ZOVŠEOBECNENIE PARAMETROV BIOINDIKÁCIE KVALITY HABITATU HORSKÝCH A PODHORSKÝCH VODNÝCH TOKOV SLOVENSKA

Andrej Škrinár

Annotation: The Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) evaluates the habitat quality of the aquatic part of a stream using bioindicators represented by criteria curves. This paper presents information on the generalization of the criteria curves of brown trout *(Salmo trutta m. fario)* with the intention of enabling the wide use of the IFIM methodology for an assessment of the quality of aquatic habitats.
Key words: stream habitat, Low flow characteristics, habitat suitability curve, bioindication, IFIM method (Instream Flow Incremental Methodology)

Anotácia: Prírastková metóda prúdenia v toku (IFIM) slúži na vyhodnotenie kvality akvatického habitatu vodného toku s použitím bioindikátorov reprezentovaných vhodnostnými krivkami. V článku sú informácie o zovšeobecnení vhodnostných kriviek pstruha potočného *(Salmo trutta m. fario)* so zámerom zjednodušiť použitie metodiky IFIM v širšej vodohospodárskej praxi.
Kľúčové slová: akvatický habitat, minimálny bilančný prietok, vhodnostná krivka, bioindikácia, IFIM (prírastková metóda prúdenia v toku)

1 Úvod

V súčasnej dobe je problém kvality vody v tokoch globálnou témou a jej riešenie určite bude orientované do početných ekologických projektov. Je to tak preto, že v súvislosti so sekundárnou eutrofizáciou a acidifikáciou, veľkoplošným odlesňovaním a nedávnymi kolektivizačnými úpravami pozemkov sa polyfunkčný účinok upraveného toku v krajine značne znížil v porovnaní s prirodzeným tokom. Úprava toku bola chápaná ako prostriedok na zvýšenie protipovodňovej ochrany. Rozšírenie koryta, potlačenie členitosti dna ako aj exploatácia toku ako vodného zdroja vyvolali fragmentáciu riečneho kontinua s reťazcom negatívnych dôsledkov. Komplex týchto zmien má odozvu na biotu, kde sa naštartovala štrukturálna a trofická transformácia riečneho spoločenstva, ktorá je zraniteľnejšia ako pri prirodzených tokoch. Zmeny v toku (predovšetkým prietokové a morfologické) musíme považovať, podobne ako znečisťovanie vôd, za dôležité ovplyvňovanie ekologickej stability toku, preto aj pre tieto parametre toku je potrebné stanoviť limity, ktoré musia vychádzať z hydrologických, hydrobiologických ako aj morfologických charakteristík.

2 Metodika

Ekologický stav toku je ovplyvnený mnohými faktormi, z ktorých k najdôležitejším patrí biotop fauny a flóry akvatickej oblasti toku definovaný ako habitat. Štruktúra habitatu toku významnou mierou vplýva na organizáciu a štruktúru biologických spoločenstiev v ňom žijúcich (Maddock, 1999).

Vstup Slovenska do EU determinuje orientáciu na štandardné postupy používané v rámci spoločenstva. Potrebné je získavať kompatibilné výsledky využiteľné v procese transpozície, implementácie a právneho uplatnenia predpisov Európskej únie vo vodnom hospodárstve na Slovensku. V hodnotení a monitorovaní ekologickej kvality vôd Rámcová smernica o vode (RSV) č. 2000/60/ES vyžaduje určenie charakteristických parametrov neovplyvnených vodných útvarov, ktoré zodpovedajú veľmi dobrému ekologickému stavu.

Tieto podmienky sa deklarujú ako referenčné podmienky daného typu a vodného útvaru (toku).

V podmienkach Slovenska väčšina tokov nemá prirodzený neovplyvnený referenčný úsek (pod referenčným úsekom sa rozumie charakteristický úsek toku, ktorý reprezentuje určitú časť toku s relatívne rovnakými morfologickými, hydrologickými a biologickými parametrami, z čoho vyplýva, že každý tok je potrebné charakterizovať viacerými referenčnými úsekmi). Ak tok nemá neovplyvnené úseky, vyžaduje sa modelovanie biologických podmienok v toku, ktoré je v RSV formulované nasledovne: Biologické podmienky pre jednotlivé druhy útvarov môžu byť buď plošné, alebo založené na modeloch, alebo môžu byť odvodené z kombinácie oboch týchto metód. Biologické štandardné podmienky podľa druhu útvaru, ktoré sú založené na modeloch, možno odvodiť pomocou prognostických modelov alebo metód spätného výpočtu, ktoré poskytnú dostatočný stupeň spoľahlivosti hodnôt štandardných podmienok, aby takto odvodené podmienky boli konzistentné a platné pre každý druh útvaru povrchových vôd.

Vo svete existuje celý rad štruktúrovaných hierarchických modelov riečnych systémov založených na hydrologických charakteristikách, ale aj na rozhodovaní so zohľadnením ekologických parametrov (rozhodovacie metódy). Rozhodovacie metódy sú pritom vzhľadom na svoj interdisciplinárny prístup bezpochyby najobjektívnejšie. V Európe, ale aj v okolitom svete sa postupne stáva štandardom modelovanie ekologickej kvality vôd založené na rozhodovacej metodike IFIM.

Prírastková metodika prúdenia v toku - Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) je interdisciplinárny rozhodovací systém, ktorý pomáha krajinným inžinierom zvážiť výhody a dôsledky rôznych vodohospodárskych riešení. Bol vyvinutý pod vedením U. S. Fish and Wildlife Service tímom vedcov z rôznych amerických hospodárskych inštitúcií a akadémií (Bovee, 1982). IFIM je modulárny systém zložený zo súboru spojených analytických procedúr opisujúcich priestorové a časové charakteristiky habitatu závisiace od danej vodohospodárskej alternatívy. Metodika je adaptabilná v tom, že jednotlivé komponenty sú kombinované v závislosti od špecifických podmienok. Jednou z jedinečných vlastností metodiky je simultánna analýza variability habitatu v čase a priestore.

Metodika IFIM je založená na bioindikácii parametrov habitatu vodnými organizmami. Ako bioindikátor sa najčastejšie používajú ryby, pretože najcitlivejšie reagujú na zmeny prietoku a morfológie koryta. Veľa vedeckých prác potvrdilo, že v rozličných tokoch podobného charakteru uprednostňujú tie isté druhy rýb podobné charakteristiky habitatu. Preto bolo vypracovaných viacero štúdií so zameraním na implementáciu charakteristík habitatu na iný tok (napr. Thomas & Bovee, 1993).

Bioindikátor je do modelu implementovaný pomocou tzv. vhodnostných kriviek. Získanie kriviek je časovo a finančne najnáročnejšou časťou metodiky, preto je článok zameraný na ich regionalizáciu. V prvej fáze sa zisťovalo, či existuje korelácia medzi vhodnostnými krivkami pre hĺbku resp. rýchlosť a sklonom čiary energie *(i)* resp. konštantou kvázirovnomerného prúdenia *(M)*. Vhodnostné krivky boli charakterizované vrcholom krivky pre hĺbku *(Ph)* a pre rýchlosť *(Pv)*. Pri štatistickej analýze vhodnostných kriviek jednotlivých druhov rýb bola využitá klastrová analýza a následne pomocou ďalších multivariačných štatistických metód bol definovaný vzťah medzi jednotlivými faktormi charakterizujúcimi habitat. Zhluková analýza charakterizuje, ako by mali byť objekty zaradené do skupín tak, aby bola čo najväčšia podobnosť v rámci skupín a čo najväčšia rozdielnosť medzi jednotlivými skupinami.

2.1 Charakteristika vybraných úsekov vodných tokov

Miera spoľahlivosti štatistického vyhodnotenia abiotických a biotických charakteristík akvatického habitatu a s tým súvisiaceho zovšeobecnenia parametrov vhodnostných kriviek jednotlivých druhov rýb je určená predovšetkým veľkosťou súboru. Výber vodných tokov bol postupný a vykryštalizoval sa do štyroch samostatných fáz meraní. Vhodné lokality boli vybraté na menších horských a podhorských tokoch III. a IV. rádu s veľkosťou povodia 10 až 100 km^2. Úpravy tokov ovplyvňujú predovšetkým morfológiu koryta a dobrá kvalita vody vybratých úsekov horských a podhorských tokov nezatieňuje vplyv morfológie na kvalitu akvatického habitatu. Úpravy horských tokov na Slovensku sa negatívne prejavujú na biote toku hlavne v období minimálnych prietokov. Z pohľadu horninových komplexov bolo v štyroch samostatných fázach postupne zvolených 52 úsekov vodných tokov v rámci flyšového pásma, pásma vulkanitov, kryštalinika a paleogénu vnútorných Karpát. Na všetkých vybratých úsekoch tokov boli realizované hydrometrické a topografické merania a ichtyologický výskum zameraný na určenie vhodnostných kriviek jednotlivých druhov rýb. Kompletný zoznam lokalít so základnými morfologickými, hydraulickými a ichtyologickými charakteristikami je uvedený v Tab. 1 a Tab. 2.

Tab. 1 Prehľadný zoznam základných morfologických charakteristík úsekov na všetkých meraných tokoch

						Q [m^3/s]	i [%]	b [m]	h_{max} [m]	h_{PRmax} [m]	h_{PR} [m]	M
úmorie	Povodie	geologická oblasť	vodný tok	charakter úseku	lokalita	prietok v koryte počas merania	pozdĺžny sklon meraného úseku	priemerná šírka hladiny	maximálna hĺbka v profile	priemerná maximálna hĺbka v profile	priem. hĺbka v profile	konštanta kvázirovnomerného pohybu
Baltské more	Poprad	4. fáza	Biela	prirodzený	pod Slov. Vsou	0.856	1.4	9.90	0.686	0.475	0.272	0.901
			Čierna voda	prirodzený	Strážky	0.275	0.5	5.06	0.566	0.324	0.214	1.032
			Hágansky potok	prirodzený	Batizovce	0.020	1.3	2.13	0.343	0.144	0.101	1.130
			Kežmar. B. Voda	prirodzený	Kežmarok JRD	0.196	0.33	4.64	0.632	0.445	0.281	1.490
			Mlynica	prirodzený	nad Lučivnou	0.107	1.35	5.32	0.580	0.295	0.195	1.497
			Poprad	upravený	Svit (žel. most)	1.318	0.6	8.57	0.434	0.408	0.281	0.728
			Skalnatý potok	prirodzený	Veľká Lomnica	0.378	2	6.00	0.290	0.235	0.124	0.514
			Teplica	prirodzený	pod Spiš. Teplicou	0.258	1.4	2.43	0.880	0.477	0.285	1.085
			Toporský potok	prirodzený	Toporec	0.046	1	2.66	0.330	0.136	0.085	0.820
			Vesník	prirodzený	Mengusovce	0.231	2.55	2.65	0.400	0.293	0.189	0.824
	Dunajec	flyš - 1.fáza	Hybica 1	prirodzený	pod Hybe	0.429	0.7	6.04	0.755	0.469	0.291	0.738
			Hybica 2	upravený	v Hybe	0.324	1.2	4.21	0.287	0.227	0.170	1.163
			Kamienka 1	prirodzený	nad Kamienkou	0.248	0.4	4.78	0.775	0.331	0.191	0.980
			Kamienka 2	upravený	Hniezdne	0.415	2	6.01	0.351	0.259	0.178	0.756
Čierne more	Váh		Kľačianka 1	prirodzený	Vlachy - Krmeš	0.346	0.7	4.16	0.385	0.231	0.162	0.671
			Lesnianka 1	upravený	Rajecká Lesná	0.167	2.1	4.23	0.371	0.234	0.150	0.909
			Lesnianka 2	prirodzený	nad Rajeckou Lesnou	0.135	1.6	5.14	0.463	0.181	0.101	0.714
			Lipník 1	prirodzený	V Haligovciach	1.156	1.1	9.48	0.583	0.378	0.227	0.642
			Lipník 2	prirodzený	nad Haligovcami	0.370	1.7	7.29	0.384	0.326	0.183	0.859
			Petrovička 1	prirodzený	pod Petrovicami	0.368	2.2	7.67	0.195	0.153	0.090	0.432
			Petrovička 2	upravený	Petrovice	0.195	1	3.60	0.361	0.251	0.138	0.739
			Teplička 1	upravený	Trenčianska Teplá	0.290	0.6	4.36	0.392	0.348	0.230	1.061
			Teplička 2	prirodzený	nad Trenčianskou Teplou	0.283	2.2	5.01	0.816	0.344	0.213	1.013
			Veselianka 1	prirodzený	nad Oravskou Jasenicou	1.225	1	12.79	0.762	0.475	0.253	0.756
			Veselianka 2	prirodzený	pod Oravským Veselím	0.905	1.1	12.40	0.810	0.478	0.216	0.743
			Zázrivka1	prirodzený	pod Zázrivou	1.025	1.4	13.47	0.611	0.391	0.187	0.617
			Zázrivka2	prirodzený	pod Párnicou	1.411	1.2	13.15	0.850	0.448	0.229	0.595
		flyš - 2.fáza	Hradnianka	prirodzený	pod Súľovom	0.160	0.8	3.41	0.331	0.202	0.116	0.685
			Kamečnica	prirodzený	nad Lubinou	0.112	3.1	2.06	0.277	0.211	0.133	0.775
			Manínsky potok	prirodzený	nad Považskou Teplou	0.245	2	3.97	0.566	0.282	0.154	0.757
			Vadičovský potok	prirodzený	Radoľa	0.223	1.7	4.86	0.286	0.228	0.129	0.703
			Vôdky	prirodzený	nad Belou-Dulicami	0.237	1.8	3.21	0.270	0.213	0.146	0.684
			Vrzavka	prirodzený	pod Cetunou	0.090	1.5	3.38	0.200	0.122	0.074	0.562
	Hron	vulkanity 2.f.	Hodrušský potok	prirodzený	pod Hodrušou-Hámrami	0.141	1.1	3.02	0.639	0.372	0.208	1.461
			Kľak	prirodzený	Hrabičov	0.417	2.1	5.80	0.443	0.318	0.188	0.780
			Teplá	prirodzený	pod Sklenými Teplicami		1.9	4.84	0.633	0.395	0.219	1.332
		kryštalinikum - 3. fáza	Bacúšsky potok	prirodzený	nad Bacúchom	0.614	2.71	4.75	0.330	0.273	0.181	0.599
			Bukovec	prirodzený	Pohronský Bukovec	0.178	3.13	3.20	0.305	0.237	0.129	0.704
			Bystrianka	prirodzený	pod Bystrou	0.275	1.69	6.90	0.307	0.210	0.132	0.740
			Čelno	prirodzený	Lopej	0.193	6.56	6.50	0.310	0.261	0.169	0.847
			Hronec Klatná	prirodzený	pri Závadke n/H.	0.520	2.6	2.00	0.506	0.351	0.213	0.758
			Jaseniansky potok	prirodzený	nad Predajnou	1.755	1.69	1.50	0.480	0.430	0.296	0.620
			Jaseniansky potok	prirodzený	nad Jasením	0.462	1.69	2.00	0.500	0.423	0.250	0.954
			Kriviuľa	prirodzený	nad Heľpou	0.206	7.15	5.60	0.420	0.292	0.186	0.866
			Malý Zelený potok	prirodzený	pod Bacúchom	0.063	5.5	5.00	0.208	0.145	0.078	0.764
			Osrblianka	prirodzený	Hronec	0.486	1.33	1.30	0.280	0.203	0.126	0.460
			Petríkovo	prirodzený	pri Polomke	0.458	4.69	3.50	0.540	0.430	0.284	0.992
			Rácov	prirodzený	pod Pohorelou	0.559	2.59	2.20	0.380	0.285	0.184	0.691
			Sopotnica	prirodzený	nad Brusnom	0.430	2.69	2.50	0.340	0.305	0.176	0.620
			Vážna	prirodzený	pod Hiadľom	0.193	2.35	2.00	0.280	0.195	0.103	0.602
			Veľký Zelený potok	prirodzený	nad Beňušom	0.142	3.02	3.00	0.190	0.162	0.106	0.580
			Volchovo	prirodzený	Polomka	0.130	3.49	3.60	0.490	0.331	0.202	1.209

Tab. 2 Prehľadný zoznam základných ichtyologických charakteristík meraných úsekov na všetkých tokoch ***(dáta znázornené kurzívou označujú lokality s príliš malým výskytom jedincov daného druhu, kde by vyhodnotenie vhodnostných kriviek bolo nereprezentatívne)***

						počet kusov jednotlivých druhov rýb ulovených pri ichtyologickom prieskume														miera vhodnosti pre hĺbku v charakteristických hladinách vhodnostných kriviek pstruha potočného						
úmorie	**Povodie**	**geologická oblasť**	**vodný tok**	**charakter úseku**	**lokalita**	**pstruh potočný**	**pstruh dúhový**	**hlaváč pásoplutvý**	**lipeň tymiánový**	**mrena škvrnitá**	**jalec hlavatý**	**čerebľa pestrá**	**síž severný**	**hrúz škvrnitý**	**plotica červenooká**	**belička európska**	**ostriež zelenkastý**	**podustva severná**	**hlavatka eurázijská**	**mihuľa potočná**	**0**	**0.3**	**0.8**	**1**	**0.8**	**0.3**	**0**
Baltské more	Poprad	4. fáza	Biela	prirodzený	pod Slov. Vsou	12		*3*	*3*	44	16	15	22						*1*		0.17	0.27	0.47	0.74	0.99	1.15	1.23
			Čierna voda	prirodzený	Strážky	19		*3*	12	*6*		79	27								0.01	0.04	0.12	0.25	0.41	0.58	0.70
			Hágansky potok	prirodzený	Batizovce	16															0.10	0.12	0.16	0.24	0.36	0.46	0.50
			Kežmar. B. Voda	prirodzený	Kežmarok JRD	47		36					*1*							5	0.01	0.08	0.24	0.49	0.82	1.13	1.20
			Mlynica	prirodzený	nad Lučivnou	167						12	13				*1*				0.00	0.11	0.17	0.25	0.34	0.45	0.70
			Poprad	upravený	Svit (žel. most)	26		45	*5*								*1*				0.13	0.19	0.26	0.35	0.45	0.54	0.62
			Skalnatý potok	prirodzený	Veľká Lomnica	50	*1*		*1*												0.10	0.12	0.17	0.24	0.32	0.41	0.60
			Teplica	prirodzený	pod Spiš. Teplicou	66															0.10	0.22	0.31	0.39	0.44	0.49	0.52
			Toporský potok	prirodzený	Toporec						*2*	33	17														
			Vesník	prirodzený	Mengusovce	29		52													0.07	0.10	0.14	0.2	0.27	0.33	0.60
	Dunajec	flyš - 1.fáza	Hybica 1	prirodzený	pod Hybe	42		19	17												0.04	0.19	0.38	0.59	0.81	0.93	1
			Hybica 2	upravený	v Hybe			35																			
			Kamienka 1	prirodzený	nad Kamienkou	47	*2*	34	9			*171*	*10*								0.00	0.07	0.19	0.40	0.65	0.87	1
			Kamienka 2	upravený	Hniezdne	32			10			*5*	*4*								0.00	0.07	0.15	0.20	0.25	0.32	0.4
Čierne more	Váh		Kľačianka 1	prirodzený	Vlachy - Krmeš	55															0.00	0.21	0.30	0.40	0.48	0.55	0.6
			Lesnianka 1	upravený	Rajecká Lesná	24		89				*1*									0.10	0.23	0.34	0.39	0.43	0.48	0.5
			Lesnianka 2	prirodzený	nad Rajeckou Lesnou	45		94													0.10	0.17	0.24	0.30	0.36	0.49	0.6
			Lipník 1	prirodzený	V Haligovciach	50		16				31	*6*								0.00	0.07	0.23	0.50	0.74	0.92	1
			Lipník 2	prirodzený	nad Haligovcami	18		*1*	*1*			*2*	*5*								0.20	0.30	0.48	0.60	0.80	0.92	1
			Petrovička 1	prirodzený	pod Petrovicami	*1*		*1*				55	162														
			Petrovička 2	upravený	Petrovice	17		60					40								0.16	0.25	0.34	0.40	0.50	0.67	0.8
			Teplička 1	upravený	Trenčianska Teplá	*5*					154	78	*5*	29													
			Teplička 2	prirodzený	nad Trenčianskou Teplou	10					122	18	*6*	21	*15*						0.20	0.22	0.27	0.36	0.50	0.84	0.9
			Veselianka 1	prirodzený	nad Or. Jasenicou	56		48	*1*		*6*	33			*2*	*15*	9				0.11	0.14	0.20	0.31	0.44	0.55	0.65
			Veselianka 2	prirodzený	pod Or. Veselím	43		67			*4*	274	*9*		70	*62*	*11*				0.20	0.22	0.27	0.30	0.35	0.42	0.6
			Zázrivka1	prirodzený	pod Zázrivou	44		45	*11*												0.10	0.21	0.27	0.35	0.43	0.48	0.6
			Zázrivka2	prirodzený	pod Párnicou	28	27	253	56			24	*1*					*2*			0.20	0.26	0.32	0.41	0.51	0.68	0.8
		flyš - 2.fáza	Hradnianka	prirodzený	pod Súľovom	46															0.09	0.13	0.19	0.28	0.38	0.48	0.61
			Kamečnica	prirodzený	nad Lubinou	44															0.10	0.14	0.19	0.27	0.36	0.46	0.58
			Manínsky potok	prirodzený	nad Považskou Teplou	34															0.07	0.12	0.19	0.30	0.40	0.51	0.59
			Vadičovský potok	prirodzený	Radoľa	16			*1*			112	140								0.10	0.20	0.23	0.29	0.34	0.39	0.5
			Vôdky	prirodzený	nad Belou-Dulicami	54		35													0.16	0.21	0.28	0.37	0.46	0.54	0.6
			Vrzavka	prirodzený	pod Cetunou	48															0.17	0.22	0.29	0.42	0.55	0.74	0.82
	Hron	vulkanity 2.f.	Hodrušský potok	prirodzený	pod Hodrušou-Hámrami	*6*				*6*	*1*																
			Kľak	prirodzený	Hrabičov	48		65													0.08	0.12	0.18	0.27	0.37	0.48	0.6
			Teplá	prirodzený	pod Sklenými Teplicami	*6*				27	57																
		kryštalinikum - 3. fáza	Bacúšsky potok	prirodzený	nad Bacúchom	20		11													0.10	0.17	0.23	0.31	0.38	0.45	0.5
			Bukovec	prirodzený	Pohronský Bukovec	20	9	22	*3*												0.09	0.12	0.16	0.23	0.28	0.36	0.43
			Bystrianka	prirodzený	pod Bystrou	*9*		89	*2*																		
			Čelno	prirodzený	Lopej	33		15													0.00	0.14	0.26	0.35	0.43	0.49	0.53
			Hronec Klatná	prirodzený	pri Závadke n/H.	13		29	6												0.30	0.32	0.34	0.38	0.44	0.48	0.52
			Jaseniansky potok	prirodzený	nad Predajnou			24																			
			Jaseniansky potok	prirodzený	nad Jasením	28		7													0.10	0.13	0.23	0.35	0.52	0.68	0.8
			Krivuľa	prirodzený	nad Heľpou	15		26													0.01	0.04	0.09	0.19	0.32	0.46	0.65
			Malý Zelený potok	prirodzený	pod Bacúchom	10		18													0.10	0.12	0.15	0.21	0.28	0.35	0.4
			Osrblianka	prirodzený	Hronec	*3*		62																			
			Petríkovo	prirodzený	pri Polomke	19		*4*													0.15	0.24	0.32	0.42	0.54	0.67	0.84
			Rácov	prirodzený	pod Pohorelou	35		19													0.10	0.16	0.23	0.31	0.38	0.46	0.59
			Sopotnica	prirodzený	nad Brusnom	*4*		27																			
			Vážna	prirodzený	pod Hiadľom	15	2	*7*																0.58			
			Veľký Zelený potok	prirodzený	nad Beňušom	10		22													0.08	0.12	0.19	0.30	0.40	0.47	0.51
			Volchovo	prirodzený	Polomka	21		18													0.10	0.16	0.23	0.32	0.43	0.60	0.7

2.2 Terénne merania

Rybie osadenstvo, ako predstaviteľ vrcholu potravinového reťazca, je dobrým bioindikátorom kvality prostredia toku. Ichtyologické merania boli realizované v spolupráci s Ústavom zoológie SAV Bratislava a Katedrou hydinárstva a malých hospodárskych zvierat SPU Nitra (

Obr. 1). V mieste odchytu každej ryby bola zaznamenaná hĺbka toku, charakteristika mikrohabitatu a rýchlosť prúdenia meraná hydrometrickými vrtuľkami popísanými nižšie v hĺbke 0,4*h (merané od dna). Z údajov z terénnych meraní boli vyhodnotené vhodnostné krivky jednotlivých druhov rýb.



Obr. 1 Ichtyologický prieskum

Vhodné úseky na vodných tokoch boli vybraté tak, aby reprezentovali charakteristické spektrum mikrohabitatov - brody, medzibrody, lavice, úkryty atď. Vytipované úseky boli na základe terénnej rekognoskácie vodohospodárov a ichtyológov vytriedené a určili sa hranice úsekov. Spresnenie hraníc sa uskutočnilo po tachymetrickom zameraní a vykreslení priečnych a pozdĺžnych profilov. Všetky topografické a hydrometrické merania boli realizované až po skončení ichtyologického prieskumu, aby jeho výsledky neboli týmto meraním ovplyvnené. Na vybratých úsekoch boli oceľovou tyčou fixované charakteristické priečne profily v priemernej vzdialenosti 15 m. Tvar priečnych profilov bol meraný tachymetriou, pričom na meranie pozdĺžneho sklonu hladiny v jednotlivých priečnych profiloch bola použitá nivelácia.

Prietoky, počas ktorých bol realizovaný ichtyologický prieskum a topografické merania, boli v každom úseku určené na základe bodového merania rýchlostí zistených hydrometrovaním podľa STN EN ISO 748-2008 (75 1202) nasledovným spôsobom:

- Boli vybraté vhodné priečne profily na hydrometrovanie umiestnené v priamom úseku s priamym dnom a pravidelným rýchlostným poľom bez veľkých kameňov alebo iných prekážok prúdenia v toku (Herschy, 2008).

- Na základe šírky priečneho profilu bol stanovený vhodný počet zvislíc s rozmiestnením zodpovedajúcim tvaru priečneho profilu.
- V každej zvislici boli merané rýchlosti trojbodovou metódou. Pri hĺbkach zvislice menších ako 15 cm boli rýchlosti merané v 1 bode.
- Na meranie rýchlostí boli použité tri hydrometrické vrtuľky s vodorovnou osou typ VUVH (telo HYM-21) upevnené na tyči. Všetky vrtuľky boli kalibrované v roku 2005 podľa normy ISO 3455-1976.
- Prietoky boli z bodových meraní rýchlosti určené počtárskou metódou.

2.3 Regionalizácia parametrov kvality habitatu

Najvyššia miera korelácie na uvedených tokoch bola zistená u pstruha potočného, preto bol tento druh zvolený za reprezentačného bioindikátora, ktorého vhodnostné krivky boli zovšeobecňované. Výsledky vo forme Pearsonovho koeficientu korelácie (R) medzi jednotlivými pármi premenných (Ph – M, Pv – M, Ph – i, Pv -i) sú uvedené v Tab. 3. Tieto korelačné koeficienty v rozsahu (-1, +1) vyjadrujú mieru závislosti lineárneho vzťahu medzi jednotlivými premennými. Na interpretáciu možno použiť škálu, ktorú zaviedol Cohen v roku 1988: Korelácia menej ako 0.1 je triviálna, 0.1–0.3 malá, 0.3–0.5 stredná a nad 0.5 je veľká. Korelácia 0.7 – 0.9 sa často uvádza ako veľmi veľká a 0.9 - 1 ako takmer dokonalá. Konštanta kvázirovnomerného pohybu *M* bola vypočítaná z rovnice K. V. Grišanina (1979):

$$M = \frac{R * (g * B)^{1/4}}{Q^{1/2}} \qquad [1]$$

g - gravitačné zrýchlenie [$m.s^{-2}$]
B - šírka koryta v hladine [m]
R - hydraulický polomer [m]
Q - prietok [$m^3.s^{-1}$]

Tab. 3 Porovnanie Pearsonovho koeficientu korelácie (R) medzi jednotlivými pármi premenných pre pstruha potočného

Súbor tokov	**rýchlosť - M**	**hĺbka - M**	**rýchlosť -** i	**hĺbka -** i
1 - všetky	0,06	0,14	-0,24	-0,14
2 - upravené	**0,64**	-0,28	-0,33	0,15
3 - prirodzené	0,13	**0,52**	-0,17	-0,30

Na základe štatistického vyhodnotenia možno konštatovať, že korelačný vzťah sa neprejavil pri súbore, ktorý bol vytvorený zjednotením úsekov upravených a prirodzených. Naopak veľká korelácia sa prejavila pri úsekoch upravených medzi M a vhodnostnými krivkami pre rýchlosť. Pri prirodzených úsekoch bola silná korelácia medzi vhodnostnými krivkami pre hĺbku a M. Príčinou týchto výsledkov môže byť skutočnosť, že v upravených tokoch je prizmatické koryto s malým rozdielom hĺbok. Preto ryby a hlavne pstruh preferujú priestor na základe rýchlostí. Naopak v prirodzených tokoch je opačný jav. V členitom koryte prirodzeného toku pstruh preferuje úkryty s dostatočnou hĺbkou. Rýchlosť nie je v priestoroch s väčšími hĺbkami rozhodujúca, lebo spravidla v oblasti s väčšou hĺbkou (úkryte) sú v období minimálnych prietokov malé rýchlosti.

Vyhodnotené výsledky priamo potvrdili citlivosť pstruha ako bioindikátora na parametre habitatu, ktoré sú v charakteristických úsekoch dominujúce, súčasne možno

konštatovať, že vyhodnotené korelácie potvrdzujú možnosť regionalizácie vhodnostných kriviek rýb pre horské a podhorské toky Slovenska.

2.4 Súvislosť tvaru vhodnostných kriviek a abiotických parametrov habitatu toku

Cieľom ďalšieho výskumu bola snaha zistiť, či existuje závislosť medzi hĺbkou toku a tvarom vhodnostných kriviek pre hĺbku. Hĺbka vodného stĺpca je najdôležitejším abiotickým faktorom priamo ovplyvňujúcim výskyt rybieho osadenstva v danom úseku vodného toku. Analyzované boli spoločne údaje z databázy všetkých meraní. Všetky vhodnostné krivky pre hĺbku boli odvodené na základe početných terénnych meraní. Výsledky sú prezentované na štatistickom súbore vhodnostných kriviek pre pstruha potočného *(Salmo trutta m. fario)*, pretože tento súbor poskytoval najväčší počet vstupných údajov (Tab. 2).

Aby bol overený uvedený vzťah, bol korelovaný vrchol krivky a rozptyl vhodnostnej krivky na hladine významnosti 75% s priemernými hĺbkami, s priemernými maximálnymi hĺbkami a pre informáciu aj s maximálnymi hĺbkami v celom úseku. Vrchol krivky je hodnota hĺbky odčítaná z vhodnostnej krivky pri maximálnej miere vhodnosti = 1. Priemerné hĺbky boli určené aritmetickým priemerom priemerných hĺbok v jednotlivých profiloch, obdobne boli určené priemerné maximálne hĺbky, spriemerovaním maximálnych hĺbok v jednotlivých profiloch. Všetky hĺbky sú uvedené v Tab. 1 a hodnoty miery vhodnosti pre hĺbku odvodené z vhodnostných kriviek v charakteristických hladinách pre pstruha potočného, z ktorých bol určený parameter a rozptyl kriviek, sú v **Tab. 2**.

Pre vyhodnotenie korelačného vzťahu bol použitý Pearsonov korelačný koeficient (R). Korelácie jednotlivých párov premenných boli spracované v programe StatSoft Statistica, kde bola zároveň testovaná aj štatistická významnosť jednotlivých korelácií. Príklady korelácie priemernej maximálnej hĺbky a tvaru kriviek sú v bodových diagramoch na **Obr. 2** a **Obr. 3**.

Ako vidno z parametrov korelácií v **Tab. 4**, významná je korelácia vrcholu krivky s priemernou hĺbkou v profile (R=0.63), s priemernou maximálnou hĺbkou (R=0.66), a aj s maximálnou hĺbkou v úseku (R=0.52). Vzťah jednotlivých hĺbok a rozptylu vhodnostnej krivky v hladine rovnej 75% miery vhodnosti nie je taký jednoznačný (R=0.52, R=0.41 a R=0.37).

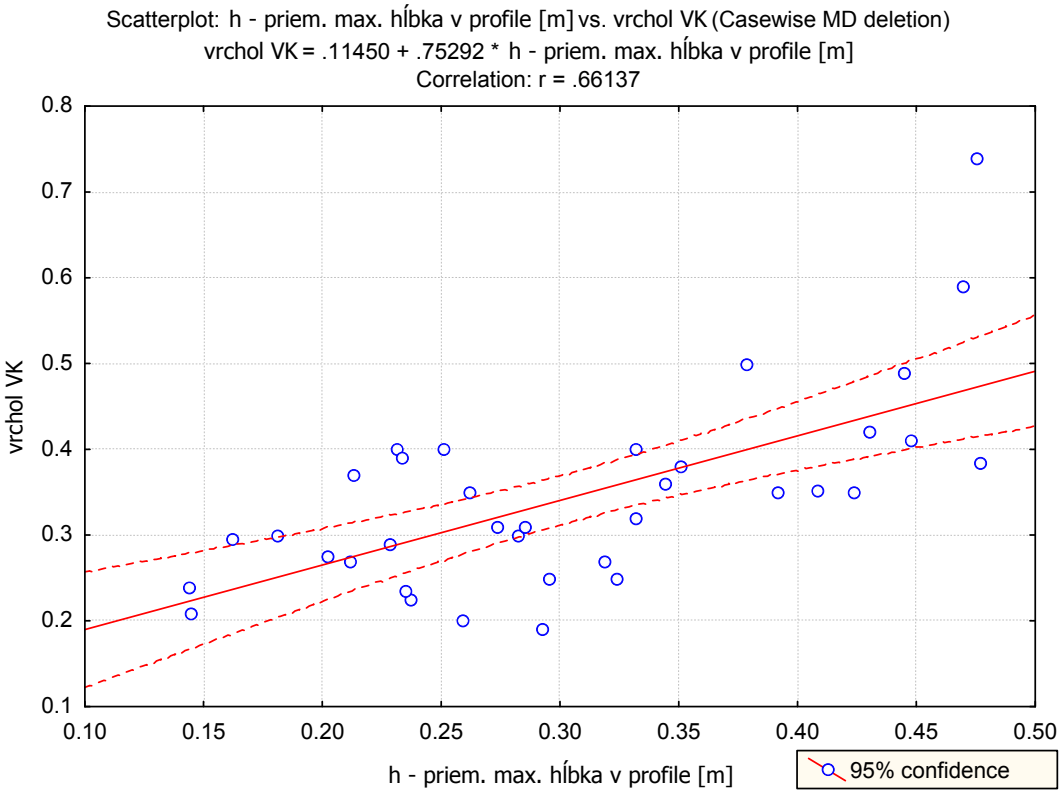
Všetky korelácie majú hladinu významnosti menšiu ako 1% (P<0,01), okrem korelácie maximálnej hĺbky a rozptylu VK, kde bola hladina významnosti 0,018 (P<0,05), vzťahy sú teda štatisticky vysoko významné. Podrobné parametre všetkých korelácií vrátane hladín významnosti (P) sú uvedené v **Tab. 4**. Podiel spoločnej variability medzi dvoma premennými v tabuľke znázorňujú hodnoty druhej mocniny korelačného koeficientu, nazývané aj koeficientom determinácie (R^2).

Tab. 4 Parametre jednotlivých korelácií

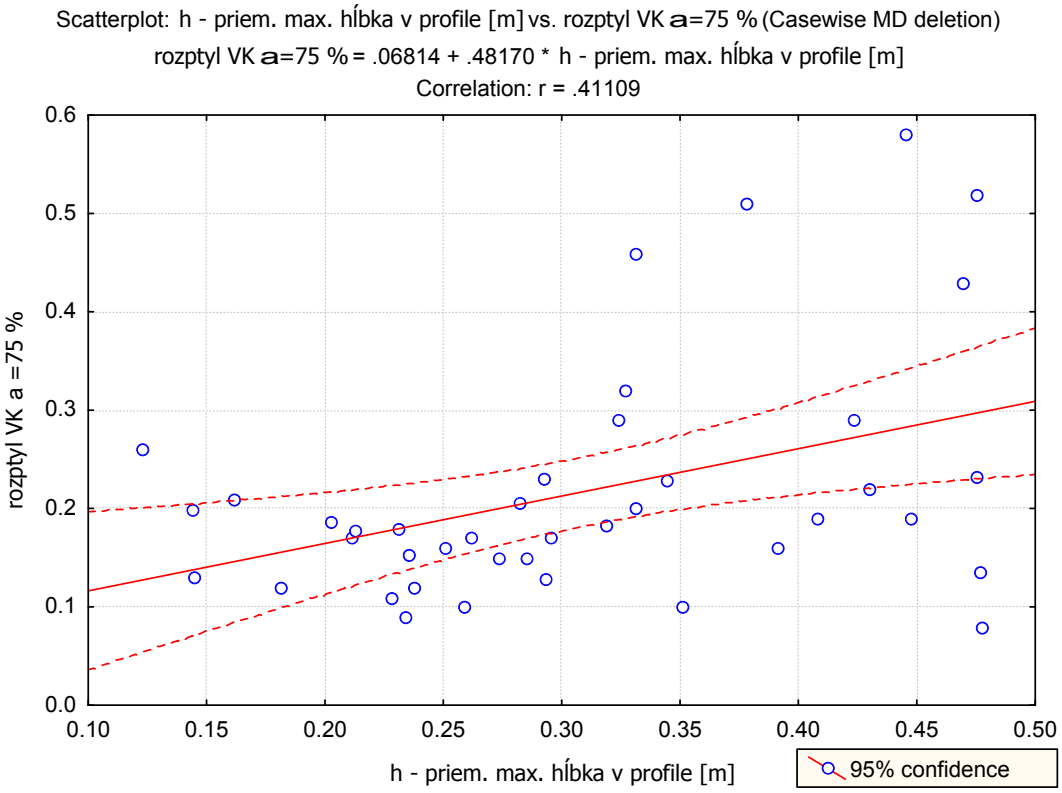
X	Y	štandardná odchýlka	R	R^2	t	P
priem. hĺbka v úseku	vrchol VK	0.106	0.626	0.392	4.682	0.000044
priem. max. hĺbka v úseku	vrchol VK	0.111	0.661	0.437	5.141	0.000011
max. hĺbka v úseku	vrchol VK	0.111	0.516	0.266	3.615	0.000912
priem. hĺbka v úseku	rozptyl VK a=75%	0.117	0.523	0.274	3.732	0.000636
priem. max. hĺbka v úseku	rozptyl VK a=75%	0.121	0.411	0.169	2.816	0.007585
max. hĺbka v úseku	rozptyl VK a=75%	0.121	0.368	0.135	2.471	0.017942

Na základe týchto výsledkov môžeme konštatovať, že s narastaním vodného stĺpca v toku pstruh preferuje habitat s väčšími hĺbkami, pričom rozhodujúcim faktorom je vrchol vhodnostnej krivky. Článok sa ďalej sústreďuje na využitie týchto poznatkov pri tvorbe reprezentačných vhodnostných kriviek pre vodné toky, na ktorých chýbajú priame

ichtyologické merania predstavujúce najnáročnejšiu časť prípravy vstupných údajov do metodiky IFIM. Platnosť týchto kriviek je limitovaná charakterom toku a druhom rýb (pstruh potočný).



Obr. 2 Graf korelácie priemernej maximálnej hĺbky a vrcholu krivky pre pstruha potočného



Obr. 3 Graf korelácie priemernej maximálnej hĺbky a rozptylu vhodnostnej krivky pre hĺbku pstruha potočného

3 Výsledky a diskusia

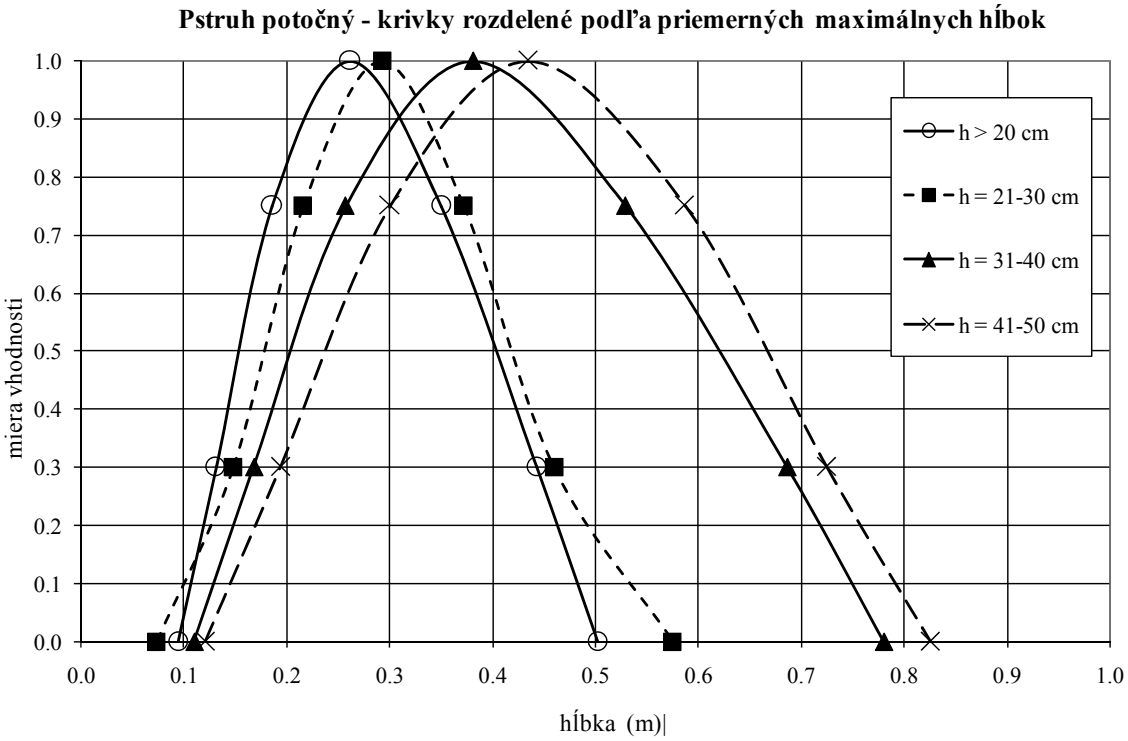
3.1 Zovšeobecnenie vhodnostných kriviek

Potvrdenie korelácie je prvým krokom k zovšeobecneniu vhodnostných kriviek. Ďalšia fáza výskumu smerovala k snahe odvodiť z jednotlivých skupín tokov konkrétne výsledky použiteľné pre vodohospodársku prax, ktoré by slúžili ako podklad pri navrhovaní revitalizácií tokov. V ďalšom texte budú zovšeobecnené vhodnostné krivky uvádzané ako reprezentačné vhodnostné krivky, lebo ich platnosť je definovaná hĺbkovým intervalom priemernej maximálnej hĺbky.

Z kapitoly 2.3 vyplýva malá až žiadna korelácia rýchlosti a parametra M v oblasti prirodzených tokov. To znamená, že pri nízkych vodných stavoch pstruh vyhľadáva predovšetkým mikrohabitat s vhodnými hĺbkami a rýchlosť v týchto prípadoch nie je rozhodujúca. Preto je práca orientovaná na vyhodnotenie vhodnostných kriviek pre hĺbku. Pri vytváraní návrhových vhodnostných kriviek pre hĺbku sme vychádzali z analýzy priemerných maximálnych hĺbok v toku, pretože v ich prípade sa najlepšie prejavil korelačný vzťah s tvarom vhodnostných kriviek pre hĺbku (kap. 2.4) a zároveň priemerné maximálne hĺbky lepšie zohľadňujú distribúciu akumulačných priestorov v koryte v období minimálnych prietokov, na ktoré je táto práca zameraná.

Výsledky sú demonštrované na pstruhovi potočnom *(Salmo trutta m. fario)*, pretože sa vyskytoval na väčšine sledovaných úsekov a na väčšine z nich bol aj najpočetnejším druhom (**Tab. 2**). Navyše na uvedených tokoch bola u pstruha zistená najvyššia miera korelácie (kapitola 2.3). Okrem toho sa v predošlom výskume ukázalo, že je na morfologické zmeny koryta a zmeny prietoku zo všetkých sledovaných druhov najcitlivejší. Je síce pravda, že je na

viacerých úsekoch umelo vysádzaný rybárskymi organizáciami, to však nemá výraznejší vplyv na jeho preferencie mikrohabitatu.



Obr. 4 Priemerné vhodnostné krivky hĺbky pstruha potočného rozdelené podľa intervalov priemernej maximálnej hĺbky v úseku – krok 10 cm

Pri odvodení vhodnostných kriviek, ktoré majú všeobecnú platnosť v určitom intervale abiotických charakteristík sme vychádzali z analýzy priemerných vhodnostných kriviek pre hĺbku, kde sme použili metódu aritmetického priemeru. Celý súbor kriviek z úsekov, na ktorých sa vyskytovala sledovaná ryba (pstruh potočný), bol rozdelený na niekoľko intervalov podľa priemerných maximálnych hĺbok v úseku (h_{Pmax}<0.20m, 0.20m-0.30m, 0.30m-0.40m, 0.40m-0.50m). Krivky v rámci týchto intervalov boli potom spriemerované a zobrazené v jednom grafe (**Obr. 4**). Zo vzájomného porovnania kriviek vyplýva priamy vzťah medzi hĺbkou toku a preferenciou habitatu. S rastúcou priemernou a priemernou maximálnou hĺbkou toku rastie aj interval preferencie hĺbok pstruhom potočným.

Odvodené reprezentačné krivky je možné priamo použiť ako vstupný údaj do metodiky IFIM pri navrhovaní a posudzovaní rôznych vodohospodárskych opatrení, akými sú napr. úpravy a revitalizácie tokov, odvodzovanie minimálnych bilančných prietokov pod vodnými dielami a pod. Z reprezentačných kriviek však možno aj priamo získať optimálne parametre habitatu s vyhovujúcou presnosťou pre projekčnú prax alebo rozsiahlejšiu údržbu koryta.

4 Záver

Vychádzajúc z uvedených výsledkov môžeme konštatovať, že pre horské a podhorské vodné toky v podmienkach Slovenska, kde nie sú k dispozícii merania abiotických faktorov habitatu a ichtyologické merania, je možné odvodiť vhodnostnú krivku hĺbky z reprezentačných kriviek podobných tokov na základe známych priemerných maximálnych hĺbok v toku počas málovodných období. Najvhodnejší spôsob na zistenie týchto hĺbok sú

priame terénne merania, v prípade väčších tokov analýza v GIS s využitím podrobného digitálneho modelu terénu (DTM) v kombinácii s hydraulickým modelovaním a pod.

Štatistický súbor vhodnostných kriviek rýb z povodí štyroch geologických oblastí Slovenska bol podrobený komplexnej analýze matematickej korelácie. Výsledkom zovšeobecnenia sú reprezentačné vhodnostné krivky odvodené z priemerných maximálnych hĺbok toku, ktoré dobre zohľadňujú distribúciu akumulačných priestorov v koryte v období minimálnych prietokov. Z reprezentačnej krivky možno aj priamo získať optimálne parametre habitatu s vyhovujúcou presnosťou pre projekčnú prax alebo rozsiahlejšiu údržbu koryta.

Z analýzy vyplýva, že parametre vhodnostných kriviek sú nezávislé od geologického zloženia povodia, preto možno predpokladať, že aplikácia reprezentačných kriviek je všeobecne platná pre pstruhové toky. Hlavná oblasť aplikácie reprezentačných kriviek je v metodike IFIM, čím sa významne zjednodušuje využitie tejto metodiky ako nástroja pri návrhu revitalizácií vodných tokov a pri tvorbe optimálneho akvatického habitatu.

5 Literatúra

Bovee, K.D., 1982. A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Instream Flow Information Paper 12, US Fish and Wildlife Service, Fort Collins, Colorado, 248 pp.

Grišanin K. V. (1979) Dinamika ruslovych potokov. Izd. Gidrometeoizdat, Leningrad, ISBN 556.536 p. 310

Herschy, R.W., 2008: Streamflow measurement, Third edition, Taylor & Francis, ISBN 0415413427, 524 pp.

Maddock, I., 1999: The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. Freshwater Biology 41, s. 373-391.

Thomas, J.A., & Bovee, K.D., 1993: Application and testing of a procedure to evaluate transferability of habitat suitability criteria. Regulated Rivers: Research & Management 8, s. 285-294.

Normy a smernice:

SMERNICA 2000/60/ES EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY z 23. októbra 2000 ustanovujúca rámec pôsobnosti spoločenstva v oblasti vodnej politiky

STN EN ISO 748-2008 (75 1202): Hydrometria. Meranie prietoku kvapalín v otvorených korytách s použitím hydrometrických prístrojov alebo plavákov

STN ISO 3455-1976: Meranie prietoku kvapalín v otvorených korytách. Kalibrácia vodomerných vrtúľ s rotačným prvkom v priamych otvorených nádržiach

Abstract: The paper is aimed at assessing the quality of the biotic part of a stream as represented by the ichtyofauny. The ichtyofauny is characterized by habitat suitability curves, which are essential in the IFIM methodology. This methodology is one of most used methods for the assessment of habitat quality, including the process of determination of minimum flows.

Biotic parameters in the IFIM methodology are represented by fish as the most important element resting on the top of the food chain of the aquatic biota. Fish are the best bioindicator that most sensitively indicates the quality of a stream microhabitat. The suitability curves represent the graphical expression of the preference of main abiotic parts of microhabitat by various fish species..

The habitat suitability curves (HSC) of particular fish species are typically determined for the two most important abiotic characteristics – flow velocity and water depth. This procedure is demanding and time-consuming, therefore the main aim of the paper is

verification of possibility to transfer the HSC from particular streams to similar ones and the generalization of these curves. The field measurements were performed in 52 mountain streams reaches located in four geological areas across Slovakia: Flysh belt, Crystalline basement, Vulcanite area and Inner Carpathian Paleogene basin. Basic data on the ichtyofauny and abiotic parameters of the reaches are given in the **Tab. 1** and **Tab. 2**.

The database gathered from our field measurements was subjected to detailed statistical analyses of mathematical correlations. From our research, which was aimed at an analysis of preference of particular abiotic parameters, it follows that the dominant parameter during the low-flow period is the water depth. Flow velocity is not the limiting factor during the low flows. These results have directly confirmed the sensitivity of brown trout as a bioindicator to the habitat parameters which predominate in typical sections, and we may state that the interpreted correlations confirm the possibility of the regionalization of fish criteria curves for the Slovak mountain and sub mountain streams.

Based on the data gathered from the field measurements the technique was developed to transfer the habitat suitability curves from reference reaches of the mountain streams onto similar reaches of other streams where direct ichthyologic measurements were not performed. The representative habitat suitability curves were developed which are presented in the paper. These curves are valid for the brown trout only in the reaches located in the upper part of the stream – the trout zone.

Andrej Škrinár
Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta STU
Radlinského 11, 813 68 Bratislava
andrej.skrinar@stuba.sk