



STÁTNÍ FOND
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
ČESKÉ REPUBLIKY

www.sfzp.cz



Ministerstvo životního prostředí
České republiky

www.mzp.cz

**VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T.G. MASARYKA**

veřejná výzkumná instituce

Metodika hodnocení ekologického stavu útvárů povrchových vod tekoucích (kategorie řeka) pomocí biologické složky ryby

Jméno řešitele

Ing. Pavel Horký, Ph.D.

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA

Zadavatel: MŽP

Číslo výtisku: 1

Praha, červen, 2011



**Metodika hodnocení ekologického stavu útvarů
povrchových vod tekoucích (kategorie řeka)
pomocí biologické složky ryby**

Ing. Pavel Horký, Ph.D.

Závěrečná zpráva

Název a sídlo organizace:

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
Podbabská 30, 160 00 Praha 6

Ředitel:

Mgr. Mark Rieder

Zadavatel:

Ministerstvo životního prostředí
Vršovická 65, 100 10 Praha 10

Zástupce zadavatele:

Mgr. Alena Slavíková – oddělení ochrany vod OOV MŽP

Zahájení a ukončení úkolu:

1.1.2011 – 30.6.2011

Místo uložení zprávy:

SVTI VÚV TGM, v.v.i.

Náměstek ředitele pro výzkumnou a odbornou činnost:

Ing. Petr Bouška, Ph.D.

Vedoucí odboru:

Mgr. Ondřej Slavík, Ph.D.

Hlavní řešitel:

Ing. Pavel Horký, Ph.D.

Spoluřešitelé:

Mgr. Ondřej Slavík, Ph.D.

Obsah

1	Úvod.....	2
2	Typologie.....	3
2.1	Typologie říční sítě ČR	3
2.2	Typologie upravená podle společenstev ryb.....	5
2.3	Souhrn	9
3	Český multimetrický index.....	10
3.1	Hranice tříd	12
3.2	Reakce CZI na faktory popisující degradaci prostředí	12
3.3	Vztah CZI k obecným metrikám.....	14
3.4	Stálost v čase.....	14
3.5	Souhrn	15
4	Podmínky použití metodiky	15
5	Závěr	15
6	Literatura	16
	Příloha I: Statistická analýza	17

1 Úvod

Předkládaná metodika obsahuje hodnocení ekologického stavu pomocí společenstev ryb v České republice. Součástí metodiky je popis vývoje upravené typologie a navazujícího Českého multimetrického indexu hodnocení (CZI). Tato metodika je založená na hodnocení ekologického stavu pomocí juvenilních společenstev ryb a navazuje tak na dříve publikované metodiky odběru jejich vzorků (Slavík a Jurajda, 2001; Jurajda a kol., 2006). Pokud není výslovně uvedeno jinak, vztahují se veškeré dále uvedené údaje ke společenstvům juvenilních ryb. Data, která byla použita pro jednotlivé výpočty, pochází z monitorovací sítě ČR a z archivní databáze autorů. Popis analýz je shrnutý v příloze I. Součástí metodiky je rovněž ověření funkčnosti vyvinutého indexu CZI a jeho kompatibility se Směrnicí 2000/60/ES Evropského Parlamentu a Rady z 23. října 2000 ustavující rámec pro činnost společenství v oblasti vodní politiky (dále jen Rámcová směrnice o vodách) z hlediska reakce na působení antropogenních tlaků.

2 Typologie

2.1 Typologie říční sítě ČR

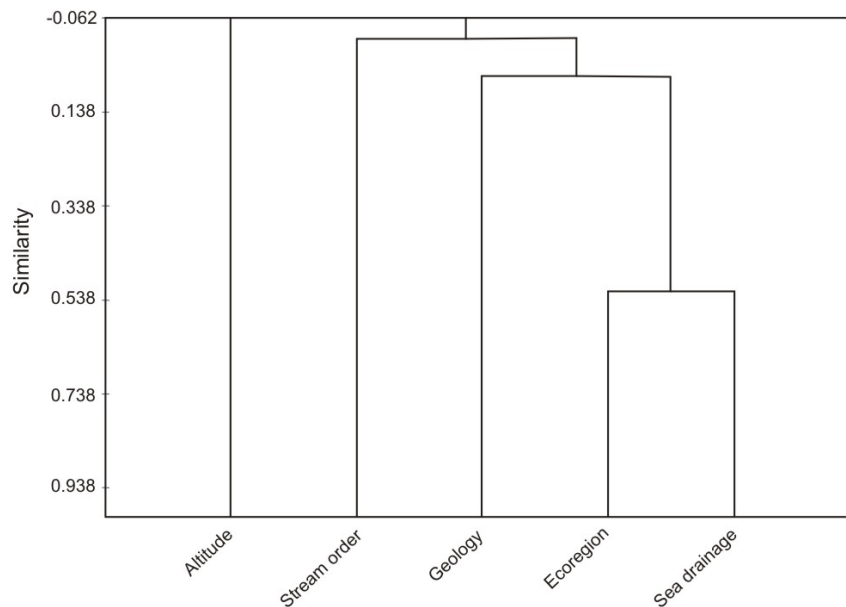
Obecná typologie říční sítě České republiky byla pro účely Rámcové směrnice o vodách zpracována týmem odborníků pod vedením RNDr. Jakuba Langhammera, Ph.D. (Langhammer et al., 2009). Následující stručné shrnutí obsahuje výsledky jeho práce a je reprodukováno s jeho laskavým svolením.

Na začátku celého procesu byly vybrány odpovídající proměnné, které popisují přirozenou abiotickou variabilitu vodních toků. Tyto proměnné byly vygenerovány na základě GIS dat postihujících celou ČR a následně byly předmětem sofistikovaných statistických analýz jako je aglomerativní hierarchické shlukování (AHC). Analýzy definovaly skupiny (clustery) vzájemně souvisejících proměnných. Z každé skupiny byla následně vybrána proměnná s největším potenciálem vysvětlit variabilitu dat a zároveň mající nejsilnější vazbu na data biologická. Na základě těchto parametrů byly vybrány čtyři finální proměnné: úmoří, nadmořská výška, geologie a řád toku podle Strahlera. Úmoří bylo vybráno jako náhrada za ekoregion (Obr. 1). Hranice ekoregionů se sice ve většině případů překrývají s hranicemi úmoří, nicméně v některých případech dochází k odlišnostem. S ohledem k tomu, že hranice úmoří lépe odpovídají rozdílům v druhovém složení než ekoregiony, bylo rozhodnuto použít tuto přirozenou proměnnou místo uměle definovaného ekoregionu. Vybrané proměnné byly předmětem dalších analýz za účelem nastavení jejich odpovídajících kategorií. Tyto kategorie jsou následující:

<u>Úmoří</u>	Severní moře
	Baltské moře
	Černé moře
<u>Nadmořská výška</u>	méně než 200 m. n m.
	200 – 500 m. n m.
	500 – 800 m. n m.
	více než 800 m. n m.

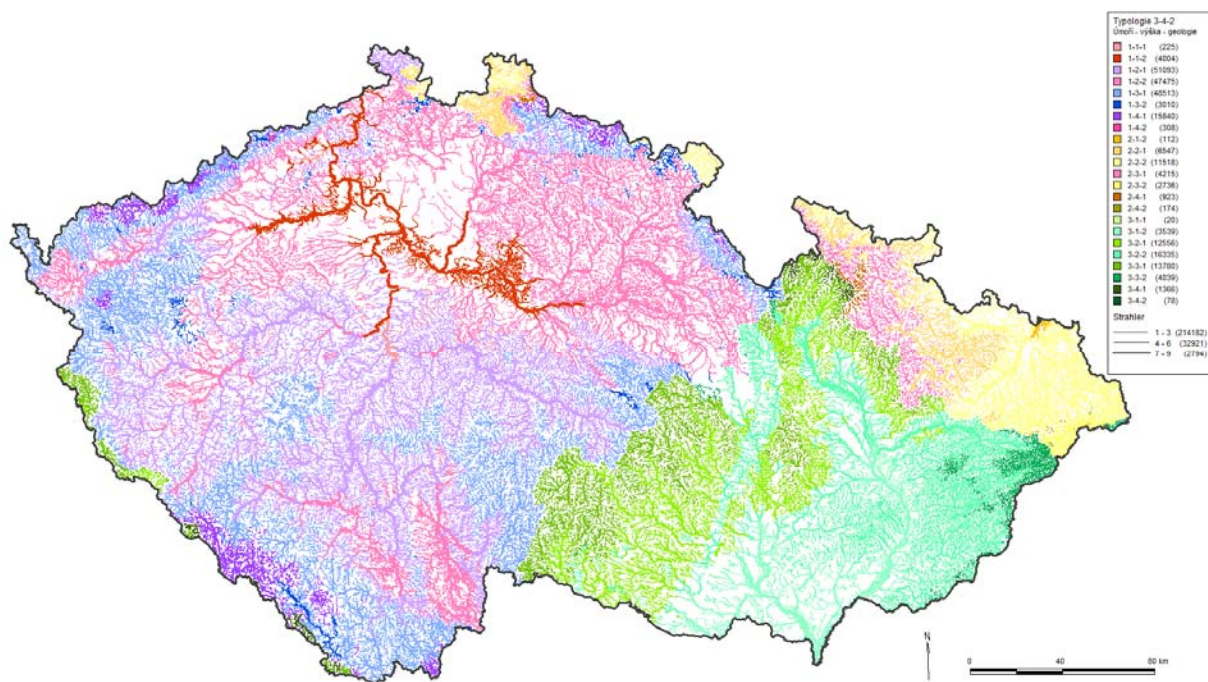
Geologie krystalinikum a vulkanity
pískovce, jílovce, kvartér

Řád toku potoky (1 – 3 řád)
říčky (4 – 6 řád)
řeky (7 – 9 řád)



Obr. 1. Dendrogram proměnných použitých pro popis přirozené variability toků

Na základě výše uvedených proměnných byla říční síť ČR rozdělená do 23 hlavních typů (Obr. 2), s dalším jemným členěním do celkem 47 typů.



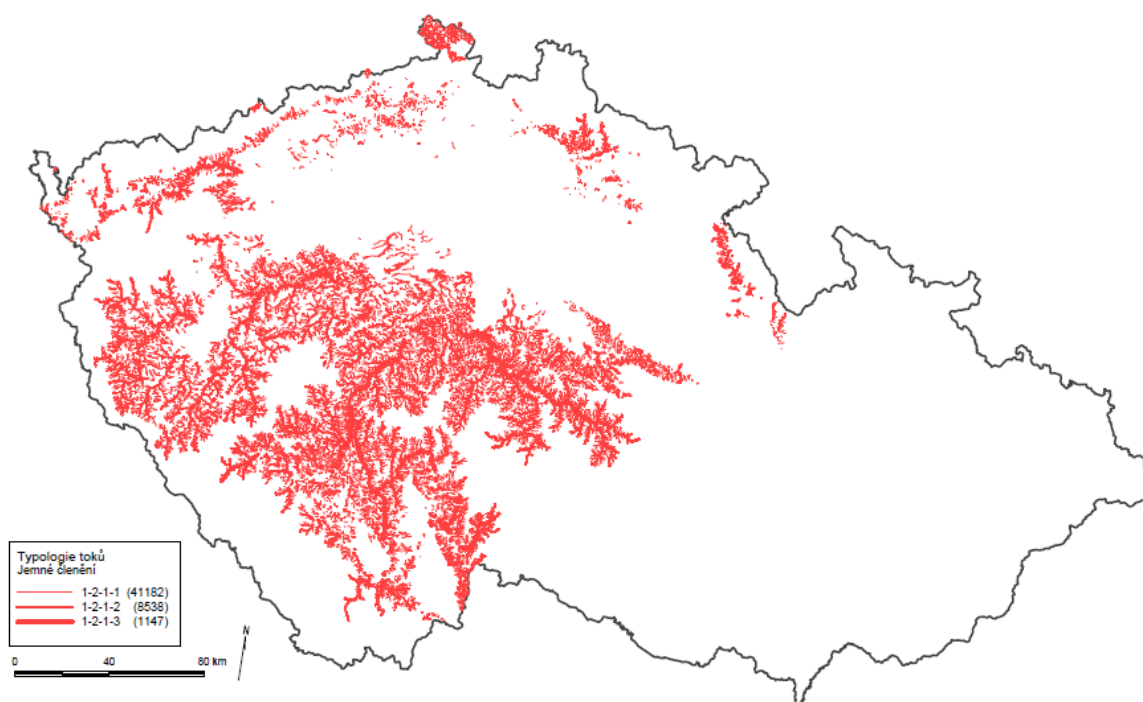
Obr. 2. Mapa zobrazující 23 hlavních typů toků

2.2 Typologie upravená podle společenstev ryb

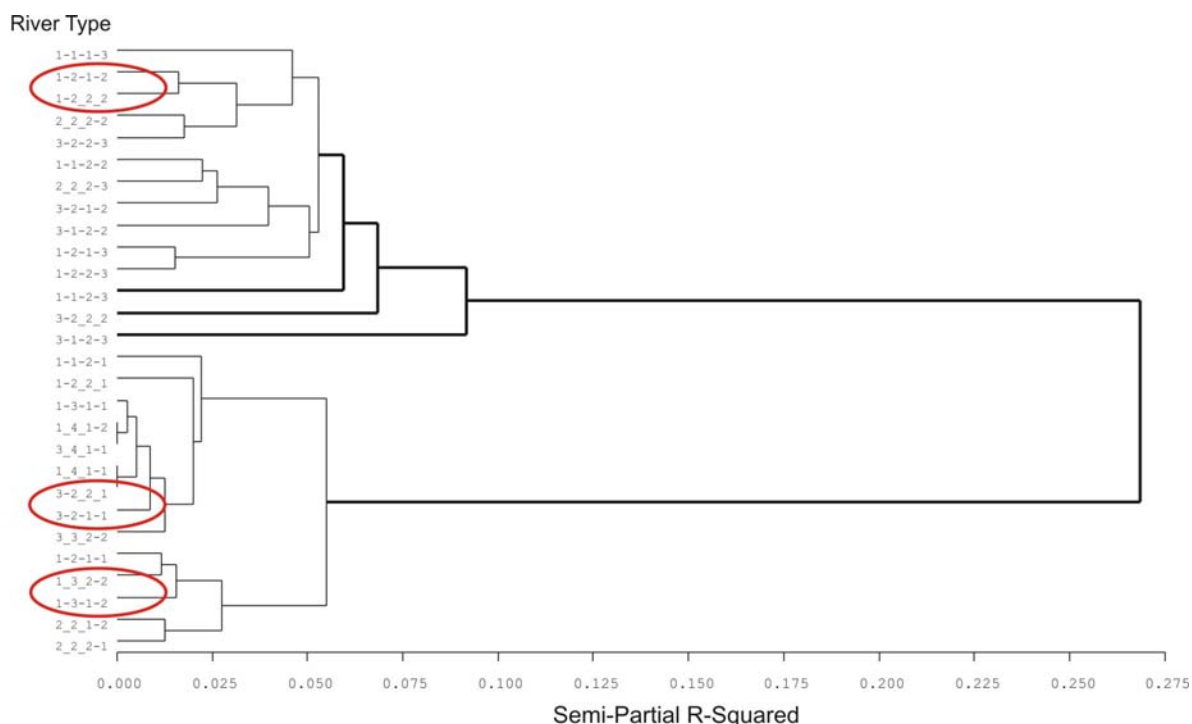
Funkčnost abiotické typologie říční sítě ČR byla dále testovaná a upravená podle charakteristik společenstev ryb. Tyto charakteristiky byly získány na základě dostupných dat (celkem více než 300 profilů) zkombinovaných s historickými prameny a expertním odhadem. Pomocí tohoto postupu, který je v souladu s prováděcími dokumenty (tzv. Guidance) Rámcové směrnice o vodách, bylo zkonstruováno očekávané složení typických společenstev ryb na daných lokalitách. Tímto postupem bylo zkonstruováno složení společenstev pro 28 typů vodních toků podle jemného členění, čímž bylo pokryto celkem 84,26 % celkové plochy ČR. Příklady typů vodních toků, pro které byla dostupná data jsou na obr. 3. Typická společenstva ryb byla předmětem shlukové analýzy, která rozdělila Českou republiku do pěti hlavních typů (obr. 4).

- nížinné řeky náležející úmoří Severního moře (povodí Labe)
- nížinné řeky náležející úmoří Černého moře (povodí Dunaje)
- říčky náležející úmoří Černého moře (povodí Dunaje)

- ostatní říčky a řeky nižších poloh bez specifikace úmoří
- potoky a říčky převážně vyšších poloh bez specifikace úmoří



Obr. 3. Mapa zobrazující příklad tří typů toků s dostupnými daty



Obr. 4. Dendrogram rozdělující ČR do pěti hlavních typů z hlediska společenstev ryb. Červené ovály zvýrazňují příklady typů, které se liší pouze geologií.

Geologie nebyla z hlediska společenstev ryb potvrzená jako faktor, který by významně ovlivňoval jejich složení. Tento fakt mimo jiné demonstruje obr. 4, kde jsou lokality se stejným charakterem kromě geologie umístěné vedle sebe. Význam geologie nepotvrdily ani výsledky dalších analýz, a tak byla z typologie upravené podle společenstev ryb vypuštěna. Nadmořská výška a řád toku byly naopak potvrzené jako vhodné prediktory proměnných charakterizujících společenstva ryb, a tak byly použité pro další rozdělení hlavních typů. Na základě tohoto rozdělení bylo vygenerováno celkem 13 výsledných typů, které jsou uvedené níže:

1. nížinné řeky náležející úmoří Severního moře (povodí Labe)

tento hlavní typ není dále rozdělen a představuje jednu kategorii

2. nížinné řeky náležející úmoří Černého moře (povodí Dunaje)

tento hlavní typ není dále rozdělen a představuje jednu kategorii

3. říčky náležející úmoří Černého moře (povodí Dunaje)

tento hlavní typ není dále rozdělen a představuje jednu kategorii

4. ostatní říčky a řeky nižších poloh bez specifikace úmoří

tento hlavní typ je dále rozdělen do čtyř podtypů

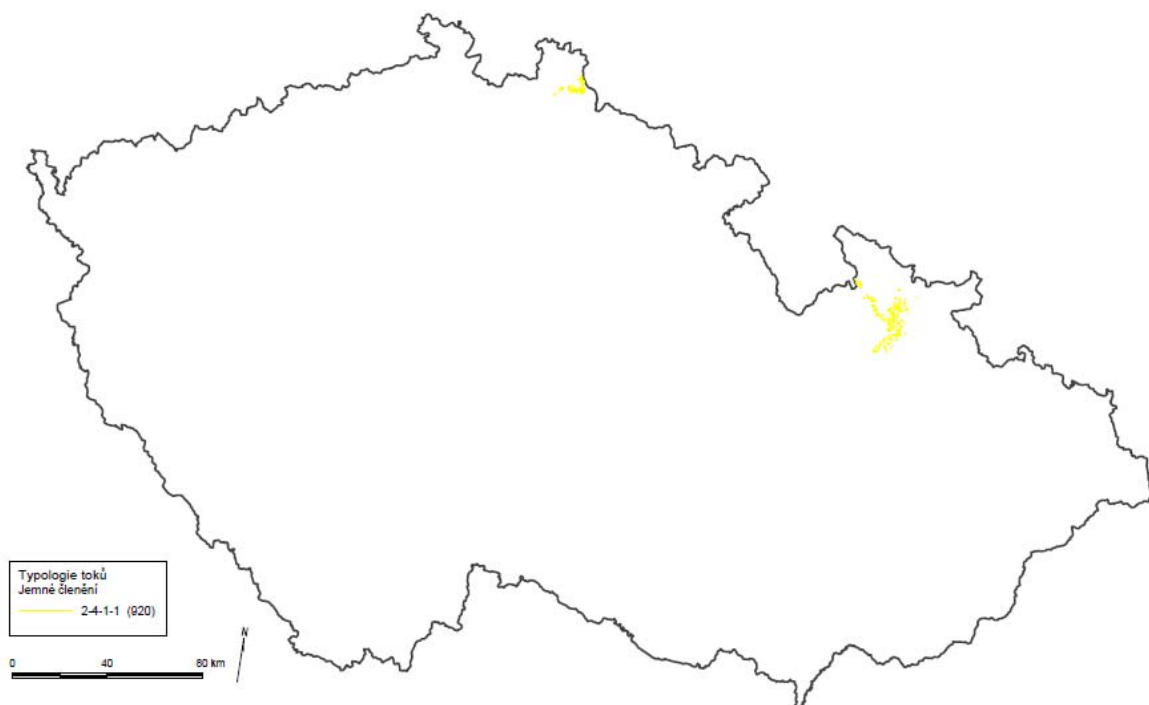
- 4 a.** nadmořská výška méně než 200 m a řád toku 4 až 6
- 4 b.** nadmořská výška méně než 200 m a řád toku 7 až 9
- 4 c.** nadmořská výška od 200 do 500 m a řád toku 4 až 6
- 4 d.** nadmořská výška od 200 do 500 m a řád toku 7 až 9

5. potoky a říčky převážně vyšších poloh bez specifikace úmoří

tento hlavní typ je dále rozdělen do šesti podtypů

- 5 a.** nadmořská výška méně než 200 m a řád toku 1 až 3
- 5 b.** nadmořská výška od 200 do 500 m a řád toku 1 až 3
- 5 c.** nadmořská výška od 500 do 800 m a řád toku 1 až 3
- 5 d.** nadmořská výška od 500 do 800 m a řád toku 4 až 6
- 5 e.** nadmořská výška více než 800 m a řád toku 1 až 3
- 5 f.** nadmořská výška více než 800 m a řád toku 4 až 6

Zbývající typy toků, pro které nebyla dostupná dostatečná data, byly přiřazené do jednoho z výše uvedených typů na základě expertního stanoviska. Případná chyba způsobená tímto procesem je minimální, protože nezařazené typy se od zařazených lišily pouze v geologii, jejíž vliv na složení společenstev ryb nebyl prokázán. Navíc byly tyto typy zastoupeny zejména malými podhorskými a horskými toky (obr. 5), pro které je možné typické složení společenstev predikovat s velkou mírou spolehlivosti.



Obr. 5. Mapa zobrazující příklad typu toku, pro který nebyla dostupná data

2.3 Souhrn

Lze shrnout, že typologie říční sítě ČR upravená podle společenstev ryb je založená na třech proměnných: úmoří, nadmořská výška a řád toku. Na základě těchto parametrů bylo stanoveno třináct typů toků, odpovídajících odlišnému složení typických společenstev ryb.

3 Český multimetrický index

Pro každý z výše uvedených třinácti typů toků bylo zrekonstruováno složení očekávaného (referenčního) společenstva ryb na základě údajů z referenčních lokalit, dostupných historických údajů a expertního odhadu. Složení referenčních společenstev bylo následně vyjádřené v hodnotách různých metrik, které byly vybrány na základě jejich ekologické relevance a předpokládané schopnosti detekovat degradaci společenstva na základě antropogenních tlaků. Vybrané metriky byly následující: výskyt typických druhů, celkový počet druhů, celková početnost, výskyt jednotlivých ekologických a reprodukčních skupin, počet druhů náležejících k jednotlivým reprodukčním a ekologickým skupinám a relativní početnost jednotlivých reprodukčních a ekologických skupin. Za účelem zjištění odlišností od referenčního stavu byly tyto metriky vyjádřené jako tzv. EQR (Ecological Quality Ratio), neboli poměr mezi zjištěnými a očekávanými hodnotami. Závěrečný výběr metrik byl realizován na základě jejich schopnosti rozlišit mezi referenčními lokalitami a lokalitami ovlivněnými antropogenním tlakem. Tento postup vedl k výběru následujících metrik: výskyt typických druhů ($F_{1, 235} = 5.31$; $P < 0.0221$; Tukey: $P < 0.0221$; obr. 6 a); celková početnost ($F_{1, 249} = 3.99$; $P < 0.0469$; Tukey: $P < 0.0469$; obr. 6 b); relativní početnost reofilních druhů preferujících proudný charakter prostředí ($F_{1, 277} = 13.71$; $P < 0.0003$; Tukey: $P < 0.0003$; obr. 6 c) a relativní početnost eurytopních druhů nespécializovaných na určitý typ toku a odolných vůči změně prostředí ($F_{1, 286} = 32.26$; $P < 0.0001$; Tukey: $P < 0.0001$; obr. 6 d).

Konečná podoba **Českého multimetrického indexu (CZI)** sloužícího pro stanovení ekologické kvality toků podle rybích společenstev:

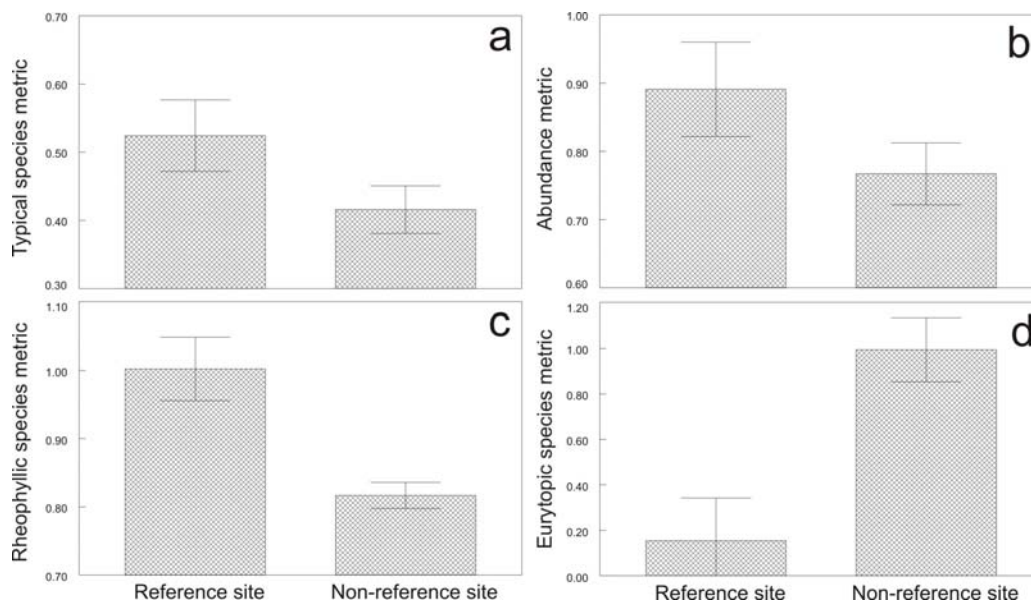
$$CZI = \frac{(T_d + A + R_d) - (E_d)}{4}$$

T_d – EQR výskytu typických druhů

A – EQR celkové početnosti

R_d – EQR relativní početnosti reofilních druhů

E_d – EQR relativní početnosti eurytopních druhů



Obr. 6. Hodnoty jednotlivých metrik (a - výskyt typických druhů, b – celková početnost, c – relativní početnost reofilních druhů, d – relativní početnost eurytopních druhů) na referenčních a nereferenčních lokalitách.

S ohledem k přirozeně nízké početnosti ryb v nadmořských výškách nad 800 m nebyla metrika A (EQR celkové početnosti) schopná v těchto podmínkách odlišit mezi referenčními a nereferenčními lokalitami. Na základě této skutečnosti byl CZI pro nadmořské výšky nad 800 m upraven a jeho následující výsledná podoba neobsahuje celkovou početnost.

CZI pro nadmořské výšky nad 800 m:

$$\text{CZI} = \frac{(T_d + R_d) - (E_d)}{3}$$

Relativní početnost reofilních druhů ryb je obecně uvažována jako metrika, jejíž hodnota stoupá se zlepšujícím se ekologickým stavem toků. Nicméně jelec tloušť *Leuciscus cephalus* (L.), který je rovněž zástupcem reofilních druhů, je vůči rozdílným antropogenním tlakům více odolný než zbývající členové této skupiny. Vzhledem k tomu může společenstvo tvořené tloušťem sice dosáhnout vysokého podílu zastoupení reofilních druhů, což však nemusí nutně znamenat dobrý ekologický stav toku. Za účelem ošetření této situace byla ve výpočtu

CZI nastavená korekce, která hodnotu reofilních druhů automaticky sníží, pokud je tloušť jediným reofilním druhem, který se na dané lokalitě vyskytuje.

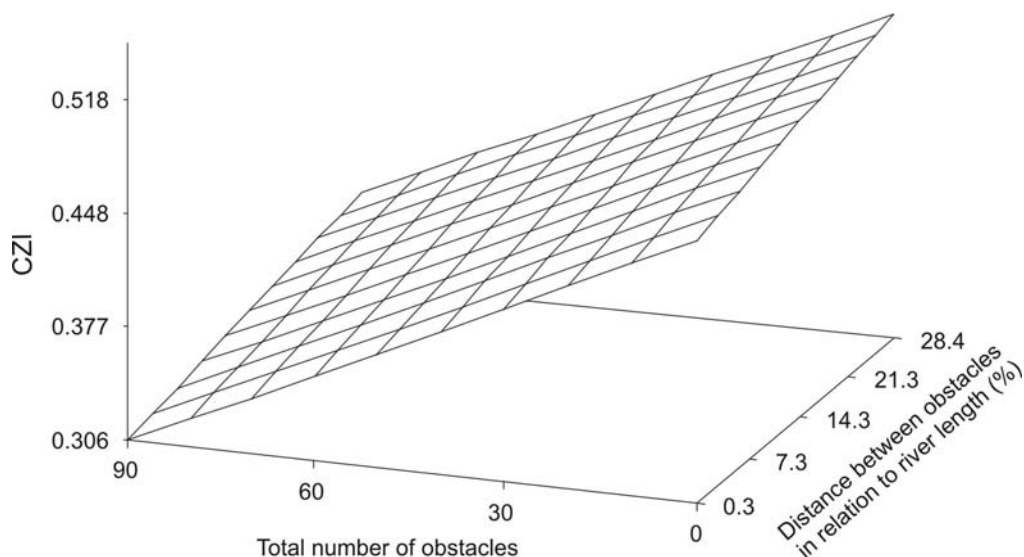
3.1 Hranice tříd

CZI dosahuje hodnot 0 až 1. Hranice tříd ekologické kvality toku byly nastavené na základě hodnot CZI dosažených na referenčních lokalitách (option C, Guidance dokument č. 10). Hranice mezi 1 a 2 třídou byla nastavená jako první kvartil (25 percentil) hodnot získaných na referenčních lokalitách. Zbývající hranice byly rozdělené do poměrně stejných částí. Výsledné hranice jsou následující:

Velmi dobrý stav:	0.780 - 1.000
Dobrý stav:	0.585 - 0.780
Střední stav:	0.390 - 0.585
Poškozený stav:	0.195 - 0.390
Zničený stav:	0.000 - 0.195

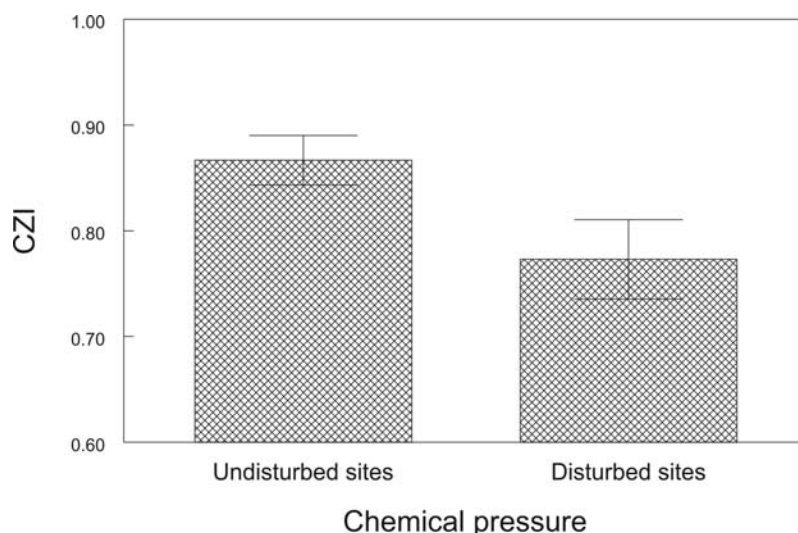
3.2 Reakce CZI na faktory popisující degradaci prostředí

CZI signifikantně reaguje na různé faktory popisující degradaci prostředí. Jeho hodnota klesá s rostoucím počtem překážek na toku a snižující se vzdáleností mezi nimi vyjádřenou ve vztahu k délce toku ($F_{1, 108} = 4,72$; $P < 0,0321$; obr. 7). Jinými slovy, čím více překážek a kratší vzdálenosti mezi nimi, tím je společenstvo ryb na dané lokalitě více odchýlené od referenčního stavu.



Obr. 7. Hodnota CZI ve vztahu k počtu překážek a relativní vzdálenosti mezi nimi

Reakce CZI na chemické znečištění je nízká, pokud uvažujeme všechny dostupné lokality ($F_{1, 223} = 1.70$; $P < 0.1938$). Pokud však uvažujeme pouze lokality s nízkým morfologickým tlakem, tak je reakce CZI na chemické znečištění signifikantní ($F_{1, 52} = 4.45$; $P < 0.0396$), přičemž CZI dosahuje vyšších hodnot na nezatížených lokalitách (Tukey: $P < 0.0396$; obr. 8).



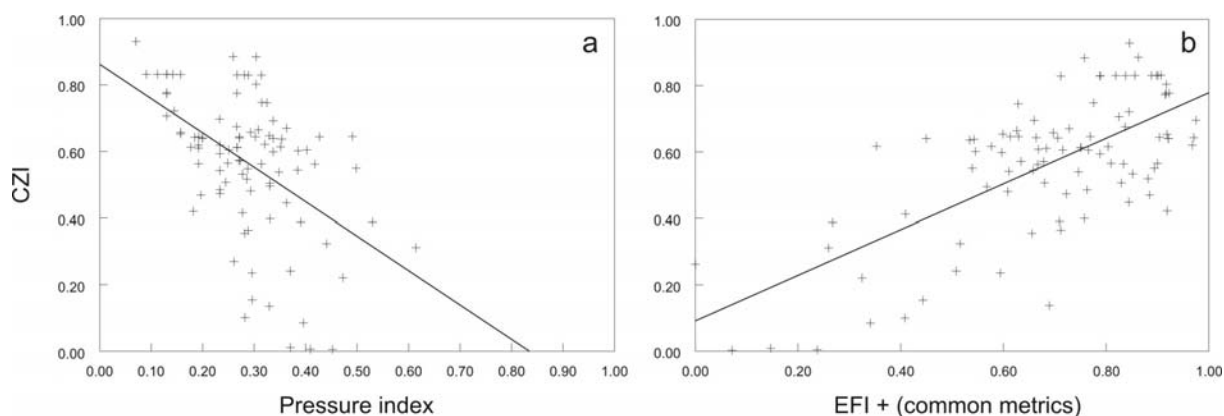
Obr. 8. Hodnota CZI na chemicky ovlivněných a neovlivněných lokalitách.

Lze tedy shrnout, že CZI reaguje na morfologické i chemické tlaky. Nicméně za účelem testování všech tlaků na lokalitě najednou je zapotřebí více komplexní řešení. Za tímto

účelem byl v rámci interkalibrace ryb D. Pontem a O. Delaigue vyvinutý tzv. „pressure index“, který v sobě zahrnuje hodnotu 17 individuálních tlaků působících na rybí společenstva na dané lokalitě. CZI na tento index signifikantně reaguje ($F_{1, 93} = 29,92$; $P < 0,0001$; obr. 9 a) a se snižující se úrovní působících tlaků zvyšuje svojí hodnotu. Na základě toho se dá usuzovat, že CZI obecně reaguje na degradaci prostředí.

3.3 Vztah CZI k obecným metrikám

Za účelem hodnocení ekologické kvality toku pomocí společenstev ryb v rámci celé Evropy byl vytvořený index EFI (European Fish Index; FAME consortium, 2004). Tento index byl dále vyvíjen a v současné době je prezentován jako EFI plus. EFI plus je v současné době přijímáno jako nepsaný standard v hodnocení společenstev ryb. Vzhledem k tomu, že CZI s hodnotou EFI plus signifikantně vzrůstá ($F_{1, 93} = 78,15$; $P < 0,0001$; obr. 9 b) lze tvrdit, že je CZI s EFI plus vzájemně kompatibilní.



Obr. 9. Vztah mezi CZI a „pressure indexem“ (a) a EFI + (b).

3.4 Stálost v čase

Stálost CZI v čase byla testována na základě dvouletých (87 lokalit) a tříletých (13 lokalit) sledování. Na základě těchto dat nebyl prokázán vliv roku na hodnotu CZI ($F_{1, 75,4} = 0,91$; $P < 0,3432$; resp. $F_{2, 26} = 0,71$; $P < 0,5016$). Lze tak hovořit o stálosti hodnocení společenstev ryb pomocí CZI v krátkodobém horizontu dvou až tří let.

3.5 Souhrn

Byl vyvinutý a z hlediska funkčnosti ověřený Český multimetrický index (CZI) hodnotící ekologickou kvalitu toku podle společenstev ryb. CZI se skládá ze čtyř metrik – výskytu typických druhů, celkové početnosti, relativního zastoupení reofilních druhů a relativního zastoupení eurytopních druhů. CZI, jenž nabývá hodnot od 0 do 1, významně reaguje na antropogenní tlaky a je stabilní v horizontu několika let, což dokazuje jeho kompatibilitu s požadavky Rámcové směrnice vodní politiky (2000/60/ES).

4 Podmínky použití metodiky

Uvedené postupy hodnocení mohou být aplikovány pouze na vzorky, které byly odebrány a zpracovány schválenou metodou odběru a zpracování vzorků plůdkových společenstev tekoucích vod (Jurajda, P., Slavík, O. & Z. Adámek, 2006). Pro dosažení správných výsledků je nutné aplikovat metodiku za použití aktuálních podkladových materiálů. Jedná se zejména o aktuální seznam taxonů s jejich ekologickými charakteristikami. K určení referenčních hodnot jednotlivých metrik jsou nutné informace o úmoří, nadmořské výšce hodnoceného profilu a řádu toku dle Strahlera určeného na modelu říční sítě 1:10 000. Předpokládá se, že program na výpočet indexu CZI by měl být v blízké budoucnosti plně implementován v informačním systému pro hodnocení stavu vod (<http://hydro.chmi.cz/isarrow/>).

5 Závěr

Vzorkování juvenilních stádií ryb bylo ověřené jako plnohodnotná metoda pro stanovení ekologického stavu toku. Byla vyvinutá funkční typologie a na ní navazující multimetrický index hodnocení. Metoda hodnocení, včetně hranice jednotlivých tříd stanovených pomocí výše popsané procedury, úspěšně prošla mezinárodním interkalibračním porovnáním, které je povinností členských států vyplývající z evropské legislativy (Rámcové směrnice o vodách). Závěrečná zpráva z interkalibračního cvičení byla nyní postoupena EK a po jejím schválení budou výsledky, včetně stanovených hranic jednotlivých tříd, vydány samostatným Rozhodnutím Komise a stanou se tak nedílnou součástí národní legislativy. Vzhledem k výše uvedenému lze proto zatím považovat nastavení hranic tříd pouze za předběžné; konečné hodnoty hranic budou po jejich zveřejnění v Rozhodnutí EK vydány jako dodatečná příloha k této metodice.

6 Literatura

FAME consortium (2004) *Manual for the application of the European Fish Index - EFI*. A fish-based method to assess the ecological status of European rivers in support of the Water Framework Directive. Version 1.1

Jurajda, P., Slavík, O. & Z. Adámek. 2006. Metodika odlovu a zpracování vzorku plůdkových společenstev tekoucích vod. ČSN EN 14011-757706 Jakost vod. Odběr vzorků pomocí elektrického proudu.

Langhammer, J, Hartvich F., Maltas D., Zbořil A. et al. 2009. Vymezení typů útvarů povrchových vod. PŘF UK Praha.

Slavík, O. a Jurajda, P. 2001. Metodický návod pro sledování společenstev juvenilních ryb. Výzkum pro praxi, sešit 44. VÚV TGM Praha.

Příloha I: Statistická analýza

Veškeré statistické analýzy, stejně jako nezbytná programátorská řešení, byly realizovány pomocí softwaru SAS (Statistical Analyses System, verze 9.1).

Vzájemné vztahy mezi proměnnými byly testovány za využití zobecněných lineárních smíšených modelů (GLMM). Pro každou analýzu byl vytvořen separátní model. Za účelem započítání náhodné chyby způsobené rozdílnou charakteristikou jednotlivých lokalit, byly analýzy realizovány s lokalitou jako s náhodným faktorem (random factor) za využití analýzy mixed. Významnost vlivu jednotlivých proměnných a jejich interakcí byla testována pomocí F testu. Hodnota parametrů tříd byla odhadnutá pomocí metody nejmenších čtverců (LS means) a jejich vzájemné rozdíly byly testovány pomocí t testu. Pro mnohonásobné porovnání byla použita metoda dle Tukeyho a Kramera. Stupně volnosti byly spočítané pomocí metody dle Kenwarda a Rogera.