay TVR, Kutty MN. 2005. *Aquaculture: principles and practices* 2nd ed. Blackwell Pub, Oxford, UK ; Ames, IA.
- Poels CLM, Van Der Gaag MA, Van De Kerkhoff JFJ. 1980. An investigation into the long-term effects of rhine water on rainbow trout. *Water Research* **14**:1029–1035. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90148-7](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90148-7).

- Rakers S, Gebert M, Uppalapati S, Meyer W, Maderson P, Sell AF, Kruse C, Paus R. 2010. 'Fish matters': the relevance of fish skin biology to investigative dermatology. *Experimental Dermatology* **19**:313–324. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0625.2009.01059.x>.
- Randák T. 2011. Využití pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) pro účely ekotoxikologického monitoringu kvality vody. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod.
- Randák T, Pokorný J. 2001. Využití pstruha duhového ke kontrole vody přiváděné do úpraven pitné vody (Use of rainbow trout for checking water inflowing to the drinking water purification plants). Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, Vodňany.
- Robledo D, Palaiokostas C, Bargelloni L, Martínez P, Houston R. 2018. Applications of genotyping by sequencing in aquaculture breeding and genetics. *Reviews in Aquaculture* **10**:670–682. <https://doi.org/10.1111/raq.12193>.
- Sahrhage D, Lundbeck J. 2012. *A History of Fishing*. Springer Science & Business Media, Berlin, Heidelberg.
- Schluger JH, Hopkins CD. 1987. Electric fish approach stationary signal sources by following electric current lines. *Journal of Experimental Biology* **130**:359–367. <https://doi.org/10.1242/jeb.130.1.359>.
- Schwarz S, Von Der Emde G. 2001. Distance discrimination during active electrolocation in the weakly electric fish *Gnathonemus petersii*. *Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* **186**:1185–1197. <https://doi.org/10.1007/s003590000170>.
- Smith W. 1968. Message-meaning analyses. Strana ANIMAL COMMUNICATION techniques of study and results of research. E-CONTENT GENERIC VENDOR, S.I.
- Sneddon LU. 2002. Anatomical and electrophysiological analysis of the trigeminal nerve in a teleost fish, *Oncorhynchus mykiss*. *Neuroscience Letters* **319**:167–171. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(01\)02584-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)02584-8).
- Sneddon LU, Gentle MJ. 2002. Receptor types on the head of the rainbow trout: are nociceptors present. *Comparative Biochemistry and Physiology: A. Comparative Physiology* **32**:S42.
- Soldán P. 2011. Possible way to substantial improvement of early warning system in the International Odra (Oder) River Basin. *Environmental Monitoring and Assessment* **178**:349–359. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1694-y>.
- Soldán P, Rambousek L. 2020. Zkvalitnění monitoringu biologické kvality pitných vod. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* **62**:26. <https://doi.org/10.46555/VTEI.2020.02.002>.
- Stickney RR, Treece GD. 2012. History of Aquaculture. Strany 15–50 *Aquaculture Production Systems*, 1. vydání. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch2>.
- Terleph TA, Moller P. 2003. Effects of social interaction on the electric organ discharge in a mormyrid fish, *Gnathonemus petersii* (Mormyridae, Teleostei). *Journal of Experimental Biology* **206**:2355–2362. <https://doi.org/10.1242/jeb.00437>.
- Tyler CR, Spary C, Gibson R, Santos EM, Shears J, Hill EM. 2005. Accounting for Differences in Estrogenic Responses in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*: Salmonidae) and Roach (*Rutilus rutilus*: Cyprinidae) Exposed to Effluents from Wastewater Treatment Works. *Environmental Science & Technology* **39**:2599–2607. <https://doi.org/10.1021/es0488939>.
- Vallejo JR, González JA. 2014. Fish-based remedies in Spanish ethnomedicine: a review from a historical perspective. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* **10**:37. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-37>.

- Van Der Schalie WH, Shedd TR, Knechtges PL, Widder MW. 2001. Using higher organisms in biological early warning systems for real-time toxicity detection. *Biosensors and Bioelectronics* **16**:457–465. [https://doi.org/10.1016/S0956-5663\(01\)00160-9](https://doi.org/10.1016/S0956-5663(01)00160-9).
- Van Eenennaam AL. 2005. Genetic Engineering and Fish. University of California, Agriculture and Natural Resources. <https://doi.org/10.3733/ucanr.8185>.
- Van Leeuwen FXR. 2000. Safe drinking water: the toxicologist's approach. *Food and Chemical Toxicology* **38**:S51–S58. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(99\)00140-4](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(99)00140-4).
- Velde H te. 1977. Seth, God of Confusion: a study of his role in Egyptian mythology and religion. 2d. ed. *Probleme der Ägyptologie* 6. Bd. E.J. Brill, Leiden.
- Vlachová H. 2011. Potravinový terorismus a agroterorismus. *Vojenské rozhledy* **20 (52)**:160–168.
- Von Der Emde G. 1999. Active electrolocation of objects in weakly electric fish. *Journal of Experimental Biology* **202**:1205–1215. <https://doi.org/10.1242/jeb.202.10.1205>.
- Von Der Emde G, Amey M, Engelmann J, Fetz S, Folde C, Hollmann M, Metzen M, Pusch R. 2008. Active electrolocation in *Gnathonemus petersii*: Behaviour, sensory performance, and receptor systems. *Journal of Physiology-Paris* **102**:279–290. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2008.10.017>.
- Von Der Emde G, Bleckmann H. 1998. Finding Food: Senses Involved in Foraging for Insect Larvae in the Electric Fish *Gnathonemus Petersii*. *Journal of Experimental Biology* **201**:969–980. <https://doi.org/10.1242/jeb.201.7.969>.
- Von Der Emde G, Schwarz S. 2002. Imaging of Objects through active electrolocation in *Gnathonemus petersii*. *Journal of Physiology-Paris* **96**:431–444. [https://doi.org/10.1016/S0928-4257\(03\)00021-4](https://doi.org/10.1016/S0928-4257(03)00021-4).
- Webster J, Špinko M. 1999. Welfare: životní pohoda zvířat, aneb, Střízlivé kázání o ráji: konstruktivní přístup k problému vlády člověka nad zvířaty. Nadace na ochranu zvířat, Praha.
- Xu-Friedman MA, Hopkins CD. 1999. Central mechanisms of temporal analysis in the knollenorgan pathway of mormyrid electric fish. *Journal of Experimental Biology* **202**:1311–1318. <https://doi.org/10.1242/jeb.202.10.1311>.
- Zanchett G, Oliveira-Filho E. 2013. Cyanobacteria and Cyanotoxins: From Impacts on Aquatic Ecosystems and Human Health to Anticarcinogenic Effects. *Toxins* **5**:1896–1917. <https://doi.org/10.3390/toxins5101896>.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

EOD = electric organ discharges

BSVV = biologický systém včasného varování

