
GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

59

2007

1

Anna Grešková, Milan Lehotský*, Zuzana Pastuchová***

MORFOHYDRAULICKÁ ŠTRUKTÚRA DNĀ KORYTA MALÉHO VODNÉHO TOKU A SPOLOČENSTVÁ MAKROZOOBENTOSU

Grešková, M. Lehotský, Z. Pastuchová: Small stream channel bed morpho-hydraulic structure and macroinvertebrate communities. Geografický časopis, 59, 2007, 1, 7 figs., 4 tabs., 43 refs.

The principles of fluvial geomorphology provide a physical template for the landscape perspectives that underpin the ecological integrity of river systems. Two river reaches of the small stream Drietomica about 200 m long in the central part of the Biele Karpaty Mts. were selected for the study. The riverbed habitat structure has been determined under geomorphic units (in the sense of the River Morphology Hierarchical Classification – RMHC) by identification of the flow hydraulics and substrate properties. These variables are integrated as morphohydraulic units – patches of the uniform morphology, hydraulics and substrate. The *Ephemeroptera*, *Plecoptera* and *Trichoptera* communities were analysed in relation to the geomorphic, hydraulic and substrate characteristics of the riverbed. In this case study it was confirmed that the directly measured variables – depth, current velocity and substrate grain size together with related variables – flow type, Re and Fr numbers influenced the spatial distribution of macroinvertebrate communities in the studied river reaches.

Key words: riverbed morphology, physical habitat, macroinvertebrates

ÚVOD

Pre komplexne orientovanú fyzickú geografiu je príznačná proklamácia výskumu vzťahov medzi jednotlivými komponentmi krajiny. Jednou z potenciál-

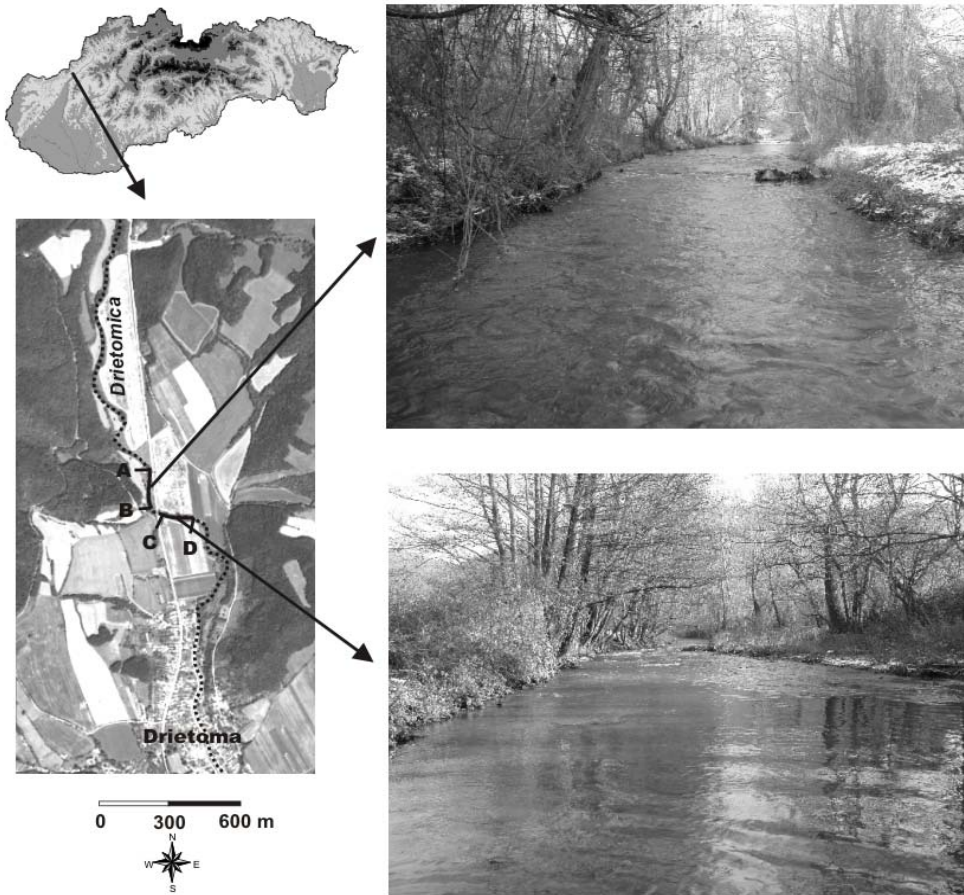
* Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava, greskova@savba.sk, geogleho@savba.sk

** Ústav zoológie SAV, Dúbravská cesta 9, 845 06 Bratislava, zuzana.pastuchova@savba.sk

nych oblastí výskumu takéhoto charakteru sa javí aj fluviaálnogeomorfologicko-hydrobiologický výskum riečnych systémov. V ekológii riek sa totiž už dávno ukázalo, že pestrosť a hojnosť biotických spoločenstiev je ovplyvňovaná heterogenitou fyzického, abiotického prostredia (Hynes 1970). Na Slovensku sa tradične venuje pozornosť spoločenstvám makrozoobentosu tokov vo vzťahu k environmentálnym parametrom toku, ich zmenám v pozdĺžnom gradiente toku a vplyvu rôznych antropogénnych faktorov (napr. Krno 1984, 1996 a 2000, Krno et al. 1993, Krno et al. 1996, Bitušík a Novikmec 1997, Bulánková et al. 2000, Krno et al. 2006). V niektorých prácach je venovaná pozornosť aj zmenám zloženia spoločenstiev v závislosti od substrátu (napr. Krno et al. 1996, Derka a Szomolai 2000, Derka et al. 2001, Gavlasová a Derka 2004).

Dlhoročné skúsenosti hydrobiologického výskumu na Slovensku vyústili do vypracovania kompletnej publikácie, ktorá zahrňuje súpis druhov a ich autekologické charakteristiky, ako podkladu pre aplikáciu hodnotenia ekologického stavu povrchových vôd v zmysle Rámcovej smernice o vode (Šporka 2003). Názor, že štruktúra a charakter prostredia je kľúčovým determinantom štruktúry a organizácie biotických spoločenstiev, sa stal súčasťou viacerých rozvíjajúcich sa smerov v ekológii riek, zahŕňajúc koncepcie riečného kontinua (Vannote et al. 1980), dominantných procesov (Montgomery 1999), ako aj hierarchickú koncepciu (Frissell et al. 1986). Koryto vodného toku zosobňuje interaktívne väzby medzi fluviaálno-morfologickými, hydrologicko-hydraulickými a sedimentačnými procesmi v trojrozmernom priestore (v laterálnej, longitudinálnej a vertikálnej dimenzii) a v čase. Ich výsledkom je veľmi dynamická štruktúra morfologických foriem, vytvárajúca bázu ekotopov (v zahraničnej literatúre sa používa v tomto zmysle termín fyzický habitat) ako životného priestoru spoločenstiev (Maddock 1999). Pod ekotopom (fyzickým habitatom) koryta vodného toku chápeme prostredie, v ktorom prežívajú, rozmnožujú sa a skrývajú sa pred predátormi spoločenstvá rýb a makroevertebrát. Priestorová organizácia morfologických, ako aj morfohydraulických jednotiek (ekotopov) na dne koryta vytvára mozaiku určitých typov varirujúcu kontinuálne po toku, pozdĺž riečného úseku, ktorá do značnej miery determinuje biodiverzitu riečného prostredia. Pričom netreba zabúdať, že v širšom slova zmysle je stav vnútroriečného prostredia závislý od celkového stavu povodia. Mať na zreteli tieto aspekty je zvlášť dôležité v súčasnosti, kedy sa antropogénne zmeny v kvalite, režime a štruktúre vodných tokov odzrkadľujú v modifikácii biotických spoločenstiev a vo fungovaní vodných ekosystémov na celom svete (Thomson et al. 2001). Reflektujú túto skutočnosť a jej negatívne následky, ktoré sa už prejavili ako v biotickej, tak aj v abiotickej sfére, v spoločnosti sa iniciujú aktivity zamerané na ekologicky udržateľný manažment riečnych geo- a ekosystémov. Základom týchto snáh je vyvinúť metódy pre poznanie a hodnotenie ekologického stavu (zdravotného stavu) riek, ktorý je ovplyvňovaný viacerými vzájomne závislými faktormi, z ktorých kritickým komponentom je stav abiotických fyzických štruktúr – ekotopov riečnych geosystémov a dizajnovať udržateľný stav korytových systémov. Vo svete sa v súčasnosti pri posudzovaní stavu riek preferuje práve ich poznávanie prostredníctvom hľadania systémov ich priestorových jednotiek, plôšok. Príkladom takéhoto prístupu je napr. metóda BVET (Dolloff et al. 1993), metóda PHABSIM (Bovee 1982) a práce Rowntree a Wadesona (1998), Thomsona et al. (2001), ako aj Rámcová smernica o vode EÚ. Dôležitosť eko-

topov ako kľúčovej bázy pre obnovu narušených riečnych ekosystémov podrobne popísali vo svojej práci Poff a Ward (1990). Poznanie fyzickej štruktúry a asociovanej ekologickej dynamiky na rôznom stupni antropogénneho narušenia môže poskytnúť geografický rámec obnovy (revitalizácie) riečnych systémov, ako aj ich budúcich štruktúr v kontexte predpokladaných klimatických zmien, ako aj paradigmy trvalej udržateľnosti. Biologické práce z územia Slovenska, ktoré by integrovali poznatky fluvialnej geomorfológie, zatiaľ v podstate chýbajú. Prvý pokus predstavuje práca Ambruša a Bulánkovej (2005) a Bulánkovej (2006), kde autori využili metódu RHS (River Habitat Survey, Raven et al. 1997) na posúdenie vplyvu riečnej morfológie na živočíchy viazané na vodné prostredie.



Obr. 1. Lokalizácia skúmaného územia

Cieľom tejto práce je vyčlenenie a parametrizácia priestorovej štruktúry dna koryta na úrovni morfológických a morfohydraulických jednotiek ako najnižších taxónov hierarchickej klasifikácie morfológie riek (River Morphology Hierarchical Classification – RMHC, Lehotský a Grešková 2003, 2004a, Lehotský 2004) a analýza vzťahu ich parametrov, t. j. morfológických, hydraulických a substrátových charakteristík na zloženie a distribúciu spoločenstiev makrozoobentosu na príklade *Ephemeroptera*, *Plecoptera* a *Trichoptera* (ďalej EPT), ako jedného z článkov potravinového reťazca riečnych ekosystémov. Výskum sme realizovali v modelovom území vybraného úseku Drietomice, ako vodného toku 5. rádu v zmysle Strahlerovej koncepcie, pretekajúcej flyšovým územím centrálnej časti Bielych Karpát v nadmorskej výške cca 260 m. (obr. 1).

POUŽITÉ METÓDY

Metodologicky príspevok vychádza z koncepcie hierarchickej štruktúry morfológie riek, ktorá poskytuje možnosť identifikovať taxonomické priestorové jednotky, dôležité ako z fyzického (abiotického), tak aj ekologického aspektu. Procedúru identifikácie a mapovania morfológických a morfohydraulických jednotiek, ako najnižších taxónov hierarchickej klasifikácie morfológie riek a výskum ich vzťahov so spoločenstvami makrozoobentosu, aplikujeme na príklade dvoch korytových úsekov malého vodného toku Drietomice. Typologicky skúmané územie predstavuje kombináciu morfológických typov korytových úsekov: stupeň – priehlbina, plytčina – priehlbina a plochého dna v zmysle Montgomery a Buffington (1997). Identifikácia morfohydraulickej štruktúry vodného toku – fluvialnogeomorfologická analýza zahŕňa nasledovné kroky: 1. mapovanie morfológických jednotiek (morfológických foriem dna koryta), 2. určenie typov substrátu, 3. určenie typov prúdenia vody, 4. zostavenie mapy ako priestorového vyjadrenia morfohydraulickej štruktúry dna koryta. Analýza makrozoobentosu pozostáva z odberu vzoriek a určenia druhových charakteristík a charakteristík spoločenstiev.

Fluvialnogeomorfologická analýza

Mapovanie morfológických jednotiek

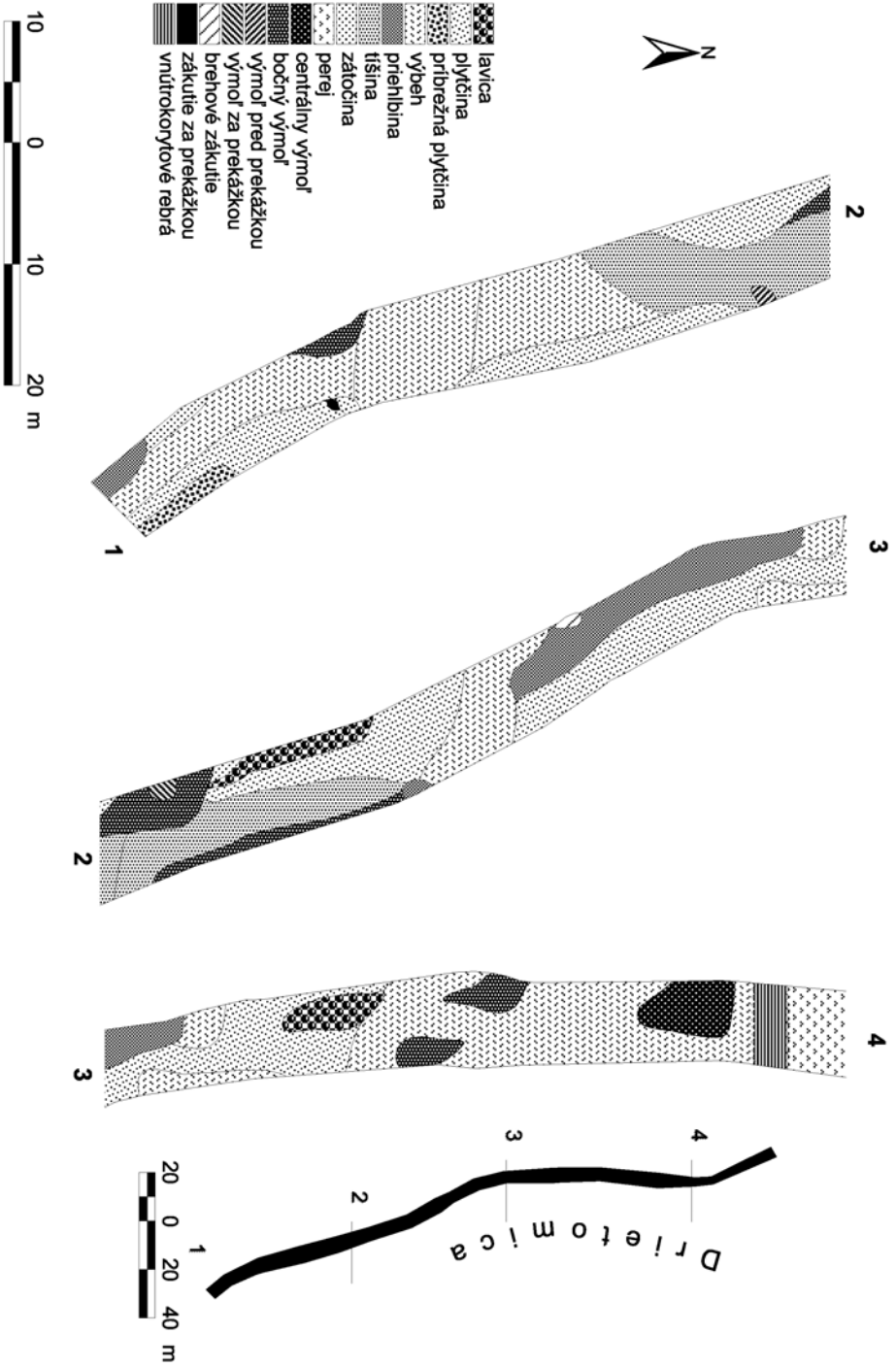
Mapovanie morfológických jednotiek a asociovaných morfohydraulických jednotiek v teréne je pre skúsený tím pomerne rýchla procedúra (200 m úsek môžu zmapovať dvaja ľudia približne za niekoľko hodín). Zaznamenanie ďalších premenných, ako rýchlosti prúdenia, typ sedimentov, brehov, vegetácie a naplavenej drevnej hmoty vyžaduje celý deň. Morfológické jednotky definujeme na základe zmeny laterálneho a longitudinálneho gradientu, t. j. priečného a pozdĺžneho profilu zvyčajne sémanticky – *názvom* (Grešková a Lehotský 2004, Lehotský a Grešková 2004a, Lehotský 2005, Lehotský a Grešková 2005), resp. za použitia digitálneho modelu dna koryta, kedy môžu byť definované aj formálne, t. j. súradnicami x , y a z . Z nich sa formujú korytové úseky ako kompozitné štruktúry definované na základe longitudinálneho gradientu. Ich veľkosť sa pohybuje rádo od niekoľkých m^2 (na malých tokoch) až do desiatok m^2 (na veľkých tokoch). V teréne ich identifikujeme expertne a mapujeme buď jedno-

duchým zameriavaním (laserovým diaľkometerom, resp. teodolitom), alebo zosnímaním nadmorských výšok dostatočného množstva dnových bodov (pomocou GPS alebo tachymetriou) a ich následným spracovaním do digitálnej mapy reliéfu dna koryta. V návaznosti na predchádzajúce štúdie, venované metodickým aspektom výskumu a poznávaniu riečnej krajiny a jej morfológicko-substrátovej bázy (Lehotský a Grešková 2003, 2004a, 2004b, Lehotský 2004b), bola Drietomica štruktúrovaná v zmysle hierarchickej klasifikácie do dvoch najnižších taxónov – morfológických a morfohydraulických jednotiek. Terénny prieskum a mapovanie morfológických a morfohydraulických jednotiek sme uskutočnili na jeseň 2004 a na jar 2005 na dvoch korytových úsekoch o dĺžke cca 200 m so šírkou koryta 6 až 10 m (1. úsek od 5. rkm cca 200 m proti toku a 2. úsek od 5. rkm cca 200 m po toku). Skúmané dva úseky Drietomice sme identifikovali ako kombinované typy: stupeň – priehlbina, plytčina – priehlbina a plochého dna. Brehy koryta a línia vodnej hladiny skúmaných riečnych úsekov Drietomice boli zamerané GPS. Morfológické jednotky boli zamerané laserovým diaľkometerom, pričom sa zaznamenala vzdialenosť od východiskového profilu, dĺžka a šírka morfológickej jednotky. Výsledkom mapovania a spracovania v prostredí GIS-u je mapa morfológických jednotiek riečnych úsekov (obr. 2).

Identifikácia morfohydraulických jednotiek

Z krátkodobého aspektu je časová a priestorová variabilita vnútroriečnych štruktúr, ako základov ekotopov, determinovaná interakciou morfológie dna koryta, substrátu a prietoku vody. Hydraulika prúdenia vody je silne ovplyvnená tvarom priečneho profilu koryta, charakterom materiálu, drsnosťou dna a sklonom koryta. Korytová morfológia a charakter substrátu sú naopak závislé na dlhodobých procesoch, zahŕňajúc ich erózne, akumulčné procesy a transport sedimentov. Odrážajú rozličné asociácie foriem a procesov, ktoré sú základnými stavebnými blokmi riečnych systémov. Pretože spojenia medzi individuálnymi formami a procesmi, ktoré ich utvárajú sú špecifické, analýza množiny morfológických jednotiek pozdĺž riečného úseku je základom objasnenia správania sa, fungovania riek. Samotná inventarizácia morfológických jednotiek (channel geomorphic units) nie je postačujúca k opísaniu diverzity ekotopov, ktoré sa nachádzajú na danom mieste a v danom čase. K tomu slúži identifikácia morfohydraulických jednotiek, ktorá spočíva v rozčlenení geomorfologických jednotiek na morfohydraulické jednotky. Tieto identifikujeme ako plôšky homogénne z aspektu typu prúdenia a charakteru substrátu vo vnútri morfológických jednotiek. Diagnóza morfohydraulickej štruktúry vodného toku pozostáva z nasledovných krokov:

1. zostavenie identifikačného kľúča parametrov a legendy,
2. mapovanie morfológických jednotiek,
3. určenie typov substrátu,
4. určenie typov prúdenia vody,
5. zostavenie mapy ako priestorového vyjadrenia morfohydraulickej štruktúry rieky.



Obr. 2. Morfológické jednotky riečneho úseku A–B

Určenie typov substrátu

Typ substrátu morfolologickej jednotky sme charakterizovali pomocou zrnitostnej klasifikácie a ďalej sme zaznamenali:

- tvar,
- usporiadanie (zanesenie, pokryvnosť, vytriedenosť),
- faciálnu a sedimentárnu štruktúru.

Pri klasifikácii fluviálnych sedimentov podľa veľkosti zŕn (granulometrie) sme uplatnili Wentworthov klasifikačný systém (Wentworth 1922), zhodný s u nás platným klasifikačným systémom stanoveným STN, pričom kategóriu kamene a balvany sme rozčlenili ešte podrobnejšie (tab. 1). Veľkosť zŕn substrátu sa určuje jednoduchým zmeraním dĺžky osí (a, b, c), použitím šablóny so štvorcovými alebo kruhovými otvormi, preosievaním cez sústavu sít – sítovou metódou alebo fotografickou metódou. Veľkosť častice reprezentuje os „b“. Zanesenosť sme stanovili na základe pokrytia dnových hrubozrnných častíc jemnými dnovými sedimentmi, pričom sme rozlíšili iba dva stupne, a to zanesený a nezanesený. Spôsob odberu vzoriek sedimentov je spravidla závislý od charakteru vodného toku, ako aj od účelu, na ktorý má zrnitostný rozbor slúžiť. V zásade existujú dva základné typy vzorkovania, a to volumetrický odber a odber povrchový. Na Drietomíci sme použili povrchový odber, vhodný v brodivých riečnych úsekoch (hlbokých do 60 cm) v malých vodných tokoch. Odber sa uskutočnil tzv. krokovacou metódou, spočívajúcou v zodvihnutí častice (sedimentu) pri špičke čižmy odberateľa pri každom kroku naprieč morfolologickej jednotkou.

Určenie typov prúdenia vody

Morfohydraulické jednotky sme charakterizovali na základe parametrov ako hĺbka (H), rýchlosť (v) a typ prúdenia vody na expertne vybranom reprezentatívnom bode jednotky. Hĺbka vody sa určila klasicky vodomernou latou, rýchlosť prúdu trojbodovou metódou magnetickým rýchlomerom (v lokalitách s hĺbkou nad 30 cm) a jednou stredovou hodnotou na bodoch s hĺbkou pod 30 cm. Typy prúdenia vody, ktoré nepriamo odhaľujú aj vlastnosti substrátu, je možné vizuálne klasifikovať zo vzhl'adu povrchu vody (môže variovať od stojatej hladiny až po voľný pád) nasledovne (Grešková a Lehotský 2004, Lehotský a Grešková 2005):

1. stojatý bez prúdenia (standing water – SW)
2. padajúci (free fall, falling – FF)
3. prúdiaci (flow water – FW)
 - 3.1. veľmi slabo prúdiaci typ (scarcely, barely perceptible flow – SP)
 - 3.2. slabo prúdiaci (smooth surface flow – S)
 - 3.3. zvlňnený, čerinový (rippled surface – R)
 - 3.4. nelomené stojaté vlny (unbroken standing waves – USW)
 - 3.5. lomené stojaté vlny (broken standing waves – BSW)
 - 3.6. sklzový (chute flow – CH)

- 3.7. vzostupne prúdiaci (upwelling – U)
- 3.8. kypiaci (boil – B)
- 3.9. chaotický (chaotic flow, mixed – CT)
- 3.10. izolovaná voda (backwater – BW)
- 3.11. uviaznutá voda (slackwater – SL)
- 3.12. okrajová voda (edgewater – E)

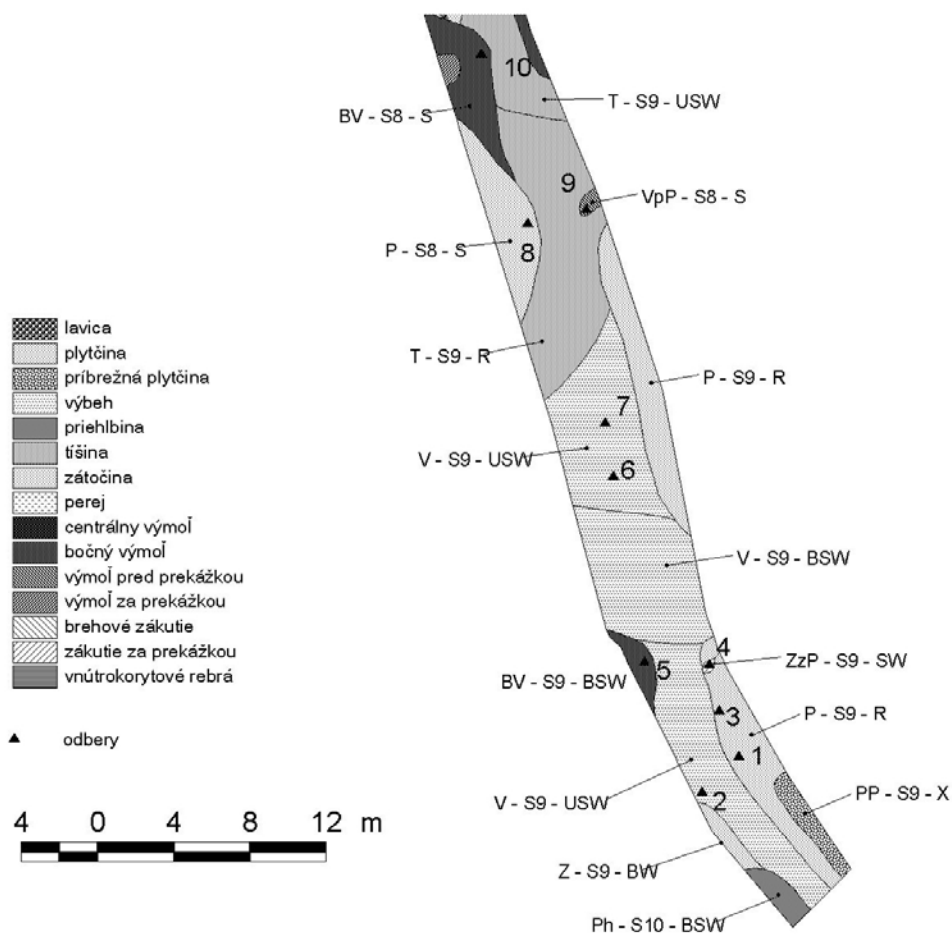
Tab. 1. Klasifikácia fluviaálnych sedimentov podľa veľkosti zŕn

Kód	Kategória sedimentu	Veľkosť zrna (mm)
S1	prach a íl	<0,06
S2	jemný až stredne hrubý piesok	0,06-0,5
S3	hrubý piesok	0,5-1
S4	veľmi hrubý piesok	1-2
S5	jemný štrk	2-8
S6	stredne hrubý štrk	8-16
S7	hrubý štrk	16-32
S8	veľmi hrubý štrk	32-64
S9	malé kamene	64-128
S10	veľké kamene	128-256
S11	malé balvany	256-512
S12	stredne veľké balvany	512-1024
S13	veľké balvany	1024-048
S14	veľmi veľké balvany až bloky	2048-4096

Z praktického hľadiska sa uvažuje o minimálnej veľkosti morfohydraulickej jednotky $0,5 \text{ m}^2$ (pri malých vodných tokoch). Veľmi malé plošky odlišného prúdenia, resp. substrátu sa začlenia do susedných morfohydraulických jednotiek.

Zostavenie mapy ako priestorového vyjadrenia morfohydraulickej štruktúry

Výsledky zamerania, prieskumu koryta a expertnej identifikácie morfológických a morfohydraulických jednotiek boli spracované v prostredí ArcView GIS. Rozpoznané morfológické jednotky zobrazuje mapa (obr. 2). Legenda mapy využíva špecifickú terminológiu fluviaálnej geomorfológie (Lehotský a Grešková 2004a) a okrem mierky sa zvlášť neodlišuje od iných geomorfologických máp. Podrobná mierka výskumu, doteraz u nás nezvyčajná či už v geomorfológii, fyzickej geografii alebo krajinskej ekológii, odpovedá prirodzenej diferenciacii objektu výskumu. Identifikované morfohydraulické jednotky sú homogénne z hľadiska morfológie, typu substrátu a prúdenia vody (obr. 3).



Obr. 3. Morfohydraulické jednotky riečného úseku A – B

Morfológické jednotky:

L – lavica (bar), P – plytčina (riffle), PP – príbrežná plytčina (edgewater), V – výbeh (run), Ph – priehlbina (pool), T – tíšina (glide), Pr – perej (rapids), CV – centrálny výmoľ (mid-channel pool), BV – bočný výmoľ (lateral scour pool), RV – rozvetvený výmoľ (branched pool), VzP – výmoľ za prekážkou (scour pool behind obstacle), VpP – výmoľ pred prekážkou (scour pool in front of obstacle), BZ – brehové zákutie (erosion bank-nook), Z – zátočina (backwater), ZzP – zákutie za prekážkou (obstacle nook), VR – vnútrokorytové rebrá (ribs).

Typ sedimentov:

S7 – hrubý štrk (16-32 mm), S8 – veľmi hrubý štrk (32-64 mm), S9 – malé kamene (64-128 mm), S10 – veľké kamene (128-256 mm), S11 – malé balvany (256-512 mm), S12 – stredne veľké balvany (512 - 1024 mm).

Typy prúdenia vody:

SP – veľmi slabý prúdaci typ (scarcely, barely perceptible flow), SW – stojatý typ bez prúdenia (standing water), S – slabý prúdaci typ (smooth surface flow), R – zvlňnený, čerinový (rippled surface), USW – nelomené stojaté vlny (unbroken standing waves), BSW – lomené stojaté vlny (broken standing waves), SL – uviaznutá voda (slackwater), X – v čase mapovania bez vody (none).

Analýza makrozoobentosu

Odbery vzoriek bentických bezstavovcov

Makrozoobentos sme odoberali kvantitatívne z jednotlivých morfológických jednotiek, charakterizovaných parametrami podľa tabuľky 2 a 3, pomocou ručnej sieťky s veľkosťou ôk 250 μ m, z plochy dvoch štvorcov 0,125 m² vymedzených veľkosťou rámu sieťky (25 cm). Vzorky boli v teréne fixované roztokom formaldehydu. V laboratóriu boli organizmy zo vzoriek vytriedené, rady Ephemeroptera, Plecoptera a Trichoptera boli identifikované do úrovne druhu. Na vyhodnocovanie sme použili abundancie jednotlivých skupín prerátané na plochu 1m² a zastúpenie jednotlivých potravných skupín (použili sme program ASTERICS-AQEM/STAR Ecological River Classification System). Každý odberový bod bol charakterizovaný priemernou rýchlosťou prúdu, hĺbkou, typom prúdenia, typom substrátu charakterizovaným podľa Wentworthovej škály, morfológickou jednotkou, Froudovým a Reynoldsovým číslom (Thomas a Goudie 2000).

Tab. 2. Parametre lokalít v riečnom úseku A – B, z ktorých sa odoberali vzorky bentických bezstavovcov

č. odberu	morfológická jednotka	H (cm)	v (cm/s)	typ pohybu vody	typ substrátu	zanesenosť substrátu
1.	plytčina	15	50	R	S9	zanesený
2.	výbeh	50	80	USW	S9	zanesený
3.	plytčina	24	20	R	S9	zanesený
4.	zákutie	40	0	SW	S9	zanesený
5.	bočný výmoľ	40	140	BSW	S9	nezanesený
6.	výbeh	26	110	USW	S9	nezanesený
7.	výbeh	25	70	USW	S9	nezanesený
8.	plytčina	25	60	S	S8	zanesený
9.	výmoľ pred prekážkou	44	45	S	S8	nezanesený
10.	bočný výmoľ	74	18	S	S8	zanesený
11.	plytčina	10	40	R	S8	nezanesený
12.	plytčina	16	90	R	S8, S9	nezanesený
13.	priehlbina	60	50	R	S10	nezanesený
14.	lavica	24	70	R	S9	zanesený
15.	výbeh	24	80	BSW	S10	nezanesený
16.	výbeh	22	90	R	S9	nezanesený
17.	výbeh	22	110	R	S10	nezanesený
18.	centrálny výmoľ	60	70	R	S10	nezanesený
19.	perej	23	130	BSW	S10, S11	nezanesený
20.	príbrežná plytčina	19	50	S	S7, S8	zanesený
21.	bočný výmoľ	60	70	R	S10	nezanesený
22.	plytčina	23	170	BSW	S10	nezanesený

Štatistická analýza

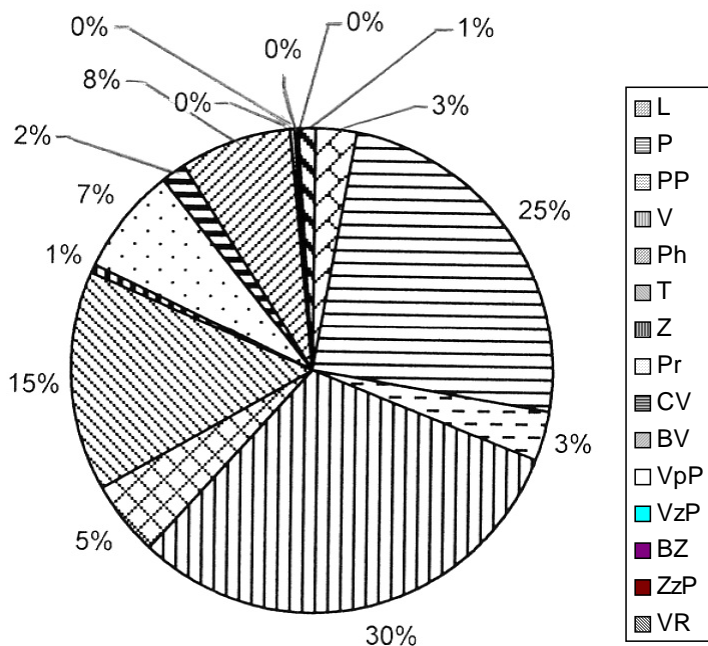
Na analýzu distribúcie vybraných skupín bentických bezstavovcov a na analýzu vzťahov spoločenstiev makrozoobentosu a vybraných environmentálnych faktorov sme použili kanonickú korešpondenčnú analýzu (CCA) v programe CANOCO (Ter Braak a Šmilauer 1998). Ordinačné osi v CCA predstavujú lineárne kombinácie 14 environmentálnych premenných (prítomnosť plynčiny, priehlbiny, tíšiny, výbehu, perejí, lavice, výmoľu; hĺbka, priemerná rýchlosť prúdu, typ prúdenia, zrnitosť substrátu, zanesenosť dna, Fr a Re číslo). Metódou *forward selection* sme určili tie premenné, ktoré majú najvýznamnejší vplyv na spoločenstvá makrozoobentosu a najlepšie vysvetľujú ich zloženie a distribúciu. Pred samotnou analýzou boli údaje transformované ($\log(x + 1)$). Nepárový t-test ($P < 0, 05$) sme použili na analýzu rozdielov spoločenstiev makrozoobentosu z hľadiska abundancie a potravinových skupín medzi jednotlivými morfológickými jednotkami a typom prúdenia. Na porovnanie bol použitý t-test metrik zoskupených podľa rýchlosti prúdu, hĺbky, typu prúdenia, veľkosti substrátu a morfológických jednotiek. Vzťah medzi štruktúrou spoločenstiev makrozoobentosu a environmentálnymi faktormi bol tiež analyzovaný pomocou neparametrickej korelačnej analýzy (Spearman Rank Order Correlation). Regresnú analýzu sme použili na definovanie vzťahu medzi jednotlivými environmentálnymi premennými. V použitých metódach sa s premennou typ prúdenia vody narábalo ako s kvantitatívnym faktorom, kde jednotlivým typom prúdenia boli priradené nasledovné číselné hodnoty: SW – 0, SP – 1, S – 2, R – 3, USW – 4, BSW – 5.

Tab. 3. Parametre lokalít v riečnom úseku C – D, z ktorých sa odoberali vzorky bentických bezstavovcov

č. odberu	morfológická jednotka	H (cm)	v (cm/s)	typ pohybu vody	typ substrátu	zanesenosť substrátu
1.	priehlbina	43	10	S	S10	zanesený
2.	plytčina	22	10	S	S9	zanesený
3.	príbrežná plytčina	15	10	S	S9	zanesený
4.	tíšina	6	18	S	S9	nezanesený
5.	výbeh	12	45	BSW	S10	nezanesený
6.	príbrežná plytčina	6	0	SW	S9	zanesený
7.	výbeh	15	70	R	S10	nezanesený
8.	perej	25	70	BSW	S11	nezanesený
9.	výbeh	18	50	R	S10	nezanesený
10.	príbrežná plytčina	4	10	SP	S9	zanesený
11.	výbeh	21	29	R	S10	nezanesený
12.	výbeh	14	50	R	S10	nezanesený
13.	výbeh	20	70	R - USW	S10	nezanesený
14.	lavica	17	5	S	S9, S8	zanesený

VÝSLEDKY

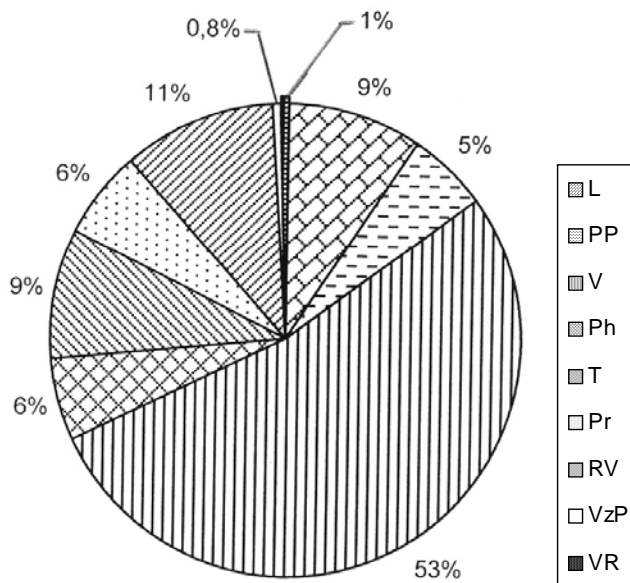
Skúmané úseky Drietomice boli definované ako kombinované typy korytových úsekov: stupeň – priehlbina, plytčina – priehlbina a plochého dna. Pôdorysnú vzorku riečnych úsekov tvorí jednoduché koryto, priame úseky striedajú oblúky s nízkym indexom kľukatosti. Na vonkajších, konkávných stranách oblúkov vznikajú bočné výmole o hĺbke do 70 cm, ktoré prevládajú nad centrálnymi. Prechod do/z výmolev tvoria morfológické jednotky menších hĺbok a sklonov, výbehy a tíšiny. V miestach depozície sedimentov dochádza k tvorbe lavíc, pričom sa vyskytuje iba jeden typ, a to bočné lavice. Brehy riečnych úsekov sú viac-menej prirodzené, iba lokálne ovplyvnené výstavbou cestného mosta, zníženým v brodovom úseku a úpravou brehu nad úsekom A-B. Brehy sú spevnené a stabilizované hustými koreňovými systémami brehovej vegetácie.



Obr. 4. Výskyt a plošné zastúpenie morfológických jednotiek (%) v riečnom úseku A – B

Morfológické jednotky:

L – lavica (bar), P – plytčina (riffle), PP – príbrežná plytčina (edgewater), V – výbeh (run), Ph – priehlbina (pool), T – tíšina (glide), Pr – perej (rapids), CV – centrálny výmole (mid-channel pool), BV – bočný výmole (lateral scour pool), RV – rozvetvený výmole (branched pool), VzP – výmole za prekážkou (scour pool behind obstacle), VpP – výmole pred prekážkou (scour pool in front of obstacle), BZ – brehové zákutie (erosion bank-nook), Z – zátočina (backwater), ZzP – zákutie za prekážkou (obstacle nook), VR – vnútrokorytové rebrá (ribs).



Obr. 5. Výskyt a plošné zastúpenie morfológických jednotiek (%) v riečnom úseku C – D

Morfologické jednotky:

L – lavica (bar), P – plytčina (riffle), PP – príbrežná plytčina (edgewater), V – výbeh (run), Ph – priehlbina (pool), T – tíšina (glide), Pr – perej (rapids), CV – centrálny výmoľ (mid-channel pool), BV – bočný výmoľ (lateral scour pool), RV – rozvetvený výmoľ (branched pool), VzP – výmoľ za prekážkou (scour pool behind obstacle), VpP – výmoľ pred prekážkou (scour pool in front of obstacle), BZ – brehové zákutie (erosion bank-nook), Z – zátočina (backwater), ZzP – zákutie za prekážkou (obstacle nook), VR – vnútrokorytové rebrá (ribs).

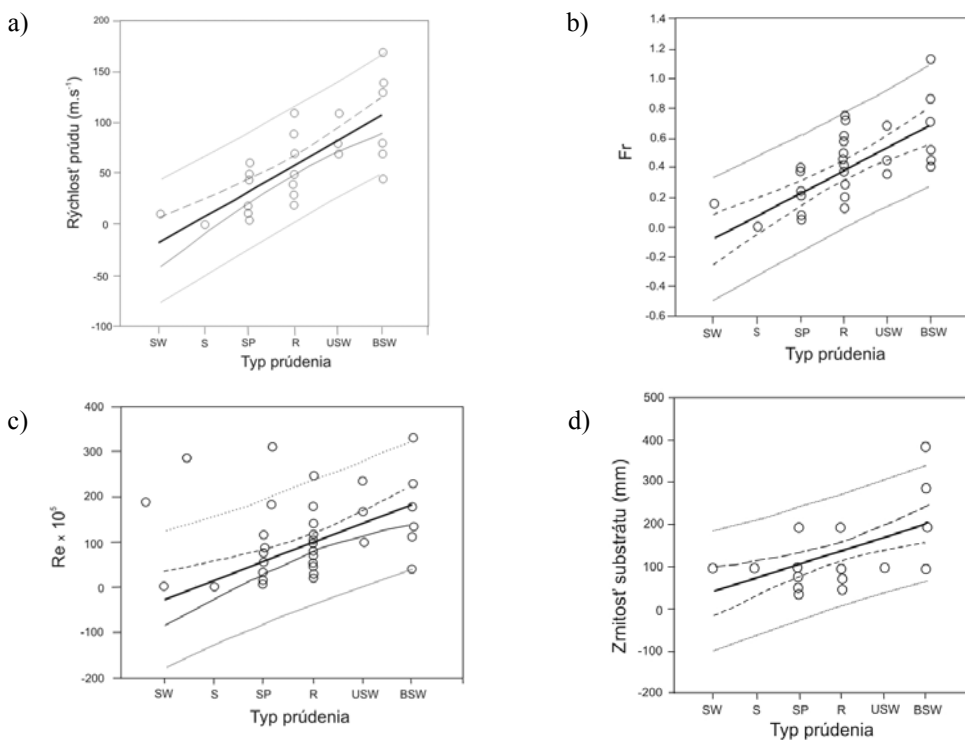
Veľkosť rozpoznávaných morfológických jednotiek je pomerne rôznorodá, avšak adekvátne veľkosti toku (obr. 4 a 5). Riečny úsek A-B, plošne rozsiahlejší (1669 m²), je morfológicky heterogénnejší ako úsek C-D (1322 m²). Najväčšiu plochu zaberajú morfológické jednotky ako výbeh (run), plytčina (riffle) a tíšina (glide). Typický materiál dnových sedimentov tvoria sedimenty od hrubého štrku až po stredne veľké balvany.

Regresná analýza morfohydraulických parametrov

Hodnoty Froudovho čísla, ktoré definuje turbulenciu toku na základe rýchlosti toku, gravitačnej konštanty a hĺbky vody, vypočítané pre jednotlivé morfológické jednotky potvrdzujú riečny charakter prúdenia v úsekoch. Froudovo číslo dosahuje najnižšie hodnoty v priehlbínach, zátočinách a na laviciach (0,04-0,08), v porovnaní s plytčinami a perejami, kde dosahuje hodnoty > 0,4. Reynoldsovo číslo charakterizuje prúdenie v riečnych úsekoch ako turbulentné a jeho hodnoty sú prerozdelené do troch viac-menej homogénnych skupín. V zátočinách, tíšninách a na laviciach dosahuje najnižšie hodnoty, plytčiny a výbehy

tvoria strednú skupinu a najvyššie hodnoty sú vo výmloch a na pereji. Hodnoty Reynoldsovho čísla rastú od veľmi slabo prúdiaceho typu prúdenia (SP) až po lomené stojaté vlny (BSW). Obidve charakteristiky (Fr a Re) sú akceptované v riečnej ekológii ako ukazovatele charakterizujúce prostredie v lokálnej mierke. Regresná analýza odhalila štatisticky významný vzťah medzi nezávislou premennou – typ prúdenia, ktorú sme vybrali na základe výsledkov CCA analýzy a ostatnými premennými (obr. 6). Najtesnejší vzťah bol medzi typom prúdenia a rýchlosťou prúdu: ($R = 0,752$, $P < 0,001$):

rýchlosť prúdu (V) = $-17,471 + (25,131 * \text{typ prúdenia})$.



Obr. 6. Regresná analýza

Grafy znázorňujúce vzťah a) rýchlosti prúdu, b) Fr čísla, c) Re čísla, d) zrnitosti substrátu a typov prúdenia. Typy prúdenia (os x): SW – stojatý, bez prúdenia, SP – veľmi slabo prúdiaci, S – slabo prúdiaci, R – zvlnený, čerínový, BSW – lomené stojaté vlny, USW – nelomené stojaté vlny.

Medzi typom prúdenia a Fr a Re číslom možno vzťah vyjadriť nasledovne:

$$Fr = -0,328 + (0,221 * \text{typ prúdenia}), R = 0,640; P < 0,001,$$

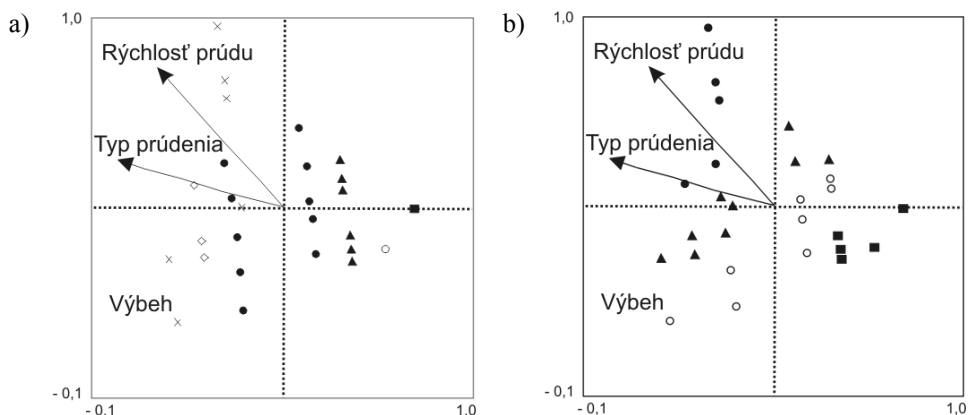
$$Re = -27,358 + (42,038 * \text{typ prúdenia}), R = 0,620; P < 0,001,$$

a vzťah medzi typom prúdenia a zrinitosťou substrátu:

$$\text{zrinitosť substrátu} = 40,510 + (32,090 * \text{typ prúdenia}), R = 0,528; P < 0,001.$$

Štatistická analýza vzťahu morfohydraulických parametrov a spoločenstiev podeniiek, pošvatiek a potočnikov (*Ephemeroptera*, *Plecoptera* a *Trichoptera* – EPT)

Najpočetnejšími taxónmi na lokalite z podeniiek boli *Rhithrogena* sp., *Torleya major* (Klapálek 1905), *Ephemera danica* (Müller 1764), *Baetis* sp. a *Ephemera mucronata* (Bengtsson 1909). Z potočnikov dominovali *Hydropsyche* sp., *Sericostoma personatum/schneiderii*. Zo 14 premenných (prítomnosť plynčiny, priehlbiny, tíšiny, výbehu, perejí, lavice, výmoľu; hĺbka, priemerná rýchlosť prúdu, typ prúdenia, substrát, zanesenosť dna, Fr a Re číslo), ktoré ako vybrané environmentálne faktory ovplyvňujú spoločenstvá bezstavovcov, sme vyselektovali štyri premenné s najväčším vplyvom – typ prúdenia, rýchlosť prúdu, Fr číslo a prítomnosť výbehu. Vybrané environmentálne premenné vysvetlili spolu 50,9 % variability. S prvou ordinačnou osou, ktorá nesie najviac informácií, koreluje premenná „typ prúdenia“. Pozdĺž tejto osi sa usporiadali aj jednotlivé morfohydraulické jednotky podľa typu prúdenia. Na ľavej strane grafu sú umiestnené jednotky s USW a BSW typom prúdenia, smerom doprava sú nahradené R typom prúdenia, a na pravej strane grafu sa nachádzajú jednotky s S, SP a SW typom prúdenia (obr. 7). Pri zobrazení lokalít zoskupených do tried podľa rýchlosti prúdu sa rozmiestnili diagonálne a vytvorili jasne odlišené zhlinky, čo zodpovedá tiež približne rovnakej korelácii rýchlosti prúdu s oboma kanonickými osami. Korelačná analýza (Spearman Rank Order Correlation) ukázala, že premenná typ prúdenia pozitívne koreluje s ostatnými premennými (rýchlosť prúdu, veľkosť substrátu, Fr a Re číslo) okrem hĺbky (tab. 4).



Obr. 7. Kanonická korešpondenčná analýza (CCA) spoločenstiev podeniiek, pošvatiek a potočnikov a vybraných premenných

Graf znázorňuje najdôležitejšie premenné, a to rýchlosť prúdu, typ prúdenia a výbeh.

a) Vzorky sú zobrazené podľa typov prúdenia: ■ – SW, ○ – SP, ▲ – S, ● – R, ◇ – USW, × – BSW.

b) Vzorky sú zoradené podľa rýchlosti prúdu: ■ – 0-20 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$, ○ – 20-50 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$, ▲ – 50-100

Tab. 4. Výsledky korelačnej analýzy s uvedenými korelačnými koeficientami pre environmentálne faktory

	substrát	Re	Fr	typ prúdenia	rýchlosť prúdu
hlbka	N	0,633**	N	N	N
rýchlosť prúdu	N	0,862**	0,912**	0,781**	
typ prúdenia	0,519**	0,673**	0,752**		
Fr	N	0,626**			
Re	N				

** P < 0,01; N – nesignifikantný výsledok

Porovnanie štruktúry a abundancie EPT podľa typov morfológických jednotiek

Lokality charakterizované rovnakou morfológickou jednotkou boli zlúčené a navzájom porovnané z hľadiska štruktúry a abundancie spoločenstiev pošvatiek, podeniek a potočnickov.

Abundancia (početnosť/m²) podeniek bola významne vyššia vo výmoľoch a plytčinách (priemer 660), nasledovali výbehy a príbrežné plytčiny s priemernou hodnotou abundancie 453. Podenky najmenej preferovali priehlbiny, tíšiny, pereje a lavice. Pošvatky preferovali plytčiny, príbrežné plytčiny, výbehy a výmole (priemer 40) v porovnaní s ostatnými morfológickými jednotkami (priemer 11). Potočnicky boli najpočetnejšie v príbrežných plytčinách (priemer 828) a vo výbehoch (priemer 626), najmenej početné na laviciach a v perejách (priemer 200). Celková abundancia EPT bola významne vyššia v príbrežných plytčinách spolu s výbehmi a výmoľmi v porovnaní s ostatnými (priemer 1162), najnižšiu sme zaznamenali na laviciach a v perejách (priemer 434). Zastúpenie jednotlivých potravinových skupín (vyjadrené v %) sa líšilo v jednotlivých morfológických jednotkách a tiež v typoch prúdenia. Drviče viac uprednostňovali lavice, príbrežné plytčiny, tíšiny a priehlbiny (priemer 18,6 %), veľmi nízke hodnoty sme zaznamenali v perejách (2,3 %). Zberače-zhrňáče mali vyššie zastúpenie na laviciach, vo výmoľoch a v priehlbínach (priemer 27,2 %) oproti ostatným morfológickým jednotkám (priemer 18,5 %). Aktívni filtrátori mali veľmi nízke zastúpenie v perejách a výbehoch (priemer 1,7 %), kým v príbrežných plytčinách a na laviciach dominovali (priemer 12,5 %). Pasívni filtrátori mali opačný trend, uprednostňovali výbehy a pereje (priemer 12,4 %) v porovnaní s ostatnými morfológickými jednotkami (priemer 2,5 %). Predátori mali vyššie zastúpenie v tíšinách, výbehoch a perejách (priemer 10,4 %) v porovnaní s ostatnými jednotkami (priemer 6,4 %). Spásače a zoškrabávače výrazne preferovali R, ÚSW a BSW typy prúdenia (priemer 50 %) oproti ostatným typom prúdenia (priemer 35 %).

Porovnanie štruktúry a abundancie EPT v rovnakých typoch prúdenia

Vzhľadom na typ prúdenia podenky preferovali výrazne R typ, v ostatných typoch boli menej početné. Pošvatky a potočnicky dosahovali vyššiu abundanciu v SP type prúdenia, ale tieto rozdiely neboli štatisticky významné. Celková EPT abundancia dosahovala najvyššie hodnoty v SW-SP a R typoch prúdenia. Čo sa

týka potravinových skupín, relatívna abundancia drvičov klesala od SW a SP prúdenia k BSW typu. Môžeme to interpretovať ako dôsledok klesajúcej schopnosti morfohydraulickkej jednotky zadržiavať hrubú organickú hmotu s rastúcou rýchlosťou prúdu. Rozdiely v zastúpení zberačov – zhŕňačov v jednotlivých typoch prúdenia neboli signifikantné, aj keď najvyššia relatívna abundancia bola pozorovaná v S type prúdenia. Najvyššie zastúpenie aktívnych filtrátorov sme zaznamenali v typoch prúdenia s malou rýchlosťou prúdu – S, SP a R (priemer 6,7 %) v porovnaní s USW a BSW typom (priemer 1,4 %). Zastúpenie pasívnych filtrátorov v jednotlivých typoch prúdenia bolo podobne ako pri morfológických jednotkách v opačnom pomere; najvyššie zastúpenie sme zaznamenali v USW a BSW typoch (priemer 12 %) oproti ostatným typom (priemer 3,5 %). Vyššie zastúpenie predátorov sme zaznamenali v USW a BSW type (priemer 12,4 %) v porovnaní s S, SP a R type (priemer 6,4 %). Spásače a zoškrabávače mali najnižšie zastúpenie v laviciach a príbrežných plytčinách (priemer 23 %) oproti ostatným jednotkám (46 %).

DISKUSIA

Priestorová distribúcia vybraných skupín bentických organizmov je často vysvetľovaná pomocou fyzických faktorov prostredia. Faktory ako prietok, veľkosť substrátových častíc a hydraulické premenné určujú variabilitu prostredia (Brooks et al. 2005).

V našej práci sme na vybraných skupinách makrozoobentosu (podenky, pošvatky a potočníky) potvrdili, že priamo merateľné premenné – hĺbka, rýchlosť prúdu a veľkosť častíc substrátu, a s nimi súvisiace premenné – typ prúdenia, Fr a Re číslo, mali významný vplyv na ich distribúciu v študovanom úseku vodného toku.

Silné korelácie medzi premennými navzájom a tiež podobný vzťah týchto premenných k metrikám hovoria o tom, že je ťažké odlišiť a separovať vplyv jednotlivých faktorov na spoločenstvá bezstavovcov, že pôsobia vo vzájomnej súčinnosti a vytvárajú tak komplexné prostredie pre organizmy. Hĺbka mala len minimálny vplyv na distribúciu organizmov. Rempel et al. (2000) vo svojej práci zistil, že hĺbka bola dôležitým faktorom vodného prostredia vo veľkej rieke, kde rozsah hĺbky je oveľa väčší (3 m) v porovnaní s Drietomicou (do 60 cm). V našom prípade pravdepodobne rozsah hĺbky nebol dostatočný, aby sa prejavil výraznejší vplyv hĺbky na spoločenstvá makrozoobentosu.

Priemerná rýchlosť prúdu neodráža úplne skutočné podmienky, aké sú tesne pri dne koryta, napriek tomu sa ukázal tento faktor ako dobrý prediktor štruktúry a distribúcie vybraných skupín makrozoobentosu v Drietomici. Podobne Brooks et al. (2005) vo svojej práci uvádzajú, že z priamo meraných veličín rýchlosť prúdu najlepšie vysvetľovala priestorovú distribúciu makrozoobentosu skúmaného toku. Vzhľadom na hodnoty tangenciálneho napätia (vyjadrený pomocou Fr a Re čísla) môžeme morfológické jednotky rozdeliť do dvoch skupín: s nízkymi hodnotami tangenciálneho napätia – priehlbiny, tíšiny, príbrežné plytčiny a lavice; a s vyššími hodnotami tangenciálneho napätia – plytčiny, výbehy, pereje a výmole. Podenky sa koncentrovali vo výmolech a plytčinách so stredne rýchlym a rýchlym prúdom nezávisle na hĺbke. Pošvatky výrazne preferovali morfohydraulické jednotky buď s malou hĺbkou, alebo s rýchlym prúdom. Po-

točníky preferovali jednotky s pomalým prúdom. Rozdielna distribúcia jednotlivých potravinových typov v rôznych morfohydraulických jednotkách je výsledkom vplyvu prúdu na rozdielnu distribúciu potravinových častíc. Drviče a tiež zberače – zhŕňače mali podobnú distribúciu, viac preferovali miernejšie prostredie lavíc, príbrežných plynčín a priehlbín. Pomerne vysoké zastúpenie mali zberače – zhŕňače aj vo výmoľoch, čo napovedá o vyššej kumulácii jemnej organickej hmoty v týchto štruktúrach.

Opačný trend osídlenia morfohydraulických jednotiek aktívnymi a pasívnymi filtrátormi odráža ich rozdielnu stratégiu získavania potravinových častíc z vodného stĺpca. Aktívni filtrátori majú na svojom tele filtračný mechanizmus na zachytávanie jemných organických častíc. Pasívni filtrátori si naproti tomu budujú siete alebo podobné štruktúry na zachytávanie potravinových čiastočiek (Moog 1995). Aktívni filtrátori (ako napríklad rod *Ephemera*) preto uprednostňujú jednotky s pomalým prúdom a nízkou hodnotou tangenciálneho napätia (*shear stress*), ako sú príbrežné plynčiny a lavice. Naproti tomu pasívni filtrátori (ako napríklad rod *Hydropsyche*) potrebujú silnejší prúd, a preto sú schopní udržať sa v prostredí s vysokou hodnotou tangenciálneho napätia, ako predstavujú napríklad výbehy a pereje.

Morfologické jednotky sú definované na základe geomorfologických znakov detekovaných priamo v teréne (Lehotský 2004). Otázne ale je, ako popis odlišných morfologických štruktúr zahŕňa skutočné podmienky prostredia dna toku priamo „vnímané“ makrozoobentosom. Analýza študovaného úseku Drietomice ukázala existenciu určitých trendov v distribúcii vybraných skupín organizmov v jednotlivých morfologických jednotkách, ale je ťažké vysloviť nejaké všeobecné závery. Geneticky rovnaké morfologické jednotky sa môžu navzájom líšiť rýchlosťou prúdu, hĺbkou a charakterom substrátu. Brooks et al. (2005) porovnali spoločenstvá v troch plynčinách skúmaného úseku toku. Plynčiny sa navzájom odlišovali hodnotami meraných parametrov a obývali ich rozdielne spoločenstvá makrozoobentosu. Typ prúdenia sme určili ako najvýznamnejší faktor ovplyvňujúci distribúciu vybraných skupín makrozoobentosu v Drietomici. Ordinačná (CCA) analýza ukázala, že distribúcia podeniiek, pošvatiek a potočníkov bola viac výsledkom vplyvu podmienok zahrnutých v definovaných typoch prúdenia ako v definovaných morfologických jednotkách. Spoločenstvá obývajúce prostredie s SW, SP a S typom prúdenia (pomalý prúd, nízke hodnoty Fr a Re) sa zreteľne odlišovali od spoločenstiev obývajúcich prostredie s R, USW a BSW typom prúdenia (rýchly prúd a vysoké Fr a Re).

Morfohydraulické jednotky charakterizované odlišným typom prúdenia mali odlišné charakteristiky (hĺbka, rýchlosť prúdu, Fr, Re) a boli obývané odlišnými spoločenstvami podeniiek, pošvatiek a potočníkov. Rowntree a Wadson (1998) vo svojej práci konštatovali, že odlišné prostredie, líšiace sa hydraulickými parametrami, obývajú odlišné spoločenstvá. Toto potvrdili následné práce viacerých autorov (napr. Quinn et al. 1996, Rempel et al. 2000, Méricoux a Dolédec 2004, Brooks et al. 2005, Urbanič et al. 2005) zaoberajúcich sa vzťahom vodných bezstavovcov k hydraulickým parametrom.

Typ prúdenia bol významne korelovaný s ostatnými premennými, z čoho môžeme usudzovať, že integruje viaceré parametre, ktoré pravdepodobne majú vplyv na distribúciu organizmov a odrážajú tak hodnoty tangenciálneho napätia, ktorému sú organizmy vystavené.

Porovnaním výsledkov získaných z morfológických jednotiek a typov prúde-
nia môžeme usudzovať, že vybrané skupiny organizmov (EPT) uprednostňovali
jednotky charakterizované strednými hodnotami rýchlosti prúdu, Fr a Re čís-
lom; boli menej početné v jednotkách s veľmi pomalým prúdom a nízkymi Fr a
Re číslom (napr. lavice) a v jednotkách s veľmi rýchlym prúdom a vysokými
hodnotami Fr a Re (napr. pereje). Na podrobnejšie preskúmanie, potvrdenie a
rozšírenie našich záverov je potrebný väčší počet štúdií a vzoriek z rôznych
morfológických a morfohydraulických jednotiek.

ZÁVER

Prezentovaný prístup slúži ako príklad prepojenia medzi geomorfológiou a
riečnou ekológiou a dovoľuje pochopiť štruktúru, distribúciu a kompozíciu eko-
topov, predstavujúcich potenciálne habitaty pre spoločenstvá vodných organiz-
mov. Jeho výsledkom je jednak mapové vyjadrenie prezentujúce mozaiku dna
koryta v ekologickej polohe a súčasne aj procedúra analýzy vzťahov medzi pa-
rametrami morfohydraulických jednotiek a spoločenstvami makrozoobentosu.
Mapa súčasne poslúžila ako nástroj podmieňujúci stratégiu výberu lokalít odbe-
ru vzoriek makrovertebrát. Vzorky sa odoberali cielene, nie náhodným výbe-
rom, z nami určených typov morfológických jednotiek, čím sa stratégia odberu
vzoriek odlišovala od doteraz zaužívaných (náhodné odbery na profiloch).
Exaktná analýza vzťahov medzi parametrami morfohydraulických jednotiek a
spoločenstvami zoobentosu jednak potvrdila predpokladané relácie, a súčasne
však odhalila polohy, do ktorých by mal smerovať výskum menej jednoznač-
ných vzťahov. Práca podobne naznačila aplikáciu tohoto prístupu v komplex-
nejšej rovine a rozšírením výskumu o ďalší článok potravinového reťazca eko-
systému dna koryta, a to spoločenstvá rýb. Súčasne očakávame, že takto konci-
povaný výskum prispeje k prehĺbeniu poznania a hodnotenia stavu riečnych
systémov.

*Príspevok bol vypracovaný v rámci vedeckého projektu č. 2/6040/26 finan-
covaného vedeckou grantovou agentúrou VEGA a projektu STAR, Contract No:
EVK1-CT 2001-00089.*

LITERATÚRA

- AMBRUŠ, B., BULÁNKOVÁ, E. (2005). Vplyv hydromorfológie toku Hrona na popu-
láciu rybníka riečného Alcedo atthis ispida (Coraciformes: Alcedinidae). *Acta Fa-
cultatis Ecologiae*, 13, 53-59.
- BITUŠÍK, P., NOVÍKMEC, M. (1997). Štruktúra makrozoobentosu Zbojského potoka
(BR CHKO Východné Karpaty). *Ochrana prírody*, 15, 127-139.
- BOVEE, K. D. (1982). A guide to stream habitat analysis using the instream flow incre-
mental methodology. *Instream Flow Information Papers*, 12, , Fort Collins, Colo-
rado (US Fish and Wildlife Service).
- BROOKS, A. J., HAEUSLER, T., REINFELDA, I., WILLIAMS, S. (2005). Hydraulic
microhabitats and the distribution of macroinvertebrate assemblages in riffles. *Hy-
drobiologia*, 50, 331-344.
- BULÁNKOVÁ, E. (2006). Hodnotenie riečnej morfológie Hrona pomocou metódy Ri-
ver Habitat Survey. *Acta facultatis ecologiae*, 14, (v tlači).

- BULÁNKOVÁ, E., KRNO, I., HALGOŠ, J. (2000). Makrozoobentos ako indikátor odprírodnenia povodia Hrona v regióne Žiarskej kotliny. *Správy Slovenskej zoologickej spoločnosti*, 18, 81-94.
- DERKA, T., KOVÁČOVÁ, J., BULÁNKOVÁ, E. (2001). Význam substrátu pre štruktúru vybraných taxocenóz makrozoobentosu rieky Rudava. *Folia Faunistica Slovaca*, 6, 59-68.
- DERKA, T., SZOMOLAI, V. (2000). Spoločenstvá makrozoobentosu na submerzných koreňoch pobrežných stromov v ramennej sústave na slovenskom úseku Dunaja. In Rulík, M., ed. *Sborník referátů XII. Limnologické konference*, Kouty nad Desnou (CLS a SLS), pp. 166-170.
- DOLLOFF, C. A., HANKIN, D. G., REEVES, G. H. (1993). *Basinwide estimation of habitat and fish populations in streams*. Report SE-83. Asheville, North Carolina (United States Department of Agriculture).
- FRISSELL, C. A., LISS, W. J., WARREN, C. E., HURLEY, M. D. (1986). A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing stream in watershed context. *Environmental Management*, 10, 199-224.
- GAVLASOVÁ, S., DERKA, T. (2004). Význam submerzných koreňov pobrežných drevín pre spoločenstvá makrozoobentosu rieky Jelešňa. *Acta Facultatis Ecologiae*, 12, 65-72.
- GREŠKOVÁ, A., LEHOTSKÝ, M. (2004). Priestorové štruktúry riečnej krajiny. In Měkotová, J., Štěrba, O., eds. *Říční krajina*, Olomouc (Palackého univerzita), pp. 44-51.
- HYNES, H. B. N. (1970). *The ecology of running waters*. Toronto (University of Toronto Press).
- KRNO, I. (1984). Vplyv znečistenia na taxocenózu pošvatiek (Plecoptera) potoka Vydrice (Malé Karpaty). *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Zoologia*, 27, 41-54.
- KRNO, I. (1996). Ecological factors influence on stoneflies distribution in various river basins of the Slovenský Kras (Karst) mountain range biosphere reserve. *Ekológia (Bratislava)*, 15, 261-281.
- KRNO, I. (2000). Makrozoobentos v povodí Bieleho Váhu, jeho pôvodnosť a prognóza jeho zmien. *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae*, 10, 197-205.
- KRNO, I., BULÁNKOVÁ, E., HALGOŠ, J. (1993). Present condition of water cleanliness in the river Váh (Lisková – Ľubochňa) in the vicinity of Ružomberok. *Acta Zoologica Universitatis Comenianae*, 37, 63-68.
- KRNO, I., ŠPORKA, F., GALAS, J., HÁMERLÍK, L., ZAŤOVIČOVÁ, Z., BITUŠÍK, P. (2006). Littoral benthic macroinvertebrates of mountain lakes in the Tatra Mountains (Slovakia, Poland). *Biologia*, 18, 147-166.
- KRNO, I., ŠPORKA, F., TIRJAKOVÁ, E., BULÁNKOVÁ, E., DEVÁN, P., DEGMA, P., BITUŠÍK, P., KODADA, J., POMICHAL, R., HULOVA, D. (1996). Limnology of the Turiec river basin (West Carpathians, Slovakia). *Biologia*, 2, 122.
- LEHOTSKÝ, M. (2004). River Morphology hierarchical Classification (RMHC). *Acta Universitatis Carolinae*, 39, 33-45.
- LEHOTSKÝ, M. (2005). Morfohydraulická jednotka ako báza habitatu. In Ryppl, J., ed. *Geomorfologický zborník 4 – Stav geomorfologických výskumů v roce 2005*. České Budějovice (Jihočeská univerzita), 67-70.
- LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2003). Geomorphology, fluvial geosystems and riverine landscape (methodological aspects). *Geomorphologia Slovaca*, 3 (2), 47-59.
- LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2004a). Riverine landscape and geomorphology: ecological implications and river management strategy. *Ekológia (Bratislava)*, 23, 179-190.
- LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2004b). Korytovo-nívné geosystémy a riečna krajina na prieskum a hodnotenie. *Geografie, Sborník české geografické společnosti*, 109, 277-288.

- LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2005). Základné klasifikačné systémy a morfometrické charakteristiky korytovo-nivných geosystémov. *Geomorphologia Slovaca*, 5 (1), 5-20.
- MADDOCK, I. (1999). The importance of physical habitat assessment for evaluation river health. *Freshwater Biology*, 41, 373-391.
- MÉRIGOUX, S., DOLEDRC, S. (2004). Hydraulic requirements of stream communities: a case study in invertebrates. *Freshwater Biology*, 49, 600-613.
- MONTGOMERY, D. R., BUFFINGTON, J. M. (1997). Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 109, 596-611.
- MOOG, O., ed. (1995). *Fauna aquatica austriaca. Wasswirtschaftskataster*, Wien (Bundesministerium für Land- und Fortwirtschaft).
- POFF, N. L., WARD, J. V. (1990). The physical habitat template of lotic systems: recovery in the context of historical pattern of spatio-temporal heterogeneity. *Environmental Management*, 14, 629-646.
- POOL, G.C. (2002). Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuum. *Freshwater Biology*, 47, 641-660.
- QUINN, J. M., HICKEY, C.W., LINKLATER, W. (1996). Hydraulic influences on periphyton and benthic macroinvertebrates: simulating the effects of upstream bed roughness. *Freshwater Biology*, 35, 301-309.
- RAVEN, P. J., FOX, P., EVERARD, M., HOLMES, N. T. H., DAWSON, F. H. (1997). River Habitat Survey: a new system for classifying rivers according to their habitat quality. In Boon, P. J., Howell, D. L., eds. *Freshwater quality: Defining the Indefinable?* Edinburgh (The Stationery Office), pp. 215-234.
- REMPEL, L., RICHARDSON, J., HEALEY, M. (2000). Macroinvertebrate community structure along gradients of hydraulic and sedimentary conditions in a large gravel-bed river. *Freshwater Biology*, 45, 57-73.
- ROWNTREE, K. M., WADESON, R. A. (1998). A geomorphological framework for the assessment of instream flow requirements. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1, 125-141.
- ŠPORKA, F., ed. (2003). *Vodné bezstavovce (makrovertebráta) Slovenska, súpis druhov a autekologické charakteristiky*. Bratislava (Slovenský hydrometeorologický ústav).
- TER BRAAK, C. J. F., ŠMILAUER, P. (1998). *CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows*. Ithaca (Microcomputer Power).
- THOMAS, D. S. G., GOUDIE, A. (2000). *The dictionary of physical geography*. Malden (Blackwell).
- THOMSON, J. R., TAYLOR, M. P., FRYIRS, K. A., BRIERLY, G. J. (2001). A geomorphological framework for river characterization and habitat assessment. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 11, 373-389.
- URBANIČ, G., TOMAN, M. J., KRUŠNIK, Č. (2005). Microhabitat type selection of caddisfly larvae (Insect: Trichoptera) in a shallow lowland stream. *Hydrobiologia*, 541, 1-12.
- VANNOTE, R. L., MINSHALL, G. W., CUMMINS, K. W., SEDELL, J. R., CUSHING, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 37, 130-137.
- WADESON, R. A., ROWNTREE, K. E. (1998). Application of the hydraulic biotope concept to the classification of instream habitats. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1, 143-157.
- WENTHWORTH, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392.

Anna Grešková, Milan Lehotský, Zuzana Pastuchová

SMALL STREAM CHANNEL BED MORPHOHYDRAULIC STRUCTURE AND MACROINVERTEBRATE COMMUNITIES

It is quite a long time since the river ecologists recognized the fact that the variety and abundance of biotic associations is determined by the heterogeneity of the physical abiotic environment.

The riverbed materializes the interactive linkages between the fluvial-morphological, hydrological-hydraulic and sedimenting processes in the 3D space (lateral, longitudinal and vertical dimensions) and in time. However, these are different and specific for distinct river reaches (types). The result is a very dynamic structure of morphological units, which forms the basis of habitats. The view that geodiversity is the key determinant of the structure and organization of biotic associations has been adopted by several developing currents in river ecology. The aim of the study is to create a map of geomorphic and morphohydraulic units as levels of the River Morphology Hierarchical Classification (RMHC), as well as to analyse the relationships of their hydraulic and substrate properties to macroinvertebrate communities of *Plecoptera*, *Ephemeroptera* and *Trichoptera*. The methodology applied in the study is based on the concept of the hierarchic structure of river morphology (RMHC), which provides the possibility to identify taxonomic spatial units important both, from the physical (abiotic) and the ecological aspects. In the RMHC seven levels are identified: 1. catchment, 2. zone, 3. segment, 4. channel-floodplain unit (river reach), 5. channel reach, 6. geomorphic unit, 7. morphohydraulic unit. The lowest level represents a spatially distinct in-stream environment determined by the geomorphic, hydraulic and substrate characteristics, such as the substratum type, flow type, flow velocity, water depth, the Froude and Reynold's number.

The identification procedure applied to the morphohydraulic structure of the riverbed is explained on the example of two river reaches (each of them about 200 m long) of the small stream Drietomica. The morphohydraulic habitat structure identification procedure is based on field research accompanied by application of the proper technology necessary for acquisition of experimental data by sophisticated methods. Subsequently, the data were statistically and cartographically processed (ArcView GIS). The field survey and mapping of morphohydraulic units were carried out in autumn 2004 and spring 2005. The banks of the riverbed of the explored river reaches were surveyed by the GPS. The key step in the field research was identification of morphological units that occur on the bottom of the Drietomica which represent specific manifestations of linkages existing between individual forms and processes. They were surveyed by laser distancemeter, while the distance from the initial profile, length and width of the unit were noted. After morphological units were mapped and defined, the step focused on identification of their textural faces followed. The type of substrate of the morphological unit was characterized by applying the Wentworth classification system, which agrees with the Slovak classification system stipulated by the technical standard. The texture and granulometric variability of the riverbed or the material on the surface of morphological units were established during the sample collection. The sedimentological survey was accomplished by the step-by-step method, which consists of sediment collection by the "tip of the boot" method at each step across the morphological units, while the size of substrate grains represents the axis of the "b" particle. Rectangular photographs of the collection sites were also made so that the granularity of the surface layers could be visually estimated. Apart from the granulometry of sediments and level of silting, the relative bottom roughness was also visually estimated. Hydrological variability in the studied river reaches was captured by means of assessing the type of water

flow of individual morphological units, flow velocity and water depth. The depth was measured by the classical wading rod, flow velocity or characteristics of the velocity field was established by magnetic velocity (flow) meter and the measurement was repeated (minimum twice for each identified morphologic unit). The taken values were statistically processed, values of Froude and Reynolds numbers that describe the stream turbulence and the nature of flow, as well as regression and correlation relationships between the flow type and independent variables (flow velocity, substrate and Fr a Re) were computed.

Macroinvertebrates were collected from identified morphological units by the hand net from an area of 0.125 m². Samples were washed through 250µm mesh sieve and preserved in formaldehyde. In the laboratory macroinvertebrates were sorted out, *Ephemeroptera*, *Plecoptera* and *Trichoptera* (EPT) were identified to the lowest identifiable level. Abundances of EPT, and ratio of feeding groups were calculated based on taxa-list (programme ASTERICS-AQEM/STAR Ecological River Classification System). Every sampling point was characterized by the mean flow velocity, depth, flow type, substratum type according to the Wentworth scale, geomorphic unit, the Reynolds and Froude number.

Canonical correspondence analysis (CCA) was performed to analyse the macroinvertebrate distribution and to relate the macroinvertebrate species compositions to the environmental variables using the program CANOCO. The ordination axes in CCA are chosen as linear combinations of the environmental variables. The option of downweighting the rare species was used, because emphasis was given to more commonly distributed species. To explore the significance of individual environmental variables, forward selection was used and the Monte Carlo permutation test (499 permutations, $P < 0,05$) was employed to assess their statistical significance. Prior to analyses, the data were $\log(x + 1)$ transformed and rare taxa were downweighted. Unpaired t-test ($P < 0,05$) was performed to compare abundances and feeding groups with regard to the flow type, and geomorphic unit. Regression analysis was carried out to find the relations between individual environmental factors.

The tightest relation was found between flow type and current speed ($R = 0,752$, $P < 0,001$) expressed by the formula:

$$\text{Flow velocity} = -17,471 + (25,131 * \text{flow type})$$

A close relation also was recognized between Fr and Re number :

$$\text{Fr} = -0,328 + (0,221 * \text{flow type}), R = 0,640; P < 0,001$$

$$\text{Re} = -27,358 + (42,038 * \text{flow type}), R = 0,620; P < 0,001$$

Substrate grain size type showed a somewhat weaker association to the flow type:

$$\text{Substrate grain size type} = 40,510 + (32,090 * \text{flow type}), R = 0,528; P < 0,001.$$

Concerning distribution of benthic invertebrates in different morphological units, *Ephemeroptera* was significantly most abundant in scours and riffles (average 660), followed by runs and edgewater (average 453). *Plecoptera* preferred riffles, edgewater, runs and scours to pools, glides, rapids and bars (average 40) compared with other units (average 11). *Trichoptera* was most abundant in edgewater (average 828), followed by runs (average 626). Overall abundance of EPT was significantly higher in edgewater, with the runs and scours occurrence similar to others, the lowest occurrence was in bar and rapids. In sum, *Ephemeroptera* concentrated in scours and riffles preferring middle and higher flow velocities regardless of depth. *Plecoptera* clearly preferred riffles and such habitats either with low depth (edgewater) or higher current speed (scours). *Trichoptera* were most abundant in slow running shallow habitats (edgewater). With regard to flow types, abundance of *Ephemeroptera* showed the significantly highest values in R flow type and decrease in other types. *Plecoptera* and *Trichoptera* abundances

reached their highest values in SW-SP flow type; however, these differences were not statistically significant. Consequently, the overall abundance reached the highest values in SW-SP flow type and R type.

In this study we confirmed the groups of EPT, that directly measured variables – depth, current velocity and substrate texture together with related variables – flow type, Re and Fr numbers influenced their spatial distribution in the studied stream. Comparing the results drawn from morphological units and flow types, it can be concluded that selected groups of organisms tended to gather in habitats characterized by medium values of flow velocities, Fr and Re numbers and were less abundant in habitats with very slow velocities and low Fr, Re (bars) and very high velocities, Fr and Re (rapids). In conclusion, different morphological units support different EPT assemblages, but the boundaries between them are not very clear. More studies involving more samples from different morphohydraulic units are required to confirm these conclusions.

English by the authors