

Monitoring katadromní migrace úhoře říčního

(*Anguilla anguilla*)



**Tereza Barteková
a kolektiv**
Praha 2017

VÚV
TGM

ICELAND
LIECHTENSTEIN
NORWAY
eea
grants

norway
grants

Monitoring katadromní migrace úhoře říčního (*Anguilla anguilla*)

**Tereza Barteková, Jiří Musil, Tomáš Daněk
a Miroslav Barankiewicz**

Citace dokumentu

Barteková, T., Musil, J., Daněk, T., Barankiewicz, M. (2017). Monitoring katadromní migrace úhoře říčního, *Anguilla anguilla*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, veřejně výzkumná instituce, Praha 27 pp.

Autorský tým

Tereza Barteková^{1,2}, Jiří Musil^{1,*}, Tomáš Daněk¹, Miroslav Barankiewicz^{1,2}

¹Oddělení ekologie vodních organismů, Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 30, 160 00 Praha 6

²Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, katedra Zoologie a rybářství, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchbátka

*autor pro korespondenci

Vydal Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v.v.i.
Praha 2017



Výzkumný ústav
vodohospodářský
T. G. Masaryka
veřejná výzkumná instituce

Ministerstvo životního prostředí



OBSAH

1.	Účel publikace	5
2.	Úvod do problematiky	5
2.1.	Úhoř říční	5
2.2.	Legislativní rámec	7
2.3.	Hydroenergetika v ČR	10
3.	Poproudová reprodukční migrace úhoře na území ČR	12
3.1.	Časové aspekty katadromní migrace	13
3.2.	Faktory negativně ovlivňující katadromní migraci	13
4.	Opatření snižující mortalitu úhoře při poproudové migraci na migračních bariérách	15
4.1.	Pevné (mechanické) zábrany – česle	15
4.2.	Behaviorální zábrany	17
4.3.	Turbíny šetrné k rybám („fish friendly“ turbíny)	21
4.4.	Alternativní migrační cesty a jejich konstrukce	23
4.5.	Zabezpečení technických odběrů vody proti vniknutí úhořů (čerpací stanice)	24
5.	Zhodnocení účinnosti jednotlivých opatření a doporučení pro praxi v podmínkách ČR	26
6.	Literatura.	28
7.	Poděkování	31

1. ÚČEL PUBLIKACE

Tato publikace vznikla za účelem zlepšení podmínek při katadromní poproudové migraci vodních organismů, v tomto konkrétním případě vysoce ohroženého katadromního druhu úhoře říčního *Anguilla anguilla*. Jedná se především o sumarizaci nápravných opatření k zlepšení podmínek při jejich reprodukční migraci na území České republiky ve smyslu Nařízení Rady EC 1100/2007.

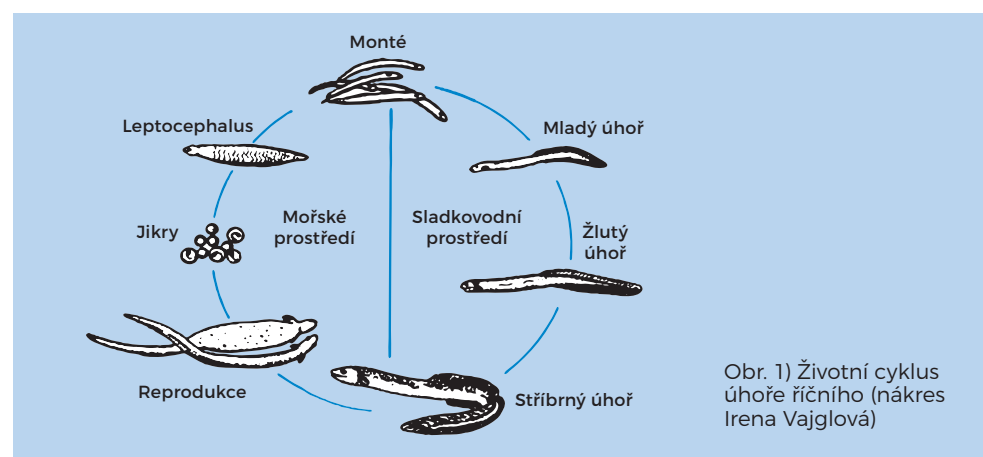
2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Vlivem mnoha antropogenních tlaků došlo v posledních desetiletích k rapidnímu poklesu populace hoře říčního (*Anguilla anguilla*) a to až na 1 % jeho historické početnosti. Došlo především ke snížení kvantity celkové populace, nikoliv kvality jednotlivců. Mezi faktory ovlivňující tento alarmující stav se řadí 1) klimatické změny, které mají vliv na chod Golského proudu využívaný larvami úhořů tzv. *Lepthocephalus* k transportu z místa vzniku k evropským břehům, 2) habitatová degradace přirozených stanovišť těchto ryb, 3) invaze nepůvodního parazita *Anguillicola carassus*, který cizopasí v plynovém měchýři úhoře a negativně ovlivňuje jeho orientační schopnosti při reprodukční migraci 4) nadměrný lov, zejména mladých úhořů - tzv. monté, který je již částečně regulován 5) fragmentace říčních toků a s ní spojená jejich neprůchodnost 6) turbínová mortalita, která má na úhoře díky jeho hadovitému tvaru těla značný vliv. Vzhledem ke kritickému stavu tohoto druhu vydala evropská komise nařízení pro zlepšení stavu jeho populace. Vzhledem k zeměpisné poloze České republiky se je nezbytné zaměřit pozornost především k výše uvedeným problematickým bodům č. 5 a 6, týkající se nízké migrační průchodnosti říční sítě a nedostatečných nápravných opatření proti vniknutí do těles malých vodních elektráren při poproudové migraci.

2.1. ÚHOŘ ŘÍČNÍ

Výskyt druhu této neobvyklé ryby je na evropském kontinentu původní v úmoří Severního, Baltského a Středozevního moře. Z toho vyplývá, že ačkoliv se na našem území vyskytuje i v povodí řeky Moravy, která vtéká do Černého moře, není tato ryba zde původní a její přítomnost je zde vlivem lidské činnosti. Původní areál rozšíření tzv.

povodí úhoře je vázáno na území České republiky na povodí řeky Labe a Odry. Dospělí jedinci úhoře říčního se rozmnožují v hlubinách Sargasového moře. Po naklazení jiker se z nich zde vykulí larvy úhořů tzv. leptocephaly, které jsou průsvitné a mají tvar vrbového listu. Tyto larvy jsou za pomoci Golfského proudu unášeny k evropským břehům, kam dorazí přibližně po půl roce pasivního driftování jako malí úhoři tzv. monté. V příbřežní linii se tito zatím pohlavně nevyprofilovaní jedinci rozdělí, část zůstává ve slané mořské vodě (z té se stanou samci) a část migruje ústím řek proti proudu do nitra kontinentu (z té se působením sladké vody vyvinou samice). Tyto samice se usídlí na příhodném místě v říčním toku, kde v průměru za 8-12 let dosáhnou dospělosti. Toto stádium dospělce připraveného ke katadromní reprodukční migraci je detekovatelné pomocí zjevných morfologických znaků. Především dojde ke změně zbarvení z olivově zelené, typické pro tzv. stadium žlutého úhoře, na temně černou na hřbetní straně a metalicky perleťově bílou na břišní části. Z této změny zbarvení se odvíjí i název tohoto stádia životního cyklu – tzv. stříbrný úhoř. Dále se v oblasti postranní čáry vyrýsují v podélném profilu těla tzv. melanofory. Dojde i k dalším změnám okem hůře postřehnutelným jako je zvětšení prsních ploutví a očí, což je předběžná adaptace na migraci v mořském prostředí, která je uskutečňována ve větších hloubkách. Celý životní cyklus je znázorněn na obr. 1. Během reprodukční migrace může dospělý jedinec při cestě zpět do Sargasového moře urazit až 6 000 km. Po aktu rozmnožování, jehož okolnosti nejsou prozatím podrobněji objasněny, dospělci umírají a celý cyklus se opakuje. Díky tomuto složitému životnímu cyklu úhoře a při současném stavu životního prostředí je jeho populace velmi zranitelná.



2.2. LEGISLATIVNÍ RÁMEC

2.2.1. Opatření na evropské úrovni a k ní se vztahující národní plány

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem alarmujícího stavu celosvětové populace úhoře říčního se Evropská unie rozhodla v roce 2007 přistoupit k vydání řady opatření v podobě Nařízení Rady ES č. 1100/2007, kterým se stanoví opatření pro obnovu populace úhoře říčního, *Anguilla anguilla*. Cílem tohoto v podstatě evropského záchranného programu úhoře je na úrovni jednotlivého členského státu (ČS), nastolit opatření k znovuoživení populace úhoře, která jsou odvislá od geografické polohy ČS, stádia v jakém se na jeho území jedinci tohoto druhu vyskytují a negativních faktorech ovlivňující jedince v kterékoliv fázi jeho životního cyklu. Na území České republiky se v rámci přeshraniční spolupráce vztahuje především navrzení a realizace takových opatření, která budou umožňovat katadromní reprodukční migraci úhoře mimo území daného ČS pro minimálně 40% biomasy populace úhoře vzhledem k jeho historické početnosti před negativním ovlivněním člověkem v rámci tzv. plánu managementu úhoře (the Eel Management Plan - EMP). Součástí každého EMP, který musí být řídicím orgánem EU schválen, je kromě návrhu a predikce účinnosti jednotlivých opatření také časový harmonogram, do kdy bude tento cíl splněn. Plán managementu ČR je řízen Ministerstvem zemědělství (MZE) a byl zpracován Výzkumným ústavem vodohospodářským, veřejnou výzkumnou institucí (VUV T.G.M., v.v.i.). Tento plán obsahuje nápravná opatření mj. opatření k snížení turbínové mortality a požadavek na její monitoring s následným reportingem stavu, EMP ČR je provázán s řešením fragmentace říční sítě v ČR v obecné rovině s odkazem na Koncepti zprůchodnění, jako důsledek současného stavu turbínové mortality úhoře, resp. před nápravou tohoto stavu, kterou vyžaduje, je v současnosti aplikováno řízené nasazování úhoře do z pohledu turbínové mortality nejméně rizikových povodí a hlavních migračních koridorů aj. Doporučení v rámci EMP sice nejsou zcela závazná, ale odkazují se na další legislativní dokumenty a opatření musí vést k splnění cíle Nařízení, které představuje nejvyšší legislativní rámec EU (není implementováno, ale nařízeno). Každý EMP je v rámci EU expertní skupiny předmětem periodické evaluace včetně kontroly nápravných opatření, které jsou vázány především na poproudovou reprodukční migraci úhoře a problematiky MVE se tak zcela přímo týkají.

Nejvýznamnějším zákonem v oblasti problematiky fragmentace říční sítě je zákon o vodách č. 254/2001 Sb., který je formou implementace **Směrnice Evropského parlamentu a rady 2000/60/ES** ustavující rámec činnosti Společenství v oblasti vodní politiky (tzv. Rámcová směrnice o vodách). Cílem této směrnice je komplexní ochrana vodních ekosystémů, konkrétně prevence před degradací vodních toků, realizace nápravných opatření s cílem dosažení co nejpříznivějšího ekologického stavu, který je formou plánu povodí periodicky kvantifikován s požadavky nápravy. Součástí je tzv. ekologické hodnocení na základě biologických složek (makrofyta, makrozoobentos, ryby) a vzhledem k hydroenergetickým stavbách je velmi důležité hodnocení hydromorfologického stavu vodního prostředí, které zahrnuje obnovu a hodnocení říčního kontinua a má tedy přímou vazbu na obnovu obousměrnou migrace vodních organismů. Tato směrnice a "vodní zákon" představují v současnosti nejvýznamnější legislativní rámec především z pohledu jasně definované terminologie, definovaných cílů, požadavků a realizace monitoringu, vlastního hodnocení a vazbou na nápravná opatření.

2.2.2. Opatření na národní úrovni

Ve vodním zákoně (254/2001 Sb.) je podstatný především § 15 odstavec 6, ve kterém je stanoveno, že při povolování výstavby vodních děl vodoprávními úřady, jejich změn, změn jejich užívání a pro jejich odstranění musí být zohledněna ochrana vodních a na vodu vázaných ekosystémů. Tato vodní díla nesmějí vytvářet bariéry pohybu ryb a vodních živočichů v obou směrech vodního toku. K otázce problematiky MVE je významný rovněž § 36, který pojednává o minimálních zůstatkových průtocích, podle odstavce 1 je to průtok povrchových vod, který ještě umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku. Podle odstavce 2 hodnoty těchto průtoků stanoví vodoprávní úřad. Nedodržení těchto nařízení je sankcionováno podle § 116 odstavec 1 písmeno d) 57.

Hydroenergetické stavby a jejich environmetální rizika je nezbytné zohlednit i v rámci závazků vyplývajících ze směrnice Rady č. 92/43/EHS o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin, na jejímž základě se vyhláší evropsky významné lokality soustavy NATURA 2000. Nároky na ochranu evropsky významných druhů a stanovišť mohou vyžadovat zajištění migrační propustnosti vodních toků (obnovu obousměrné migrace) i konkrétní řešení environ-

mentálních rizik spojených s MVE jako jeden z hlavních předpokladů udržení populace zájmového (naturového) druhu v příznivém stavu.

Problematiky zprůchodňování migračních bariér na vodních tocích včetně hydroenergetických staveb se týkají rovněž ustanovení Zákona 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny, především § 4 odstavce 2, podle kterého jsou vodní toky jako významné krajinné prvky chráněny před poškozováním a ničením a využívají se pouze tak, aby nebyla narušena jejich obnova a nedošlo k ohrožení nebo oslabení jejich stabilizační funkce. Orgán ochrany přírody může stanovit ve svém závazném stanovisku podmínky pro realizaci zásahu, tedy rovněž zajištění migrační propustnosti toku. V § 3 odstavce 1 písmeno b) definuje vodní tok jako významný krajinný prvek. § 5 pojednává o obecné ochraně rostlin a živočichů v odstavci 1 stanovuje, že všechny druhy rostlin a živočichů jsou chráněny před zničením, poškozováním, sběrem či odchycem, který by mohl vést k ohrožení těchto druhů, k narušení rozmnožovacích schopností, zániku populace druhů nebo zničení ekosystému, jehož jsou součástí. Při porušení těchto podmínek ochrany je orgán ochrany přírody oprávněn zakázat nebo omezit rušivou činnost. § 67 určuje povinnosti investorů. Na základě podmínek odstavce 1 a 2 je investor povinen zajistit přiměřená náhradní opatření k ochraně přírody jako je vybudování technických zábran, na svůj náklad. O rozsahu a nezbytnosti těchto opatření rozhoduje orgán ochrany přírody.

Dále je možné brát v potaz také Zákon 99/2004 Sb. o rybářství, výkonu rybářského práva, rybářské stráž, ochraně mořských rybolovných zdrojů a o změně některých zákonů (zákon o rybářství) příliš problematiku environmentálních rizik spojených s hydroenergetickými stavbami ani fragmentací v obecné rovině v současnosti bohužel neřeší a to přesto, že je právě tento antropogenní tlak předmětem častých soudních sporů především rekreačního rybářství a významné negativní ekologické i ekonomické důsledky na rybách spojené s provozem MVE jsou neod- diskutovatelnou skutečností.

Mimo tyto zákony je z hlediska poproudové reprodukční migrace úhoře říčního doporučováno při stavbě a provozu vodních děl přihlížet k Technické normě ČSN P 75 2323 "Zajištění poproudových migrací ryb ve vodních tocích".

2.2.3. Formy ochrany úhoře říčního

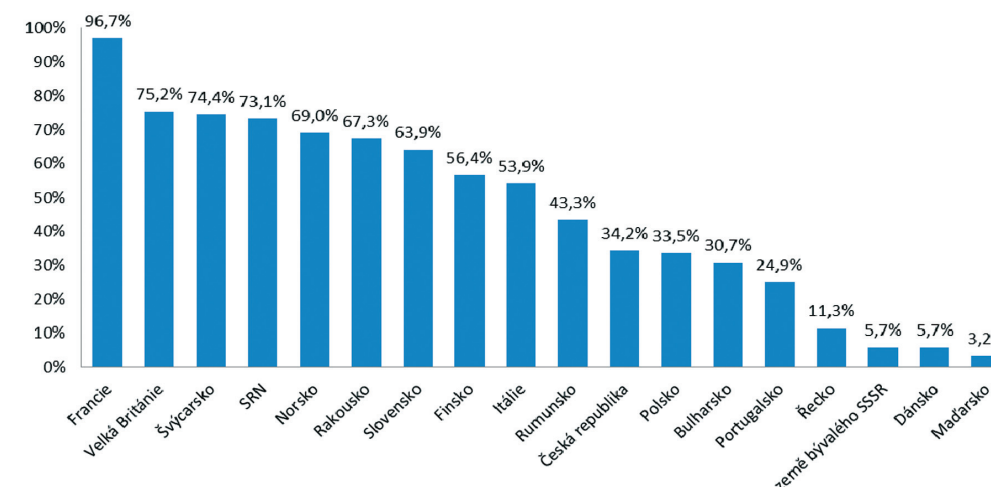
V rámci omezení poklesu populace a snaze obnovit ji v rámci tohoto dnes již ohroženého druhu byl úhoř říční Anguilla Anguilla v roce 2007 zařazen pod ochranu CITES do appendix II. (obchodování je na mezinárodní úrovni omezeno a podřízeno dozoru) a následně byl v roce 2013 zapsán do Červeného seznamu IUCN jako kriticky ohrožený druh.

2.3. HYDROENERGETIKA V ČR

V roce 2009 přijalo Evropské společenství (ES) energetickou politiku (Směrnice 2009/28/EC) s tím, že do roku 2020 bude 20% energie v členských státech Evropské Unie (EU) vyráběno z obnovitelných zdrojů s cílem postupného snižování emisí. Alternativní cesty obnovitelné energie v ČR zahrnují využití vodní, větrné nebo sluneční energie (fotovoltaika), využití biomasy a bioplyn. V podmínkách ČR je proudění vzduchu poměrně nepravidelné a sluneční energie nedosahuje dostatečné kapacity, jako například v jižních státech EU. V dnešní době vyrábí VE převážně takzvanou doplňkovou elektrickou energii. Velkou výhodou VE je rychlé najetí na velký výkon a tím vyrovnaní okamžité energetické bilance. Také proto hydroenergetika představuje již více než 72 % z celkových obnovitelných zdrojů energie (OZE) a lze pozorovat akcelerační trend ve využití vodní energie (ERÚ, 2014) s největším nárůstem hrubé výroby elektřiny v případě MVE a to přesto, že podmínky na našem území nejsou pro hydroenergetiku optimální. Z pohledu zastoupení jednotlivých kategorií VE extrémně narůstá významnost MVE, které dnes představují již 53% celkové hydroenergetické produkce (ERÚ, 2014).

Evropské hydroenergetické velmoci představují typicky Anglie, Francie, Švýcarsko, Švédsko, Norsko nebo Rakousko, které využívají hydroenergetický potenciál svých toků obvykle nad hranicí 90%. Ačkoliv i zde stále existuje kapacita dalšího rozvoje hydroenergetiky, v současnosti je již výstavba nových hydroenergetických projektů limitovaná a hydroenergetický sektor se soustředí především na optimalizaci stávajících hydroenergetických staveb (využití nových, účinnějších, ale environmentálně šetrných technologií) a udržitelnost svých aktivit ve smyslu harmonizace hydroenergetiky s environmentální politikou EU (Nařízení rady EC č. 1100/2007, Směrnice Rady č. 2000/60/ES, Směrnice Rady č. 92/43/EEC a Směrnice Rady č. 78/659/EEC). V ČR byl a je ve srovnání se západními zeměmi naopak zaznamenán v posledním

desetiletí enormní nárůst nových hydroenergetických projektů. Dušička a kol. (2003) uvádí pro ČR využití hydroenergetického potenciálu do roku 2003 jako malé s hodnotami kolem 34,2% (Obr.1). Přes tuto skutečnost Komise pro rybí přechody při AOPK řeší několik desítek návrhů nových energetických projektů každý rok.



Obr. 1. Využití hydroenergetického potenciálu ve vybraných zemích EU do roku 2003 (Dušička a kol. 2003).

Podle stanoviska ČEZ k roku 2005 (Šamánek, L. 2007) je již hydroenergetický potenciál využíván v průměru kolem 70% a významně se liší v rámci jednotlivých povodí, kde například tok Labe překračuje využití hydroenergetického potenciálu nad hranici 90%, podobně jako toky Vltava a Ploučnice. Naopak „relativně malé“ využití hydrologického potenciálu je doposud v povodí řeky Odry2.

V roce 2014 bylo na území ČR evidováno již 1572 MVE. Celkový instalovaný výkon dosahoval hodnot 348 MW a ročně MVE vyrobí okolo 1 TW (terawatt) hodiny elektrické energie (ERÚ, 2014). V České republice jsou v současnosti vybudovány rovněž 4 přečerpávací elektrárny, které ukládají energii. Pokud je energie nadbytek, čerpají vodu do úložných prostor a při energetickém nedostatku vodu používají k výrobě elektrické energie. Celkový instalovaný výkon těchto elektráren je kolem 1 146 MW. V roce 2009 vyrobily tyto elektrárny 553 GWh. Posledním typem vodních elektráren v ČR jsou velké vodní elektrárny, kterých je na území ČR 12 a v roce 2009 vyrobily 945 GWh.

V souvislosti se současnou hydroenergetickou politikou lze očekávat rozvoj a další nárůst hydroenergetických staveb i do budoucna (OTE, 2013). Z pohledu současného počtu a lokalizace VE a využití hydroenergetického potenciálu vyplývá, že je zbylá 1/3 stále neobsazených lokalit již ekonomicky méně vhodnou investicí především díky nízkým až extrémně nízkým spádům³. Další rozvoj hydroenergetiky je proto plánován především ve využití přehradních nádrží, retenčních nádrží a rybníků, ve využití vodárenských nádrží včetně uvažované výstavby nových velkých vodních děl a významný potenciál představují rovněž rekonstrukce zastaralých technologií na existujících MVE (Šamánek, L. 2007).

3. POPROUDOVÁ REPRODUKČNÍ MIGRACE ÚHOŘE NA ÚZEMÍ ČR

Jak již bylo zmíněno výše, po dosažení dospělosti a určitých metamorfologických proměnách se vyspělé samice úhoře říčního ve stádiu tzv. Stříbrných úhořů, vydávají na cestu z vnitrozemských říčních sítí za reprodukci zpět do Sargasového moře, která může být dlouhá až 6 000 km (Schmidt, 1922; van Ginneken and Maes, 2005). Tato cesta je jedním z nejkritičtějších bodů v životním cyklu úhoře, zvláště v našich zeměpisných šířkách by na tuto problematiku měla být zaměřena pozornost. Pro migrující dospělé ryby je největším atraktantem vyšší proud koryta řeky. Bohužel v našich podmínkách je tento proud veden často přímo do prostoru turbín malých vodních elektráren, které díky hadovitému tvaru těla úhoře často zraňují nebo přímo usmrcují. Existují sice nápravná opatření k zabránění vniku ryb do tělesa malých vodních elektráren, ale ty jsou často neúčinné nebo zcela chybí. Jak již bylo zmíněno, v říční síti České republiky je úhoř původní v povodí Labe a Odry. V povodí Odry v rámci projektu "Strategie pro snížení dopadů fragmentace říční sítě" (citaci nevím) byla migrační průchodnost v povodí řeky Odry určena na 57%, což je velmi příznivé číslo. Tuto skutečnost lze jen podpořit výsledky monitoring z let předchozích, kdy vycházela migrační průchodnost v povodí řeky Odry na 62,5% (Musil a kol, 2014). Což je z hlediska biologického i legislativního – Nařízení rady EC 1100/2007 pro zprůchodnění říční sítě každého členského státu min. pro 40% migrující populace tohoto ohroženého druhu velmi kladné. Oproti tomu se čísla ohledně migrační

průchodnosti v povodí řeky Labe nejví tak pozitivně. V rámci projektu Norských fondů zatím souhrnné výsledky nedosáhly jasných obrysů (to je způsobeno především různou dobou načasování započetí migrace dospělců v rozmezí i několika let), ale čísla z předchozích výzkumů (Musil a kol, 2014) vykazují migrační průchodnost na pouhých 12,5%. To je nepříznivé vzhledem k faktu snahy zachování druhu, tak i vzhledem ke skutečnosti, že veškeré migrační překážky jsou na řece Labi situovány na území České republiky – celkem 93, kdežto na území Německa je na řece Labi jedna jediná migrační překážka na Lokalitě Geesthacht, která má navíc vysoce funkční rybí přechod umožňující migraci celému spektru místní ichtyofauny.

3.1. ČASOVÉ ASPEKTY KATADROMNÍ MIGRACE

Podle dostupné odborné literatury je migrace úhoře říčního v evropském vnitrozemí časována ve dvou migračních vrcholech – jarní (v období měsíce dubna) a podzimní (na přelomu října a listopadu) (Durif and Elie, 2008), to je však velmi individuálně ovlivněno aktuálními meteorologickými a hydrologickými podmínkami. Avšak z předchozích monitoringů prováděných na území České republiky se vyskytly v tomto načasování i ne zcela řídké anomálie, kdy ryby migrovaly i v jiných měsících – např. v prosinci či srpnu.

Úhoři vzhledem k tomu, že jsou světlopláší, migrují nejčastěji za temných nocí, důvodem toho je co největší snaha vyvarovat se během cesty pozornosti rybožravých predátorů. I u tohoto obvyklého migračního chování se při již proběhlých sledování chování této ryby během migrace, byly prokázány odchylky od normálu, kdy jediněc migroval během dne. Šlo však o poměrně málo světelný den v zimním období, kdy se stmívá velice brzy a naopak rozednívá poměrně pozdě (Musil a kol, 2014).

3.2. FAKTORY NEGATIVNĚ OVLIVŇUJÍCÍ KATADROMNÍ MIGRACI

Razantní pokles velikost populace úhoře říčního je zapříčiněn mnoha vlivy. Mezi ty nejčastěji zmiňované patří existence migračních bariér (přehrad, jezy), často doplněných pro úhoře nebezpečnými vodními elektrárnami. Další známá rizika jsou čerpadla různého typu (přečerpávací VE, závlahy, odběry vody pro technické účely, aj.), které nasávaným proudem vody lákají úhoře, kteří pak často aktivně či pasivně dostávají do soustrojí. Určitý vliv může mít i rybářský tlak, i když se zdá, že zásadnější je spíše jeho role při odlovu juvenilních stádií (sklenění úhořící, monté) kdy jsou

juvenilní jedinci ve velkém odlovování nejen pro účely zarybňování volných vod, ale též pro zásobení akvakulturních chovů násadou i pro přímou konzumaci. Prokázán byl též vliv zavlečeného parazita *Anguillicoloides crassus*, který kromě toho, že snižuje kondici migrujících jedinců, rovněž způsobuje u úhoře fyziologické změny, které mají za následek dřívější dosažení pohlavní dospělosti (Fazio a kol., 2012). Jedinci tak mohou nastoupit migraci dříve a v menší velikosti, než by tomu bylo u neinfikovaných jedinců, přičemž u menších migrantů lze předpokládat nižší úspěšnost reprodukce (Clevestam a kol., 2011).

V podmínkách ČR jsou pro migrující úhoře říční nevýznamnější hrozbou při migraci vodní elektrárny. Už Hartvích a Kubečka (1999) při studiu mortality úhoře na elektrárně Lipno 1 poukázal na fakt, že ztráty jen na této jediné elektrárně jsou pravděpodobně více než 15 tun úhoře za období necelého roku (duben 1997 – únor 1998). Hartvích a kol. (1995) zjistili, že mortalita úhořů při průchodu turbínou na této konkrétní elektrárně dosahuje nejméně 79,3%. Pro srovnání je vhodné uvést, že Hartvíchem a Kubečkou 1999 udávaných více než 15 tun mrtvých úhořů z jediné elektrárny za necelý rok představuje více, než je kupříkladu množství úhořů, které v současnosti sportovní rybáři odloví za celý rok na všech revírech Českého rybářského svazu (v roce 2016 uváděno 9634,5 kg ulovených úhořů v revírech ČRS). Schneider a kol. (2012) uvádí, že na elektrárně Kostheim 98,8 - 89,7% úhořů zvolilo pro migraci průchod elektrárnou, tedy jen zanedbatelné procento využilo alternativní migrační trasy (rybí přechod, úhoří roury, plavební komory). I v naší příkladové studii bylo na vybrané MVE zjištěno, že všichni migrující jedinci úhoře říčního migrovali s největším proudem a hloubkou do náhonu MVE, propluli skrz turbíny vodní elektrárny (Kaplanova turbína) a utrpěli zde přibližně v 50% smrtelná zranění. Pro Kaplanovy turbíny bývá obecně uváděna mortalita ryb okolo 15-30%, avšak je silně závislá na délce těla ryby (delší ryby mají při průchodu turbínou vyšší pravděpodobnost kontaktu s lopatkami rotoru). To také vysvětluje u úhoře, tedy druhu s extrémně protáhlým tělem, vyšší zjištěnou skutečnou mortalitu.

Nejvhodnějším opatřením k zamezení vniknutí ryb do náhonu MVE jsou pevné česle, o vysoké hustotě žeber, které přímo nasměrují migrující jedince do vhodně konstruovaného přepadu/obtokového koryta. Předpokladem pro správnou funkci pevných česlí je ostrý úhel k ose toku, dostatečná hustota žeber česlí a nepřekročení bezpečné rychlosti proudění v prostoru před česlemi.

Při vyšších než bezpečných rychlostech proudění dochází k přitlačení ryb proudem vody na česle a následně k jejich vážnému poranění či usmrcení při čištění česlí mechanickým čističem. Při vysoké rychlosti proudění v prostoru česlí může dokonce v některých případech při nevhodné konstrukci docházet přímo na česlích i k vyšší mortalitě, než samotnou činností turbín. Calles a kol. (2010) i Schneider a kol. (2012) uvádí, že až 50% z označených migrujících úhořů zahynulo přimáčknutých na česlích, v turbínách pak hyne další vysoké procento migrantů, přičemž mortalita v MVE je závislá na typu turbíny i délce úhořů. Calles a kol. (2010) uvádí 60% mortalitu v elektrárně Ätrafors u označených úhořů vhozených za česle. Z označených úhořů, kteří se při migraci sami dokázali protáhnout česlemi, pak bylo smrtelně zraněno 43% (nižší mortalita dána snížením průměrné velikosti úhořů, kdy se za česle dostali jen menší jedinci, kteří mají vzhledem k menší délce těla nižší pravděpodobnost kontaktu s lopatkami turbíny). Schneider a kol. (2012) uvádí nejméně 15% mortalitu migrujících úhořů na elektrárně Kostheim u zde použité „Fish friendly“ turbíny (horizontální Kaplanova turbína, 3 lopatky rotoru, pomalé otáčky max. 85 ot./min), přičemž připouští, že s ohledem na použitou metodiku stanovení mortality byla skutečná mortalita pravděpodobně vyšší. Z výše uvedeného je zřejmá potřeba hledat vhodná opatření na zmírnění mortality migrujících dospělých úhořů, především pak najít způsoby, jak úhoře ochránit před mnohdy zcela devastujícím vlivem vodních elektráren.

4. OPATŘENÍ SNIŽUJÍCÍ MORTALITU ÚHOŘE PŘI POPROUDOVÉ MIGRACI NA MIGRAČNÍCH BARIÉRÁCH

4.1. PEVNÉ (MECHANICKÉ) ZÁBRANY – ČESLE

Pevné zábrany jsou v současné době jediná spolehlivá metoda zamezení vstupu migrujících úhořů do vodních elektráren i jiných odběrů vody.

4.1.1. Fixní (pevné) česle tradiční konstrukce

Nejběžnějším typem zábran jsou česle tvořené pevnými svislými žebry. Kromě ochrany ryb jsou běžně využívány jako ochrana turbín před poškozením tokem unášeného materiálu (větve, odpad). S ohledem na ochranu migrujících úhořů a za-

bránění jejich průchodu skrz fixní česle je nutné dodržovat následující parametry: Česle pokud možno instalovat ještě před začátkem náhonu MVE. Tím dojde k odklonění úhořů do hlavního řečiště či do rybího přechodu a nevzniká tak efekt slepé uličky (stav, kdy jsou ryby proudem nalákány do náhonu MVE, kde již není žádná alternativní migrační cesta).

Doporučovaný úhel česlí - do 20° ku ose toku (Environment Agency, 2009) pro odvedení úhořů od náhonu do rybího přechodu/přepadu/hlavního řečiště. Hustota česlí zabraňující vniknutí úhořů nad 50 cm: Při úhlu česlí ku ose toku do 20° - mezery mezi žebry do 20 mm (Environment Agency, 2009) Při větším úhlu - mezery mezi žebry do 15 mm (Environment Agency, 2009) (Podle Schneider a kol. (2012) jsou 20 mm česle ještě průchozí pro úhoře do 65 cm, Calles 2013 doporučuje hustotu česlí 18 mm a velký sklon česlí). Calles a kol. (2010) i Schneider a kol. (2012) upozorňují, že větší rozestup žebor česlí umožňuje úhořům se v česlích dlouhodobě zdržovat - mezi žebry česlí se pak zachytávají ocasní částí těla. Při čištění česlí se pak úhoři česlí nepouští, ale smyčkou ocasní části těla drží česlí, čímž dochází k značným poraněním způsobených čističem česlí. Bezpečná rychlost proudění v nátoku na MVE: Při úhlu česlí do 20° ku ose toku - do 0,5 ms⁻¹ (Environment Agency, 2009) Při úhlu česlí více než 20° ku ose toku - do 0,4 ms⁻¹ (Environment Agency, 2009) (Schneider a kol. (2012) - Proudění 0,5 ms⁻¹ a stejně vysoká mortalita úhoře na česlích - nevhodný sklon česlí, obtížně naležitelné vstupy do rybích přechodů, naopak při vhodném sklopení česlí a malém rozestupu žebor česlí může být mortalita nízká i při vyšších rychlostech proudění (Calles et al, 2013). Pokud nejsou instalovány česle už pře začátkem náhonu a nachází se až těsně před elektárnou, jsou optimální dlouhé výrazně sklopené česle (co nejostřejší úhel ku horizontále) (Calles a kol., 2013). Sklopení česlí výrazně snižuje riziko přimáčknutí ryb na česle i při vyšších rychlostech proudění. Česle je nutné v tomto případě doplnit vršovými pastmi umístěných po straně česlí, nebo jinými účinnými prostředky k převedení ryb pod jez či jejich odchytu (úhoří roury, propusti, dnový žlab a galerie pro úhoře). Vrše a roury po stranách česlí však mohou být náchylné k zanášení, je tedy nutno zajistit přístup, čistitelnost a zamezit vniknutí nečistot shrabovaných čističem česlí. Calles a kol. (2013) uvádí, že snížení sklonu česlí z 63° na 35° a zmenšení rozestupu žebor česlí z 20 na 18 mm snížilo mortalitu úhořů z více než 70% na méně než 10%

i při rychlosti proudění nad česlemi v rozmezí 0,65 - 1,24 ms⁻¹. Česle byly doplněny po stranách vršemi, které odlovily 80% ze značených jedinců. Snížení sklonu česlí mělo za následek i větší povrch česlí (o 58%) a tím i menší ztrátu výšky hladiny za česlemi (360 vs 190 mm)).

4.1.2. Jiné typy pevných česlí (přelévané česle, česle ve dně)

Dalšími typy pevných česlí jsou přelévané česle zaobleného přelivu využívající Coandaova efektu. Výhodou tohoto typu česlí je samočisticí schopnost a vysoká účinnost převedení po proudu migrujících ryb do části toku pod odběrem vody. Nevýhodou je ovšem nižší výška hladiny v náhonu oproti části toku nad česlemi. Tento typ česlí má v podstatě podobu nízkého jezu, kterým voda skrze žebra česlí propadá do dutiny uvnitř (odkud je odebírána), zatímco splávi a mirující ryby jsou přes přelévané česle splavovány dále po proudu. Na podobném principu fungují i česle instalované ve dně, například The Smolt-Safe™ Screen, kdy opět větší část vody prochází česlemi na dně do vnitřního odběrového kanálu, zatímco splávi a migrující ryby prochází dále po proudu toku.

4.1.3. Pohyblivé rotační česle

Pohyblivé rotační česle jsou používány především tam, kde je průtok malý. Výhodou je automatické čištění, kdy samotné česle mají podobu šikmo postaveného perforovaného plastového nebo gumového pásu, který je poháněn hnacím válcem a unáší splávi nad hladinu do sběrného žlabu. Lepší čištění od zachytávajících se nečistot může být zajištěno instalací čistící vodní trysky. Používány jsou například rotační česle Hydrolox, které mohou být umístěny do náhonů s rychlostí proudění do 0,15 ms⁻¹.

4.2. BEHAVIORÁLNÍ ZÁBRANY

V případech, kdy nelze instalovat pevné zábrany, mohou být určitou alternativou zábrany behaviorální. Obecně je však účinnost behaviorálních zábran na úhoře nedostatečně testována, a proto nelze v současné době dobře zhodnotit účinnost jednotlivých možných opatření. Mezi základní typy behaviorálních clon patří clony žaluziové, bublinné, elektrické, akustické a světelné systémy. Použity mohou být i kombinace jednotlivých typů.

4.2.1. Žaluziová clona

Zařízení připomínající česle odklání migrující ryby včetně úhořů pomocí vírů, které vznikají mezi jeho lamelami. Jednotlivé lamely v linii jsou nastaveny kolmo ke směru proudu, zařízení je založeno na negativní reakci ryb vůči turbulentnímu prostředí mezi svislými lamelami. Podél linie lamel proplovající ryby vnímají různé rychlosti proudu a jsou naváděny mimo nebezpečný prostor. Žaluziová clona byla testována na úhoři americkém (*Anguilla rostrata*). Celková účinnost pro migrující dospělé úhoře může dosahovat až 90% (88,6-95,1%)(Turnpenny a O'Keeffe 2005). Půdorysný odklon žaluziové clony od osy řeky je doporučován mezi 10° až 15°, svislé lamely jsou orientovány kolmo na směr proudu. Rozestup jednotlivých lamel je pro dospělého úhoře doporučován 50 mm (Turnpenny a O'Keeffe 2005). Alden Laboratories doporučují osazovat ve směru půdorysu žaluziové clony do dna u báze lamel souvislou desku výšky asi 0,3 m, která podstatně zvyšuje účinnost odklánění úhoře. Vznik víru mezi lamelami odpuzujícího ryby je vázán na rychlosti v náhonu od 0,3 – 1,2 m/s. Žaluziová clona musí usměrňovat ryby k funkčnímu obtokovému kanálu, který by měl mít v nátokové části rychlost proudění o cca 40 % vyšší než v hlavní části náhonu, aby docházelo k účinnému lákání úhořů do obtokového kanálu prouděním vody. Platí přitom, že akcelerace proudění vody musí být pozvolná. Zatímco pomalu akcelerující proudění u úhoře vyvolává u většiny úhořů explorační chování a pohyb ve směru proudění, rychlá náhlá akcelerace proudění má za následek poplašení a migraci proti proudu (Piper a kol., 2015). Optimální je i co největší průtok v obtokovém kanálu, neboť volba migrační trasy úhořem je silně závislá na průtoku jednotlivými migračními trasami (Jansen a kol., 2007).

4.2.2. Světelné systémy

Dle Sheridan a kol. (2011) jsou světelné systémy, konkrétně stroboskopické záblesky, nejslibnější pro odpuzování úhořů ze všech behaviorálních zábran. Frekvence záblesků >200 za minutu (FPM) se zdá být nejlepší pro většinu druhů ryb včetně úhořů (Patrick a kol 1982), rovněž záblesky s vysokou frekvencí okolo 1000 FPM na úhoře dobře účinkují (Patrick a Poulton, 2001). Z pohledu zdravotních rizik u člověka při používání vysokofrekvenčních záblesků je však vhodné používat frekvence nižší nebo rovné 240 FPM (Sheridan a kol., 2011).

Hadderingh a Smythe (1997) zjistili, že i konstantní osvětlení o vlnové délce 440;

550 a 610 nm má odpuzující účinek na úhoře říčního a bylo schopno od migrace do turbíny odradit až 74% jedinců. Kontinuální osvětlení však může naopak lákat jiné druhy ryb do chráněného prostoru a tudíž je jeho použití problematické (Turnpenny a O'Keeffe 2005).

4.2.3. Bublinná clona

Na principu "stěny" z jemných bublin jsou ryby odkláněny od nátoků MVE a jiných nebezpečných lokalit. Vzduch je do přívodní hadice bublinné clony vháněn dmychadlem či ventilátorem s kompresorem. Clona by se neměla používat ve hloubkách nad 3 m, neměla by se odklánět od osy toku o více než 15°, průtok vzduchu by měl být alespoň 1 - 4 ls⁻¹ na jeden běžný metr clony.

Obecně tento typ behaviorální zábrany má pouze dočasný účinek a ryby dlouhodoběji se zdržující v blízkosti bublinné clony si postupně na její přítomnost zvykají a clona se tak stává zcela neúčinnou. Přestože může působit na některé migrující druhy (Turnpenny a O'Keeffe 2005), sama o sobě neúčinkuje dostatečně na úhoře a její použití je omezené pouze jako dočasné opatření, nebo podpora jiných behaviorálních clon (stroboskopické záblesky, akustické clony).

4.2.4. Elektrická clona

K odpuzování ryb používá nízkoeenergetických krátkých pulzů stejnosměrného proudu zaváděných do vody pomocí měděných elektrod rozmístěných v linii. Je třeba, aby indukované elektrické pole v zóně zábran bylo dostatečně účinné, aby spolehlivě vyvolávalo únikovou reakci ryb, ale v žádném případě nezpůsobovalo galvanotaxi či galvanonarkózu. Účinnost elektrické zábrany na úhoře testovali Hadderingh a Jansen (1990) a v porovnání s jinými metodami byla elektrická zábrana vyhodnocena jako málo účinná. U nás je hojně využívána elektrická zábrana ELZA 2 (Bednář, Olomouc). Při testování účinnosti této konkrétní elektrické zábrany udává Adámek (1997), že ve zcela klidné vodě odpuzovaly elektrody jelce tlouště (*Squalius cephalus*) o délce 250 - 350 mm v zóně cca do 50 cm od elektrody. I za předpokladu působení na ryby bylo prokázáno, že při reprodukčních migracích značná část vysoce motivovaných migrujících ryb elektrickým polem zábrany propluje. U pstruha obecného během reprodukční migrace proti proudu v říčce Bystřici ($Q = 1,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) dokázala zábrana odklonit do přítoku pouze cca 40% jedinců (Adámek, 1997).

Už na základě vše zmíněných skutečností vyplývá, že v případech velkých toků, a hlubokých náhonů, kde elektrody nedosahují až do prostoru dna, lze předpokládat účinnost této zábrany minimální, tím spíše, je-li v oblasti elektrod silné proudění vody, které ryby do náhonu láká a zároveň je i strhává do chráněného prostoru. Kromě samotné diskutabilní účinnosti elektrických zábran zahraniční autoři jejich použití považují problematické hned z několika důvodů. Tím nejpodstatnějším je různé působení na různě dlouhé jedince, kdy hodnoty proudu nutné pro odpuzení menších jedinců mohou způsobovat omráčení i poškození větších ryb a namísto odpuzení pak tyto větší jedince na vtoku do MVE paralyzovat. Problematické jsou i bezpečnostní aspekty, v důsledku čehož byla kupříkladu ve Velké Británii většina dříve používaných elektrických odpuzovačů z vodních děl odstraněna (Environment Agency, 2009). Sheridan a kol. (2011) považují elektrické clony za použitelné k zamezení vnikání úhořů do výtoků z technických objektů (tj. při migraci juvenilních úhořů proti proudu), avšak nepoužitelné pro náhony MVE.

Rovněž z výsledku našich pozorování telemetricky značených úhořů vyplývá, že v reálných podmínkách větších náhonů MVE může být účinnost velmi nízká. Na sledovaných MVE elektrické zábrany nezabránilly vniknutí úhořů do elektráren a všichni telemetricky sledovaní jedinci migrovali přes objekt elektrárny navzdory elektronické cloně, která byla v době sledování v provozu.

4.2.5. Akustická clona

Infrazvuková clona ProFish Technologies je v současné době využívána k odpuzování ryb u odběrů vody jadernými elektrárnami ve Francii. Její skutečná účinnost na odpuzování úhoře říčního byla otestována na hydroelektrárně Biron na řece Gave de Pau (Francie). Infrazvuková clona byla vyhodnocena jako nedostatečně účinná, téměř 80% úhořů bariéru překonalo (79% v roce 2008 a 78% v roce 2009) (Baran a kol. 2012). Autoři proto pro odpuzování úhoře infrasonické odpuzovače nedoporučují používat. Nízkofrekvenční systémy SPA (Sound Projektor Array) a BAFF(R) (BioAcoustic Fish Fence, Fish Guidance Systems Ltd, UK) účinkují sice dobře pro lososovité druhy (účinnost odklonu ryb je 95 – 98%) i kaprovité druhy (účinnost odklonu ryb až 95%), ale ani u těchto systémů nelze předpokládat účinnost na úhoře. Patrick a kol. (2001) uvádí, že mihule i úhoři vykazují jen slabou reakci na zvukové signály.

4.3. TURBÍNY ŠETRNÉ K RYBÁM („FISH FRIENDLY“ TURBÍNY)

Klasické turbíny jsou pro ryby značně rizikové, přičemž k poškození v turbíně může docházet několika různými mechanismy či jejich kombinací. Mezi mechanické způsoby poškození patří náraz do rychle se pohybujících částí soustrojí (rotoru), nebo naopak náraz rychlým proudem unášeného jedince do nepohyblivých částí soustrojí, dále skřípnutí mezi pohyblivými a nepohyblivými částmi turbíny a oděr proudem unášených ryb o stěny přívodních a odvádějících potrubí. Nepříznivě působí i vysoce turbulentní prostředí těsně po průchodu ryby turbínou.

Druhým typem poškození jsou pak poškození způsobená výraznými změnami tlaku, kdy dochází při vstupu do turbíny nejprve k rychlému zvyšování tlaku a následně při průchodu turbínou k extrémnímu poklesu.

Udávány bývají mortality v rozmezí 15 - 30 procent pro Kaplanovy turbíny s velkým poloměrem používané na malých rozdílech hladin po mortality 50 -100% u turbín s malým poloměrem používaných na nejmenších MVE a při velkých rozdílech hladin (Monten, 1985; Larinier and Dartiguelongue, 1989)

Fish friendly turbíny se snaží o minimalizaci možnosti kontaktu ryby s turbínou jednak snižováním počtu listů rotoru turbíny, snížením rychlosti otáček, změnou tvaru náběhové hrany rotoru, zvětšením prostor mezi jednotlivými lopatkami/listy rotoru i úpravou materiálu a tvaru náběžné hrany rotujících částí (pryžové ochranné lišty). V současné době je mnoho různých typů „fish friendly“ turbín používáno nebo aktuálně testováno:

4.3.1. Archimédův šroub

Turbína typu šikmo uložené šroubovice. Může být doplněna měkkou pryžovou ochrannou lištou náběžné hrany šroubu. Dosavadní testy ukazují pouze na drobná poranění migrujících ryb (skříplých posledních 5 cm osasní části) jen u jednoho jedince úhoře z celkových 160, tj. 0,64% poškozených ryb z celkového počtu (Kibel, 2008; Kibel a Coe 2011).

Tento typ turbíny je použitelný především u jezů s malým rozdílem hladin. Při průtocích mezi 30 a 100% projektovaného průtoku dosahuje účinnost cca 80-90%.

4.3.2. Turbíny VLH (very low head)

VLH turbíny jsou použitelné pro rozdíly hladin 1,4 do 4,5 m, pro průtoky od 10 do 27 m³s⁻¹ o výkonu 100 – 500 kW na jednu turbínu. Průměr turbíny je 3,15 – 5 m. Při vyšších průtocích lze paralelně zapojit více turbín najednou. U starších typů VLH turbíny udávána účinnost okolo 90% (Priyono a Ibrahim, 2011), u nových typů výrobce garantuje, že „účinnost je o 5% vyšší, než u klasických turbín. Při testování inovované 400kW VLH turbíny (průměr 4,5m, rozdíl hladin 2,4 m, 22 m³s⁻¹) na řece Mosela ve Frouard bylo zjištěno, že u 200 jedinců úhoře (o délkách 610 -1002 mm) pokusně vhozených do turbíny nebyla zaznamenána žádná mortalita, přičemž 177 jedinců se podařilo pod turbínou odchytit. Všichni zachycení jedinci byli živí, pouze 4 poranění. Zranění úhoří však přežili minimálně 48 hodin po průchodu turbínou (Lagarrigue a Frey, 2010). Pro Kaplanovu turbínu podobných parametrů (20 m³s⁻¹, rozdíl hladin 2,5m, průměr rotoru 2,4 m; 115 otáček min⁻¹; 4 listy turbíny) lze přitom očekávat mortality úhořů mezi 30 – 37% pro jedince 70 cm dlouhé a 45 - 53% pro jedince 90 cm dlouhé (Lagarrigue a Frey, 2010). I při testech staršího typů VLH elektrárny na řece Tarn v Millau byla pozorovaná mortalita úhořů mnohem nižší, než by byla očekávatelná pro běžnou Kaplanovu turbínu - okolo 7,7% (Lagarrigue a kol, 2008). Obecně by ovšem tato technologie zasluhovala robustnější testování a sledování i jiných parametrů, než okamžité mortality Cooke a kol. (2011).

4.3.3. Šroubové turbíny

U šroubových turbín je optimální rozdíl hladin 1 m. Dosahovaný výkon je 0,8 -200 kW, pro průtoky 0,025 – 6,7 m³s⁻¹, výrobcem uváděná efektivita 82%.

U turbín výrobce NPTEC zatím chybí studie na skutečnou mortalitu ryb, dle typu konstrukce turbíny však lze předpokládat velmi nízkou.

4.3.4. Turbíny typu „Alden“

Tento typ turbín je použitelný pro rozdíly hladin 6 – 36 metrů a průtok na jednu turbínu 14 – 70 m³s⁻¹. Jedná se o pomalu rotující turbínu tvaru vývrtky, účinnost dosahuje dle výrobce: 94%. V rámci robustní studie byla testována mortalita úhořů v modelu turbíny, okamžitá mortalita byla 0%, po třech dnech cca 1,7% (Anguilla rostrata, prům. délka 431mm). I u ostatních druhů ryb udávána míra přežití nad 98 procent (Cook a kol., 2003). Nevýhodou je cca 35-40% vyšší cena při instalaci Alden

turbín v porovnání s klasickými Francisovými či Kaplanovými turbínami. Avšak vyšší účinnost Alden turbín v kombinaci se snížením environmentálních dopadů a bez nutnosti stavět rybí poproudové rybí přechody vyšší pořizovací náklady téměř anulují (Twaróg, 2015). V současnosti je testován tento typ turbíny v reálných podmínkách na elektrárně Electricité de France Pébernat Hydro Project (Francie), výsledky z těchto testů zatím nebyly publikovány.

4.4. ALTERNATIVNÍ MIGRAČNÍ CESTY A JEJICH KONSTRUKCE

V případě poproudové migrace je zapotřebí brát v potaz hydrologické podmínky lokality. Jsou-li příznivé, je možné k překonání překážky po proudu využít jezový přepad, uvádí se však, že paprsek jezové hrany musí být minimálně 10 cm. Eventuálně lze využít dolní propust, pokud to jezové komory umožňují. Pokud tyto podmínky nejsou příznivé je zapotřebí uchýlit se k využití alternativní migrační cesty přes přítomnou bariéru.

4.4.1. Rybí přechody

Ačkoliv je v posledních desetiletích značný trend při budování rybích přechodů (RP) a vyvíjí se snaha o zlepšení situace s negativními dopady fragmentace říční sítě migračním zprůchodňováním problematických lokalit, tyto rybí přechody jsou ve valné většině dimenzovány především pro protiproudou migraci ryb. Pro úhoře, který při katadromní migraci pluje po proudu řeky, je situace poměrně komplikovanější, z toho důvodu, že takovýmto způsobem dimenzované RP, mají těžko vyhledatelný vstup v horní vodě pro jedince překonávající překážku na toku v opačném směru. Proto ve většině případů migrující dospělci úhoře takto řešený RP minou.

4.4.2. Dnový žlab a Galerie pro úhoře

Používá se zahlobený žlab do dna, vystouplý práh (Bottom Gallery®; Floecksmühle a Institut für Angewandte Ökologie) či potrubí s otvory (Universita Kassel), do kterých může např. úhoř vnikat a pak je obtokovým potrubím odváděn mimo nebezpečné zóny hydraulického obvodu. Přítoková rychlost před česlemi by neměla přes Environment Agency uvádí odhad účinnost žlabu asi 50-80%.

4.4.3. Roury pro úhoře

Jedná se v podstatě o rouru s vyšší hodnotou prodění než má okolní voda. Ryba je do ní navedena z prostoru vstupu do náhonu turbíny a je odvedena okolo MVE do podjezí bariér. Podle Egg a kol (2017) všichni testovaní jedinci úhoře říčního našli při pokusech migrační rouru a využili ji k překonání migrační bariéry, 96 % těchto ryb migrovalo v nočních hodinách.

Schneider a kol. (2012) oproti tomu uvádí, že úhoři často po vstupu do roury vylezli zpět ven (poplašení nevyhovujícím prouděním vody). Patrně by pomohl vstup vršového typu neumožňující návrat individua po vplutí do začátku roury. Nebo pozvolnější akcelerace proudění (nálevkovitý tvar vstupu).

4.4.4. Gerhardův přesmyk

V podstatě jde o kombinaci zábrany a obtoku umožňující obeplutí turbíny malé vodní elektrárny dospělým úhoře říčního během jejich katadromní migrace. Jde o šikmé propojení dvou černých žlabů (kvůli světloplachosti) nad hlavou turbíny. Vstup je zřízen ve spodní části česlí u dna a ústí v odtokové vodě pod turbínou. Důmyslným systémem dochází k energetickému využití vody z přesmyku. (ČSN P 75 2323)

4.4.5. Plavební komory a sportovní propusti

K úspěšné poproudové migraci mohou jedincům sloužit také plavební komory, pokud jsou však na bariéře přítomné a funkční. Otázkou je také jejich vyhledatelnost pro ryby. Stejnou alternativou, ale v menším měřítku mohou být také sportovní propusti pro vodáky.

4.5. ZABEZPEČENÍ TECHNICKÝCH ODBĚRŮ VODY PROTI VNIKNUTÍ ÚHOŘŮ (ČERPACÍ STANICE)

Čerpací stanice jsou dalším z potenciálních rizik pro migrující ryby. Důvody negativního působení na ryby jsou shodné s turbínami – ryby jsou lákány prouděním vody k čerpadlům, dochází k jejich vnikání do soustrojí a rotující součásti čerpadel poškozují nasáté ryby. V našich podmínkách jsou rizikové technické provoz (přečerpávací elektrárny, továrny) a odběry pro závlahy, v zahraničí např. i čerpací stanice sloužící k odvodňování nízko položeného území (např. nizozemské poldry). Pro ryby vtoky

do čerpacích stanic představují stejný typ rizika jako turbíny a rovněž způsoby zamezení mortality ryb v čerpacích stanicích jsou stejné, tj. Zamezení možnosti vniknutí ryb do čerpadel pomocí česlí, nízké rychlosti proudění v prostoru česlí, aby nedocházelo k natlačení ryb proudem vody na česle a jejich poškozování, poskytnutí efektivní alternativní migrační trasy navádějící ryby mimo prostor čerpací stanice. (Tam kde je žádoucí průchod ryb ve směru čerpání vody – například při čerpání vody z poldrů zpět do řeky/moře pak i konstrukce šetrných čerpadel, které minimalizují mortalitu ryb při průchodu soustrojím. U nás je však zpravidla průchod ryb čerpacími stanicemi zcela nežádoucí). Míra ovlivnění vodního toku čerpacími stanicemi je přímo závislá na objemu čerpané vody. Nejrizikovější jsou tedy velké čerpací stanice na menších tocích.

4.5.1. Kontrolovaná manipulace průtoku vodním dílem

Účinným opatřením ke snížení mortality při poproudové migraci úhoře mohou být i cílené odstávky vodních elektráren a jiných odběrů vody během vrcholu migrací. Období nejsilnějších migrací lze predikovat na základě environmentálních proměnných (např. průtok, teplota vody, světlo, aj.), testována byla i účinnost odstávek na základě systému přímo monitorujícího aktivitu úhořů držených v areálu vodní elektrárny (systém Migromat).

4.5.2. Systém včasného varování Migromat

Systém MIGROMAT® byl vyvinut pro účel zjištění zahájení katadromní poproudové migrace úhoře (Floeksmühle a Institut für Angewandte Ökologie). Systém pracuje na základě analýzy a vyhodnocení přirozeného chování úhořů v prostoru vymezeném klecemi a následně predikuje nástup migrační vlny v řece. Pokud je znám vrchol migrační aktivity, následují opatření, jako jsou změna provozního režimu a omezení provozu vodních elektráren. V rámci nezávislých testů však byla vysoká efektivita při použití tohoto systému zpochybněna, Baran a kol. (2012) uvádí, že s využitím migromatu (při vypnutí turbín bezprostředně po poplachových hlášeních) by byla umožněna migrace pouze 14 – 29 % úhořů. Výrazným nedostatkem systému Migromat na řece Shannon (Irsko) bylo, že varování před migrací úhoře systém vydával nikoliv s předstihem, ale s určitým zpožděním, kdy už ve skutečnosti vrchol migrace odezněl. Baran a Kol. (2012) dokonce poznamenávají, že profesionální rybář byl schopen odhadnout termín migrace úhořů daleko lépe, než systém Migromat.

5. ZHODNOCENÍ ÚČINNOSTI JEDNOTLIVÝCH OPATŘENÍ A DOPORUČENÍ PRO PRAXI V PODMÍNKÁCH ČR

Současná opatření na ochranu migrujícího úhoře říčního na území ČR lze hodnotit jako nedostatečná. Bylo prokázáno, že mortalita migrujících jedinců vysoká a že kupříkladu množství úspěšně migrujících ryb v povodí Labe je 12,5%, tedy zdaleka nedosahuje požadované hranice 40% úspěšně migrujících jedinců. V příkladové studii bylo EMG telemetrií zjištěno, že všichni sledovaní jedinci migrovali přes turbíny MVE a nevyužili ostatní nabízené migrační cesty. Z uvedeného je patrné, že v současnosti instalované zábrany neodrazují dostatečně migrující úhoře od vstupu do náhonu MVE a že alternativní migrační cesty (rybí přechod, jezové pole, aj.) jsou migrujícími úhoři nedostatečně využívány. Literární rešerší nejnovějších poznatků i analýzou našich dat lze shrnout možnosti nápravných opatření v následujících 4 bodech:

(1) Primární snahou by mělo být zamezení možnosti vniknutí úhořů do náhonů a turbín MVE a odklonění úhořů do vhodné alternativní migrační trasy. Nejúčinnější (a jedinou spolehlivou) možností zamezení vniknutí dospělých migrujících úhořů do MVE jsou fixní (pevné) zábrany, z nichž jsou v podmínkách ČR nejčastěji používány klasické pevné česle. Aby byly účinné a nezpůsobovaly samy o sobě mortalitu migrujících úhořů, je třeba, aby respektovaly všechny parametry detailně zmíněné výše (rozestup žeber, úhel ku ose toku, sklon česlí, maximální rychlost proudění před česlemi, nasměrování ryb přímo k alternativní migrační cestě (rybí přechod, propust). Pokud je vybudování alternativní migrační cesty nemožné, je potřeba, aby byl přímo na česlích zajištěn odchyt do vhodně konstruovaných pastí (vrší) a zajištěno pravidelné přemísťování odlovených ryb pod migrační bariéru).

(2) Behaviorální zábrany jsou zatím nedostatečně testované, elektrické zábrany se však zdají být nedostatečně účinné. Nejlepší účinnost z behaviorálních zábran na migrující dospělé úhoře patrně mají světelné odpuzovače (stroboskopické záblesky), ale jejich účinnost na úhoře v různých podmínkách bude potřeba detailněji prověřit.

(3) Při konstrukci poproudových rybích přechodů pro úhoře je velmi důležité vhodné směřování ryb ke vstupu rybího přechodu – nejlépe husté česle či žaluziové clony šikmo napříč tokem (úhel okolo 15° ku ose toku) odklánějící migranty přímo do přechodu. Dále je nezbytné dodržet pozvolné zvyšování dna směrem ke vstupu do rybího přechodu, pomalu akcelerující proudění ve vstupu rybího přechodu a dostatečný průtok v rybím přechodu.

(4) Postupně nahrazovat stávající turbíny MVE šetrnějšími typy „fish friendly“ turbín. U nově povolovaných MVE podporovat použití k rybám co nešetrnějších typů turbín (VLH, ALDEN, Archimédovy šrouby). U stávajících vodních děl s nedostatečně bezpečnou zábranou proti vnikání ryb pak upustit od používání turbín způsobujících nejvyšší mortality ryb, tj. turbín s malým poloměrem a vysokými otáčkami používaných na MVE a při velkých rozdílech hladin (např. Francisova turbína).

6. LITERATURA:

Adámek, Z., 1997 Elektronická zábrana ELZA2: výsledky vstupního testování funkčnosti a účinnosti. Bulletin VÚRH Vodňany 33 (1-2):167-170

Baran, Philippe and Basilico, Laurent and Larinier, Michel and Rigaud, Christian and Travade, François Management plan to save the eel. Optimising the design and management of installations. (2012) (Meeting Recap). ONEMA. ISBN 979 10 91047 10 4

Calles O, Karlsson S, Vezza P, Comoglio C, Tielman J. 2013 Success of a low-sloping rack for improving downstream passage of silver eels at a hydroelectric plant. Freshwat. Biol. 58, 2168–2179.

Calles O, Olsson IC, Comoglio C, Kemp PS, Blunden L, Schmitz M, Greenberg LA. 2010 Size-dependent mortality of migratory silver eels at a hydropower plant, and implications for escapement to the sea. Freshwat. Biol. 55, 2167–2180.

Clevestam PD, Ogonowski M, Sjöberg NB, Wickström H. 2011. Too short to spawn? Implications of small body size and swimming distance on successful migration and maturation of the European eel *Anguilla anguilla*. Journal of Fish Biology 78: 1073–1089.

Cooke SJ, Hatry C, Hasler CT, Smokorowski KE. 2011. Literature review, synthesis and proposed guidelines related to the biological evaluation of “fish friendly” very low head turbine technology in Canada. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. 2391: 1-33.

ČSN P 75 2323, Předběžná technická norma: Zajištění poproudových migrací ryb ve vodních tocích., 2014

Durif CMF and Elie P (2008), Prediction of downstream migration of silver eel and large river catchment based on commercial fishery data. Fisheries Management and Ecology 15: 127 – 137.

Leonhard Egg, Melanie Mueller, Joachim Pander, Josef Knott, Juergen Geist, 2017: Improving European Silver Eel (*Anguilla anguilla*) downstream migration by undershot sluice gate management at a small-scale hydropower plant. Ecological Engineering 106 (2017) 349–357

Environment Agency, 2009: Screening at intakes and outfalls: measures to protect eel. Environment Agency, Bristol , UK. 125 p.

Fazio G, Sasal P, Mouahid G et al (2012) Swim bladder nematodes (*Anguillicoloides crassus*) disturb silvering in European eels (*Anguilla anguilla*). J Parasitol 98:695–705

Hadderingh, R.H. and Jansen, H., 1990. Electric fish screen experiments under labora-

tory and field conditions. In: Developments in electric fishing, I.G. Cowx (ed.), Fishing News Books, Oxford, 266-280.

Hadderingh, R.H. and Smythe, A.G. (1997). Deflecting eels from power stations with light. Paper presented at the EPRI Fish Passage Workshop, Milwaukee, Wisconsin, May 6th-8th 1997. Electric Power Research Institute, Palo Alto, USA.

Sheridan et al. (2011). Screening at intakes and outfalls: measures to protect eel (*Anguilla anguilla*). In: Thurnpenny, A.W.H. and Horsfield, R.A., eds. International Fish Screening Techniques. WITpress, Southampton, pp. 17-31

Hartvich, P., Kubečka, J., 1999. Ztráty ryb procházejících turbinou údolní nádrže Lipno. Bulletin VÚRH Vodňany 35 (1-2): 85-90

Hartvich, P., Kubečka, J., Svobodová, Z., 1995. Změny zdravotního stavu ryb po úniku turbinami údolní nádrže Lipno. Bulletin VÚRH Vodňany 31: 106-111

Jansen, H. M., Winter, H. V., Bruijs, M. C. M., and Polman, H. J. G. 2007. Just go with the flow? Route selection and mortality during downstream migration of silver eels in relation to river discharge. – ICES Journal of Marine Science, 64: 1437-1443.

Kibel, P. (2008). Archimedes Screw Turbine Fisheries Assessment. Phase II: Eels and Kelts. Report. Fishtek Consulting Ltd. (UK).

Kiebel, P., & Coe, T. (2011). Archimedean screw risk assessment: Strike and delay probabilities. (Tech. rep.) Totnes: Fishtek Consulting.

Lagarrigue, T., & Frey, A., (2010). Test for evaluating the injuries suffered by downstream-migrating eels in their transiting through the new spherical discharge ring VLH turbogenerator unit installed on the Moselle river in Frouard. Report E. CO. GEA for MJ2 Technologies.

Lagarrigue, T., Voegtli, B., and Lascaux, J.M. 2008. Tests for evaluating the injuries suffered by downstream migrating salmonid juveniles and silver eels in their transiting through the VLH turbogenerator unit installed on the Tarn River in Millau. Prepared by ECOGEA for Forces Motrices de Farebout Company, France. 27 p.

LARINIER M. et DARTIGUELONGUE J., 1989. La circulation des poissons migrants : le transit à travers les turbines des installations hydroélectriques. (The movement of migratory fish : transit through turbines of hydroelectric installations) Bull. Fr. Pêche Piscic., Numéro spécial 312-313. 1-87

MONTEN E., 1985. Fish and turbines. Fish injuries during passage through power station turbines. Vattenfall, Stockholm, 111 p.

Musil, J., Kalous, L., Barteková, T., Barankiewicz, M., Ferrao, J.M.C.C., Petrtyl M. 2015. Environmentální rizika provozu malých vodních elektráren ve vazbě na vodní organismy a jejich nápravná řešení. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha, 18 pp.

Patrick, P.H. & Poulton, J.S. (2001). Responses of American eels to strobe lights and sound (preliminary data) and introduction to sound conditioning as a potential fish passage technology. In: Behavioural Technologies for Guidance of Fish. American Fisheries Society Symposium, 26, 1-11.

Patrick, P.H., Sheeham, R.W. & Sim, B. (1982). Effectiveness of a strobe light eel exclusion scheme. *Hydrobiologia*, 94, 269-277.

Piper, A. T., Manes, C., Siniscalchi, F., Marion, A., Wright, R & Kemp, P.S. 2015. Response of seaward-migrating European eel (*Anguilla anguilla*) to manipulated flow fields. *Proceedings of the Royal Society B*, 282: 20151098

Priyono S and Ibrahim K.A. Design. Simulation and Experimental of the Very Low Head Turbine with Minimum Pressure and Free Vortex Criteria. *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS* Vol: 11 No: 01. 2011.

J. Schmidt (1922), The breeding places of the eel, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B*, 211, pp. 179-208

Schneider, J., Hübner, D., & Korte, E.. (2012). Funktionskontrolle der Fischaufstiegs- und Fischabstiegshilfen sowie Erfassung der Mortalität bei Turbinendurchgang an der Wasserkraftanlage Kostheim am Main. Endbericht 2012. Bürogemeinschaft für Fisch- & Gewässerökologische Studien, Frankfurt am Main.

Schneider, J., Hübner, D., & Korte, E.. (2012). Funktionskontrolle der Fischaufstiegs- und Fischabstiegshilfen sowie Erfassung der Mortalität bei Turbinendurchgang an der Wasserkraftanlage Kostheim am Main. Endbericht 2012. Bürogemeinschaft für Fisch- & Gewässerökologische Studien, Frankfurt am Main.

Thomas C. Cook, George E. Hecker, Stephen Amaral, Philip Stacy, Fangbiao Lin, and Edward Taft. (2003). Pilot Scale Tests Alden/Concepts NREC Turbine. Technical Report. United States. doi:10.2172/816298

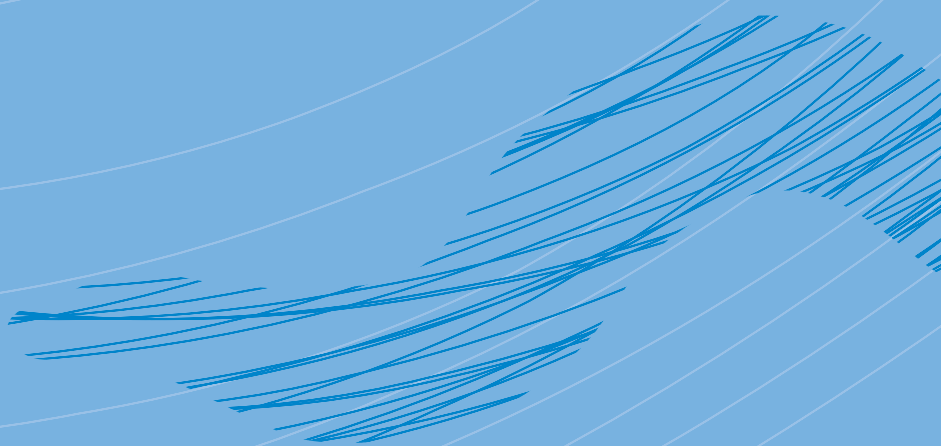
Turnpenny, A. W. H. & O'Keeffe, N. (2005). Screening for intake and outfalls: a best practice guide. Environment Agency Science Report SC030231 https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291568/scho0205bioc-e-e.pdf (dostupné ke dni 13.6.2017)

TWARÓG BERNARD (2015) An analysis of the application of the Alden turbine – a case study of the Dobczyce hydroelectric power plant. *TECHNICAL TRANSACTIONS - ENVIRONMENT ENGINEERING*, 1-Ś (18) doi: 10.4467/2353737XCT.15.193.4398

V.T.G. van Ginneken, G.E. Maes The European Eel (*Anguilla anguilla*, L.), its lifecycle, evolution and reproduction: a literature review *Rev. Fish Biol. Fish.*, 15 (4) (2005), pp. 367-398

7. PODĚKOVÁNÍ

Publikace vznikla v rámci projektu EHP-CZ02-OV-1-016-2014 „Vytvoření strategie pro snížení dopadů fragmentace říční sítě ČR.“ Současně bychom na tomto místě chtěli poděkovat všem, kteří pomohli/pomáhají (v terénu, konzultacemi, povoleními, spoluprací při provozování monitorovacích systémů aj.) realizaci projektů, především všem kolegům z Českého rybářského svazu, podnikům povodí, soukromým hydroenergetickým společnostem a mnohým dalším.



WWW.VUV.CZ