

# Národná metóda stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb – Slovenský ichtyologický index

Aktualizovaná verzia 2010



Doc. RNDr. Vladimír Kováč, CSc.

Bratislava, December 2010

## Obsah

1. Úvod	3
2. European Fish Index (EFI)	4
3. European Fish Index plus (EFI+)	9
4. Národná metodika stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb	12
5. Problémy s uplatnením EFI na Slovensku	16
6. Slovenský ichtyologický index (FIS)	21
7. Softvérový nástroj na výpočet FIS	32
8. Odporúčania pre aplikáciu národnej metodiky stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb	33
9. Záver a súhrn	34
10. Literatúra	35
Príloha 1	37



## 1. Úvod

V roku 2000 Európska únia prijala prostredníctvom svojho parlamentu smernicu č. 2000/60/ES, ktorá určuje politiku EÚ využívania a ochrany vôd v ďalšom období. Nazýva sa Rámcová smernica o vodách (RSV) a jej cieľom je zabezpečiť trvalo udržateľné využívanie zdrojov vody v požadovanom množstve a vo vyhovujúcej kvalite aj pre budúce generácie. Slovenská republika sa ako členská krajina Európskej únie zaviazala implementovať túto smernicu do svojej legislatívy a uplatňovať ju v praxi. Cieľom tejto správy je nadviazať na doterajšie aktivity uskutočnené v Slovenskej republike v oblasti hodnotenia ekologického stavu slovenských tokov na základe ichtyofauny, identifikovať slabé miesta a navrhnúť nové riešenia tak, aby vznikla ucelená a funkčná národná metodika stanovovania ekologického stavu slovenských tokov na základe posúdenia stavu rybích spoločenstiev.

Predložená správa je výsledkom zmluvnej spolupráce medzi Výskumným ústavom vodného hospodárstva a spoločnosťou AQ-BIOS, ktorá sa začala realizovať v roku 2008. K dopracovaniu metodiky prispelo rozličnou mierou aj viacero odborníkov z oblasti ichtyológie, ekológie, hydrológie, a ďalších odborov, predovšetkým Prof. RNDr. Karol Hensel, CSc., RNDr. Jarmila Makovinská, CSc., RNDr. Vladimír Mužík, Peter Kováč, Doc. RNDr. Ivan Stráňai, CSc., RNDr. Ján Koščo, CSc., RNDr. Katarína Melová, RNDr. Matúš Haviar, Mgr. Miroslav Holubec, Mgr. Marta Bukovčáková a ďalší. Všetkým ďakujem, pretože bez ich príspevku by sotva bolo možné túto metodiku dopracovať. Za definitívnu podobu, ako aj obsah predloženej správy však v plnej miere zodpovedá jej autor (Doc. RNDr. Vladimír Kováč, CSc.), takže akékoľvek prípadné nedostatky či chyby idú výlučne na jeho vrub.

Implementácia Rámцovej smernice o vodách v členských krajinách Európskej únie je dlhodobý proces, ktorý je v neprestajnom vývine a vyžaduje intenzívnu medzinárodnú spoluprácu. V tomto zmysle treba chápať aj predloženú Správu o dopracovaní metodiky stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb. Výraz „dopracovanie“ možno nie je celkom presný, pretože postupy navrhované v tejto správe nemusia byť definitívne, ba skôr je pravdepodobné, že budú podliehať ďalším modifikáciám tak, ako si to bude vyžadovať prax. Navrhovaná metodika totiž vychádza z veľmi skromného súboru dát (v porovnaní s viacerými inými krajinami EÚ) použiteľných na jej vypracovanie, čo neumožňuje navrhnutý ukazovateľ Fish Index of Slovakia testovať ani validovať adekvátnymi štatistickými nástrojmi. Metodiku stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb opísanú v tejto správe preto treba vnímať predovšetkým ako ďalší krok na ceste k úspešnému završeniu implementácie Rámцovej smernice o vodách v Slovenskej Republike.

## 2. Európsky ichtyologický index (EFI)

Ako odozva na Rámcovú smernicu o vodách, ktorá predpokladá hodnotenie ekologického stavu vôd aj na základe stavu ichtyofauny, vznikol projekt známy pod skratkou FAME (Fish-based Assessment Method for the Ecological Status of European Rivers). Tento projekt bol podporený 5. Rámcovým Programom EÚ a na jeho riešení sa zúčastnilo 12 štátov: Rakúsko, Belgicko, Francúzsko, Nemecko, Grécko, Lotyšsko, Poľsko, Portugalsko, Španielsko, Švédsko, Holandsko a Veľká Británia (FAME CONSORTIUM, 2004).

Cieľom projektu FAME bolo pomôcť pri implementácii Rámцovej smernice o vodách, a to vypracovaním, otestovaním a zavedením metódy, ktorá by dokázala hodnotiť ekologický stav tečúcich vôd na základe stavu ichtyofauny. Metóda vychádzala z princípu, ktorý bol zavedený v 80. rokoch 20. storočia v USA a jeho výstupom sa stal Index biotickej integrity (Karr, 1981). Tento princíp spočíva v opise rybích spoločenstiev prostredníctvom súboru metrík, pričom predpokladá, že tieto metriky budú reagovať na disturbance spôsobené antropickými vplyvmi merateľným spôsobom. Výsledkom projektu FAME bola nova metóda, ktorá mala ambíciu hodnotiť ekologický stav tečúcich vôd na základe stavu ichtyofauny v podmienkach celej Európy. Táto metóda je založená na výpočte jediného spoločného ukazovateľa – Európskeho ichtyologického indexu (v angličtine European Fish Index, skrátene EFI).

### 2.1. Vývoj ukazovateľa EFI

Konzorcium FAME si pri vývoji EFI pomohlo dátami z obrovskej ichtyologickej databázy FIDES (Fish Database of European Streams). Databáza FIDES v tom čase obsahovala údaje z 10 252 odberov vzoriek (fishing occasions), a to z 5 252 lokalít (v tomto počte sú zahrnuté iba údaje vhodné pre výpočet indexu). Z týchto 10 252 vzoriek autori indexu vyselekovali náhodným výberom 5 252 vzoriek tak, aby bola z každej lokality zastúpená vždy iba jedna vzorka (Pont et al., 2004).

Na základe posúdenia antropických vplyvov na jednotlivé environmentálne premenné vyhodnotili 1 608 z týchto 5 252 lokalít ako referenčné lokality. Postupovali pritom tak, že medzi referenčné lokality zaradili iba tie lokality, pri ktorých ani jedna z environmentálnych premenných nebola zasiahnutá antropickými vplyvmi väčšími ako to dovoľujú trieda 1 alebo trieda 2 z 5-stupňovej škály podľa Rámцovej smernice o vodách (RSV). Ostatné, t.j. antropickou činnosťou zasiahnuté lokality, potom rozdelili na dve skupiny: slabo ovplyvnené (trieda 3 RSV) a silno ovplyvnené lokality (triedy 4 a 5 RSV).

Po taktomto roztriedení 5 252 lokalít z rozmanitých tokov Európy (presnejšie členských krajín konzorcia FAME) nasledovalo overovanie, či tomu štatisticky preukazne zodpovedá aj

narušenie pôvodnej ichtyofauny. Inými slovami, bola potrebná nezávislá validácia modelov, a to jednak pre každú metriku osobitne, a jednak celkovo pre konečný index (t.j. EFI). Validácia bola vykonaná tak, že súbor dát týkajúci sa referenčných lokalít autori EFI (Pont et al., 2004) náhodne rozdelili na tri podsúbory: prvý podsúbor obsahoval 1 000 referenčných lokalít určených na kalibráciu modelov (REF-CAL), druhý podsúbor obsahoval 304 referenčných lokalít určených na validáciu metrických modelov (REF-MET) a tretí podsúbor obsahoval 304 referenčných lokalít určených na validáciu konečného indexu (REF-IND). Rovnako boli rozdelené aj dáta zo slabo a silno ovplyvnených lokalít – jeden súbor 958 lokalít poslúžil na výber metrických slabo ovplyvnených lokalít (WI-MET), kým druhý súbor obsahujúci tiež 958 lokalít bol použitý na výber metrických silno ovplyvnených lokalít (HI-MET); ďalších 304 lokalít poslúžilo na validáciu indexu slabo ovplyvnených lokalít (WI-IND) a napokon ešte jeden rovnako veľký súbor (304 lokalít) na validáciu indexu silno ovplyvnených lokalít (HI-IND).

V prvom kroku autori EFI namodelovali metriky ako regresné funkcie 12 lokálnych a regionálnych environmentálnych premenných (pozri Pont et al., 2004). V tomto kroku sa pri všetkých analýzach použili údaje z vyššie spomínaných 1 000 REF-CAL lokalít. Každý takto získaný metrický model bol následne validovaný pomocou nezávislých 304 referenčných (REF-MET) lokalít, a to porovnaním skutočných hodnôt s očakávanými. Aby bol model validný, musel spĺňať tri podmienky: 1) jeho intercept sa nesmel preukazne líšiť od 0 (t-test,  $p < 0.05$ ); 2) jeho sklon sa nesmel preukazne líšiť od 1 (t-test,  $p < 0.05$ ); a 3) variabilita modelu REF-MET musela byť obmedzená tak, že  $r^2 > 0.30$ . Takto bolo vyselektovaných 35 metrických, pričom ich rezíduá sa následne použili ako metrické hodnoty, ktoré nie sú závislé na prirodzenej variabilite environmentálnych premenných.

Rezíduá sa ďalej rozličnými spôsobmi štandardizovali a napokon sa pomocou vyššie spomínaných modelov vypočítali predpovedané hodnoty pre WI-MET, ako aj pre HI-MET. Nakoniec sa po takejto transformácii pomocou t-testu testovali nasledujúce predpoklady: 1) priemerná hodnota REF-MET sa nelíši od priemernej hodnoty REF-CAL; 2) priemerná hodnota REF-MET sa preukazne líši od priemernej hodnoty WI-MET; 3) priemerná hodnota WI-MET sa preukazne líši od priemernej hodnoty HI-MET; 4) priemerná hodnota REF-MET sa preukazne líši od priemernej hodnoty HI-MET a 5) absolútna priemerná hodnota WI-MET je nižšia ako absolútna priemerná hodnota HI-MET (t.j., že odozva metriky so zvyšujúcou sa intenzitou disturbance narastá).

Vyššie uvedené predpoklady spĺňalo 21 z 35 metrických. Keďže niektoré štandardizované reziduálne hodnoty so zvyšujúcou sa disturbance rastú, kým iné klesajú, v ďalšom kroku boli tieto hodnoty reziduál transformované do pravdepodobností. Cieľom tohto kroku bolo dosiahnuť, aby sa všetky metriky teraz pohybovali v intervale hodnôt 0 – 1 a aby všetky metriky reagovali na zvyšujúcu sa disturbance rovnako, t.j. poklesom hodnoty. Po takejto transformácii definitívna hodnota metriky odráža pravdepodobnosť, že skúmaná lokalita spĺňa kritérium kladené na referenčné lokality. Aby sa eliminovala nežiaduca redundancia, Pont et al. (2004) ďalej verifikovali, či niektoré z 21 spomínaných metrických nie sú v korelácii. Po

tomto kroku zostalo vo výbere 10 metrick, a to takých, ktoré vykazovali najsilnejšiu odozvu na vysoký stupeň disturbancie (Tab. 2.1.)

Metrika	Odozva na disturbanciu
1 Densita insektivorných druhov	pokles
2 Densita omnivorných druhov	vzostup
3 Densita fytofilných druhov	vzostup
4 Relatívna abundancia litofilných druhov	pokles
5 Počet bentických druhov	pokles
6 Počet reofilných druhov	pokles
7 Podiel intolerantných druhov	pokles
8 Podiel tolerantných druhov	vzostup
9 Počet diadromných druhov	pokles
10 Počet potamodromných druhov	pokles

Tab. 2.1. *Desať metrick používaných na výpočet ukazovateľa EFI. Tieto metriky vykazovali v testoch najsilnejšiu odozvu na vysoký stupeň disturbancie (Pont et al., 2004).*

## 2.2. Výpočet a validácia ukazovateľa EFI

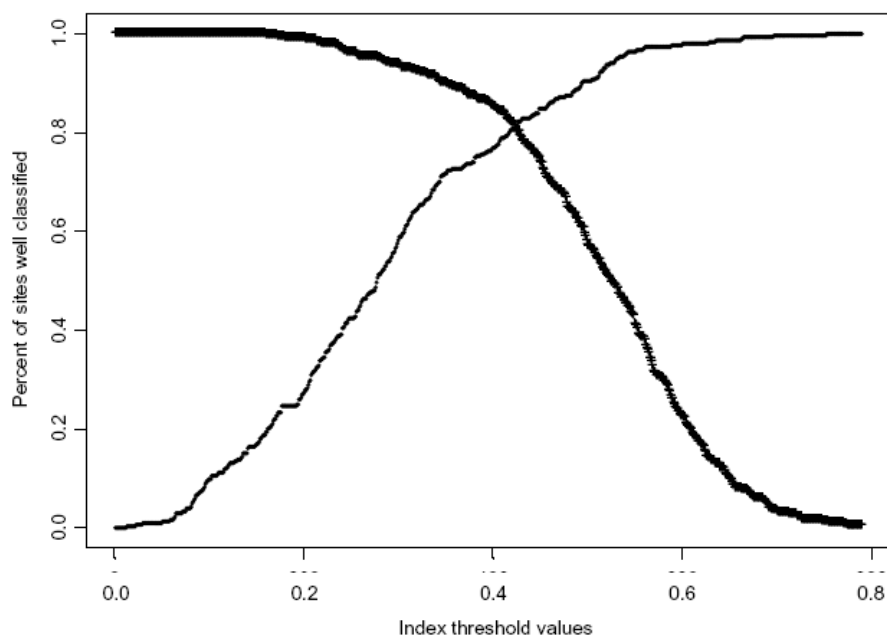
Výsledný index, t.j. EFI, sa napokon vypočíta ako aritmetický priemer hodnôt všetkých desiatich metrick, takže hodnota EFI sa pohybuje v intervale 0 – 1. Aby získal EFI na hodnovernosti, bolo ho tiež potrebné validovať. Pont et al. (2004) teda pre tri nezávislé súbory dát (REF-IND, WI-IND a HI-IND) vypočítali hodnoty jednotlivých metrick, ako aj hodnotu ukazovateľa EFI. Validácia EFI mohla byť vyhodnotená ako prijateľná iba v prípade, že sa splnia nasledujúce predpoklady: 1) hodnota indexu súboru REF-CAL sa nebude signifikantne líšiť od predpovedanej hodnoty (0,5); 2) hodnota indexu súboru REF-IND sa nebude signifikantne líšiť od predpovedanej hodnoty (0,5); 3) hodnota indexu WI-IND bude signifikantne nižšia ako hodnota indexu REF-IND a súčasne signifikantne vyššia ako hodnota indexu HI-IND. Výsledky validácie boli pozitívne: všetky predpoklady boli splnené.

Schopnosť indexu rozlíšiť medzi dobre hodnotenými (REF-IND) a narušenými lokalitami (WI-IND a HI-IND) sa testovala na základe percentuálne vyjadrenej úspešnosti – t.j. koľko % lokalít bolo podľa indexu zaradených správne. Na tento účel poslúžilo 304 REF-IND lokalít, 304 (náhodne vybratých) WI-IND lokalít a 304 HI-IND lokalít (tiež náhodne vybratých). Zistilo sa, že ukazovateľ EFI dosahuje pri rozlišovaní medzi referenčnými a narušenými lokalitami účinnosť 80,2 %. Inými slovami, aplikácia EFI nesie so sebou riziko, že takmer 20% lokalít bude zaradených nesprávne. Keď sa ale posunula hladina citlivosti o jednu triedu nižšie, t.j.,

keď sa z testovania vylúčili lokality s miernym narušením (trieda 3), čiže zisťovala sa schopnosť ukazovateľa EFI rozlíšiť medzi lokalitami triedy 1 a 2 (referenčné) na jednej strane a lokalitami triedy 4 a 5 (silno narušené) na druhej strane, účinnosť EFI sa zvýšila na 86,2 %. To znamená, že riziko, že silno narušená lokalita bude zaradená medzi referenčné lokality alebo naopak, sa znížilo na necelých 14 %.

### 2.3. Kalibrácia ukazovateľa EFI

Poslednou úlohou, ktorá stála pred tvorcami ukazovateľa EFI, bola kalibrácia tohto indexu, čiže nájdenie hraníc medzi piatimi stupňami hodnotenia podľa RSV. Na tento účel bol využitý princíp iterácií. Jednotlivé kroky (iterácie) postupne narábali s vždy s väčším indexom (od najmenšieho po najväčší) a v každom kroku sa vybraná hodnota indexu považovala za prah medzi nenarušenými a narušenými lokalitami, pričom sa zisťovalo, aké percento referenčných a narušených lokalít by bolo pri tej ktorej hodnote indexu zaradené správne. Prvá iterácia analyzovala najnižšiu možnú hodnotu indexu, takže všetky lokality boli klasifikované ako referenčné a žiadna ako narušená; kým posledná iterácia – pri najvyššej hodnote indexu predstavovala presný opak – všetky lokality boli klasifikované ako narušené a žiadna ako referenčná. Pre každú takto stanovenú hodnotu (iteráciu) sa vypočítalo percento správne klasifikovaných referenčných lokalít (t.j., keď index zaradil referenčnú lokalitu medzi referenčné) i percento správne klasifikovaných narušených lokalít. Získané hodnoty sa naniesli do grafu (obr. 2.1) a tam, kde sa krivky oboch postupov (zdola nahor a zhora nadol) pretli, vznikla hranica medzi referenčnými lokalitami (triedy 1 a 2) a narušenými lokalitami (triedy 3-5).



Obr. 2.1. Percento správne zatriedených referenčných (hrubá čiara) a narušených lokalít (tenká čiara), pri jednotlivých iteráciách analyzujúcich každú možnú hodnotu EFI ako hodnotu predstavujúcu hranicu medzi referenčnými (triedy 1 a 2) a narušenými lokalitami (triedy 3-5). Obrázok prevzatý z materiálu Pont et al. (2004).

Rovnaký postup bol použitý pri definovaní hraníc medzi jednotlivými triedami ekologickej kvality (1 až 5), avšak na rozsiahlejšom súbore dát (REF-CAL, REF-MET, HI-MET, WI-MET, spolu až 3 205 lokalít). Najskôr – s cieľom rozlíšiť medzi referenčnými lokalitami (1, 2) na jednej strane a narušenými (3, 4, 5) na druhej strane – sa v tomto prípade krivky pretli na hodnote 0,420 a úspešnosť indexu bola 82,7 %. Oveľa dôležitejšie však bolo stanoviť hranice medzi jednotlivými triedami. Pri hľadaní hranice medzi triedou 2 a triedou 3 sa krivky pretli na hodnote 0,449, a to so 75,7 % úspešnosťou zatried'ovania. Hranica medzi slabo a silno narušenými (trieda 3 vs. triedy 4 a 5) bola nájdená na hodnote 0,279 pri úspešnosti 62,8 %.

Hranice medzi triedou 1 a triedou 2, resp. medzi triedou 4 a triedou 5 nemohli byť pre nedostatok dát stanovené vyššie uvedeným postupom. Preto boli hodnoty týchto prahov stanovené odhadom a s prihliadnutím na percento úspešnosti. Hodnoty sú 0,669 resp. 0,187. Na základe vyššie opísaných postupov teda napokon vznikol ukazovateľ EFI ako nástroj, pomocou ktorého je možné vyhodnotiť ekologický stav vôd na základe stavu ichtyofauny. Inými slovami, výsledná hodnota ukazovateľa EFI, ktorý počíta s desiatimi merateľnými parametrami, vypovedá o ekologickom stave hodnotenej lokality (Tab. 2.2).

trieda	status	EFI
1	Veľmi dobrý	0,669 – 1,000
2	Dobrý	0,449 – 0,669
3	Priemerný	0,279 – 0,449
4	Zlý	0,187 – 0,279
5	Veľmi zlý	0,000 – 0,187

Tab. 2.2. Hranice medzi piatimi stupňami ekologického stavu vôd na základe ukazovateľa EFI (Pont et al., 2004).



### 3. European Fish Index plus (EFI+)

Do ukazovateľa EFI, od zavedenia ktorého uplynuli v čase písania tejto správy štyri roky, sa vkladali veľké nádeje. Autori napríklad okrem iného testovali aj to, ako EFI podlieha environmentálnej variabilite – inými slovami, či je univerzálny. Vypočítali regresné koeficienty, ktoré poskytovali určitý obraz, ako tá ktorá environmentálna premenná ovplyvňuje jednotlivé metriky (Pont et al., 2004). Na základe toho potom bolo možné odvodiť teoretické referenčné rybie spoločenstvo prakticky pre akýkoľvek typ toku. Napokon sa tiež testovalo, či EFI podlieha regionálnej variabilite, pričom výsledky testov naznačovali, že EFI je uplatniteľný takmer univerzálny v celej Európe (s výnimkou určitých špecifických regiónov – napríklad mediteránnej oblasti), a teda aj na Slovensku.

Jednou z hlavných výhod ukazovateľa EFI je nesporne využitie metrík namiesto konkrétneho druhového zloženia, vďaka čomu sa EFI javí ako flexibilný nástroj, ktorý je nepochybne univerzálnejší ako akýkoľvek iný index založený na analýze druhového spektra monitorovaných lokalít. Počas jeho aplikácie v rokoch 2004-2006 sa však ukázalo, že univerzálnosť EFI nie je neobmedzená a čoraz väčšmi sa do popredia dostávala potreba regionálnych úprav. Napokon sa zistilo, že EFI a jeho modely sú spoľahlivo uplatniteľné iba na lokalitách a riekach, ktoré patria do regiónov, z ktorých pochádzali dáta využité pri jeho kalibrácii.

#### 3.1. Obmedzenia ukazovateľa EFI

Aplikovanie EFI v praxi prinieslo mnohé skúsenosti s týmto ukazovateľom a vyústilo do naformulovania viacerých otázok, ktoré si vyžadovali ďalšie overovanie a testovanie. Ukázalo sa, že ani zďaleka nie všetky vzťahy medzi výslednou hodnotou jednotlivých metrík a intenzitou antropického tlaku sú lineárne. Testovanie prinieslo aj nové poznatky o veľkom vplyve veľkosti vzorky na hodnotu EFI, čo viedlo k záveru, že vzorka z každej monitorovanej lokality musí obsahovať viac ako 100-150 jedincov, výnimočne (pri tokoch prirodzene chudobných na ichtyofaunu) 50-100 jedincov, inak bude výsledný index skreslený (Bady a Pont, 2008). Ďalej sa zistilo, že hodnoty jednotlivých metrík nie sú nezávislé ani od veľkosti hodnotenej rieky, hoci vplyv veľkosti povodia sa agregáciou metrík do spoločného indexu znižuje. Veľký význam pre ďalšie uplatnenie EFI má aj zistenie, že všetky metriky sú ovplyvnené geografickou premennou. No pravdepodobne najvýznamnejším poznáním v súvislosti s doterajšou aplikáciou EFI je matematické overenie skutočnosti, že analyzované modely vykazujú vlastnosti komplexných systémov (Bady a Pont, 2008). Je to dané veľkým množstvom prvkov, ktoré vstupujú do vzájomných interakcií a odrážajú skutočnosť, že odozva rybích spoločenstiev na antropické tlaky nemusí byť nevyhnutne lineárna.

Všetky tieto nové poznatky sú čiastkovými výstupmi ďalšieho európskeho projektu (rieši ho konzorcium 14 účastníkov z 13 krajín Európskej únie) s názvom Improvement and spatial extension of the European Fish Index (skrátene EFI+). Cieľom tohto projektu je ďalšie rozpracovanie a vylepšenie nových biologických metód hodnotenia ekologického stavu vodných tokov v zmysle RSV. Presnejšie, hlavným cieľom EFI+ je vysporiadať sa s vyššie uvedenými obmedzeniami aplikácie ukazovateľa EFI, a to vypracovaním nového, presnejšieho paneurópskeho indexu (viac podrobností, ako aj aktualizácia projektu na stránke [http://efi-plus.boku.ac.at/efi\\_plus\\_consortium.htm](http://efi-plus.boku.ac.at/efi_plus_consortium.htm)).

### 3.2. Odlišnosti ukazovateľa EFI+ v porovnaní s EFI

V čase odovzdávania tejto záverečnej správy nebol projekt EFI+ ešte zavŕšený, hlavné odlišnosti ukazovateľa EFI+ v porovnaní s ukazovateľom EFI však už boli známe. Možno ich zhrnúť do nasledujúcich bodov:

1. narába s prísnejšími definíciami antropických tlakov, predovšetkým v oblasti hydromorfológie tokov (obr. 3.1)
2. využíva viac environmentálnych premenných
3. metriky používané na výpočet EFI prešli revíziou
4. každá analyzovaná vzorka musí obsahovať najmenej 50 jedincov; plocha, z ktorej bola vzorka odobratá nesmie byť menšia ako 100 m<sup>2</sup>
5. keďže pri výpočte indexu zohrávajú esenciálnu úlohu jedince s celkovou dĺžkou < 150 mm, odber vzoriek sa musí uskutočniť – v závislosti od regiónu – v období od júla do novembra
6. EFI+ pri všetkých tokoch rozlišuje dve hlavné pásma: pstruhové a kaprové
7. keďže sa ukázalo, že “tolerantné” druhy, s ktorými narába EFI ako s jednou z metrík, nie sú také reprezentatívne ako intolerantné druhy, EFI+ preferuje metriky, ktoré hodnotu indexu kvalitných lokalít zvyšujú pred metrikami, ktoré ju znižujú
8. keďže sa ukázalo, že metriky, s ktorými narába EFI, treba upravovať podľa regionálnych podmienok, EFI+ hľadá metriky, ktoré budú validne pre všetky krajiny

Všetky tieto modifikácie napokon vyúsťujú do radikálnej zmeny výpočtu štandardizovaného paneurópskeho ukazovateľa, ktorá sa premieta do výraznej redukcie počtu metrík, ako aj ich modifikácie. EFI+ sa totiž vypočítava iba z dvoch metrík pre pstruhové pásmo a z dvoch metrík pre kaprové pásmo. Pri pstruhovom pásme sú to:

1. Relatívna denzita druhov s nízkou toleranciou narušenia habitatu (počíta výlučne s jedincami menšími ako 150 mm celkovej dĺžky)
2. Relatívna denzita druhov s nízkou toleranciou zníženia obsahu kyslíka,

zatiaľ čo pri kaprovom pásme tieto dve metriky:

1. Relatívne zastúpenie druhov, reprodukcia ktorých je viazaná na lotické habitaty
2. Relatívna denzita litofilných druhov

Výsledná hodnota všetkých metrík sa (rovnako ako v prípade EFI) pohybuje v intervale 0-1, pričom medián nenarušených lokalít dosahuje hodnotu 0,80. Všetky uvedené modifikácie ukazovateľa EFI treba zatiaľ vnímať ako predbežné, pretože projekt EFI+ nebol v čase písania tejto správy ešte završený, možno však očakávať, že definitívna verzia nového ukazovateľa bude takmer identická a prípadné odchýlky od vyššie opísaných postupov budú znedbatelné.

### CALIBRATION SITES

- no or presence of partial barrier downstream from the segment
  - no or Weak water abstraction
  - no Channelization
  - no modification of the Cross section
  - no "Impoundment"
  - no "Hydropeaking"
  - no alteration of "Cross section"
  - no "Acidification" or missing values
  - no or missing values for "Colinear.connected.reservoir"
  - no, intermediate level or missing values for "Toxic substances"
  - no or missing values for Hydrological alteration
  - no velocity increase or missing values
  - no or weak level or missing values for "Sedimentation"
  - no or missing values for "Temperature Impact"
  - no or intermediate alteration or missing values of "Instream habitat"
  - no or local alteration or missing values for "Embankment"
  - no or slight alteration or missing values for Riparian vegetation
- Accepted:
- some missing values
  - low level for some pressures
- Water quality index: classes 1 or 2
  - no, low level or missing values for Eutrophication
  - no or weak level or missing values for Organic pollution
  - no or missing values for Organic siltation

#### Sampling constraints

- |             |                              |
|-------------|------------------------------|
| captures    | >= 50 fish caught            |
| Fished area | >= 100 meter squared sampled |
| month       | from July to November        |

Obr. 3.1. Sprísnené referenčné podmienky pre kalibráciu ukazovateľa EFI+. Obrázok prevzatý z prezentácie na pracovnom stretnutí 5th river fish GIG meeting, Scharfling, 25-26th November 2008 (Bady et al., 2008).

## 4. Národná metodika stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb

Slovenská republika začala venovať náležitú pozornosť otázke stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb prakticky hneď po prijatí Rámcovej smernice o vodách. Vďaka tomu bolo vypracovaných niekoľko detailne a precízne spracovaných materiálov, ktoré položili pevné základy pre završenie procesu prípravy takej národnej metodiky stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb, ktorá by reflektovala prírodné, historické i kultúrne špecifiká Slovenska. Dopracovanie metodiky, ktoré je predmetom tejto záverečnej správy, nadväzuje najmä na materiály týkajúce sa implementácie RSV s využitím ichtyofauny v podmienkach Slovenska (Hensel, 2001), pracovných postupov pre odber vzoriek rýb so zreteľom na požiadavky RSV (Hensel, 2002), ako aj prehľadu prístupov niektorých iných krajín k hodnoteniu stavu povrchových vôd na základe rýb (Hensel, 2003). Tieto materiály obsahujú podrobné prehľady o druhovom zložení ichtyofauny Slovenska, zoogeografických aspektoch, typológii tokov a substrátov, o ekologických vlastnostiach rýb, ako aj podrobné návody ako postupovať pri odbere v teréne, čo si všímať, a ako robiť zápis údajov o nazbieraných vzorkách, ako aj environmentálnych premenných.

V ďalšom období vznikla séria materiálov, ktoré obsahujú aktualizované informácie o ďalšom napredovaní pri implementácii RSV s ohľadom na ichtyofaunu, ako aj rozmanité návrhy ďalších postupov. Posledný v poradí týchto materiálov (autor V. Mužík) je súčasťou rozsiahlej správy o metodike pre odvodenie referenčných podmienok a klasifikačných schém pre hodnotenie ekologického stavu vôd (Šporka et al., 2007). Možno v ňom nájsť návrhy na uplatnenie ukazovateľa EFI pri hodnotení ekologického stavu slovenských tokov, návrhy na typológiu rybích spoločenstiev v podmienkach slovenských tokov, podrobné informácie o založení a udržiavaní databázy rýb Slovenska, ako aj príklady výpočtu hodnôt EFI z niekoľkých monitorovaných lokalít.

Všetky vyššie spomínané materiály predstavujú súčasť procesu implementácie RSV v Slovenskej republike, konkrétne stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb. Táto aktualizovaná verzia záverečnej správy (Kováč, 2008) sa preto sústreďuje iba na určité spresnenia či modifikácie pracovných postupov pre odber vzoriek rýb, ktoré sú vynútené vývojom poznatkov v oblasti aplikácie štandardného európskeho ukazovateľa EFI, resp. predovšetkým jeho nasledovníka EFI+, ako aj vývojom a budúcou aplikáciou slovenského ichtyologického indexu FIS.

Čo sa týka odberu vzoriek, pri monitoringu je nevyhnutné postupovať podľa princípov opísaných v predchádzajúcich materiáloch (Hensel 2002, Mužík 2007), avšak s ohľadom na

požiadavky vyplývajúce z kalkulácie ukazovateľa EFI+. To znamená, že pri odbere vzoriek sa musia okrem iného dodržať nasledujúce zásady:

1. odber vzoriek sa vykonáva pomocou elektrického agregátu
2. monitorovaciu („lovnú“) skupinu tvoria najmenej traja členovia, ktorí sú na takúto činnosť kvalifikovaní
3. nazbierané vzorky treba identifikovať na úroveň druhu priamo v teréne a nepoškodené jedince treba opatrne vrátiť naspäť do vody; no jedince, pri ktorých sa druhová príslušnosť nedá určiť jednoznačne v teréne (často ide o juvenilné jedince) je nutné fixovať v 4 % roztoku formaldehydu a identifikáciu urobiť v laboratóriu – pri väčšom počte takýchto jedincov, napríklad pri vzorke zo zhľuku juvenilov, nie je nutné fixovať celú vzorku, ale iba jej reprezentatívnu časť
4. pri druhovej identifikácii nie je prípustné postupovať podľa známeho geografického rozšírenia druhu, ale je nutné dôsledne preveriť druhovú príslušnosť každého jedinca
5. všetky jedince treba odmerať, celkovú dĺžku každého jedinca treba zaznamenať
6. odber vzoriek je optimálne uskutočniť v období od 16. júla do 30. novembra, a to s prihliadnutím na klimatické podmienky regiónu, kde sa monitorovaný tok nachádza, tak, aby bola zabezpečená možnosť získať vzorky tohoročných juvenilných rýb (vek 0+); v nevyhnutných prípadoch je možné odber vzoriek uskutočniť v období od 1. apríla do 30. novembra, nikdy však nie mimo tohto obdobia
7. pri odbere vzoriek treba venovať pozornosť aj juvenilným jedincom a čo najpresnejšie zaznamenať ich druhovú príslušnosť i počet
8. každá analyzovaná vzorka musí obsahovať najmenej 50 jedincov; plocha, z ktorej bola vzorka odobratá nesmie byť menšia ako 100 m<sup>2</sup>
9. záznam o odbere vzoriek vrátane environmentálnych premenných (terénny protokol) môže mať podobu i štruktúru navrhnutú Henselom (2002), v elektronickej podobe však musí byť identický so záznamom pre potreby vypočítania EFI+

Elektronický zápis o odbere vzoriek sa robí v programe Microsoft Excel, pričom bude mať nasledujúcu štruktúru – bude obsahovať najmenej tri listy (tabuľky), a to:

1. Tabuľka Odber vzoriek (anglicky Table Fishing Occasion; obr. 4.1)
2. Tabuľka Záznam o druhoch (anglicky Table Catch; obr. 4.2)
3. Tabuľka Diadromné druhy (anglicky Table Diadromous; obr. 4.3)

Stĺpce s predponou „E“ v označení stĺpca (na obr. 4.1 fialové) opisujú environmentálne premenné, kým stĺpce s predponou „P“ v označení stĺpca dokumentujú antropické tlaky. Podrobné vysvetlenie k jednotlivým parametrom možno nájsť v materiáloch Konzorcia EFI+ (D1.1 – D1.3, Lists and descriptions of sampling methods, type of fish data, environmental variables and pressure variables; alebo EFI+ Database, Excel/Access First I Input Manual Version 3.1; <http://efi-plus.boku.ac.at/download.htm>).

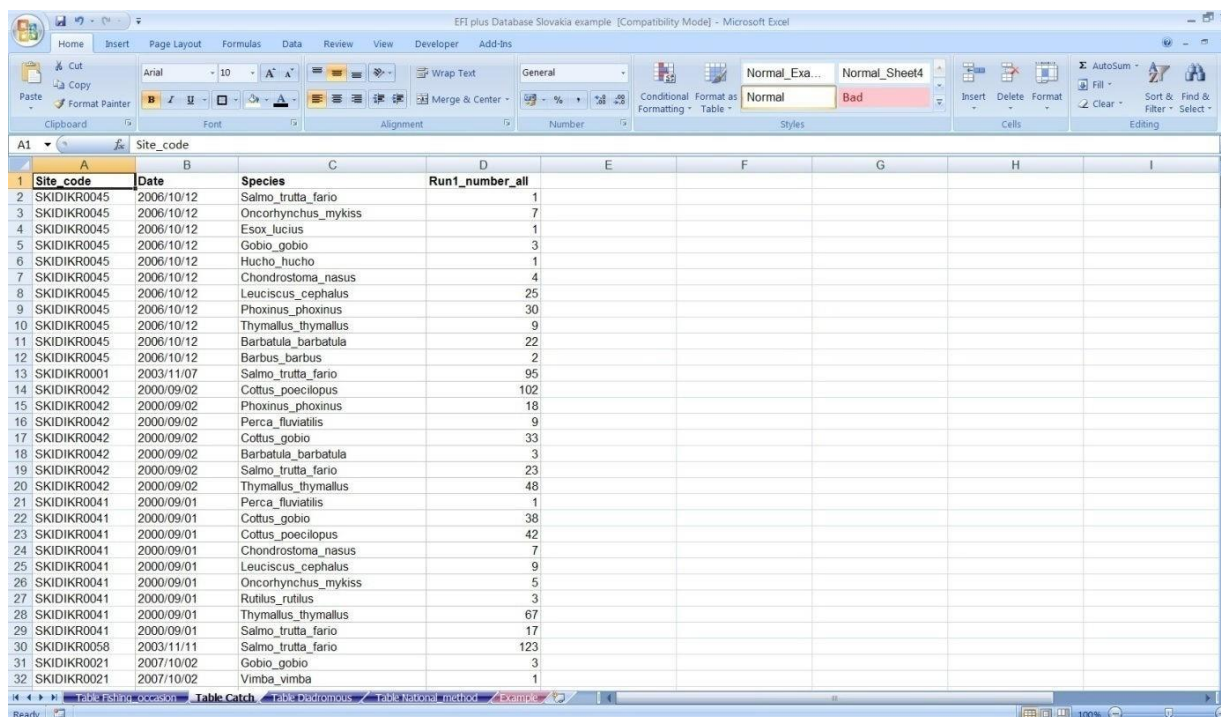
Site_code	Date	E_latitude	E_longitude	E_rivername	E_sitename	E_site_status	E_catchsize	E_distsource	E_altitude	E_slope	E_temp_jan
SKIDIKR0001	2003/11/07	48,4217N	20,5008E	BODVA	Bodovka nad VSVK	no	39,820	7,91	376,628082	20,54231	0
SKIDIKR0002	2003/11/11	49,1809N	21,0431E	TOPLA	nad Lukovom	no	65,502	12,64	399,369201	1,363595	-2
SKIDIKR0003	2007/09/27	48,5249N	21,3319E	LOMNICA_2	nad o. Juskova Vola	yes	19,720	7,39	277,36914	5,197952	0
SKIDIKR0004	2007/09/25	48,4432N	21,3652E	BACKOVSKY P.	nad Backovom	no	13,175	8,69	213,861053	3,910031	0
SKIDIKR0005	2003/04/25	49,0934N	22,1049E	UDAVA	Pri chate	yes	18,544	4,60	444,630615	7,242459	0
SKIDIKR0006	2003/11/08	48,5233N	22,1233E	OKVA	nad o. Remetské Háry	yes	20,447	5,75	369,907257	8,325407	0
SKIDIKR0007	2003/04/25	49,0746N	22,1408E	STRUZNIICA	Pod Hričastým	yes	27,292	2,57	462,957885	5,013063	0
SKIDIKR0008	2003/08/24	49,1026N	22,0622E	RIEKA	Zomy	yes	29,628	3,56	424,807464	12,474584	0
SKIDIKR0009	2003/12/17	48,1212N	17,0543E	VYDRICA	Železná studnička - s	no	14,568	8,26	268,969624	23,292856	-2
SKIDIKR0010	2007/09/25	48,5627N	20,2854E	HORNAD	nad rekreač. Stredisk	no	311,162	39,68	498,366474	12,036384	-1
SKIDIKR0011	2007/09/25	48,5307N	20,1422E	HNILEC	nad Železníc. Stanic	yes	15,615	8,23	918,15332	1,731382	-2

E_temp_jul	E_natural_sediment	E_geomorphologica	E_floodplain	E_water_source_ty	E_wettedwidth	E_geotypo	E_strategy	E_method	E_fishedarea	P_b	
2	20	medium	sinuous	no	pluvial	3	siliceous	Whole	Wading	300	no
3	19	medium	sinuous	no	pluvial	4	siliceous	Whole	Wading	400	no
4	21	medium	sinuous	no	pluvial	2,5	siliceous	Whole	Wading	262	no
5	21	large	sinuous	no	pluvial	2,5	siliceous	Whole	Wading	262	no
6	21	medium	sinuous	no	glacio-nival	3,9	siliceous	Whole	Wading	358	no
7	21	medium	sinuous	no	pluvial	7	siliceous	Whole	Wading	700	no
8	21	medium	constraint	no	glacio-nival	3,7	siliceous	Whole	Wading	307	no
9	21	medium	constraint	no	pluvial	2,7	siliceous	Whole	Wading	230	no
10	20	medium	sinuous	no	pluvial	2	siliceous	Whole	Wading	120	no
11	20	medium	meandering	no	glacio-nival	12	siliceous	Whole	Wading	1300	no
12	20	medium	sinuous	no	glacio-nival	3,8	calcareous	Whole	Wading	893	no

P_barrier	P_barrierup	P_barrierdown	P_impoundment	P_hydropeaking	P_waterbart	P_reservoir	P_dam	P_watertemp	P_chan	P_v
2	no	low	no	no	no	no	no	no	no	no
3	no	high	no	no	no	no	no	no	no	no
4	no	no	no	no	no	no	no	no	no	low
5	no	no	no	no	no	no	no	no	no	low
6	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
7	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
8	no	no	no	no	no	no	no	no	no	low
9	no	no	no	no	no	no	no	no	no	low
10	no	no	medium	no	no	no	high	no	no	low
11	no	no	no	no	no	no	no	no	no	low
12	no	no	no	no	no	no	no	no	no	low

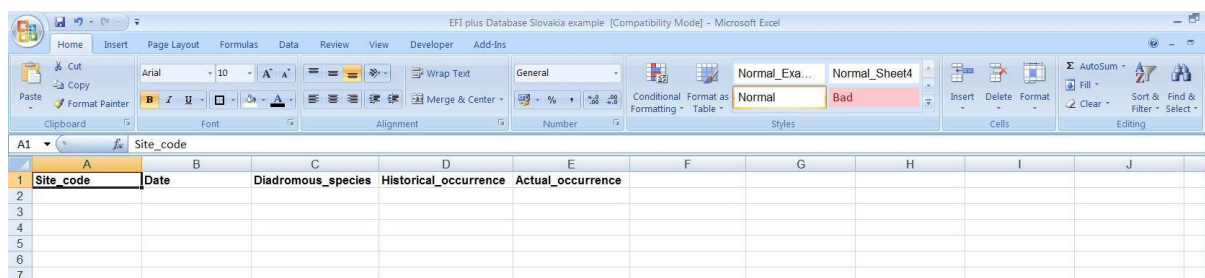
P_vegrip	P_habitat	P_dyke	P_tox	P_waterac	P_waterqualityindex	P_wateralt	P_navigation	P_recreational	P_specimp	P_predation	P_stockact
2	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
3	no	low	no	no	no	no	no	no	no	no	no
4	low	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
5	low	high	no	no	low	low	no	no	no	no	no
6	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
7	no	low	no	no	no	no	no	no	no	no	no
8	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
9	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
10	low	low	no	no	no	no	no	no	no	no	no
11	low	low	no	no	low	low	no	no	no	no	no
12	no	low	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Obr. 4.1. Štruktúra elektronického zápisu o odbere vzoriek – Tabuľka Odber vzoriek (anglická verzia). Zápis sa robí v programe Microsoft Excel a je súčasťou národnej metódy stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb. Údaje z tohto zápisu budú použiteľné pre výpočet národného ukazovateľa FIS, európskeho ukazovateľa EFI+, ako aj pre potreby interkalibrácie (platí aj pre obr. 4.2 a 4.3).



Site_code	Date	Species	Run1_number_all
SKIDIKR0045	2006/10/12	Salmo_trutta_fario	1
SKIDIKR0045	2006/10/12	Oncorhynchus_mykiss	7
SKIDIKR0045	2006/10/12	Esox_lucius	1
SKIDIKR0045	2006/10/12	Gobio_gobio	3
SKIDIKR0045	2006/10/12	Hucho_hucho	1
SKIDIKR0045	2006/10/12	Chondrostoma_nasus	4
SKIDIKR0045	2006/10/12	Leuciscus_cephalus	25
SKIDIKR0045	2006/10/12	Phoxinus_phoxinus	30
SKIDIKR0045	2006/10/12	Thymallus_thymallus	9
SKIDIKR0045	2006/10/12	Barbatula_barbatula	22
SKIDIKR0045	2006/10/12	Barbus_barbus	2
SKIDIKR0001	2003/11/07	Salmo_trutta_fario	95
SKIDIKR0042	2000/09/02	Cottus_poecilopus	102
SKIDIKR0042	2000/09/02	Phoxinus_phoxinus	18
SKIDIKR0042	2000/09/02	Perca_fluviatilis	9
SKIDIKR0042	2000/09/02	Cottus_gobio	33
SKIDIKR0042	2000/09/02	Barbatula_barbatula	3
SKIDIKR0042	2000/09/02	Salmo_trutta_fario	23
SKIDIKR0042	2000/09/02	Thymallus_thymallus	48
SKIDIKR0041	2000/09/01	Perca_fluviatilis	1
SKIDIKR0041	2000/09/01	Cottus_gobio	38
SKIDIKR0041	2000/09/01	Cottus_poecilopus	42
SKIDIKR0041	2000/09/01	Chondrostoma_nasus	7
SKIDIKR0041	2000/09/01	Leuciscus_cephalus	9
SKIDIKR0041	2000/09/01	Oncorhynchus_mykiss	5
SKIDIKR0041	2000/09/01	Rutilus_rutilus	3
SKIDIKR0041	2000/09/01	Thymallus_thymallus	67
SKIDIKR0041	2000/09/01	Salmo_trutta_fario	17
SKIDIKR0058	2003/11/11	Salmo_trutta_fario	123
SKIDIKR0021	2007/10/02	Gobio_gobio	3
SKIDIKR0021	2007/10/02	Vimba_vimba	1

Obr. 4.2. Štruktúra elektronického zápisu o odbere vzoriek – Tabuľka Záznam o druhoch (anglická verzia).

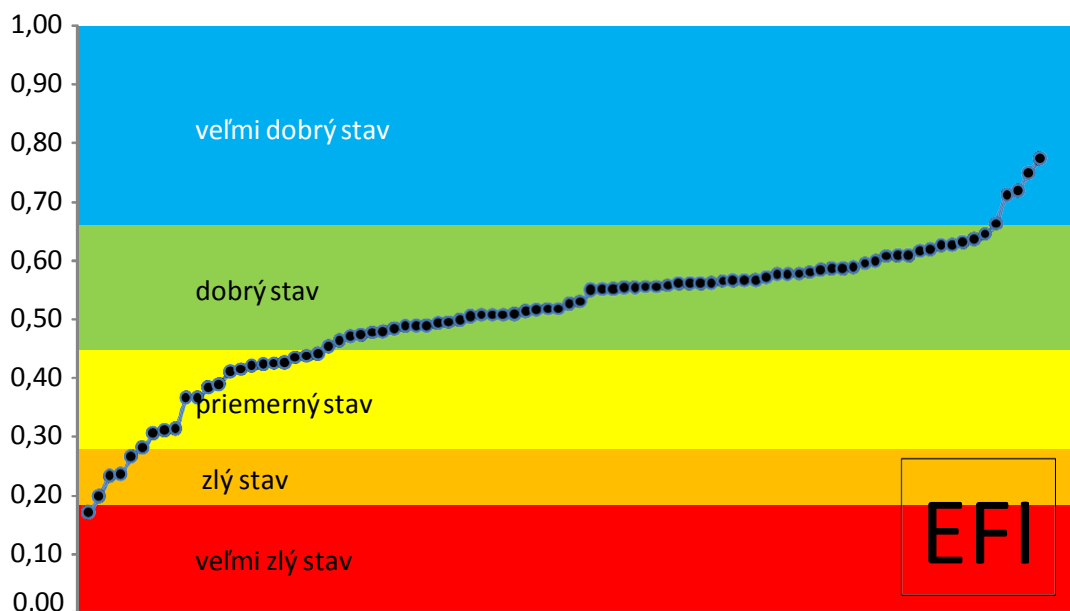


Site_code	Date	Diadromous_species	Historical_occurrence	Actual_occurrence

Obr. 4.3. Štruktúra elektronického zápisu o odbere vzoriek – Tabuľka Diadromné druhy (anglická verzia).

## 5. Problémy s uplatnením EFI na Slovensku

V predchádzajúcom priebehu implementácie RSV v Slovenskej republike – pri stanovovaní ekologického stavu vôd podľa rýb do roku 2008 – sa postupovalo predovšetkým v súlade s pravidlami, ktoré vyžaduje hodnotenie pomocou ukazovateľa EFI (Mužík, 2007). V rokoch 2006, 2007 a 2008 boli vypočítané hodnoty EFI spolu pre 97 lokalít, medzi ktorými sú zastúpené ako referenčné, tak aj monitorované lokality (Mužík, nepubl. údaje). Na základe týchto hodnôt možno zaradiť každú lokalitu do niektorej z piatich tried ekologického stavu (obr. 5.1).



Obr. 5.1. Zaradenie 97 hodnotených lokalít na slovenských tokoch do piatich tried ekologického stavu podľa ukazovateľa EFI. Podľa tohto hodnotenia by až 67 % lokalít bolo nenarušených alebo len mierne narušených, takže by ich bolo možné považovať za referenčné lokality, čo je však v zjavnom rozpore so skutočnosťou (pozri aj obr. 5.2-5.4). Navyše, iba päť z hodnotených lokalít (t.j. približne 5 %) by bolo zaradených do tried 4 a 5, čo predstavuje z hľadiska antropogénneho narušenia zlý, resp. veľmi zlý stav toku. Inými slovami, z výsledkov je zrejmé, že ukazovateľ EFI nadhodnocuje ("vylepšuje") ekologický stav vôd na Slovensku, a preto je v našich podmienkach nevhodný. Podobné skúsenosti majú s ukazovateľom EFI aj v Rakúsku (Nikolaus Schotzko, osob. kom.).





Obr. 5.2. Príklad neúspešného uplatnenia ukazovateľa EFI v slovenských podmienkach. Na obr. je lokalita na rieke Poprad z úseku medzi Svitom a Popradom (kód SKIDIKR0034). Pre tento úsek toku bola vypočítaná hodnota EFI 0,71, čo zodpovedá veľmi dobrému stavu (trieda 1). Takéto hodnotenie by umožnilo považovať tento úsek za referenčnú lokalitu, čo je zjavne v rozpore so skutočnosťou: na toku je bariéra nad i pod lokalitou, tok je skanalizovaný, brehy výrazne upravené, pobrežná vegetácia zmenená, habitat celkovo narušený, kvalita vody zhoršená.



Obr. 5.3. Ďalšia lokalita na rieke Poprad – lokalita nad Chemosvitom, kód SKIDIKR0033. Pre tento úsek toku bola vypočítaná hodnota EFI 0,72, čo zodpovedá veľmi dobrému stavu (trieda 1), čo je opäť zjavne v rozpore so skutočnosťou (pozri obr. 5.2).



Obr. 5.4. *Neprekonateľná bariéra a ďalšie výrazné hydromorfologické úpravy (pozri text pri obr. 5.1) na rieke Poprad v úseku medzi Svitom a Popradom, ktorý by podľa ukazovateľa EFI mať byť v najkvalitnejšej kategórii ekologického stavu podľa rýb a mohol by tak dokonca predstavovať etalón pre ostatné vodné toky na Slovensku.*



Obr. 5.5. *Táto lokalita na rieke Poprad sa nachádza nad obcou Mengusovce (kód SKIDIKR0030). Pre tento úsek toku bola paradoxne vypočítaná nižšia hodnota EFI (0,63 = trieda 2, dobrý stav) ako v prípade predchádzajúcich dvoch lokalít, hoci ide o úsek toku bez úprav koryta, brehov i pobrežnej vegetácie, s prirodzeným habitatom a dobrou kvalitou vody.*

Podľa hodnotenia ekologického stavu vôd na Slovensku s pomocou ukazovateľa EFI by až 67 % z doteraz hodnotených lokalít bolo nenarušených alebo len mierne narušených, takže by ich bolo možné považovať za referenčné lokality. Ak sa však pozrieme na väčšinu z týchto lokalít z hľadiska antropogénnych tlakov, ako sú napríklad prítomnosť neprekonateľných bariér v rámci hodnoteného segmentu nad alebo pod lokalitou, úprava koryta (“kanalizovanie”), prítomnosť rybochovných zariadení napájaných z toku, úprava brehov, likvidácia pobrežnej vegetácie, zhoršenie kvality vody, celkové pozmenenie habitatu a ďalšie (všetky tieto parametre, ako aj viaceré ďalšie, sa berú do úvahy pri výpočte ukazovateľa EFI+), zistíme zjavný rozpor zo skutočnosťou (pozri aj obr. 5.2-5.4). Navyše, iba päť z lokalít hodnotených doteraz na Slovensku (t.j. približne 5 %) by bolo zaradených do tried 4 a 5, čo predstavuje z hľadiska antropogénneho narušenia zlý, resp. veľmi zlý stav toku.

Inými slovami, z výsledkov je zrejmé, že ukazovateľ EFI nadhodnocuje (“vylepšuje”) hodnotenie ekologického stavu vôd na Slovensku, a preto je v našich podmienkach nevhodný. Podobné skúsenosti majú s ukazovateľom EFI aj v Rakúsku (Nikolaus Schotzko, osob. kom.). Na základe vyhodnotenia týchto výsledkov, ktoré priniesli inak veľmi cenné skúsenosti, možno teda dnes s určitosťou konštatovať, že ukazovateľ EFI je na hodnotenie ekologického stavu vôd podľa rýb v podmienkach Slovenska nevhodný a v podstate nepoužiteľný.

## 5.1. Príčiny zlyhania ukazovateľa EFI v podmienkach Slovenska

Dôvodov, prečo ukazovateľ EFI pri hodnotení ekologického stavu slovenských tokov zlyháva, je viacero. V prvom rade sú to dôvody, pre ktoré EFI neprináša spoľahlivé výsledky ani v regiónoch, z ktorých pochádza databáza, na základe ktorej bol ukazovateľ EFI navrhnutý a vyvinutý. Účelom tejto záverečnej správy nie je kritika štandardnej európskej metodiky a ukazovateľa EFI ani kritika doterajšieho postupu pri implementácii RSV podľa rýb – nasledujúce riadky treba vnímať výlučne ako stručnú úvahu o slabínach EFI.

Najväčším problémom ukazovateľa EFI (ale aj všetkých ostatných podobných metód) je, že sú založené na predpoklade lineárnych interakcií medzi antropicky vyvolanými disturbanciami na jednej strane a odozvou ichtyocenóz na tieto disturbancie na druhej strane. Na tomto predpoklade je založená aj pôvodná myšlienka – Index biotickej integrity (Karr, 1981). V skutočnosti však pri ekosystémoch tečúcich vôd – napokon ako pri všetkých ekosystémoch – ide o komplexné systémy, pre ktoré sú charakteristické nelineárne interakcie a vzťahy (napr. Kauffman, 1993, 1995). Inými slovami, prvkov, ktoré vstupujú na oboch stranách do interakcií (disturbancie vs. cenózy), je priveľa na to, aby vzťahy medzi nimi boli lineárne. Z toho potom vyplýva, že základná idea, na ktorej je založené hodnotenie ekologickej kvality vôd (Index biotickej integrity, EFI, atď.), t.j. že rybie spoločenstvá reagujú na antropické disturbancie predpovedateľným a merateľným (kvantifikovateľným) spôsobom, má veľké obmedzenia. To sa prejavuje na relatívne vysokej miere neistoty pri

výpočtoch týchto indexov a následne aj na ich kalibrácii a na výslednom hodnotení ekologického stavu vôd. S týmto problémom sa v súčasnosti pokúša vyrovnáť metodika založená na novom ukazovateli EFI+, ktorý vníma interakcie medzi disturbanciami a ichtyofaunou oveľa komplexnejšie (pozri časť 3, s. 9-11).

Druhým hlavným dôvodom, prečo EFI nemôže byť vhodným ukazovateľom pre hodnotenie slovenských tokov, je nedostatok dát o ichtyofaune Slovenska. Ukazovateľ EFI vychádza z robustnej štatistickej analýzy, pri ktorej boli spracované údaje z tisícov lokalít a tokov z rozmanitých regiónov Európy, ale ani jeden údaj nebol z toku, ktorý sa nachádza na území Slovenska, a zrejme len veľmi málo údajov bolo z tokov, ktoré sa environmentálnymi premennými, antropickými tlakmi a súčasne aj ichtyofaunou čo len približujú podmienkam v slovenských tokoch. Výpočet ukazovateľa EFI pritom nie je založený na vopred stanovenej a nemennej typológii tokov, čo znamená, že nenarába s vopred stanovenými referenčnými podmienkami pre monitorovaný tok. Naopak, výpočet EFI zakaždým predpovedá referenčné podmienky *de novo* a pre každú hodnotenú lokalitu osobitne. To znamená, že v podstate jestvuje neobmedzené množstvo referenčných podmienok, ktoré vygeneruje softvér na výpočet EFI na základe environmentálnych premenných hodnotenej lokality, pričom ani jeden zo vstupných údajov nepochádza z tokov Slovenska. Potom možno len ťažko očakávať, že vypočítaný ukazovateľ EFI bude spoľahlivo hodnotiť ekologický stav monitorovanej lokality, ak do softvéru na výpočet EFI vložíme údaje zo slovenskej lokality, pričom softvér pre ňu vygeneruje referenčné podmienky z údajov pochádzajúcich z tokov s celkom inými geografickými a environmentálnymi premennými.

Na potenciálne problémy s uplatnením EFI mimo regiónov, z ktorých pochádzali vstupné údaje pre jeho vývoj, upozorňujú aj jeho vlastní autori: "Takýto nástroj nebol doteraz v kontinentálnom meradle nikdy vyvinutý. Pri tomto prístupe sú naše modely aj samotný ukazovateľ prenosné, avšak iba na lokality a toky patriace do oblastí, z ktorých pochádzajú údaje do kalibračného súboru (REF-CAL). Zovšeobecnenie našej metódy do väčšieho priestoru bude možné iba tak, že sa nazbierajú nové údaje pokrývajúce nové oblasti a naše modely sa následne rekalibrujú" (Pont et al., 2004: 4).

Po spustení projektu EFI+ v roku 2007 sa predpokladalo, že nový ukazovateľ EFI+ sa stane alternatívou ukazovateľa EFI aj pre Slovenskú republiku. Pôvodne mali byť do projektu EFI+ totiž zahrnuté aj dáta zo slovenských tokov, čo vzbudzovalo nádeje, že nový ukazovateľ bude aplikovateľný aj u nás. Napokon sa však údaje zo Slovenska do databázy projektu EFI+ nedostali.

## 6. Slovenský ichtyologický index (FIS)

Z dôvodov uvedených v predchádzajúcej časti tejto záverečnej správy vyplynula nevyhnutnosť vypracovať vlastný ukazovateľ na základe rýb, ktorý by mal potenciál vernejšie odrážať ekologický stav slovenských tokov – Slovenský ichtyologický index, v angličtine Fish Index of Slovakia (FIS).

Pri vyvíjaní FIS boli využité všetky dostupné a aplikovateľné materiály, údaje a skúsenosti z doterajšieho procesu implementácie RSV podľa rýb na Slovensku, všetky aplikovateľné skúsenosti a dáta použité konzorciom FAME pri vyvíjaní ukazovateľa EFI a všetky aplikovateľné skúsenosti a dáta uplatnené v procese interkalibrácie.

Splnenie tejto úlohy si vyžadovalo uskutočniť nasledujúce kroky:

1. zrevidovať a spresniť typológiu slovenských tokov z hľadiska ichtyofauny
2. zrevidovať doterajšiu typológiu, resp. vytvoriť novú typológiu referenčných rybích spoločenstiev pre jednotlivé typy tokov Slovenska
3. zrevidovať a spresniť ekologickú charakteristiku jednotlivých druhov rýb v podmienkach Slovenska
4. vybrať vhodné metriky na výpočet FIS
5. doladiť a štandardizovať postupy odberu vzoriek a ukladania dát, najmä ich štruktúru s ohľadom na kompatibilitu FIS s EFI+ a s procesom interkalibrácie (vrátane údajov o environmentálnych premenných, celkovej dĺžky rýb a antropických tlakoch)
6. vyriešiť mechanizmus kalkulácie FIS (t.j. vyvinúť softvérový nástroj na výpočet FIS)
7. nakalibrovať hranice medzi piatimi stupňami ekologického stavu (od veľmi dobrého po veľmi zlý) v kontexte FIS

### 6.1. Nová typológia slovenských tokov z hľadiska ichtyofauny

Metodika hodnotenia ekologického stavu vôd podľa rýb, ktorá je založená na výpočte ukazovateľa EFI, nenarába s vopred stanovenými typmi tokov, ale generuje ich na základe rozsiahlej databázy environmentálnych premenných z tisícov tokov nachádzajúcich sa v členských krajinách Konzorcia FAME (pozri vyššie). Na Slovensku takú rozsiahlu databázu, ktorá by umožnila realizovať štatistické analýzy, nemáme, preto sme odkázaní na vytvorenie typológie na základe iných kritérií. Hlavné kritériá novej typológie sú dve: zoogeografické členenie ichtyofauny Slovenska a zonácia tečúcich vôd. Podrobnosti a zdôvodnenie týchto kritérií opísal už v počiatkových fázach implementácie RSV v Slovenskej republike Hensel (2001). Takto vytvorená typológia (jej autorom je K. Hensel) rozlišuje 23 typov tokov (Tab. 6.1) a slúži výlučne pre hodnotenie ekologického stavu vôd podľa rýb.



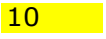
Karpaty	Atlantická provincia	Popradský okres	horská zóna	nad 800 m n. m.	horný tok Poprad a prítoky Popradu a Dunajca nad 800 m n. m.	1
			podhorská zóna	do 800 m n. m.	stredný tok Popradu, ako aj Dunajec a ich prítoky do 800 m n. m.	2
			zóna	do 500 m n. m.	spodný tok Popradu po sútok s Valaskou vodou do 500 m n. m.	3
	Pontokaspická provincia	Homovážsky prachodný okres	horská zóna	nad 800 m n. m.	pramene a prítoky Váhu nad 800 m n. m.	4
			podhorská zóna	do 800 m n. m.	prítoky Váhu do 800 m n. m.	5
			zóna	do 800 m n. m.	horný tok Váhu po sútok s Oravou	6
		Potišký okres	horská zóna	nad 400/500/600 m n. m.	Laborec, Topľa a Ondava nad 400, Slaná, Bodva a Rimava nad 500, Hornád a Torysa nad 600 m n. m., vrátane ich prítokov	7
			podhorská zóna	do 400/500/600 m n. m.	prítoky Laborca, Tople, Ondavy do 400, Slanej, Bodvy a Rimavy do 500, Hornádu a Torysy do 600 m n. m.	8
			zóna	do 400/500/600 m n. m.	Laborec, Topľa a Ondava do 400, Torysa a Hornád do 600 m n. m.	9
			rižinná z.	do 200 m n. m.	Hornád, Bodva, Rimava, Slaná a ich prítoky do 200 m n. m.	10
		Podunajský okres	horská zóna	nad 500/600/700 m n. m.	prítoky Váhu, Hron, Nitra a Ipľa nad 500 m, Turiec nad 800 a Orava nad 700 m n. m. a ich malé prítoky inak zaraditeľné do typu 12	11
			podhorská zóna	do 500/600/700 m n. m.	prítoky (len veľké) Váhu, Nitry, Hronu a Ipľa do 500, Turca 600 a Oravy do 700 m n. m.	12
			zóna	do 500/600/700 m n. m.	Váh od VDŽ po sútok s Oravou (r. km 430), Orava, Turiec od ústia po Antonský potok (64,6), Hron od Zvolena po Hámor (265)	13
			zóna	do 500/600/700 m n. m.	Váh od Klanečnice (r. km 142) po VDŽ (255), Hron od Rudna n/Hr (113) po Zvolen (174), Ipel od Kalinova (159) po Ipelský pötok (187)	14
			rižinná z.	do 200 m n. m.	Ipel a jeho prítoky	15
Panónska panva	Podunajský okres	podhorská zóna	do 300 m n. m.	malé toky Panónskej panvy	16	
		rižinná zóna	do 200 m n. m.	malé prítoky Dunaja, Moravy, M. Dunaja, Váhu, Nitry, Žitavy a Hronu	17	
		zóna	do 200 m n. m.	Morava	18	
		zóna	do 200 m n. m.	Malý Dunaj, dolný tok Váhu, Nitry, Žitavy, Hronu a Ipľa	19	
		zóna	do 200 m n. m.	Dunaj r. km 1810 – 1880,2 vrátane ramennej sústavy	20	
		zóna	do 200 m n. m.	Dunaj r. km 1708,2 – 1810 vrátane ramennej sústavy	21	
	Potišký okres	rižinná zóna	v Panoniku (do cca 200 až 300 m n. m.)	malé toky povodia Tisy v Panoniku	22	
		zóna	v Panoniku (do cca 200 až 300 m n. m.)	Bodrog, Latorica, Uh, Tisa, spodný tok Laborca po Strážske (r. km 57,9), Ondavy po Ondavku (r. km 57,6) a Tople po Sol (r. km 29)	23	
		zóna	v Panoniku (do cca 200 až 300 m n. m.)	malé toky povodia Tisy v Panoniku	24	

Tab. 6.1. Nová typológia tokov Slovenska 2010 (autor K. Hensel, pripomenkovali V. Mužik, J. Černý a V. Kováč) pre hodnotenie ekologického stavu vôd podľa rýb. Táto typológia sa líši od spoločnej typológie tokov Slovenska používanou pri hodnotení ostatných prvkov kvality, je s ňou však kompatibilná a bude sa používať iba na výpočet ukazovateľa FIS.

## 6.2. Nová typológia referenčných rybích spoločenstiev

Vzhľadom na absenciu dostatočného množstva použiteľných údajov nie je v Slovenskej republike možné určiť referenčné podmienky pre rybie spoločenstvá jednotlivých typov tokov inak ako expertným odhadom. Pre účely národnej metodiky stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb, t.j. pomocou ukazovateľa FIS, je potrebné, aby mali referenčné podmienky podobu modelových (teoretických) spoločenstiev, a to pre každý z 23 typov tokov zvlášť. Modelové spoločenstvo pritom predstavuje také druhové zloženie a relatívnu denzitu jednotlivých druhov, aké by sa v danom type toku pravdepodobne vyskytovalo, keby tento tok nebol vystavený nijakým antropickým tlakom, resp. nebol by narušený nijakými antropogénnymi disturbanciami. Allochtónne druhy rýb, vrátane „hospodársky cenných“ druhov sú pochopiteľne z týchto modelov vylúčené.

Súhrnné údaje aj s úplným zoznamom druhov rýb zaznamenaných na území Slovenska, ako aj stručný prehľad dostupných údajov o stave ichtyofauny tečúcich a stojatých vôd Slovenska uviedol vo svojej správe už na začiatku implementácie RSV v Slovenskej republike Hensel (2001). Modelové spoločenstvá pre potreby stanovovania ekologického stavu vôd podľa rýb (Tab. 6.2) boli vypracované na základe dôkladnej analýzy všetkých dostupných literárnych prameňov o ichtyofaune Slovenska (vyše 6 500 údajov z niekoľko sto lokalít; zoznam literatúry v Prílohe 1), vlastných záznamov z ichtyologických prieskumov, ako aj na základe terénnych skúseností, údajov a pripomienok viacerých renomovaných slovenských ichtyológov. Verzia z roku 2008 bola zrevidovaná a upravená do súčasnej podoby.

Tabuľka 6.2 (s. 24) obsahuje údaje o predpokladanej relatívnej denzite 55 autochtónnych druhov rýb v každom z 23 typoch tokov. Relatívna denzita vyjadruje percentuálne zastúpenie jedincov populácie každého druhu v danom spoločenstve. Druhové zloženie ichtyocenózy každého z 23 typov tokov je znázornené farebne: tmavohnedé políčka  znamenajú, že druh sa nevyskytuje v danom povodí vôbec, sivobelasé políčka , že druh sa nevyskytuje v danom úseku (type) toku, kým žlté políčka s číslom  indikujú jednak prítomnosť druhu v danom type toku a jednak jeho predpokladanú relatívnu denzitu.

Niet pochýb, že takto vytvorené modelové referenčné spoločenstvá môžu byť zaťažené rôzne veľkou chybou, nakoľko použité literárne údaje neboli vždy úplne spoľahlivé – a ani nemohli byť, pretože ichtyologické prieskumy, z ktorých pochádzajú, neboli vykonávané za rovnakým účelom, rovnakým technickým vybavením, v rovnakom období roka, atď. Prípadné nepresnosti by však mali byť pri hodnotení ekologického stavu vôd minimalizované, pretože tu navrhovaná metodika nenašrába s konkrétnym druhovým zložením spoločenstva, ale s metrikami, ktoré sú založené na ekologickej charakteristike jednotlivých druhov (pozri časť 6.4, s. 27).





### 6.3. Ekologická charakteristika rýb v podmienkach Slovenska

Väčšina metód na stanovenie ekologického stavu vôd používaných v krajinách EÚ, ale aj v USA, je založená na metrikách, ktoré vychádzajú z ekologických charakteristík rýb (prehľad prístupov k hodnoteniu stavu povrchových vôd na základe rýb v zahraničí spracoval Hensel, 2003). Výhodou prístupu, pri ktorom nie je pri hodnotení rozhodujúce samotné druhové zloženie spoločenstva (kvalitatívne i kvantitatívne), ale zastúpenie jednotlivých ekologických skupín, je väčšia flexibilita a univerzálnosť, ako aj menšia náchylnosť na ovplyvnenie výsledku hodnotenia náhodnými výkyvmi v skladbe spoločenstva. Na druhej strane, takýto prístup si vyžaduje dôkladné zváženie ekologických charakteristík jednotlivých druhov rýb, pričom tieto nemusia byť nemenné, ba naopak, často môžu variovať v závislosti od regionálnych podmienok. Pre úspešnú aplikáciu národnej metodiky hodnotenia ekologického stavu vôd podľa rýb je preto mimoriadne dôležité priradiť každému autochtónnemu druhu správne ekologické charakteristiky zodpovedajúce jednotlivým metrikám.

Výpočet FIS narába so siedmimi metrikami, ktoré odrážajú ekologickú charakteristiku rýb (pozri časť 6.4). Dve z týchto metrik reflektujú potravné nároky, dve metriky nároky na substrát počas reprodukcie, dve metriky afinitu k habitatu a jedna metrika migračné vlastnosti rýb. Pre účely národnej metodiky hodnotenia ekologického stavu vôd podľa rýb a výpočet ukazovateľa FIS boli tieto charakteristiky dôkladne prehodnotené skupinou expertov z rôznych regiónov Slovenska s bohatými terénnymi skúsenosťami i teoretickými vedomosťami. Vznikol tak zoznam druhov rýb vyskytujúcich sa v súčasnosti v slovenských tokoch, ktorý je obohatený o tie ekologické charakteristiky jednotlivých druhov, ktoré zodpovedajú metrikám 1 – 7 na výpočet FIS (Tab. 6.3).

Metriky 1 – 7 sú založené na výlučne na prítomnosti autochtónnych druhov rýb, pričom tieto metriky ovplyvňujú výslednú hodnotu FIS pozitívne. Inými slovami, prítomnosť autochtónnych druhov rýb očakávaných v jednotlivých typoch tokov signalizuje priaznivejší ekologický stav toku. Zoznam však obsahuje aj allochtónne druhy, pretože ich prítomnosť ovplyvňuje metriku 9 – index ekvitality, pričom niektoré z nich sú súčasne aj invázne a ich prítomnosť je zohľadnená v metrike 8. Zoznam s ekologickými charakteristikami je upravený pre potreby výpočtu ukazovateľa FIS, preto má formu tabuľky spracovanej v programe Microsoft Excel a ekologické charakteristiky druhov sú v ňom vyznačené binárnym princípom. Druh, ktorý je napríklad reofilný, má v príslušnej bunke „1“, kým druh, ktorý takúto vlastnosť nemá „0“. Pre allochtónne druhy (vrátane invázných) je pri všetkých ekologických charakteristikách „0“, pretože ich prítomnosť nesignalizuje priaznivejší ekologický stav toku, a to bez ohľadu na ich ekologické vlastnosti. Pri invázných druhoch je ich invazivita vyznačená v príslušnom stĺpci „1“ (Tab. 6.3).

Druh	Ekologická charakteristika							
	Bentický	Reofilný	Litofilný	Fytofilný	Insektivorný	Piscivorný	Potamodromný	Invázy
<i>Abramis ballerus</i>	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Abramis brama</i>	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Abramis sapa</i>	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Acipenser ruthenus</i>	1	1	0	0	0	0	1	0
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	0	1	1	0	1	0	0	0
<i>Alburnus alburnus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ameiurus melas</i>	1	0	1	0	0	0	0	1
<i>Ameiurus nebulosus</i>	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Anguilla anguilla</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aspius aspius</i>	0	0	1	0	0	1	1	0
<i>Barbatula barbatula</i>	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Barbus barbus</i>	1	1	1	0	0	0	1	0
<i>Barbus peloponnesius</i>	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Blicca bjoerkna</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Carassius auratus</i>	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Carassius carassius</i>	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Chondrostoma nasus</i>	1	1	1	0	0	0	1	0
<i>Cobitis taenia</i>	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Cottus gobio</i>	1	1	1	0	1	0	0	0
<i>Cottus poecilopus</i>	1	1	1	0	1	0	0	0
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cyprinus carpio</i>	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Esox lucius</i>	0	0	0	1	0	1	0	0
<i>Eudontomyzon danfordi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eudontomyzon mariae</i>	1	1	1	0	0	0	1	0
<i>Eudontomyzon vladkovi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Gobio albipinnatus</i>	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Gobio gobio</i>	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Gobio kesslerii</i>	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Gobio uranoscopus</i>	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Gymnocephalus baloni</i>	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gymnocephalus schraetser</i>	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Hucho hucho</i>	0	1	1	0	0	1	1	0
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lampetra planeri</i>	1	1	1	0	0	0	1	0
<i>Lepomis gibbosus</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Leucaspis delineatus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Leuciscus cephalus</i>	0	1	1	0	0	0	1	0
<i>Leuciscus idus</i>	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Leuciscus leuciscus</i>	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Lota lota</i>	1	0	1	0	0	0	1	0
<i>Micropterus salmoides</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Misgurnus fossilis</i>	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Neogobius fluviatilis</i>	1	0	1	0	0	0	0	1
<i>Neogobius gymnotrachelus</i>	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Neogobius kessleri</i>	1	0	1	0	0	0	0	1
<i>Neogobius melanostomus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pelecus cultratus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Perca fluviatilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Percottus glenii</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Phoxinus phoxinus</i>	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Proterorhinus marmoratus</i>	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Pseudorasbora parva</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Rhodeus sericeus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rutilus meidingeri</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rutilus pigus</i>	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Rutilus rutilus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sabanejewia balcanica</i>	1	1	0	1	0	0	0	0
<i>Salmo trutta fario</i>	0	1	1	0	1	0	0	0
<i>Salvelinus fontinalis</i>	0	1	1	0	1	0	0	0
<i>Sander lucioperca</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Sander volgensis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Silurus glanis</i>	1	0	0	1	0	1	0	0
<i>Thymallus thymallus</i>	0	1	1	0	1	0	1	0
<i>Tinca tinca</i>	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Umbra krameri</i>	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Vimba vimba</i>	1	1	1	0	0	0	1	0
<i>Zingel streber</i>	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Zingel zingel</i>	1	1	1	0	0	0	0	0

Tab. 6.3. Ekologické charakteristiky rýb v podmienkach Slovenska, upravené pre potreby výpočtu FIS. Zoznam obsahuje iba tie druhy, na základe ktorých možno počítať jednotlivé metriky. Názvy druhov sú upravené podľa názvov používaných v databáze FIDES a uplatňovaných pri výpočte EFI a EFI+, aby bola zabezpečená kompatibilita s týmito európskymi ukazovateľmi. Na revízii ekologických charakteristík sa podieľali V. Kováč, V. Mužik, I. Stráňani a J. Koščo.

## 6.4. Výber metrík na výpočet FIS

Ako základ pre výber metrík na výpočet FIS poslúžilo 10 metrík ukazovateľa EFI, ktoré boli zvolené konzorciom FAME na základe robustných štatistických analýz (Tab. 2.1). Pri výbere boli zohľadnené štyri kritériá:

1. Aby bola pri zvolených metrikách čo najväčšmi eliminovaná nejednoznačnosť
2. Aby bola čo najväčšmi zohľadnená komplexita interakcií medzi antropogénnymi disturbanciami a rybími spoločenstvami
3. Aby bol v čo najväčšej miere zachovaný princíp jednoduchosti („Occamova britva“)
4. Aby boli metriky použiteľné aj napriek nedostatočnému množstvu kvantitatívnych údajov zo slovenských tokov

Na základe týchto kritérií boli zo zoznamu metrík pre výpočet FIS vylúčené metriky „Podiel intolerantných druhov“ a „Podiel tolerantných druhov“, pretože tieto metriky obsahujú značnú dávku nejednoznačnosti. Metodika EFI totiž nešpecikuje celkom jednoznačne, voči akým ekologickým faktorom majú byť prítomné či neprítomné druhy tolerantné, resp. intolerantné. Navyše je všeobecne známe, že tolerancia organizmov k jednotlivým faktorom varíruje v závislosti od interakcií medzi týmito faktormi. Tolerancia rýb voči niektorým druhom znečistenia napríklad závisí od obsahu rozpusteného kyslíka, veku rýb, ich kondície, atď., a mení sa aj počas obdobia rozmnožovania, ktoré sa môže u druhov s dávkovitým neresom ťahať aj niekoľko mesiacov.

Z rovnakého dôvodu – minimalizovať mieru nejednoznačnosti – bola zo zoznamu metrík pre výpočet ukazovateľa FIS vyradená aj metrika „Denzita omnivorných druhov“. Zloženie potravy rýb totiž nemusí byť také vyhranené, aby sme mohli jednoznačne určiť, ktorý druh nie je omnivorný. Potrava mnohých druhov sa mení v priebehu ich ontogenézy, podlieha sezónnym i diurnálnym výkyvom a navyše môže byť ovplyvnená aj miestnymi osobitosťami monitorovaného toku. Pri vyradení tejto metriky bolo zohľadnené aj kritérium princípu jednoduchosti: kombinácia metrík, ktoré konečnú hodnotu indexu zvyšujú, a metrík, ktoré konečnú hodnotu indexu znižujú, zvyšuje potenciálne riziko, že miera neistoty bude pri výpočte konečného indexu narastať.

Štvrtou metrikou zo zoznamu metrík na výpočet ukazovateľa EFI, ktorá bola z ďalšieho uvažovania vylúčená, bol „Počet diadromných druhov“. V tomto prípade ide o metriku, ktorá je v súčasnosti v podmienkach Slovenska irelevantná, nakoľko diadromné druhy sa v našich tokoch už niekoľko desiatok rokov nevyskytujú, pričom náprava tohto stavu je možná výlučne zmenou postoja iných európskych krajín (vrátane krajín, ktoré nie sú členmi EÚ), čiže nie je v možnostiach ani v kompetencii Slovenskej republiky.

Z pôvodných 10 metrík na výpočet EFI tak zostalo šesť. Na rad prišlo štvrté kritérium výberu, t.j. bolo potrebné zvážiť, či sú zvyšujúce metriky použiteľné aj napriek nedostatočnému

množstvu kvantitatívnych údajov zo slovenských tokov. V prípade dvoch metrík týkajúcich sa insektivorných a fytofilných druhov sa výpočet EFI uskutočňuje na základe údajov o denzite, t.j. na základe kvantitatívnych údajov. Preto bolo potrebné tieto metriky modifikovať tak, aby sa dali použiť na výpočet FIS aj bez kvantitatívnych údajov zo skutočných referenčných lokalít. Súčasne bolo opäť uplatnené kritérium princípu jednoduchosti, a tak sa pri všetkých zostávajúcich šiestich metrikách modifikoval a zároveň aj unifikoval ich kvantitatívny parameter, a to na relatívnu denzitu. Pre výpočet ukazovateľa FIS tak vzniklo prvých šesť metrík – 1) Relatívna denzita insektivorných druhov, 2) Relatívna denzita fytofilných druhov, 3) Relatívna denzita litofilných druhov, 4) Relatívna denzita bentických druhov, 5) Relatívna denzita reofilných druhov a 6) Relatívna denzita potamodromných druhov.

K týmto šiestim metriкам boli na základe expertného posúdenia pridané ďalšie tri metriky. Prvou je „Relatívna denzita piscivorných druhov“, ktorá má pri posudzovaní vyváženosti rybích spoločenstiev v slovenskej, resp. československej ichtyologickej literatúre dlhú tradíciu (napr. Balon, 1966).

V posledných desaťročiach sa v slovenských tokoch objavuje čoraz viac allochtónnych druhov, pričom viaceré z nich sú invázne (Copp et al., 2005; Kováč et al. 2008). Prítomnosť invázných druhov sa pritom považuje za relevantný indikátor narušenia prirodzených ekosystémov (napr. Moyle a Light, 1996; Marchetti et al., 2004; Ribeiro et al., 2007), preto bola medzi metriky na výpočet FIS zaradená aj metrika „Relatívna denzita invázných druhov“. Je to jediná metrika, ktorá celkovú hodnotu ukazovateľa FIS znižuje.

S cieľom čo najefektívnejšie a súčasne najjednoduchšie zohľadniť kritérium komplexity bola do výpočtu ukazovateľa FIS zaradená aj deviata metrika „Index ekvitability“. Tento index hodnotí nielen druhovú rozmanitosť spoločenstva (pomer počtu druhov k počtu jedincov), ale aj jeho vyrovnanosť. Vyjadruje sa ako pomer zisteného indexu diverzity k maximálnemu možnému indexu diverzity pri danom počte druhov (obr. 6.1).

Diverzita		
	$p_i = \frac{N_i}{N}$	pravdepodobnosť, že 1 jedinec spol. patrí druhu i
Diverzita	$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln p_i$	Shannonov index
	$H'_{\max} = \ln S$	
Ekvitabilita	$E = \frac{H'}{H'_{\max}}$	Sheldonov index

Obr. 6.1. Diverzita čiže druhová rozmanitosť spoločenstva vyjadruje pomer počtu druhov k počtu jedincov. Tento vzťah sa vyjadruje ako index diverzity  $H'$ . Ak je počet druhov  $a, b, \dots, s$  s  $N_a, N_b, \dots, N_s$ , a počet všetkých jedincov celkom  $N$ , potom pravdepodobnosť, že jeden jedinec patrí druhu  $i$  je  $p_i$ . Túto pravdepodobnosť vypočítame podielom počtu jedincov ktoréhokoľvek druhu a počtu všetkých jedincov, ktoré spoločenstvo tvoria. Index diverzity sa počíta podľa vzorca, ktorý je odvodený z teórie informácií (Shannonov Index). Čím je index

diverzity vyšší, tým väčší je počet druhov, ktoré tvoria spoločenstvo, a tým väčší je celkový počet jedincov rozložený na viac druhov. Oveľa významnejšou vlastnosťou spoločenstva je vyrovnanosť, čiže ekvitabilita, ktorá sa vyjadruje ako pomer zisteného indexu diverzity k maximálnemu možnému indexu diverzity pri danom počte druhov (Sheldonov Index).

Na výpočet ukazovateľa FIS sa teda používa nasledujúcich desať metrík, ktoré sú tu zoradené podľa ekologických vlastností druhov – afinity k habitatu (1, 2), nárokov na substrát počas reprodukcie (3, 4), potravných nárokov (5, 6), migračných vlastností (7), taxonomickej príslušnosti (8) a invázneho potenciálu (9); metrika 10 je vlastnosťou spoločenstva:

1. Relatívna denzita bentických druhov
2. Relatívna denzita reofilných druhov
3. Relatívna denzita litofilných druhov
4. Relatívna denzita fytofilných druhov
5. Relatívna denzita insektivorných druhov
6. Relatívna denzita piscivorných druhov
7. Relatívna denzita potamodromných druhov
8. Relatívna abundancia lososovitých druhov
9. Relatívna denzita invázných druhov
10. Index ekvitability

## 6.5. Postup pri výpočte FIS

Výpočet FIS sa vykonáva prostredníctvom softvérového nástroja FIScalc (pozri časť 7, s. 34). Princíp výpočtu je nasledovný:

V prvom kroku hodnotiteľ ekologického stavu zaradí monitorovanú lokalitu do niektorého z 23 typov slovenských tokov (Tab. 6.1). V druhom kroku sa vypočíta prvých 8 metrík (vo všetkých prípadoch ide o relatívnu denzitu). V treťom kroku sa vypočíta odchýlka zistených hodnôt jednotlivých metrík od hodnôt týchto ôsmich metrík nadefinovaných v príslušnom referenčnom (modelovom) spoločenstve (podľa zvoleného typu toku) a vyjadří sa – v súlade s podmienkami RSV – v podobe pomeru ekologickej kvality (PEK, resp. Ecological Quality Ratio – EQR). Zdôvodnenie takého postupu možno nájsť aj v materiály o metodike pre odvodenie referenčných podmienok a klasifikačných schém pre hodnotenie ekologického stavu vôd (Šporka et al. 2007), kde sa na s. 25 píše: „Pomer vyjadruje vzťah medzi zistenými hodnotami biologických prvkov kvality k referenčným podmienkam v danom útvare. Pomer ekologickej kvality je vyjadrený hodnotami v intervale 0 – 1, pričom tieto hodnoty sú vypočítané na základe vzťahu, ktorý je daný hraničnými podmienkami:

$$EQR = \frac{hm - dh}{hh - dh}$$

kde hm = hodnota metriky, dh = dolná prahová hodnota (lower anchor) a hh = horná prahová hodnota (high anchor).”

Pokiaľ takto štandardizovaná metrika (prostredníctvom PEK) dosahuje hodnotu vyššiu ako 1,0 (t.j. ak pozorovaná hodnota relatívnej denzity danej metriky prevýšila v hodnotenom spoločenstve očakávanú hodnotu danej metriky v referenčnom spoločenstve), vo štvrtom kroku sa hodnota takejto metriky upraví na 1,0. Vychádza sa pritom z predpokladu, že ak relatívna hodnota danej metriky, ktorá indikuje stav spoločenstva, dosiahne hodnotu očakávanú v referenčnom spoločenstve, daná metrika indikuje hornú hranicu veľmi dobrého stavu (triedu 1), ktorý sa už ďalším zvyšovaním hodnoty nemá kam zlepšiť. Tu sa prejavuje výhoda princípu jednoduchosti, ktorý spočíva v tom, že všetky metriky, s výnimkou "Relatívnej denzity invázných druhov" hodnotu ukazovateľa FIS zvyšujú (t.j. hodnota týchto metrík klesá s antropogénnym ovplyvnením). Pri metrike "Relatívna denzita invázných druhov", ktorá ako jediná hodnotu ukazovateľa FIS znižuje (t.j. jej hodnota stúpa s antropogénnym ovplyvnením), je pritom referenčná hodnota všetkých 23 typov tokov nastavená na 0, takže odchýlka od očakávaného stavu nemôže ani teoreticky prekročiť hodnotu 1,0 (túto hodnotu by dosiahla, keby bolo spoločenstvo tvorené výlučne inváznymi druhmi).

Prípadnú, teoreticky možnú situáciu, že viaceré z metrík 1 – 7, ktoré hodnotu ukazovateľa FIS zvyšujú, dosiahnu hodnotu vysoko prevyšujúcu 1,0 a napriek tomu do výpočtu FIS vstúpia iba hodnotou 1,0, čo by mohlo celkové hodnotenie ekologického stavu monitorovanej lokality deformovať, rieši piaty krok, ktorým je výpočet indexu ekvitability (obr. 6.1). Táto metrika totiž citlivo reaguje na nevyváženosť spoločenstva tak, že čím väčší niektorý druh dominuje (napríklad druh, ktorý zvyšuje hodnotu hociktorej z metrík 1 – 7), tým väčší sa jej hodnota znižuje.

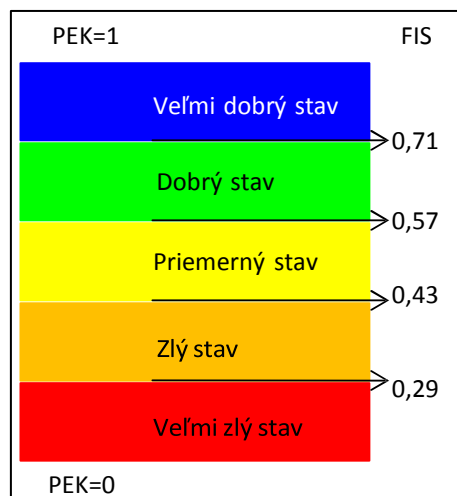
V šiestom – poslednom – kroku sa hodnoty všetkých metrík sčítajú a vydedia počtom metrík aplikovaných pre daný typ toku (nie všetky typy tokov majú v referenčných spoločenstvách také zastúpenie druhov, že sú nimi pokryté všetky metriky 1 – 7; okrem toho, v prípade absencie invázných druhov táto metrika s negatívnym dosahom na hodnotu FIS do výpočtu nevstupuje, takže počet metrík nemusí byť pre všetky typy tokov rovnaký). Výsledkom je hodnota ukazovateľa FIS, ktorá sa pohybuje v intervale 0 – 1.

## 6.6. Kalibrácia hraníc medzi piatimi triedami ekologického stavu

Na to, aby akýkoľvek multimetrický ukazovateľ hodnotenia ekologického stavu vôd fungoval, je potrebné stanoviť korektné hranice medzi jednotlivými triedami kvality od veľmi dobrej po veľmi zlú (pozri napr. Tab. 2.2). Inými slovami, akýkoľvek ukazovateľ, vrátane FIS, je len číslo, ktoré samé o sebe nič neznamena – skutočný význam nadobudne až vtedy, keď je známa jeho interpretácia.

Problém stanovenia korektných hraníc medzi jednotlivými triedami kvality patrí medzi najťažšie vyriešiteľné problémy pri uplatňovaní multimetrických indexov ekologického stavu (pozri časť 2.3, resp. Pont et al., 2004). Metódu iterácií, ktorá bola použitá pri kalibrácii ukazovateľa EFI nemožno pri ukazovateli FIS uplatniť pre nedostatok dát. Zásady použité pri stanovovaní hraničných hodnôt pre makrozoobentos (Šporka et al. 2007) zasa nemožno prevziať preto, lebo filozofia FIS je založená na komplexnom hodnotení ichtyofauny, takže neuvažuje o význame hodnôt jednotlivých metrick pre hodnotenie ekologického stavu izolovane, ale vníma ich výlučne ako celok.

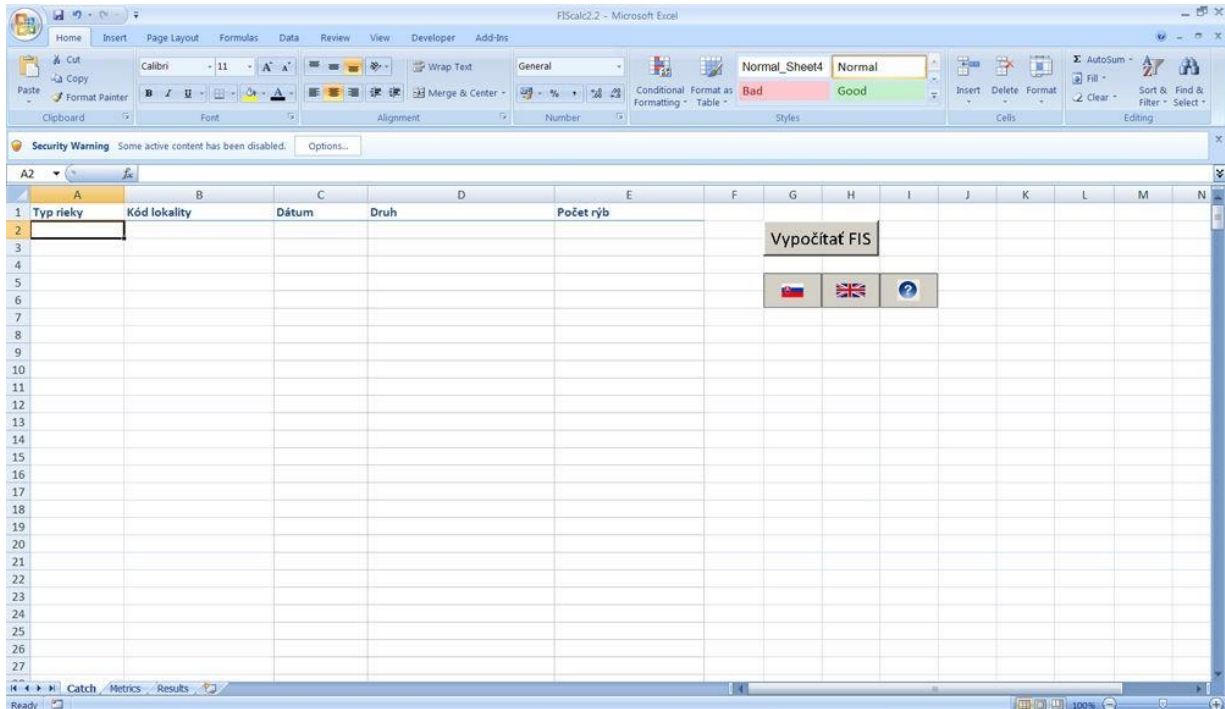
Na základe výsledkov z procesu interkalibrácie boli stanovené nové hranice medzi triedami, a to nasledujúcim spôsobom: hranica medzi triedami 1 a 2 bola stanovená ako medián hodnôt ukazovateľa FIS slovenských referenčných lokalít (Slovak RefCond sites), t.j. na hodnote 0,71. Hranica medzi triedami 4 a 5 bola stanovená ako symetrická hodnota hranice medzi triedami 1 a 2 od hodnoty 0, t.j. 0,29. Zvyšné hranice boli napokon rozdelené rovnomerne medzi hodnotami 0,71 a 0,29.



Obr. 6.1. Upravené hranice medzi triedami ekologického stavu podľa rýb.

## 7. Softvérový nástroj na výpočet FIS

Na vypočítanie slovenského ichtyologického ukazovateľa FIS slúži softvérový nástroj FIScalc2.2, ktorý je súčasťou aktualizácie národnej metódy stanovenia ekologického stavu podľa rýb. Nachádza sa v prílohe 2 tejto správy na CD. FIScalc2.2 pracuje v široko dostupnom programe Microsoft Excel a je vyhotovený v dvoch jazykových mutáciách: slovenskej a anglickej. Pri počítaní ukazovateľa FIS stačí vložiť do listu „Catch“ dáta v príslušnej štruktúre, ktorá je zhodná so štruktúrou dát pre proces interkalibrácie a pre výpočet ukazovateľa EFI+ (obr. 7.1) a kliknúť na tlačidlo „Vypočítať FIS“. FIScalc2.2 automaticky vypočíta FIS pre všetky lokality a vypočítané hodnoty uloží do listu „Results“. Pre kontrolu a lepší prehľad ukladá FIScalc2.2 aj vypočítané hodnoty všetkých metrík, a to do listu „Metrics“. Podrobnosti o používaní softvérového nástroja FIScalc2.2 možno získať po stlačení tlačidla s bielym otáznikom v modrom kruhu (obr. 7.1).



Obr. 7.1. Softvérový nástroj FIScalc2.2.



## 8. Odporúčania pre aplikáciu národnej metodiky stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb

Zavedenie modifikácií vyplývajúcich z dopracovania národnej metodiky stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb do praxe (vrátane ukazovateľa FIS), ktoré sú predmetom tejto správy, si vyžiada niekoľko zmien oproti doterajšiemu postupu, ako aj niekoľko organizačných opatrení.

Keďže v nasledujúcich rokoch sa očakáva monitoring niekoľko sto lokalít, bude potrebné zaškoliť dostatočne početný personál, ktorý bude monitoring vykonávať. Pre korektné stanovovanie ekologického stavu vôd podľa rýb je pri odbere vzoriek a zhromažďovaní dát nevyhnutné striktno dodržiavať všetky postupy požadované národnou metodikou – okrem iného aj preto, že tieto postupy sú identické s postupmi, ktoré vyžaduje metodika odberu vzoriek a zhromažďovania dát pre výpočet ukazovateľa EFI+, ako aj s postupmi, ktoré sú potrebné pre jednoduchšie zabezpečenie procesu interkalibrácie. Hlavným predmetom odporúčaných školení by mali byť práve tieto postupy.

Monitoring musia vykonávať 3-5-členné pracovné skupiny (podľa veľkosti toku, na väčších broditel'ných tokoch by mali operovať dve skupiny súčasne), a to pod vedením zaškoleného vedúceho skupiny. Medzi najdôležitejšie zásady pri odbere vzoriek, okrem tých, ktoré navrhol Hensel (2002) a spomína ich aj Mužík (2007), patria nasledujúce zásady:

1. Odber vzoriek by sa mal uskutočňovať v období od 16. júla do 30. novembra, a to s prihliadnutím na región, kde sa monitorovaný tok nachádza, tak, aby bola zabezpečená možnosť získať vzorky tohoročných juvenilných rýb (vek 0+); v nevyhnutných prípadoch je možné odber vzoriek uskutočniť v období od 1. apríla do 30. novembra, nikdy však nie mimo tohto obdobia
2. Pri odbere vzoriek je nevyhnutné zaznamenať všetky environmentálne premenné a všetky antropogénne tlaky tak, ako to vyžaduje proces interkalibrácie a proces hodnotenia ekologického stavu vôd pomocou ukazovateľa EFI+ (obr. 3.1);
3. Pri odbere vzoriek je nevyhnutné zamerať sa na všetky druhy rýb a kruhoústnic, s osobitným dôrazom na jedince menšie ako 150 mm celkovej dĺžky;
4. Pri odbere vzoriek je nevyhnutné starostlivo (t.j. nielen na základe rutiny a predpokladaného výskytu jednotlivých druhov v danom toku) identifikovať druhovú príslušnosť každého jedinca, čo platí najmä pre niektoré ťažšie identifikovateľné druhy, kde je riziko zámieny s iným blízko príbuzným druhom, ako aj pre juvenilné jedince;
5. Pri zápise je nevyhnutné používať jednotné menoslovie, t.j. výlučne tie druhové názvy, ktoré boli konsenzom prijaté pracovnou skupinou pre interkalibráciu.

## 9. Záver a súhrn

Predložený dokument stručne sumarizuje doterajšie postupy pri stanovovaní ekologického stavu vôd podľa rýb, charakterizuje metódu hodnotenia pomocou ukazovateľov European Fish Index (EFI) a European Fish Index Plus (EFI+), ich výhody i slabiny, ako aj možnosti uplatnenia v podmienkach Slovenska. Na základe konštatovania o nevhodnosti používania EFI (a neistoty okolo používania EFI+) bol v roku 2008 zavedený nanovo vyvinutý vlastný ukazovateľ – Slovenský ichtyologický index čiže Fish Index of Slovakia (FIS). Nový ukazovateľ FIS, ako aj navrhovaná dopracovaná metodika, nadväzuje na všetky doterajšie aktivity a pozitívne skúsenosti z implementácie Rámцovej smernice o vodách na Slovensku, využíva všetky pozitívne skúsenosti iných európskych krajín z aplikácie ukazovateľa EFI a z vývoja nového ukazovateľa EFI+, pričom vychádza zo štyroch hlavných princípov: 1) čo najväčšmi eliminovať nejednoznačnosť metrík, 2) čo najväčšmi zohľadniť komplexitu interakcií medzi disturbanciami a rybími spoločenstvami, 3) čo najväčšmi zachovať princíp jednoduchosti a 4) zabezpečiť použiteľnosť metrík aj napriek nedostatku údajov zo slovenských tokov. Dopracovaná metodika vrátane nového ukazovateľa FIS je navrhnutá tak, aby bola plne kompatibilná s metodikou pomocou ukazovateľa EFI+, ako aj s procesom interkalibrácie. Súčasťou metodiky aj je softvérový nástroj FIScalc2.2., ktorý pracuje v programe Microsoft Excel a umožňuje jednoduchý automatizovaný výpočet ukazovateľa FIS a následné stanovenie ekologického stavu monitorovaného úseku toku podľa rýb.

Národná metóda stanovovania ekologického stavu vôd podľa rýb pomocou FIS bola v roku 2010 testovaná na viacerých lokalitách na Slovensku, ako aj v zahraničí (Česká republika, Maďarsko, Rakúsko a Rumunsko) a na základe nových dostupných dát aktualizovaná. Pri testovaní národnej metódy stanovovania ekologického stavu vôd podľa rýb pomocou Slovenského ichtyologického indexu (FIS) pomohla aj diplomovú práca “Vplyv načasovania odberu vzoriek na hodnotenie ekologického stavu vôd podľa rýb” (Tokoš, 2010) vypracovaná na Prírodovedeckej fakulte UK pod vedením autora tejto správy. Cieľom tejto diplomovej práce bolo zistiť, aký vplyv má na výsledné indexy FIS a EFI+ načasovanie odberu vzoriek rýb, a to z hľadiska ročného obdobia, denného času a kvantity juvenilov.

Vďaka týmto aktivitám bolo možné overiť fungovanie FIS v podmienkach viacerých typov tokov. Celkovo možno konštatovať, že v zásadných princípoch národnej metódy nie je potrebné nič meniť, malé modifikácie sa uskutočnili iba v redefinovaní, resp. v spresnení typológie slovenských tokov.

Dokument obsahuje aj stručné odporúčania pre aplikáciu národnej metódy stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb. Na záver treba zdôrazniť, že implementácia Rámцovej smernice o vodách v členských krajinách Európskej únie je dlhodobý proces, ktorý je v neprestajnom vývine a vyžaduje intenzívnu medzinárodnú spoluprácu.

## 10. Literatúra

- Bady, P., Logez, M., Pont, D. (2008). EFI+ European common metrics. Prezentácia na pracovnom stretnutí 5th river fish GIG meeting, Scharfling, 25-26th November 2008.
- Bady, P., Pont, D. (2008). Evaluation of Existing European Fish Index (M9-M12). Improvement and spatial extension of the European Fish Index, Project n. 0044096, D 3.3, Task 3.2., 39 s. <http://efi-plus.boku.ac.at/download.htm> (stránka navštívená 29. 11. 2008).
- Balon, E., K. (1966). Príspevok k poznaniu vyváženosti rybích spoločenstiev v inundačných vodách Dunaja. *Biológia*, 21, 12: 865-884.
- Copp G. H, Bianco, P.G., Bogutskaya, N.G., Erős, T., Falka, I., Ferreira, M.T., Fox, M.G., Freyhof, J., Gozlan, R.E., Grabowska, J., Kováč, V., Moreno-Amich, R., Naseka, A.M., Pawson, M.G., Penáz, M., Povž, M., Przybylski, M., Robillard, M., Russell, I.C., Stakénas, S. Šumer, S., Vila-Gispert, A., Wiesner, C. (2005). To be, or not to be, a non-native freshwater fish? *Journal of Applied Ichthyology*, 21: 242-262.
- 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, January 2005.
- Hensel, K. (2001). Implementácia rámcovej smernice o vodách 2000/60/ES, časť „monitoring a hodnotenie povrchových vôd“ – ryby. Slovenský hydrometeorologický ústav, 22 s.
- Hensel, K. (2002). Pracovný postup pre odber vzoriek rýb so zreteľom na požiadavky Rámcovej smernice o vodách 2000/60/ES. Slovenský hydrometeorologický ústav, 16 s.
- Hensel, K. (2003). Prehľad prístupov k hodnoteniu stavu povrchových vôd na základe rýb a návrh metrík. Slovenský hydrometeorologický ústav, 18 s.
- Karr, J. R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6, 21-27.
- Kauffman, S. A. (1993). *The Origins of Order: Self-Organisation and Selection in Evolution*. New York: Oxford University Press.
- Kauffman, S. A. (1995). *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford University Press.
- Kováč, V. (2008). Dopracovanie metodiky stanovenia ekologického stavu vôd podľa rýb. Záverečná správa, AQ-BIOS, 43 s.

- Kováč V., Hensel K., Černý J., Kautman J., Koščo J. (2008). Invázne druhy rýb v povodiach Slovenska – aktualizovaný zoznam 2007. Chránené územia, 73: 30. Štátna ochrana prírody SR, Banská Bystrica. ISSN 1335-1737.
- Marchetti, M. P., Light, T., Moyle, P.B., Viers, J.H. (2004). Fish invasion in California watersheds: testing hypotheses using landscape patterns. *Ecological Applications*, 14: 1507–1525.
- Moyle, P.B., Light, T. (1996). Fish invasions in California: do abiotic factors determine success? *Ecology*, 77: 1666–1670.
- Moyle, P.B., Marchetti, M.P. (2006). Predicting invasion success: freshwater fishes in California as a model. *Bioscience*, 56: 515–524.
- Mužík, V. (2007). Ryby. In: Šporka, F., Makovinská, J., Hlúbiková, D., Tóthová, L., Mužík, V., Magulová, R., Kučárová, K., Pekárová, P., Mrafková, L. (2007). Metodika pre odvodenie referenčných podmienok a klasifikačných schém pre hodnotenie ekologického stavu vôd. VÚVH Bratislava, SHMÚ Bratislava, UZ SAV Bratislava, SAŽP Banská Bystrica, <http://www.vuvh.sk>, s. 210-247.
- Pont, D., Hugueny, B., Roset, N., Rogers C. (2004). Development, Evaluation & Implementation of a Standardised Fish-based Assessment Method for the Ecological Status of European Rivers - A Contribution to the Water Framework Directive (FAME). Final Report, WP6-8, 59 s.
- Ribeiro, F., Elvira, B., Collares-Pereira, M.J., Moyle, P.B. (2007). Life-history traits of non-native fishes in Iberian watersheds across several invasion stages: a first approach. *Biological Invasions*, 10, 1: 89-102.
- Tokoš, J. (2010). Vplyv načasovania odberu vzoriek na hodnotenie ekologického stavu vôd podľa rýb. Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Katedra ekológie. Diplomová práca, 51s.

## Príloha 1

### Zoznam literárnych prameňov použitých pri zostavovaní modelových referenčných spoločenskíev

- Balon, E. 1956. K ichtyofaune Oravy pred naplnením údolnej nádrže. [Zur Ichthyofauna des Orava-Flusses.] Zoologické listy (Brno) 5 (4): 325-337. [In Slovak with Russian and German summaries.]
- Balon, Eugeniusz K. 1964. O nouă contribuție la cunoașterea locurilor de staționare a peștilor la pinteni. Descrierea speciei *Phoxinus phoxinus*, un nou pește în sectorul cercetat al Dunării. [Ein weiterer Beitrag zur Kenntnis der Fischstandorte in den Buhnen. Beschreibung der *Phoxinus phoxinus*-Gattung, ein neuer Fisch des erforschten Donauabschnitts.] Hidrobiologia (București) 5: 187-196. [In Romanian with German summary.]
- Balon, Eugeniusz K. 1962. Príspevok k ekologickej charakteristike ichtyofauny československého úseku Dunaja. [Beitrag zur ökologischen Charakteristik der Ichthyofauna des tschechoslowakischen Donau-Abschnitts.] Biológia (Bratislava) 17 (4): 283-296. [In Slovak with Russian and German summaries.]
- Bastl, Ivan & Juraj Holčík. 1971. First find of the whitefish – *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758) in the Danube river. Věstník československé společnosti zoologické (Praha) 35 (2): 81-84. [In English.]
- Bastl, Ivan, Juraj Holčík & Anton Kirka. 1975. Ichthyologický výskum Karpatského oblúka. 6. Ichtyofauna chráneného náleziska hlavátky v rieke Turiec. [Ichthyological investigation of the protected habitat of the Danubian salmon [*Hucho hucho* (L.)] on the river Turiec (Czechoslovakia) and suggestions for its management.] Acta rerum naturalium Musei nationalis Slovaci (Bratislava) 21: 191-224. [In Slovak with English summary.]
- Bastl, Ivan. 1975. O náleze pohlavne zrelej samice amura bieleho – *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844) vo Váhu. [On the find of a sexually ripe female of *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844) in the river Váh.] Biológia (Bratislava) 30 (2): 133-136. [In Slovak with English and Russian summary.]
- Blahák, Pavel. 1981. Příspěvek k poznání ichtyofauny dolního toku Vlárý. [Beitrag zur Kenntnis der Ichthyofauna des Vlára – Unterstroms.] Acta Rerum naturalium Musei natioinalis slovaci (Bratislava) 27: 123-139. [In Czech with German summary.]
- Brtek, Ján. 1953. Príspevok k poznaniu rozšírenia niektorých pre faunu ČSR nových alebo málo známych pontokaspických druhov živočíchov v Dunaji. [Beitrag zur Kenntnis der Verbreitung einzelner neuer oder weniger bekannten pontokaspischen Tierarten der Tschechoslowakischen Republik in der Donau.] Biológia SAV (Bratislava) 8 (4): 297-309. [In Slovak with Russian and German summaries.]
- Černý, Jaroslav, Hensel, Karol, Hohausová, Eva, Jurajda, Pavel, Kováč, Vladimír & Lara Thick. 1995. Úvodné riešenie renaturácie rieky Moravy v úseku Tvrdonice-Devín, časť Pisces, Záverečná správa za rok 1995, Zoologický ústav SAV.
- Dorko, Ján. 1963. Príspevok k ichtyofaune Ondavy. [Beitrag zur Ichthyofauna des Flusses Ondava in der Ostslowakei.] Sborník Pedagogického inštitútu v Prešove, prírodné vedy (Prešov) 1963 (1): 45-67. [In Slovak with Russian and German summary.]

- Dorko, Ján. 1967. Ichtyofauna Blatskej nížiny. [Die Ichthyofauna in der Tief-Ebene Blatská nížina.] Acta Facultatis rerum naturalium Universitatis Comenianae – Zoologia (Bratislava) 12: 183-191. [In Slovak with Russian and German summary.]
- Dyk, V. [Václav] 1957. Nejvyšší polohy výskytu pstruha obecného formy potoční v ČSR. [Die höchstgelegenen Bachforelle – Lokalitäten in ČSR.] Zoologické listy (Brno) 6 (4): 358-366. [In Czech with Russian and German summaries.]
- Holčík, Juraj & Ivan Bastl. 1973. Ichtyocenózy dvoch dunajských ramien so zreteľom na zmeny v ich druhovom zložení a hustote vo vzťahu ku kolísaniu hladiny v hlavnom toku. [Ichthyocenoses of two arms of the Danube with regard to changes in species composition and population density in relation to the fluctuation of the water level.] Biologické práce (Bratislava) 19 (1): 3-107 + 8 obr. [In Slovak with Russian and English summaries.]
- Holčík, Juraj & Štefan Nagy. 1986. Ichtyofauna Štrbského plesa. 1. Druhové zloženie. [Fish community of Štrbské pleso. 1. Species composition.] Zborník prác o Tatranskom národnom parku (Tatranská Lomnica) 27: 5-24. [In Slovak with Russian, German and English summaries.]
- Holčík, Juraj & Vítázoslav Mišík. 1962. Ichtyologický výskum Karpatského oblúka 1. Ichtyofauna tokov južných svahov Vihorlatu a Blatskej nížiny. [Ichthyological investigation of the Carpathian mountains. 1. Ichthyofauna of the southern slopes of Vihorlat and of the Blatská lowland.] Biológia (Bratislava) 17 (6): 422-439. [In Slovak with Russian, German and English summaries.]
- Holčík, Juraj, Ivan Bastl. 1996. Súčasný stav ichtyofauny rieky Oravy. Zborník Oravského múzea (Dolný Kubín) 13: 113-134. [In Slovak.]
- Holčík, Juraj, Ivan Stráňai, Miroslav Zontág & Karol Hensel. 2000. Ryby, rybárstvo a plánovaná výstavba sústavy malých vodných elektrární na Váhu nad Kraľovanmi. [Fishes, fishery and the planned construction of the small hydropower stations system in the Váh River above Kraľovany] Ochrana prírody (Banská Bystrica) 18: 161-184. [In Slovak with English abstract.]
- Holčík, Juraj, Vítázoslav Mišík, Ivan Bastl & Anton Kirka. 1965. Ichtyologický výskum Karpatského oblúka. 3. Ichtyofauna povodia Oravskej priehrady a jej prítokov. [Ichthyological investigation of the Carpathian mountains. 3. Fishes of the Orava valley reservoir and its tributaries.] Acta rerum naturalium Musei nationalis Slovaci (Bratislava) 11 (1): 93-137. [In Slovak with English summary.]
- Holčík, Juraj. 1966. Vývoj a formovanie ichtyofauny v Oravskej priehrade. [The development and forming of the fishfauna in the Orava water valley reservoir.] Biologické práce (Bratislava) 12 (1): 5-75. [In Slovak with Russian and English summaries.]
- Holčík, Juraj. 1966. Ichtyologický výskum Karpatského oblúka. 4. Ichtyofauna rieky Hornád so zreteľom na vybudovanie vodného diela Ružín. [Ichthyological investigation of the Carpathian mountains. 4. The fishes of the river Hornád (East Slovakia) with regard to the velley water reservoir building.] Biologické práce (Bratislava) 12 (1): 76-116. [In Slovak with Russian, English and German summaries.]
- Holčík, Juraj. 1976. On the occurrence of Far East plativorous fishes in the Danube river with regard to the possibility of their natural reproduction. Věstník československé společnosti zoologické (Praha) 40 (2): 88-103. [In English.]
- Hradil, V.[Vladimír] 1960. Príspevok k poznaniu fauny rýb povodia rieky Torysy. [Contribution on the knowledge of the fish fauna in the river Torysa.] Sborník Východoslovenského múzea (Košice) IA: 37-47. [In Slovak with Russian, English and German summaries.]

- Kirka A. [Anton], S. [Štefan] Nagy, L. [Ladislav] Záhumenský, J. [Ivan] Krupka, J. [Jiří] Libosvářský & M. [Milan], Peňáz. 1978. Rozšírenie rýb, rozsievková vegetácia a zoobentos v povodí rieky Poprad a v pramennej oblasti riek Hornádu a Hnilca. [Fish distribution, community of diatoms and zoobenthos in the water system of the river Poprad and in the spring waters of the rivers Hornád and Hnilec.] *Biologické práce (Bratislava)* 24 (3): 7-98. [In Slovak with Russian and English summaries.]
- Kirka, A. [Anton] & I. [Ivan] Bastl. 1980. Ichtyologický výskum chráneného náleziska hlavátky v rieke Turiec. [Ichthyological investigation of the reservation of huchen (Danubian salmon) in the Turiec river.] *Živočišná výroba (Praha)* 25 (11): 835-845. [In Slovak with Russian, English and German summaries.]
- Kirka, Anton, Ivan Bastl & Juraj Holčík. 1976. Ichtyocenózy povodia Váhu v oblasti nádrže Liptovská Mara, prognóza formovania jej ichtyofauny a návrh na prvotné zarybnenie. [Ichthocenosis of the Váh basin in the region of Liptovská Mara, prognosis for ichthyofauna development and suggestion for initiating fisheries there.] *Biologické práce (Bratislava)* 22 (4): 7-79. [In Slovak with Russian and English summaries.]
- Kirka, Anton, Juraj Mészáros, Štefan Nagy & Ferdinand Šporka. 1982. Podmienky a výskyt rýb v rieke Topľa. [Conditions and occurrence of fishes in the river Topľa.] *Biológia (Bratislava)* 37 (6): 653-658. [In Slovak with English and Russian summaries.]
- Kirka, Anton, Ladislav Skácel & Štefan Nagy. 1984. Das Vorkommen der Fische im Fluss Belá und seine fischereiliche Bewirtschaftung. *Práce Laboratória rybárstva a hydrobiológie (Bratislava)* 4: 287-300. [In German with Slovak and English summaries.]
- Kirka, Anton. 1967. Ichtyologický výskum Karpatského oblúka. 5. Ichtyofauna povodia rieky Oravy (nižšie priehradu) a pramennej oblasti Váhu. [Ichthyologische Erforschung des Karpatenbeckens. 5. Ichthyofauna des Flussgebietes der Orava (unter dem Damm) und des Quellengebiets des Váh.] *Acta Rerum naturalium Musei Nationalis Slovaci (Bratislava)* 13 (1): 121-165. [In Slovak with German summary.]
- Kirka, Aton, Juraj Mészáros & Štefan Nagy. 1981. Ichtyocenózy a bentos v riekach východného Slovenska vo flyšovom pásme. [Ichthyocenoses and benthos of rivers in the Flysh belt of Eastern Slovakia.] *Poľnohospodárska veda, séria A – Poľnohospodárstvo (Bratislava)* 1:3-127. [In Slovak with Russian and English summary.]
- Koščo, Ján & Peter Košuth. 1996. Ichtyofauna potoków zasilających zbiornik zaporowy Starina. [Ichthyofauna of river basin of Starina water reservoir.] *Roczniki Bieszczadzkie* 1995 (4): 143-154. [In Polish with English summary.]
- Koščo, Ján & Peter Košuth. 1996. Ichtyofauna dorzecza Ublianki i Stuzycyckiej rzeki. [Ichthyofauna of the Ublianka river basin and Stuzycka river.] *Roczniki Bieszczadzkie* 1995 (4): 155-161. [In Polish with English summary.]
- Koščo, Ján & Peter Košuth. 1997. Ichtyofauna Torysy v oblasti odberového objektu „Tichý potok“. [Ichthyofauna of Torysa river in the region of taking object of drinking water “Tichý potok”.] *Acta Facultatis studiorum humanitatis et naturae Universitatis Prešovensis, prírodné vedy (Prešov)* 28: 37-43. [In Slovak with English summary.]
- Koščo, Ján & Peter Košuth. 1997. Uwagi o stanie ichtyofauny zbiornika wodnego Starina. [Notes on the state of ichthyofauna of Starina water reservoir.] *Roczniki Bieszczadzkie* 1996 (5): 147-153. [In Polish with English summary.]
- Koščo, Ján & Peter Košuth. 1997. Prognóza vplyvu plánovanej vodnej nádrže (VN) Slatinka na ichtyofaunu Slatiny. [Prognosis of influence of planed water reservoir (VN) Slatinka on ichthyofauna of Slatina river.]

- Acta Facultatis studiorum humanitatis et naturae Universitatis Prešoviensis, prírodné vedy (Prešov) 28: 27-36. [In Slovak with English summary.]
- Koščo, Ján & Peter Košuth. 2002. Diverzita ichtyofauny rieky Olšavy. [Diversity of the ichthyofauna of the Olšava River.] Biodiverzita ichtyofauny ČR 4: 99-104. [In Slovak with English summary.]
- Koščo, Ján & Peter Košuth. 2002. Výskyt *Ictalurus melas* Rafinesque, 1820 a *Perccottus glennii* Dybowski, 1877 na východnom Slovensku. [On the occurrence of *Perccottus glennii* Dybowski 1877 and *Ictalurus melas* Rafinesque, 1820 from the East Slovakia]. Biodiverzita ichtyofauny ČR 4: 105-108. [In Slovak with English summary.]
- Koščo, Ján & Renata Hospodárová. 1997. Charakteristika ichtyocenóz úseku Laborca v Michalovskom okrese. [Characteristics of the ichthyocenosis of the Laborec river in the region of the Michalovce.] Natura Carpatica (Košice) 38: 133-156. [In Slovak with English summary.]
- Koščo, Ján, Jaroslav Brázda & Kamila Halátová. 1992. K poznaniu ichtyofauny a potravinnej bázy ťažobných jám v medzihrádzovom priestore Ondavy. [To knowledge about the ichthyofauna and food base of the output holes in the plain between dikes of the river Ondava.] Zborník Východoslovenského múzea v Košiciach, prírodné vedy (Košice) 32-33: 77-86. [In Slovak with English summary.]
- Koščo, Ján. 1987. Ichtýofauna inundačných vôd Latorice. Zborník Východoslovenského múzea v Košiciach, prírodné vedy (Košice) 28: 183-188. [In Slovak.]
- Koščo, Ján. 1997. Ichtýofauna inundačných vôd Laborca. [Ichthyofauna of the Laborec river floodplain waters.] Natura Carpatica (Košice) 38: 121-132. [In Slovak with English summary.]
- Kux, Z. [Zdeněk]. & T.[Tibor] Weisz. 1958. Příspěvek k poznání ichtyofauny řeky Toplé v Bardějovském okrese. [Ein Beitrag zur Erforschung der Ichthyofauna im Toplá-Fluss, Bezirk Bardějov (Nordostslowakei).] Časopis Moravského musea, vědy přírodní (Brno) 43: 145-174. [In Czech with German summary.]
- Kux, Z.[Zdeněk]. & T.[Tibor] Weisz. 1960. Příspěvek k poznání ichtyofauny Dunajce, Popradu, Váhu a Hronu. [Ein Beitrag zur Kenntnis der Ichthyofauna der nord- und mittelslowakischen Flüsse Dunajec, Poprad, Váh und Hron.] Časopis Moravského musea, vědy přírodní (Brno) 45: 203-240. [In Czech with German summary.]
- Kux, Z.[Zdeněk]. & T.[Tibor] Weisz. 1961. Ichtýofauna jižní části Slovenského Záhoří. [Ein Beitrag zur Erforschung der Ichthyofauna der südwestlichen Slowakei.] Časopis Moravského musea, vědy přírodní (Brno) 46: 187-202. [In Czech with German summary.]
- Kux, Z.[Zdeněk]. & T.[Tibor] Weisz. 1962. Ichtýofauna hlavního toku Dunaje a jeho některých přítoků v Jihoslovenské nížině. [Beitrag zur Kenntnis der Ichthyofauna im Donau und ihrer Nebenflüssen in Südslowakei.] Časopis Moravského musea, vědy přírodní (Brno) 47: 151-180. [In Czech with German summary.]
- Kux, Z.[Zdeněk]. & T.[Tibor] Weisz. 1964. Příspěvek k poznání ichtyofauny slovenských řek. [Ein Beitrag zur Kenntnis der Ichthyofauna der slowakischen Flüsse.] Časopis moravského musea, vědy přírodní (Brno) 49: 191-246 + 12 obr. [In Czech with German summary.]
- Kux, Zdeněk. 1956. Příspěvek k ichtyofauně dolní Moravy a Dunaje. [Beitrag zur Ichthyofauna des Unterlaufes der March und der Donau in der Gegend von Komárno-Komorn.] Časopis Moravského musea (Brno) 41:93-112. [In Czech with German summary.]
- Lusk, Stanislav, Jozef Májsky, Věra Lusková & Karel Halačka. 2002. Výskyt sekavčíka horského – *Sabanejewia balcanica* (Karaman, 1922) v toku Vláry na území České republiky a Slovenska. [Occurrence of *Sabanejewia*



- balcanica* (Karaman, 1922) in the River Vl8ra in the territories of the Czech Republic and Slovakia.] Biodiverzita ichtyofauny ČR 4: 121-126. [In Czech with English summary.]
- Mahen, Jiří. 1927. Částečná revise ryb dunajské oblasti. Sborník Klubu přírodovědeckého (Brno) 1926 9: 56-69. [In Czech.]
- Májsky, Jozef. 2000. Ichtýofauna termálnych vôd Podunajskej nížiny a Hornonitrianskej kotliny. [Ichthyofauna of thermal waters of the Podunajská lowland and the Hornonitrianska basin.] Ochrana prírody (Banská Bystrica) 18: 155-160. [In Slovak with English abstract.]
- Mišík, Víťazoslav. 1960. Ichtýofauna odvodňovacích kanálov Žitného ostrova. [Ichthyofauna der Entwässerungskanäle der Grossen Schütt-Insel (Žitný ostrov).] Biológia (Bratislava) 15 (9): 671-679. [In Slovak with Russian and German summary.]
- Nagy, Štefan. 1974. Správa o ďalšom náleze pstruha *Salmo trutta* Linnaeus, 1758 v československom úseku Dunaja. [Die Nachricht über den weiteren Fund der Forelle *Salmo trutta* Linneus, 1758 im tschechoslowakischen Teil der Donau.] Acta rerum naturalium Musei nationalis Slovaci (Bratislava) 20: 187-188. [In Slovak with German summary.]
- Olejár, František. 1963. Ichtýofauna Delne so zreteľom na hospodárske využitie tohto potoka. Sborník Pedagogického inštitútu v Prešove (Prešov) 1: 7-20. [In Slovak with Russian and German summaries.]
- Sedlár, J. [Ján] 1957. Predbežná správa k poznaniu ichtýofauny povodia rieky Nitry. [Vorläufiger Bericht zur Kenntniss der Ichthyofaune im Wassergebiet des Flusses Nitra.] Sborník Vysokej školy poľnohospodárskej v Nitre, Zootechnická časť (Nitra) 1: 243-246. [In Slovak with Russian and German summaries.]
- Spindler, Thomas, Holčík, Juraj. & Hensel, Karol. 1992. Die Fischfauna der Österreichisch-Tschechoslowakischen Grenzstrecke der March samt ihrem Einzugsgebiet. Bericht 5, Forschungsinstitut des WWF Österreich, Wien, 179 s.
- Stráňai, Ivan. 1992. Formovanie ichtýofauny v priebehu dlhšieho časového obdobia na úseku rieky Nitry. [Ichthyofauna formation during longer period in the sector of Nitra river.] Poľnohospodárstvo (Bratislava) 38 (3): 196-201. [In Slovak with English and Russian summaries.]
- Weisz, T.[Tibor] & Z.[Zdeněk] Kux. 1959. Příspěvek k poznání ichtýofauny řek Laborce, Toplé a Popradu. [Ein Beitrag zur Kenntnis der Ichthyofauna der ostslowakischen Flüsse Laborec, Toplá und Poprad.] Časopis Moravského musea, Vědy přírodní (Brno) 44: 119-138. [In Czech with German summary.]
- Weisz, T.[Tibor] & Z.[Zdeněk] Kux. 1962. Ichtýofauna Ondavy a Hornádu. [Die Ichthyofauna des Ondava- und Hornád Flusses.] Časopis Moravského musea, vědy přírodní (Brno) 47: 181-200. [In Czech with German summary.]
- Žitňan, R. [Rudolf] & V. [Vendelín] Kašák. 1960. Príspevok k poznaniu ichtýofauny vôd východného Slovenska [Contribution on the knowledge of the ichthyofauna in the waters of East Slovakia.]. Sborník Východoslovenského múzea (Košice) IA: 83-90. [In Slovak with Russian, English and German summaries.]
- Žitňan, R. [Rudolf] 1965. Ichtýofauna československého úseku Tisy. [Ichthyofauna des tschechoslowakischen Abschnitts des Theissflusses.] Sborník Východoslovenského múzea, séria B zoológia – botanika (Košice) 6: 61-67. [In Slovak with German summary.]
- Spracoval Prof. RNDr. Karol Hensel, CSc. (upravené)