

**GEOMORPHOLOGIA SLOVACA
et BOHEMICA**

Volume 16

2016

Issue 2

**Morfologické zmeny a manažment
divočiaco-migrujúceho vodného toku Belá**

**Anna KIDOVÁ
Milan LEHOTSKÝ
Miloš RUSNÁK**

*Association of Slovak Geomorphologists
The Czech Association of Geomorphologists
Institute of Geography, Slovak Academy of Sciences*

Volume 16, 2016 – Issue 2

Október, 2016

Hlavný redaktor / Editor - in - Chief

Milan Lehotský, Institute of Geography SAS, Bratislava, Slovak Republic

Výkonný redaktor / Editor

Ján Novotný, Institute of Geography SAS, Bratislava, Slovak Republic

Redakčná rada / Editorial Board

Pavel Bella, Slovak caves administration, Liptovský Mikuláš, Slovak Republic

Jaromír Demek, Research Institute for Silva Tarouca landscape and ornamental gardening,
Brno, Czech Republic

Christine Embleton – Hamann, University of Vienna, Austria

Ian S. Evans, Durham University, UK

Zdenko Hochmuth, Pavol Jozef Šafarik Univerzity in Košice, Slovak Republic

Jan Hradecký, University of Ostrava, Czech Republic

Juraj Hreško, Constantine the Philosopher University in Nitra, Slovak Republic

Philip Hughes, University of Manchester, UK

Jan Kalvoda, Charles University in Prague, Czech Republic

Karel Kirchner, Institute of Geonics, The Academy of Sciences of the Czech Republic

Kazimierz Klimek, University of Sosnowiec, Poland

Dénes Lóczy, University of Pécs, Hungary

Pavel Mentlík, University of West Bohemia, Plzeň, Czech Republic

Piotr Migoń, University of Wrocław, Poland

Jozef Minár, Comenius University in Bratislava, Slovak Republic

Miloš Stankoviánsky, Comenius University in Bratislava, Slovak Republic

Nicola Surian, University of Padova, Italy

Vít Vilímek, Charles University in Prague, Czech Republic

Redakcia / Editorial Office

Geomorphologia Slovaca et Bohemica, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava

Elena Zabadalová, e-mail: geogezab@savba.sk; tel. č.+421 02 575 10 216

Issues per year: 2

Articles are peer-reviewed

Evidence number: 3561/09 Ministry of Culture Slovak Republic

ISSN 1337 — 6799

IČO 31 781 195

ОБСАИ

Predslov	7
1. ÚVOD	8
2. ZÁKLADNÉ TEORETICKO-METODOLOGICKÉ VÝCHODISKÁ.....	9
3. VIACKORYTOVÉ RIEČNE SYSTÉMY - PODMIENKY VZNIKU, DEFINÍCIE A INDEXY	11
4. SKÚMANÉ ÚZEMIE.....	20
5. POUŽITÉ METÓDY	22
6. VÝSLEDKY	27
6.1 Hierarchická klasifikácia a antropogénne vplyvy.....	27
6.2 Morfológické zmeny podľa časových horizontov	32
6.3 Morfológické zmeny podľa korytových úsekov a časových horizontov	35
6.4 Porovnanie indukčného a deduktívneho prístupu pri určení prevládajúcej pôdorysnej vzorky	41
6.5 Analýza pôdorysnej štruktúry erózneho koridoru pomocou viacrozmernej deskriptívnej štatistiky	41
7. DISKUSIA	45
8. NÁVRH OPATRENÍ PRE MANAŽMENT	47
9. ZÁVER	52
LITERATÚRA	54
Internetové zdroje	59

Recenzenti:

RNDr. Paulína Pekárová, DrSc.

Ústav hydrológie SAV, Bratislava

Ing. Peter Pišút, CSc.

Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava

POĎAKOVANIE

Monografia bola vypracovaná v rámci vedeckého projektu č. 2/0020/15 financovaného vedeckou grantovou agentúrou VEGA.

PREDSLOV

„Naučiť sa vidieť je celé tajomstvo prírodných vied.“

George Sand
(1804 – 1876)

Krajina sa neustále mení a vyvíja pod vplyvom prírodných procesov ako aj pôsobením aktivít ľudskej spoločnosti. Jej udržateľný rozvoj nie je možný bez poznávania jej štruktúry, fungovania a vývojových trendov. Paradigma udržateľného rozvoja zasahuje do štúdia a manažovania krajiny vo veľmi širokom spektre – od skúmania jej substrátovo-hydrologických vlastností, cez geomorfologické pomery a pôdy, biotu a krajinnú pokrývku, procesy urbanizácie, využívanie prírodných zdrojov, ekonomické a sociálne aspekty až po poznávanie správania človeka. Implantovanie tejto paradigmy si vyžaduje jednak prehĺbovanie poznatkov o krajine v každej zo spomínaných oblastí, jednak odhaľovanie a kreovanie predovšetkým integrálnych prístupov jej poznávania.

Jedným z najvýznamnejších prvkov, ktoré determinujú charakter krajiny je aj tečúca voda a jej systémy – riečne systémy. Práve tieto, hlavne v súvislosti so zvýšeným výskytom povodní v poslednom období, sa stávajú vo svete jedným z najaktuálnejších objektov výskumu. Súčasťou celosvetového trendu ochrany riečnej krajiny pred povodňami a jej udržateľného manažmentu je aj poznávanie jej morfolologickej bázy. Divočiaci vodný tok je fascinujúci fluvialny systém, charakteristický komplexnou dynamikou prúdenia vody a sedimentov v uzloch spájajúcich a rozdeľujúcich ramien a ich migráciou v rámci nivy. Migrujúce rieky predstavujú prechod medzi meandrujúcimi a divočiacimi riekami a sú charakteristické typickými vlastnosťami oboch. Majú menej aktívnych korýt a lavíc ako divočiace rieky. Divočiace a migrujú-

ce fluvialne systémy nachádzame na mnohých miestach Zeme. Najčastejšie sa vyskytujú v arktických regiónoch a v predhoriach alpínskych regiónov, ktoré sú charakteristické vysokým úhrnom zrážok a vysokou energiou reliéfu generujúce dostatočne vysoké prietoky a množstvo sedimentov. Taktiež sa vyskytujú v subtropických i tropických oblastiach s nesúdržnými výplňami dŕh dolín a výskytom intenzívnych sezónnych zrážok. Vysoká morfologická komplexita takýchto vodných tokov sa zvyšuje koexistenciou niekoľkých priestorových štruktúr kontrolovaných rozdielnymi priestorovo-časovými škálami. Zložitá priestorová mozaika a vysoká dynamičnosť správania sa divočiacych a migrujúcich vodných tokov podmieňuje ich špecifickú ekologickú a biologickú unikátnosť.

Myslíme si, že predkladaná publikácia zaoberajúca sa výskumom morfológie divočiaceho a migrujúceho vodného toku realizovanom vo veľkej mierke a využívajúcom moderné technológie generovania a spracovania dát a ich prezentácie, sa po publikovaní morfologicko-sedimentového výskumu horského vodného toku v tomto časopise (*Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, Vol. 14, 1, 2014) zaraďuje do série prác prezentujúcich ďalšiu oblasť výskumu reliéfu vodných tokov, ktorá má vo svete svoje etablované miesto.

Za posúdenie rukopisu monografie ďakujeme recenzentom *RNDr. Pauline Pekárovej, DrSc.* z Ústavu hydrológie Slovenskej akadémie vied v Bratislave a *Ing. Petrovi Pišútovi, PhD.* z Katedry fyzickej geografie a geoekológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave, ktorých cenné rady a pripomienky pomohli k jeho skvalitneniu.

*Autori**

*Geografický ústav Slovenskej akadémie vied, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava, Slovensko,
e-mail: geogkido@savba.sk; geogleho@savba.sk; geogmilo@savba.sk

1 ÚVOD

Pri integrovanom poznávaní a hodnotení vodných tokov ako súčasti krajiny vyplýva aj potreba aplikácie geomorfologických prístupov. Poznávanie morfológických vlastností ako bázy pre riešenie problémov ochrany, renaturácie a revitalizácie vodných tokov je trendom vo všetkých vyspelých krajinách a tento trend sa odzrkadľuje aj vo fluvialno-geomorfologickom výskume na Slovensku. Takýto výskum vychádza predovšetkým z detekovania zmien morfológie bázy vodných tokov, hľadania príčin týchto zmien ako aj zisťovania trendov vývoja a zdravotného stavu riek. Výskum venovaný riečnym systémom sa uskutočňuje aj za účelom poznávania ich prírodnej diverzity a pochopenia ich súčasného, ale i budúceho stavu v meniacich sa environmentálnych podmienkach v súčasnosti spájaných hlavne s výskytom extrémnych povodní, antropogénnym vplyvom a manažmentom povodí.

Pôdorys viackorytových vodných tokov sa formuje na základe fyzicko-geografických podmienok prostredia, v ktorom sa nachádzajú (geológia, tektonika, hydrologicko-klimatický faktor) a predstavuje výsledný efekt správania a prispôbovania sa koryta a nivy týmto podmienkam. Mechanizmus erózie, transportu a akumulácie sedimentov s periodicitou vlastnou divočiacim a migrujúcim vodným tokom len

podčiarkuje ich unikátnosť a reakciu na holocénne cyklické zmeny klímy. Vo všeobecnosti sa najvýraznejší vplyv na nedávnu zmenu morfológie koryta vodných tokov datuje do obdobia malej doby ľadovej (16. – 19. storočie), kedy humidná klíma zapríčinila zvýšenie prietokov a častejší výskyt extrémnych povodňových udalostí sprevádzaných masívnou laterálnou eróziou korýt, čo podmienilo rozvoj viackorytových riečnych systémov. Keďže riečne systémy poskytujú pre spoločnosť mnohé benefity (zdroj vody, energie, doprava, potrava a pod.), v minulosti boli a aj v súčasnosti sú najviac ovplyvňované činnosťou človeka (protipovodňové úpravy, ťažba štrkov, hydrotechnické zásahy, zmena využívania krajiny).

Cieľom práce je stručne prezentovať základné charakteristiky morfológických vlastností divočiacych a migrujúcich vodných tokov, na základe mapových podkladov a údajov z diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) v časovej a priestorovej dimenzii identifikovať zmeny morfológie vodného toku Belá s divočiaco-migrujúcou pôdorysnou vzorkou koryta za posledných 180 rokov (1823 – 2009) a navrhnúť opatrenia na zlepšenie manažmentu riečneho koridoru uvedeného vodného toku.

2 ZÁKLADNÉ TEORETICKO-METODOLOGICKÉ VÝCHODISKÁ

V minulosti bola riečna krajina a vodné toky skúmané väčšinou z biologicko-ekologického aspektu, aspektu kvantity a kvality vody a aspektu protipovodňovej ochrany s dominujúcim inžinierskym prístupom. V súčasnosti sa trend jej poznávania a manažmentu mení a metodologicky vychádza z holistického prístupu a konceptu udržateľnosti. Jedným zo základných stavebných kameňov tohto prístupu je aj poznávanie geomorfologických vlastností riečnej krajiny (napr. LEHOTSKÝ a GREŠKOVÁ 2003). V súvislosti s paradigmou udržateľnosti, klimatickými zmenami, revitalizačnými a renaturačnými snahami vo svete už dávnejšie prebieha úzka spolupráca fluvialnych geomorfológov, krajinných ekológov, hydrológov a hydrobiológov v etape integrovaného výskumu a manažmentu vodných tokov, riečnej krajiny a povodí.

V rámci Európskej únie sa komplex aktivít zameraných na zlepšenie stavu všetkých povrchových tokov a nív v povodí sústreďuje v Rámцovej smernici o vodách 2000/60/EÚ (*Water Framework Directive*). Jej cieľom je dosiahnutie udržateľného stavu vôd definovaného biologickými, fyzikálno-chemickými a hydromorfologickými prvkami na báze adekvátneho poznania prírodného systému riek a ich nív, vzájomnej spolupráce prírodovedných disciplín, ich spolupráce s technickými disciplínami a riadiacou sférou, ako aj verejnosťou (LEHOTSKÝ a GREŠKOVÁ 2006).

Základy pre moderné systémové chápanie vodných tokov, ako veľmi dynamickej geomorfologickej entity, boli podľa GREŠKOVÁ a LEHOTSKÝ (2004b) položené prácami LEOPOLD a WOLMAN (1957) a SCHUMM a LICHTY (1965) a zrodom fluvialnej geomorfológie ako disciplíny dynamickej geomorfológie.

Procesy ovplyvňujúce charakter vodného toku, riečneho koridoru a ich priestorových systé-

mov môžeme rozdeliť podľa pôvodu na procesy prírodnej povahy (prirodzené procesy) a procesy spôsobené činnosťou človeka (antropogénne podmienené procesy).

Koryto vodného toku zosobňuje interaktívne väzby medzi fluvialno-morfologickými, hydraulickými a sedimentačnými procesmi v štvor-rozmernom priestore, t. j. laterálnej, longitudinálnej, vertikálnej a časovej dimenzii. Správanie sa rieky v geomorfologickom slova zmysle je chápané ako prispôsobovanie sa jej morfológie eróznym a depozitným mechanizmom, prostredníctvom ktorých voda utvára, pretvára a reorganizuje fluvialne formy reliéfu, vytvárajúc pritom špecifickú priestorovú štruktúru (BRIERLEY a FRYIRS 2005, LEHOTSKÝ 2005). Koryto každého vodného toku má tendenciu postupného prirodzeného ustaľovania, kedy za stáleho prispôsobovania určitému pretekajúcemu množstvu vody a sedimentov smeruje k dosiahnutiu rovnovážneho stavu (*equilibrium*). Tento stav, ako produkt evolúcie koryta, by nemal byť chápaný ako „konečný stav“, ale ako procesne podmienený stav dynamickej (metastabilnej) rovnováhy (GREŠKOVÁ a LEHOTSKÝ 2006). Procesy prírodnej povahy väčšinou pôsobia v rámci rozpätia stavu dynamickej rovnováhy systému a majú určitý samo-regulačný potenciál obnovy a návratu do pôvodnej podoby. Divočiacie a migrujúce vodné toky sa v hraniciach metastabilnej rovnováhy správajú chaoticky, a ak v nich začínajú dominovať pozitívne spätné väzby ich dočasná nestabilita vedie k novému, chaotickému stavu – ďalšej fáze divočenia (GOUDIE ed. 2004). Takýto nelineárny, fluktuujúci riečny systém sa prejavuje novými vlastnosťami (emergenciami) naznačujúcimi jeho prechod do nového stavu, resp. na vyššiu úroveň organizovanosti, pričom významnú úlohu tu zohrávajú „zvláštne atrakto-

ry“ – vplyvy a impulzy. Tieto možno odhaľovať na základe princípov teórie komplexity (NICOLIS a PRIGOGINE 1977, JANTSCH 1980) umožňujúcej lepšie pochopenie nelineárneho správania vývoja divočiach vodných tokov (GOUDIE ed. 2004).

Antropogénne procesy môžu pôsobiť samostatne, alebo čo je častejší prípad, simultánne, vo vzájomne sa zosilňujúcom spolupôsobení s prírodnými procesmi. Práve tým sa vytvára priestor pre zmeny pôvodnej štruktúry vodného toku a jeho ekologických funkcií. Za obdobie posledných desiatok až stoviek rokov bola dynamika v mnohých fluvialných systémoch značne ovplyvnená ľudskými zásahmi v podobe zmien vo využívaní riečnej krajiny a povodia (SURIAN a RINALDI 2003). Pri narušení prirodzeného vývoja koryta vodného toku v dôsledku antropogénnych vplyvov sa v procese adaptácie na zmenené podmienky vyskytuje určitá charakteristická postupnosť morfológických zmien koryta, podľa ktorých môžeme definovať jeho súčasné vývojové štádium a prognózovať jeho vývoj do budúcnosti (HALAJ 2004). Z hľadiska hydromorfologického hodnotenia „Rámcová smernica o vode“ určuje ukazovatele a kritéria významnosti vplyvu (PEDERSEN et al. 2004), ktorými sa interpretuje narušenie laterálnej a longitudinálnej štruktúry vodného toku. Pochopenie týchto zmien si vyžaduje generovanie a kategorizáciu dát, ktorými je možné identifikovať priestorovo i časovo faktory, ktoré ich vyvolávajú. Zmeny morfológie riek vyvolané človekom predstavujú jednu z aktuálnych oblastí výskumu fluvialnej geomorfológie. BRIER-

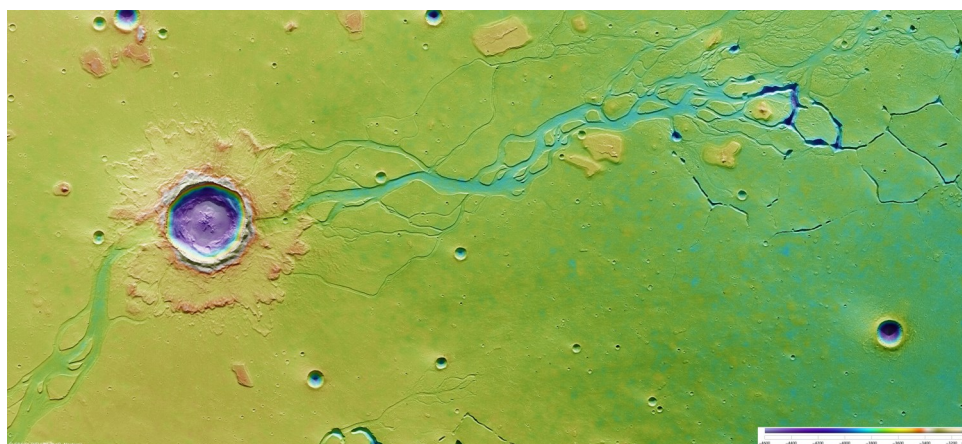
LEY a FRYIRS (2005) rozlišujú priame a nepriame antropogénne podmienené zmeny riečnych systémov. Medzi priame zmeny bezprostredne ovplyvňujúce charakter koryta zaraďujú: regulácie, ťažbu korytových sedimentov, odstraňovanie zvyškov dreva a ripariálnej vegetácie, budovanie priehrad a nádrží, odvádzanie vôd do iných systémov (napr. závlahy). Nepriame zmeny sú vyvolané zmenou štruktúry krajiny pokrývky, technikou aplikovanou v poľnohospodárstve, lesníctve a pod., urbanizáciou, výstavbou budov, infraštruktúry a dopravných systémov a napokon aj banskou činnosťou. Úpravy vodných tokov ako priame zásahy do riečného systému sú všeobecne chápané ako súbor vodohospodárskych, lesníckych, poľnohospodárskych prípadne iných zásahov a opatrení na tokoch (vrátane prítokov a povodia), ktorými sa zabráňuje škodlivosti tokov, zmierňujú alebo odstraňujú vzniknuté škody a dosahuje sa väčšia užitočnosť vodných tokov. Podľa HALAJA (2004) technicky dokonalé riešenia úprav nie vždy splňajú požiadavky kladené na vytvorenie vhodných podmienok pre zachovanie udržateľného stavu vodného toku. Úpravy tokov však neovplyvňujú len biotické, ale aj ich morfológické (vnútrokorytové) vlastnosti. Vnútrokorytové prostredie je závislé na celkovom stave povodia a v súvislosti s antropogénnymi vplyvmi sa mení aj jeho kvalita, režim a štruktúra. Absencia integrovaných prístupov pri navrhovaní technických opatrení v minulosti súvisela s úrovňou vedeckého poznania a prioritami v celospoločenských záujmoch a to nie len u nás, ale aj v ostatných krajinách Európy i sveta.

3 VIACKORYTOVÉ RIEČNE SYSTÉMY - PODMIENKY VZNIKU, DEFINÍCIE A INDEXY

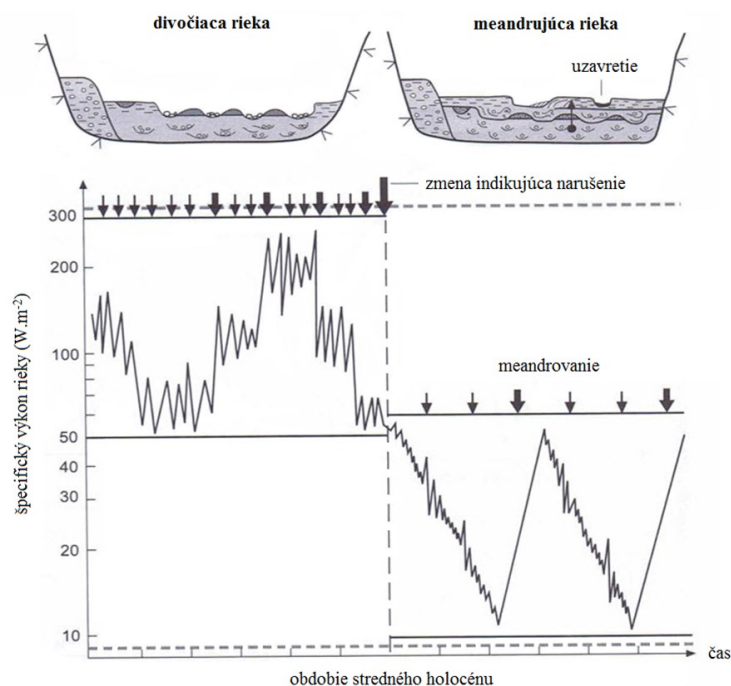
V období Silúru, pred 443 až 417 milión rokmi, boli divočiace vodné toky dominantnými riečnymi systémami na Zemi (SCHUMM 1968). Vzory ich pôdorysnej štruktúry boli spozorované aj na povrchu planéty Mars (**Obr. 1**). Tak ako na zemskom povrchu, aj na dne oceánov a jazier prebiehajú vplyvom prúdenia vody morfológické zmeny, no napriek tomu je pod vodnou hladinou vzor divočenia vzácny až absentujúci (GOUDIE ed. 2004). Množstvo riek schopných veľkého transportu sedimentov s charakteristickým divočiace pôdorysom sa formovalo v glaciálnom období (BRIERLEY a FRYIRS 2005). V skoršom postglaciáli (obdobie mladého holocénu) veľké množstvo sedimentov, vysoká variabilita prietokov a nepatrná vegetačná pokrývka napomáhali rozvoju divočiacych riečnych systémov. Počas stredného holocénu (obdobie Atlantiku a Epiatlantiku, KOZARSKI a ROTNICKY 1977, STARKEL

1991) a neskôr po malej dobe ľadovej (PIŠÚT 2002, PIŠÚT a TOMČÍKOVÁ 2008, PIŠÚT et al. 2016) sa divočiace rieky so splaveninovým typom sedimentovej záťaže pretransformovali na meandrujúce riečne systémy so zmiešaným (plavenino-vo-splaveninovým) typom sedimentovej záťaže (**Obr. 2**). V súčasnosti divočiace a migrujúce fluválne systémy nachádzame na mnohých miestach Zeme. Najčastejšie sa vyskytujú v arktických regiónoch a v predhorách alpínskych regiónov charakteristických vysokým úhrnom zrážok a vysokou energiou reliéfu v pramenných oblastiach generujúcich dostatočne vysoké prietoky a dostatočné množstvo sedimentov. Taktiež sa vyskytujú v subtropických i tropických oblastiach s nesúdržnými výplňami dŕn dolín a výskytom intenzívnych sezónnych zrážok.

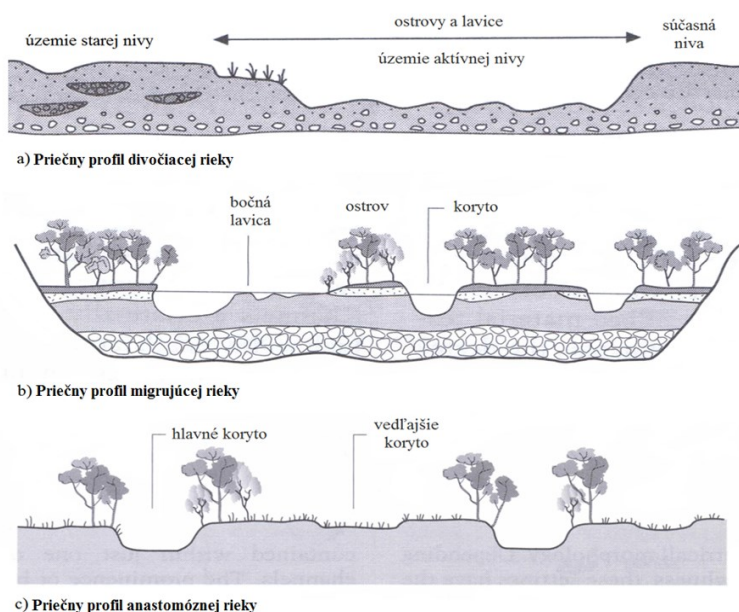
Počiatočnú vývojovú etapu viackorytového systému predstavuje priame koryto. Zvyšovanie



Obr. 1 Dopad asteroidov a komét na planétu Mars podmienil vznik divočiaceho charakteru prúdenia roztavenej zmesi horniny a ľadu na jeho povrchu (výška terénu: zelené a žlté odtiene predstavujú plytké pôdy, modrá a fialová hlboké depresie cca 4 km). Foto: ESA („The flood after the impact“, 28.12.2007)



Obr. 2 Prechod laterálne neuzavretej divočiacej rieky na meandrujúcu, modifikované podľa BRIERLEY a FRYIRS (2005). K zmene dochádza narušením vnútorných hraničných podmienok. Počet šípok znázorňuje frekvenciu zmeny, ich veľkosť jej magnitúdu. Tvar krivky divočiacej rieky predstavuje presun koryta, meandrujúcej rieky vyplňanie korýt sedimentom.



Obr. 3 Priečne profily viackorytových riečnych systémov modifikované podľa BRIERLEY a FRYIRS (2005).



Obr. 4 Akumulácie mŕtveho dreva vytvárajú v koryte Belej prirodzenú prekážku, ktorá podmieňuje vznik avulzií (Foto: KIDOVÁ 2009).

prísunu sedimentov vedie k jeho rozšíreniu a/alebo k agradácii sedimentov na jeho dne, t.j. k jeho divočeniu. Z takéhoto predpokladu vychádza aj teoretický model o vývoji viackorytovej pôdorysnej vzorky podľa BRIDGE (1985). Divočiacie korytá odzrkadľujú podmienky s veľkým zdrojom sedimentov úmerné kapacite ich transportu. Migrujúce rieky predstavujú prechod medzi divočiacimi a meandrujúcimi systémami, pričom sú pre ne typické prvky oboch. Ich výskyt sa spája s miestami, kde dochádza k zmene sklonu údolnice alebo charakteru dnového materiálu. Podmienkou pre vznik takejto pôdorysnej vzorky je prísun hrubozrnného materiálu, ktorý umožňuje vývoj lavíc vplývajú aj na usporiadanie prúdenia. Treba mať na zreteli, že divočiacie rieky predstavujú aktívne korytá so štrkovými dnovými sedimentami, ktoré môžu mať mocnosť niekoľko metrov až desiatok metrov a sú až niekoľko kilometrov široké. Podľa GRAY a HARDING (2007) môžeme divočiacie a migrujúce riečne systémy vo vzťahu k podmienkam povodia geneticky rozdeliť do dvoch tried: a) vznikajúce v podmienkach, kedy ich zdrojové zóny obsahujú dostatok erodovateľného materiálu, najčastejšie v oblastiach s glaciálnou alebo post-glaciálnou modeláciou alebo v oblastiach s aktívnymi horotvornými procesmi, b) vznikajúce v podmienkach s výdatnými zrážkami v horských polohách so strmými horskými hrebeňmi schopnými vytvárať si vlastnú klímu.

Vo všeobecnosti sa podľa pôdorysnej vzorky rozlišujú tri typy viackorytových vodných tokov, a to divočiacie, migrujúce a anastomózne. Ich definíciám sa venovala podrobnejšie práca KIDOVÁ a LEHOTSKÝ (2012), a preto uvedieme len niektoré fakty poukazujúce na odlišnosti uvedených typov a definície z názvoslovia morfológie vodných tokov (LEHOTSKÝ et al. 2015). Divočiaci vodný tok opisujú ako vodný

tok s vyšším sklonom, výrazne premenlivým prietokom, s dostatočným prísunom hrubozrnného (štrkového až balvanovitého) alebo jemnozrnného (piesčitého) materiálu vytvárajúci systém viacerých aktívnych (často meniacich polohu) veľmi plytko zarezaných korýt od seba oddelených nestabilnými lavicami, vytvárajúcimi typickú zapletenú nepravidelne klukatú pôdorysnú vzorku. Dominuje bočná (laterálna) erózia, pričom hĺbková (vertikálna) erózia toku je minimálna. Migrujúci vodný tok podľa LEHOTSKÝ et al. (2015) predstavuje vodný tok s viacerými vetviacimi a opätovne spájajúcimi s aktívnymi ramenami. Migrácia nastáva obvykle v miestach, kde rieka opúšťa zovretú dolinu a priteká do širokej doliny alebo kotliny. V týchto úsekoch sa znižuje spád rieky a hlavne vplyvom avulzie dochádza k premiestňovaniu koryta v laterálnom smere. Typický je preň výskyt riečnych ostrovov. Anastomózný typ predstavuje rozvetvujúci sa vodný tok s nízkou energiou, jemnozrnnými plaveninami, dnovými splaveninami a alúviom. Niekedy sa používa aj na všeobecné pomenovania rozvetvujúceho sa vodného toku (LEHOTSKÝ et al. 2015).

BRIERLEY a FRYIRS (2005) dokazuje odlišnosti divočiaceho, migrujúceho a anastomózneho vodného toku na základe ich priečných profilov (Obr. 3). Rýchlo sa meniaci prietokový režim divočiacej rieky zvyšuje jej výkon, čím sa zabezpečuje transport veľkého množstva sedimentov a erózia brehov. Typický špecifický výkon divočiacej rieky je $30 - 100 \text{ W.m}^{-2}$ (CHURCH 1983). Migrujúce rieky majú podľa (BRIERLEY a FRYIRS 2005) menej aktívnych korýt a lavíc ako divočiacie rieky, resp. je možné identifikovať dominantné koryto. Korytá sú laterálne aktívne s mierne veľkým pomerom šírky/hĺbky a spolu s divočiadou riekou sa zaraďujú medzi vodné toky s vysokou energiou. Podľa

CHARLTON (2008) je sklon koryta menší ako pri divočiach korytách. Anastomózne, rozvetvujúce sa vodné toky sa vyskytujú v podmienkach s nižším sklonom a v transporte sedimentov prevažujú plaveniny (BRIERLEY a FRYIRS 2005). Korytá takéhoto viackorytového systému sú oddelené ostrovmi stabilizovanými stromovou vegetáciou (KNIGHTON a NANSOON 1993, BRIERLEY a FRYIRS 2005). Ich relatívne stabilný viackorytový pôdorys (SMITH et al. 1989, NANSOON a KNIGHTON 1996, JAIN a SINHA 2004, BRIERLEY a FRYIRS 2005) je podmienený hlavne kohezívnym charakterom sedimentov nivy.

V súvislosti s klasifikovaním viackorytových riečnych systémov je relevantná interpretácia a chápanie rozdielu medzi lavicami a ostrovmi. Rozdiel medzi lavicou a ostrovom v rámci divočiaceho a migrujúceho vodného toku sa vo svojej práci pokúša vysvetliť BRICE (1964). Lavice charakterizuje ako formy bez vegetácie, ktoré sú na rozdiel od vegetáciou pokrytých a nezaplavovaných ostrovov, počas stavu plného koryta zaplavené. BRIDGE (1993) zdôrazňuje aj časovú závislosť stupňa pokrytia vegetácie centrálnych lavíc. Počas neinundačného obdobia je vegetácia schopná ich kolonizovať, zachytávať riečne sedimenty a vytvoriť si vlastnú mikroklimu a tak potenciálne predurčovať ich vývoj do ostrovej formy.

Podľa upravenej definície BRIERLEY a FRYIRS (2005) je správanie vodného toku v geomorfologickom slova zmysle chápané ako prispôsobovanie sa jej morfológie eróznym a depozitným mechanizmom, prostredníctvom ktorých voda utvára, pretvára a reorganizuje fluvialne formy reliéfu (morfológické jednotky), vytvárajúc pritom na taxonomickej úrovni korytovo-nivnej jednotky ich charakteristické súbory so špecifickou priestorovou štruktúrou. Prebiehajúce procesy môžeme v riečnom systéme sledovať ako zmeny v dvoch úrovniach, a to na úrovni nivy a na úrovni koryta.

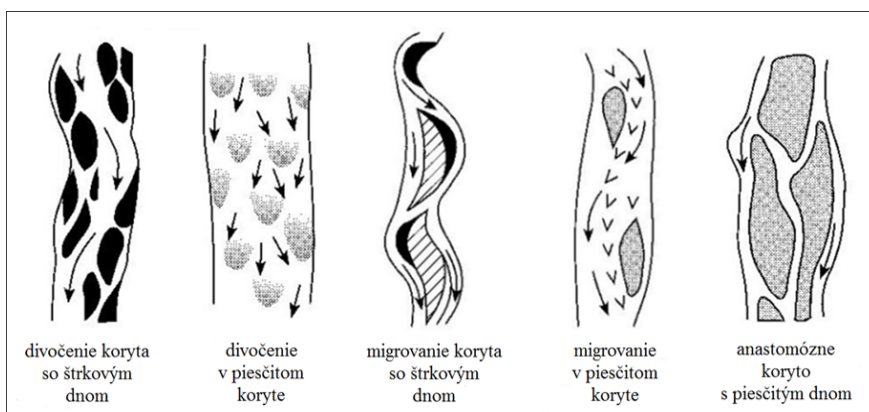
Divočiace rieky sú vysoko dynamické riečne systémy vyznačujúce sa častou zmenou pozície koryta v rámci pásu divočenia (CHARLTON 2008). Individuálne korytá divočiach riek sú podľa FERGUSON (1993) charakterizované rovnakými fluvialnymi procesmi a morfológickými zmenami ako aluviálne meandrujúce korytá. Brehová erózia v konvexnej časti zákrut bočných ramien býva v nesúdržných sedimentoch pomerne rýchla a môže spôsobovať rozširovanie koryta alebo podmieniť zmeny pozície koryta na dne doliny a súčasne fungovať ako zdroj sedimentov pre vytváranie lavíc (ASHWORTH a FERGUSON 1986, BAUMGART-

KOTARBA 1987, THORNE et al. 1993). S výnimkou vonkajších hraníc divočiaceho pásu vedľajšie korytá nie sú schopné vyššieho stupňa kľukatenia (FERGUSON 1993).

Divočiace vodné toky sú laterálne nestabilné a náchylné k reokupácii starých alebo formovaniu nových koryt. Za znak laterálnej nestability koryta sa považuje proces avulzie výsledkom, ktorého je premiestnenie, presunutie koryta do novej trasy na nive (SCHUMM 1985). Všeobecne sa rozlišujú tri rády avulzie: avulzia prvého rádu predstavuje presunutie sa jednoduchého koryta do inej trasy, avulzie druhého a tretieho rádu sú charakteristické pre viackorytové riečne systémy a sú charakteristické presúvaním a transformáciou lavíc, t.j. zmenou pozície hlavného koryta (BRIERLEY a FRYIRS 2005). Príčinou avulzií môžu byť lokálne tektonické pomery, zmena prietoku a sedimentovej záťaže, brehové a svahové poruchy, akumulácie zvyškov mŕtveho dreva a ľadové bariéry (Obr. 4).

Niva divočiacej rieky so štrkovým dnovým materiálom je formovaná migráciou a avulziami prebiehajúcimi v páse divočenia, je náchylná k pretváraniu a reokupácii starých koryt. Do nej sú začleňované aj vyššie lavice vzniknuté počas vysokých prietokov (BRIERLEY a FRYIRS 2005). Charakter nivy viackorytového riečneho systému je teda podmienený kombináciou procesov vertikálnej a laterálnej akrecie. Laterálna akrecia v rámci koryta predstavuje ukladanie sedimentov v podobe vrcholovej lavice na konvexnej strane zákrut. Tento materiál je pri migrácii koryta zviazaný s nivou, ale výsledkom sú geomorfologické štruktúry geneticky viazané ku korytu. Mimokorytová vertikálna akrecia predstavuje depozíciu sedimentov na nive, ku ktorej dochádza pri vyliatí vody z koryta a počas jej ústupu späť do koryta. Zrznosť a mocnosť sedimentov vertikálnej akrecie súčasne ovplyvňuje aj sukcesiu, rast a skladbu vegetácie na nive. Vertikálna akrecia divočiaceho koryta je špecifickým typom akrecie a prejavuje sa ukladáním sedimentov na vrchole centrálnych lavíc a zvyčajne podmieňuje vývoj stabilných ostrovov.

Pochopenie vplyvu rozdielných prietokov a identifikácia koryto formujúceho prietoku bolo už v minulosti predmetom výskumu mnohých prác (napr. WOLMAN a MILLER 1960, WOLMAN a GREARSON 1978, PICKUP a RIEGER 1979, LEWIN 1989, RICHARDS 1999). Na rozdiel od kľukatiacich vodných tokov s jednoduchým korytom, v ktorých kľúčové procesy prebiehajú v rámci celej škály prietokov, u divočiach vodných tokoch sa väčšina

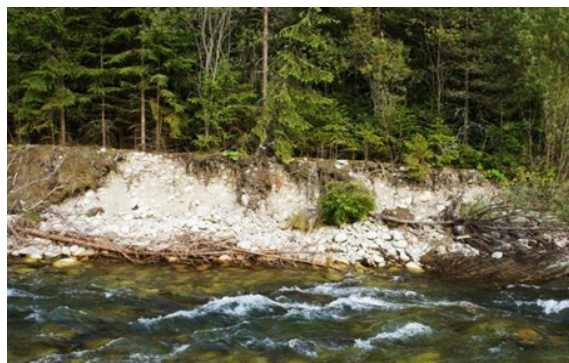


Obr. 5 Pôdorysné variácie na základe rozdielného dnového materiálu modifikované podľa CHURCH (1992) a SCHUMM (1977), upravili BRIERLEY et al. (2002).

korytových zmien asociuje so zmenami dnovej morfológie len pri vysokých prietokoch (SMITH 1974, RUST 1978, ASHMORE 1982). LANE (1955) a LEOPOLD a WOLMAN (1957) zistili, že na základe vzťahu medzi prietokom a sklonom dna môžu definovať hranicu, podľa ktorej je možné rozdeliť vodné toky, ktoré majú tendenciu formovať sa do podoby rozvetvených alebo jednoduchých kľukatiacich pôdorysných vzoriek. Z empirických poznatkov vyplýva, že na formovaní koryta sa podieľajú všetky prietoky, pri ktorých nastáva pohyb splavenín. Avšak nie všetky prietoky sa rovnakou mierou podieľajú na procese formovania koryta. Veľké prietoky majú síce veľký výkon a vymieľacu schopnosť a pri veľkom objeme transportujú veľké množstvo materiálu, avšak vyskytujú sa zriedkavo a trvajú spravidla krátko, preto nemajú dostatočný čas na pretváranie koryta, resp. spôsobujú iba epizodické pretvorenie koryta. Naproti tomu, malé prietoky vyskytujúce sa oveľa častejšie a pretrvávajú dlhšie, nemajú na výraznejšie pretváranie morfológie koryta

dostatok energie. Je to práve prietok plným korytom, ktorý sa vyskytuje dostatočne často a je dostatočne účinný na to, aby vykonal najväčší objem geomorfologickej práce pri utváraní tvaru a veľkosti koryta (GREŠKOVÁ a LEHOTSKÝ 2006). Avšak možno konštatovať, že u divočiach a migrujúcich riečnych systémoch je pre ich morfológiu okrem prietoku plného koryta významné aj epizodické pretváranie koryt vysokými prietokmi. Pri zvyšujúcom sa prietoku je viackorytový systém čoraz menej fragmentovaný, nastáva komplexnejšie prepojenie medzi jednotlivými ramenami a distribúcia sedimentov je drsnosťou dna nevyrovnaná (RICHARDSON 1997).

Pri vysokých prietokoch, kedy prebieha najväčší transport riečnych sedimentov, korytá divočiach vodných tokov sú vymývané a dnový materiál je odnášaný do nižších častí povodia. Centrálna lavica sú zväčša erodované celé. Naopak počas menších prietokov prebieha v koryte maximálna sedimentácia, na dne dochádza k agrádácii a modifikácii nových foriem. Rých-



Obr. 6 Balvanovitý až štrkovitý nekohézny materiál brehov Belej v hornej (vľavo) a v dolnej časti (vpravo) ľahko podlieha erózii, čím podmieňuje laterálnu nestabilitu koryta (Foto: KIDOVÁ 2009).

losť agradácie podľa BENTHAM et al. (1993) závisí od zdroja sedimentov, klimatických a tektonických podmienok, kedy dochádza k formovaniu nových alebo zväčšovaniu už existujúcich lavíc. Ak sa prietok ďalej znižuje, niektoré centrálné lavice sú rozbrázené prúdiacou vodou, formujúce tak tretí rád avulzie a jemnejšiu textúru divočenia (BRISTOW a BEST 1993).

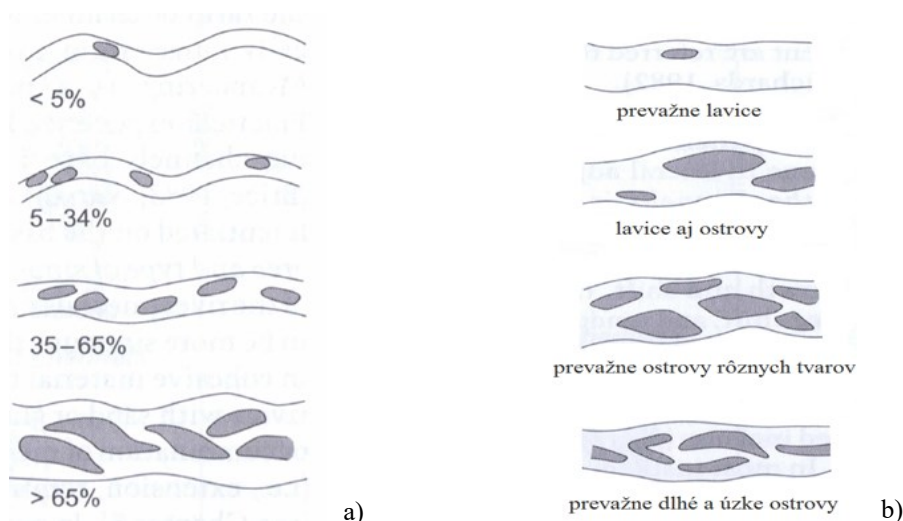
Morfológiu koryta a dynamiku divočiaceho vodného toku, tak ako aj pri iných typoch vodných tokov podmieňujú okrem prietoku aj vlastnosti polohy vodného toku v povodí a z nej vyplývajúci priestorových špecifik (laterálna, longitudinálna a vertikálna hydrologická konektivita a konektivita sedimentov), ako aj zrnitosťné vlastnosti dnového materiálu a nivnej depozície (BRISTOW a BEST 1993). Kumulatívnym efektom týchto faktorov je potom šírka pásu divočenia a štruktúra jeho foriem. Šírka divočiaceho pásu sa napríklad v laboratórnych podmienkach pohybuje od 2 do 20 metrov (ASHMORE 1982), zatiaľ čo v prírodných podmienkach je jeho veľkosť rôznorodejšia. U malých divočiach vodných tokov sa šírka pásu divočenia pohybuje cca do 500 m. Stredne veľké divočiace rieky, ako napríklad rieka Sunwapta v Kanade má šírkou pásu cca 1 km s 20 až 50 metrov širokými korytami (ASHWORTH et al. 1992, WARBURTON et al. 1993). Veľké aluviálne rieky, ako napríklad rieka Kongo má šírku pásu cca 8 km, Amazonka s piesčito-ílovitým dnom cca 10 km, Brahmaputra cca 20 km (COLEMAN 1969, BRISTOW 1987, THORNE

et al. 1993). Napriek veľkostnej a zrnitosťnej rôznorodosti týchto divočiach riečnych systémov je evidentná ich vzájomná morfológická podobnosť (COLLINSON 1970, CANT a WALKER 1978, BLUCK 1979, STEEL a THOMPSON 1983, RAMOS a SOPENA 1983, RAMOS et al. 1986, SMITH 1990). Podľa BRISTOW a BEST (1993) podobnosť korytových foriem vychádza z korytovej geometrie, ktorá má vplyv aj na formovanie a veľkosť lavíc. Existujú však aj názory (napr. SIMONS a SIMONS 1987), že podobnosť v morfológických vlastnostiach medzi divočiachmi riekami s rozdielnym zrnitosťným zložením dna nie je až taká jednoznačná (**Obr. 5**).

Štrkonosné rieky preukazujú úplne rozdielnu morfológickú charakteristiku a vo svojej podstate oproti piesočnatým menej citlivo reagujú na zmeny v prietokoch. Hoci sú rozdiely niektorých parametrov medzi nimi zjavné, napr. pri kalkulácii transportu sedimentov (detailná štruktúra nánosov, vlastnosti lavíc), podľa BRISTOW a BEST (1993) je možné medzi nimi vidieť viac korytovo-morfológických podobností ako rozdielov. Výskum zameraný na určenie hraničných hodnôt prietoku a sklonu, kedy začína dochádzať k divočeniu preukázal, že vodné toky s piesčitým dnom sú náchylné k divočiacej pôdorysnej vzorke koryta pri oveľa menších sklonoch a prietokoch ako vodné toky so štrkovým dnom (KNIGHTON 1998). Divočiace rieky s piesčitým dnom majú charakteristickú širokú a rozsiahlu nivu pretváranú hlavne rozširovaním korýt (SCHUMM a LICHTY 1963,

<i>Typ rieky (režim transportu sedimentov)</i>	<i>Vertikálne prispôsobovanie</i>	<i>Laterálne prispôsobovanie</i>	<i>Dominantné zoskupenie geomorfologických jednotiek</i>	<i>Výsledný tvar koryta</i>
<i>Divočiaca rieka so štrkovým dnom (splaveniny)</i>	agradácia	rozširovanie, zužovanie	pozdĺžna lavica– výbeh–priehlbina	nepravidelný pôdorys, symetria individuálnych korýt
<i>Migrujúca rieka so štrkovým dnom (splaveniny, plaveniny)</i>	agradácia	rozširovanie, zužovanie, late- rálna migrácia	pozdĺžna lavica– výbeh–priehlbina– ostrov–bočná lavica– vrcholová lavica– plytčina	zväčša nepravidelné korytá
<i>Divočiaca rieka s piesčitým dnom (splaveniny)</i>	agradácia	rozširovanie, zužovanie	priečna lavica–ostrov	nepravidelný pôdorys, symetria individuálnych korýt

Tab. 1 Tvar koryta, dominantné geomorfologické jednotky a procesy formovania laterálne neobmedzených vodných tokov s vysokou energiou. Modifikované podľa BRIERLEY a FRYIRS (2005).



Obr. 7 Stupeň (a) a charakter (b) divočenia modifikované podľa SCHUMM (1985).

BURKHAM 1972). Rozdielne formovanie koryta divočiacych a kľukatiacich/meandrujúcich vodných tokov vyplýva z odlišného dnového materiálu, inej mobility sedimentov a dnovej stálosti, ktoré sú podmienené rozdielnym tangenciálnym napätím (LEWIN a BREWER 2001). Prehľad klasifikácie podľa režimu transportu sedimentov vodných tokov s vysokou energiou a nekohezívnymi sedimentmi brehov a nivy (**Obr. 6**) podmienujúcimi laterálnu nestabilitu a formovanie viackorytového pôdorysu s tendenciou divočenia alebo migrovania ilustruje **Tab. 1** (BRIERLEY a FRYIRS 2005).

Jedným z kľúčových problémov pri výskume divočiacych vodných tokoch je identifikovanie vplyvu prúdenia vody na ich vnútrokorytovú morfológiu. Všeobecne možno povedať, že formovanie lavíc je podmienené hlavne vysokými vodnými stavmi, hoci niektoré ich formy, ako napr. priečne lavice, sú naopak determinované nízkymi vodnými stavmi, resp. fázou ústupu vysokého vodného stavu (BRISTOW 1987). Výskum prúdenia v divočiacych riečnych systémoch, vzhľadom na ich zložitú štruktúru, dostupnosť, prístupnosť a premenlivosť, prebieha zväčša v laboratórnych podmienkach. Ako zdôrazňuje RICHARDSON (1997), v takýchto podmienkach výskumu sa mnohokrát zanedbávali aspekty sekundárneho prúdenia pri sútokoch siete koryt a jeho efekt na ich bifurkáciu, ako aj brázdenie lavíc. MOSLEY (1976) pri výskume správania sa zbiehavosti koryt taktiež v laboratórnych podmienkach, dokázal, že pri zbiehaní koryt sa vytvára pár špirálovitého sekundárneho prúdenia, ktoré sa formuje v strede koryta nad výmoľom a končí pri jeho dne. Na

základe týchto poznatkov, MOSLEY (1976) došiel k záveru, že špirálovité prúdenie zapríčiňuje vznik strmších stien výmoľov a transport sedimentov z výmoľov k päte brehov. ASHMORE (1982) experimentoval s morfológiou štrkonosného divočiaceho riečného systému s konštantným prietokom a sklonom, a podobne ako MOSLEY (1976), pri zbiehaní koryt identifikoval rovnaký typ sekundárneho prúdenia, avšak začiatok špirálovitého prúdenia pozoroval priamo vo výmoľi a koniec v mieste ukladania sedimentov. O desať rokov neskôr sa ASHMORE et al. (1992) venoval výskumu sekundárneho prúdenia v reálnych podmienkach na štrkonosnej rieke Sunwapta (Kanada), kde mohol prvýkrát potvrdiť existenciu tohto prúdenia. RICHARDSON (1997) opísal vplyv sekundárneho prúdenia na formovanie lavíc divočiaceho systému nasledovne: a) pri sútokoch sa zdvojené špirálovité prúdenie zbieha pri povrchu a rozbieha pri dne koryta a transport sedimentov sa sústreďuje v úzkej zóne stredu koryta, b) koryto sa rozširuje a lavica sa zväčšuje a jemnejší sediment je vplyvom špirálového prúdenia odnášaný ku okrajom brehov alebo ďalej po prúde, zatiaľ čo hrubozrnnější sediment sa ukladá na čele lavice, c) dvojité špirálovité prúdenie sa rozdvíja a rotuje v opačnom smere podobne ako v meandrujúcich riekach, d) jednoduchým špirálovitým prúdením sa môže jemný sediment usadzovať na koncovej časti lavice. Pri nízkych vodných stavoch dominuje sekundárne prúdenie taktiež v bočných ramenách. Podľa PARKER (1976) má sekundárne prúdenie v divočiacych riekach hodnotu Reynoldsovo čísla 10^4 , zatiaľ čo v kľukatiacich dosahuje nižšie hodnoty okolo 10^2 .

až 10^3 .

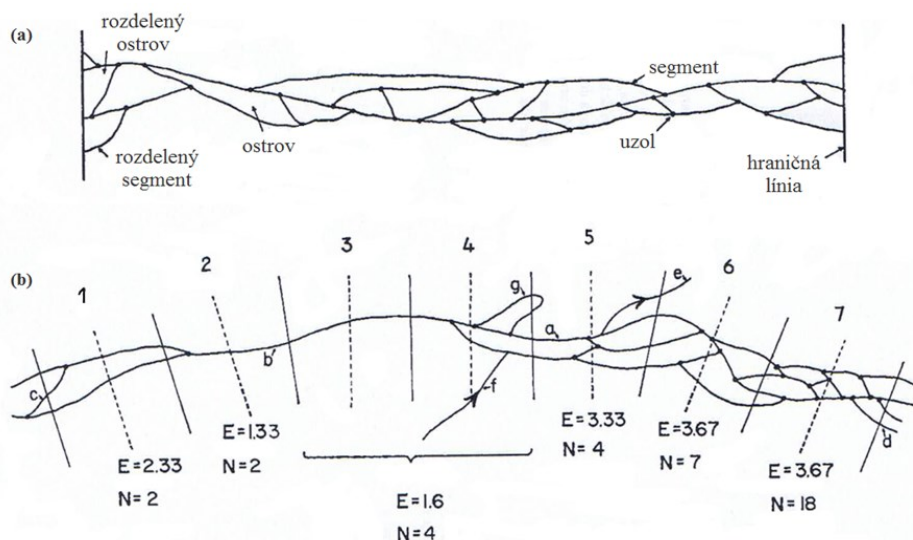
Okrem uvedených vnútrokorytových procesov sú pri laterálnom presúvaní ramien dôležité aj procesy brehovej erózie. Podľa THORNE (1999) existujú dva hlavné typy brehovej erózie, a to erózia nesúdržného brehového materiálu spôsobená vplyvom prúdenia vody, a teda rozrušenie brehu je podmienené hydraulicky, a brehová erózia pri vysokých vodných stavoch, kedy je odtrhnutie materiálu podmienené mechanicky. Ak sa prekročí hodnota kritického tangenciálneho napätia, iniciuje sa pohyb sedimentov a prúdiaca voda unáša (transportuje) erodovaný materiál do nižších miest, kde dochádza k jeho ukladaniu – depozícii. Kritické tangenciálne napätie je definované v bezrozmernej forme, ktorá je uvádzaná ako Shields parameter (*Shields parameter* – θ_{cr}).

Výskum procesov prúdenia a transportu sedimentov v miestach spojenia a rozdvojenia koryta – uzloch (*nodes*) dôležitých pri vývoji mozaiky lavíc tvorí základ pre pochopenie celkovej morfológie divočiach riečnych systémov (LEOPOLD a WOLMAN 1957, CARSON a GRIFFITHS 1987, ASHMORE 1991, ASHWORTH et al. 1992, BRIDGE 1993, BRISTOW a BEST 1993, GOFF a ASHMORE 1994, ASHWORTH 1996). Pri zbiehaní koryt divočiaceho vodného toku sa rýchlosť a distribúcia sedimentov rýchlo mení, čo spôsobuje aj rýchlu zmenu korytovej geometrie (RICHARD 1980).

Podľa MOSLEY (1976) celkový proces zbiehania koryt môže byť úplne pochopený len v prípade, ak sa berú do úvahy aj parametre ako je zmena prúdenia, charakter dnového materiálu, štruktúra dna a jeho litológia. ROY a BERGEON (1990) výskumom zbiehania koryt na rieke Eaton North (Kanada) demonštrovali odzvu štruktúry prúdenia na zmeny vodného stavu. Počas nízkych vodných stavov (menej ako 1/3 plného koryta) prúdenie ovplyvňujú vlastnosti dna (napr. strmé steny výmoloťov) a pri vyšších vodných stavoch celkové usporiadanie koryt a ich zbiehanie. Na exaktnú charakteristiku fenoménu spájania a rozdvojovania koryt u divočiach a migrujúcich vodných tokov sa zvyčajne používa ukazovateľ hustoty uzlov v zmysle BERTOLDI et al. (2009b), ktorý je definovaný ako počet uzlov na jednotku plochy (A) ohraničenej šírkou pásu divočenia (B_b):

$$\text{Hustota uzlov} = (\text{počet uzlov} / A) * (B_b)^2.$$

Ďalším, azda najvýznamnejším aspektom pochopenia štruktúry, dynamiky a vývoja divočiaceho riečneho systému je hodnotenie jeho pôdorysnej vzorky. Podľa BRIDGE (1993) by sa toto hodnotenie malo uskutočňovať počas korytotvorných prietokov. V praxi je to však veľmi ťažko realizovateľné, pretože tieto sa nevyskytujú dostatočne frekventovane, ako



Obr. 8 Charakteristika divočiaceho vodného toku Kuskokwim (Aliaška) modifikovaná podľa HOWARD et al. (1970), kde E – priemerný počet segmentov rozdelených priečnymi profilmi na krajoch a vnútri jednej sekcie, N – celkový počet segmentov v rámci jednej sekcie a predchádzajúcej nižšie číslovananej sekcie, 1 – 7 – jednotlivé sekcie, a – g – jednotlivé segmenty.

napr. stredné veľké prietoky, ktoré pre analyzovanie pôdorysnej vzorky odporúčali KELLERHALS et al. (1976) a RUST (1978). Najznámejšou charakteristikou pôdorysnej vzorky divočiaceho riečného systému je stupeň/intenzita divočenia. Tento fenomén sa vyjadruje rôzne. Je to percentuálne zastúpenie lavíc a ostrovov (SCHUMM 1985, Obr. 7), veľkosťou lavíc a ich frekvenciou (napr. BRICE 1960 a 1964, SCHUMM 1985, RUST 1978, GERMANOSKI a SCHUMM 1993), počet korýt (napr. HOWARD et al. 1970) a absolútna dĺžka toku (napr. HONG a DAVIES 1979, MOSLEY 1981, FRIEND a SINHA 1993), alebo dĺžka lavíc (BRICE 1960 a 1964).

BRICE (1964) index divočenia definoval dvojnásobkom sumy dĺžok všetkých ostrovov a (alebo) lavíc (L_b) v riečnom úseku o dĺžke (L_r) meranej jeho stredom:

$$BI = 2 \Sigma L_b / L_r.$$

GERMANOSKI a SCHUMM (1993) tento index modifikovali pridaním hodnoty celkového počtu lavíc v rámci dĺžky riečného úseku (L_r):

$$BI = 2 \Sigma L_b / L_r + \Sigma N_b / L_r.$$

Jeho výsledky však nezohľadňujú plochu lavíc a tak index môže nadobúdať vyššie hodnoty pri riečnom úseku s jednou väčšou lavicou, ako pri riečnom úseku s niekoľkými malými lavicami. RUST (1978) taktiež vychádzal zo vzorca BRICE (1964), ale intenzita divočenia bola meraná ako počet korýt (N_L) na vlnovú dĺžku koryta (λ), ktorá bola definovaná 1,25 násobkom vzdialenosti medzi sútokom dvoch korýt a ich následnom rozdelení (Λ'):

$$BI_\lambda = \Sigma N_L / \lambda = \Sigma N_L / 1,25 \Lambda'.$$

Ďalšími ukazovateľmi stupňa/intenzity divočenia sú absolútny index divočenia (*total braiding index* – TBI), ktorý je definovaný počtom omočených korýt na priečnom profile a aktívny index divočenia (*active braiding index* – ABI) definovaný počtom korýt na priečnom profile, ktoré transportujú sedimenty. Podľa BERTOLDI et al. (2009) TBI aj ABI rastie so zvyšujúcim sa vodným stavom. Napríklad LUCHI et al. (2006) na rieke Tagliamento, podobne ako SURIAN et al. (2009), dospeli pri analýze absolútneho a aktívneho indexu divočenia k záveru, že

okolo 30 % z prietoku plným korytom reprezentuje hranicu morfolologickej aktivity.

Charakter komplexnej siete (Obr. 8) divočiaceho vodného toku sa pokúsil postihnúť HOWARD et al. (1970) pomocou, tzv. indexu počtu korýt, ktorý predstavuje priemerný počet korýt (N_L) pri priečnom profile riečného úseku (BI_{T1}). Priečne profily sú od seba dostatočne vzdialené a nekrižujú segmenty (korytá) riečného úseku viac ako jedenkrát. Ak priečný profil nevedie priamo cez uzol, potom sú uzly a korytá započítané do indexu počtu korýt. Počet korýt je priemerovaný na dĺžku sledovaného riečného úseku. Autori, ako napr. HONG a DAVIES (1979), MOSLEY (1982), ASHMORE (1991), CHEW a ASHMORE (2001), tiež použili index počtu korýt, ale s tým rozdielom, že priečne profily (BI_{T2}) mohli križovať koryto riečného úseku viac než raz.

$$BI_{T1/T2} = \langle N_L \rangle.$$

Pre celý vodný tok alebo jeho väčšiu časť môžeme stanoviť index kľukatosti (*degree of sinuosity* – IK) pomerom dĺžky toku k dĺžke údolnice. Pre riečny úsek a jednotlivé korytá je možné vyjadriť index kľukatosti pomerom dvojnásobku rozostupu plytčín (Z) k dĺžke meandrovej vlny (L). Index kľukatosti (P_T) podľa HONG a DAVIS (1979) predstavuje pomer celkovej dĺžky všetkých korýt (ΣL_L) a dĺžky celého riečného úseku (L_r). Niektorí autori (RICHARDS 1982, ROBERTSON-RINTOUL a RICHARDS 1993, SMITH et al. 1996) ho označujú ako „absolútna kľukatost“ („*total sinuosity*“). MOSLEY (1981) navrhol variantu indexu absolútnej kľukatosti ($*P_T$) nahradením dĺžky celého riečného úseku dĺžkou hlavného koryta (L_{ML}):

$$P_T = \Sigma L_L / L_r$$

$$*P_T = \Sigma L_L / \Sigma L_{ML}.$$

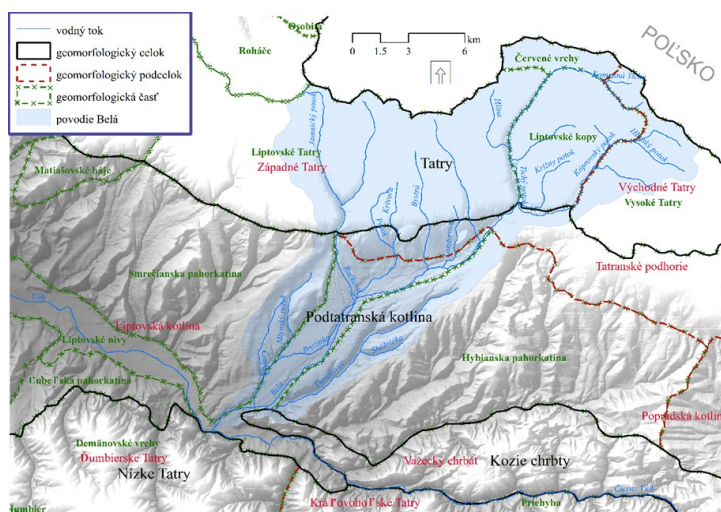
BRIDGE (1993) tieto modifikácie považuje za neuspokojivé, pretože index kľukatosti kombinuje dva rozdielne aspekty pôdorysu koryta, a to počet a kľukatost jednotlivých korýt. Index počtu korýt (BI_{T3}) a index kľukatosti (P_T, IK) sa využívajú pomerne často v súvislosti s interpretáciou prúdenia, špecifického výkonu, transportu sedimentov, morfológickými a vegetačnými parametrami a pozorovaním zmien v čase (MOSLEY 1982 a 1983, ASHMORE 1991, WARBURTON a DAVIES 1994, CHEW a ASHMORE 2001, GRAN a PAOLA 2001).

4 SKÚMANÉ ÚZEMIE

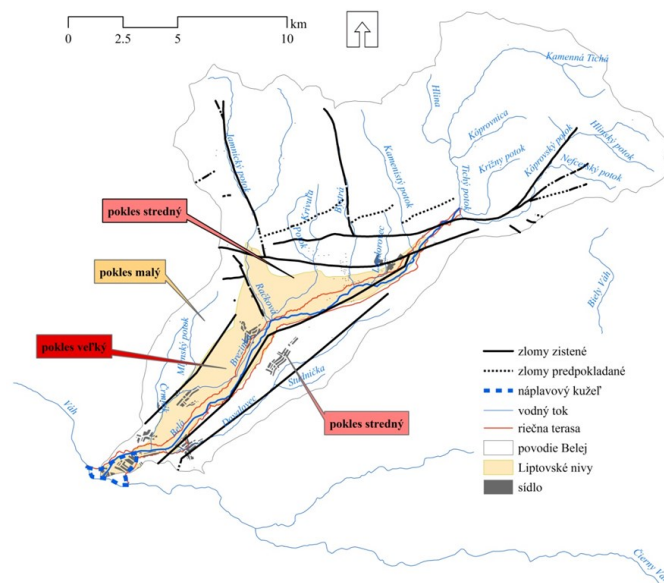
Skúmané územie predstavuje vodný tok Belá vznikajúci sútokom Tichého a Kôprovského potoka ako najvýznamnejší pravostranný prítok rieky Váhu, do ktorého ústi v Liptovskom Hrádku. Jej celková dĺžka je 23,6 km a preteká naprieč Liptovskou kotlinou v SZ – JV smere (**Obr. 9**). Plocha povodia predstavuje 244 km² s minimálnou nadmorskou výškou 630 m n. m. (Liptovský Hrádok) a maximálnou nadmorskou výškou 2 494 m n. m. (Kriváň, Vysoké Tatry). Riečna sieť povodia Belej je výrazne asymetrická, prevažujú pravostranné prítoky, ktorými Belá odvádza vody z východnej polovice Západných Tatier (Kamenistý potok, Bystrá, Račková).

Podložie koridoru Belej a jeho širšieho okolia je podobne ako celá Liptovská kotlina vyplnené tret'ohornými flyšovými súvrstviami, ktoré sú tektonicky porušené dvoma dominantnými typmi zlomov: V-Z /staršie/ a SV-JZ /mladšie/. Najvýznamnejšími zlomami sú podtatranský V-

Z zlom tiahnucci sa úpäťm Tatier a zlom SV-JZ, ktorého smer kopíruje Belá (MAGLAY et al. 1999, **Obr. 10**). Obdobie kvartéru a holocénu sa v širšom okolí skúmaného územia vyznačuje striedavým formovaním nív a ich opätovným rozčlenením. Kvartérne sedimenty vo forme fluvio-glaciálnych štrkov pokrývajú takmer celú kotlinovú časť povodia Belej. Sú nekarbonátové a ich materiál je spravidla dobre vytriedený (KONTRIŠ 1981). Výsledkom kvartérnych a holocénnych eróznno-akumulačných procesov je systém riečnych terás a glacifluciálnych náplavových kužeľov. Zarezané koryto Belej dáva širšiemu okoliu pahorkovitý ráz. Súčasná niva Belej je od Podbanského po Dovalovo pravostranne ohraničená würmskou terasou. Ľavostranne ju ohraničuje mindelský glacifluciálny kužeľ/ terasa s početným výskytom zosunov v podložnej flyšovej litofácii vnútro-karpatského paleogénu. V najhornejšej časti koridoru, pravostranne pod sútokom Kôprovského a Tichého



Obr. 9 Geomorfológické členenie povodia vodného toku Belej so širšími priestorovými väzbami.



Obr. 10 Neotektonika povodia Belej (MAGLAY et al. 1999).

potoka vystupujú granitoidy a kryštallické bridlice paleozoika. Ľavú stranu doliny budujú sedimenty würmských morén.

Na vodnom toku Belá v súčasnosti existujú dve vodomerné stanice (Podbanské a Liptovský Hrádok) a jedna zrážkomerná stanica (Liptovský Hrádok). Rieka Belá dosahuje priemerný ročný prietok na Podbanskom $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (MAJERČÁKOVÁ et al. 2007), pri ústí v Liptovskom Hrádku $6,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ za obdobie 1964 – 2006 (ŠIPIKALOVÁ ed. 2006), resp. $6,56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ za obdobie 1931 – 1974 (HLUBOCKÝ 1974). Minimálne prietoky sú zaznamenávané prevažne v zimnom období (február), kedy sa zrážky vyskytujú vo forme snehu. Povodňové prietoky (MARTINCOVÁ a PEKÁROVÁ 2010 a PE-

KÁROVÁ et al. 2011, **Tab. 2**) súvisia s jarným topením snehu (máj), keď sú rádovo 8 až 9-krát vyššie ako v najmenej vodnatých mesiacoch (MAJERČÁKOVÁ et al. 2007) a letnými búrkami (jún, júl). Na zrážkomernej stanici Podbanské (1544 m n. m.) je priemerný ročný úhrn zrážok 1590 mm. V Liptovskom Hrádku bol dlhodobý (1961 – 2006) priemerný ročný úhrn zrážok 680 – 685 mm (MAJERČÁKOVÁ et al. 2007). Podľa MAJERČÁKOVÁ et al. (2007) sa hydrologický režim rieky Belej, vychádzajúc z údajov vodomernej stanice Podbanské, za posledných cca 80 rokov výrazne nezmenil (priemerný ročný prietok v období 1931 – 1980 bol $3,54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a v druhom sledovanom období 1961 – 2006 bol $3,47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Rok extrémneho prietoku	Dátum	Liptovský Hrádok		Podbanské		n-ročnosť
		$Q (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$H (\text{cm})$	$Q (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$H (\text{cm})$	
1813	25.8.1813	0*	0*	0*	0*	0*
1934	18.7.1934	0*	0*	179	260	50
1948	10.6.1948	0*	0*	74	144	7
1958	29.6.1958	0*	0*	180	160	50
1968	29.7.1968	109	200	68,2	148	5
1997	8.7.1997	166,8	191	72	212	5-10
2001	25.7.2001	73,3	184	45	166	2-4
2008	23.7.2008	60,5	168	62,41	159	2-5
2010	4.6.2010	67	178	63	160	2-5

*nezistený údaj

Tab. 2 N-ročnosť zaznamenaných extrémnych povodňových udalostí na vodnom toku Belá na vodomerných staniciach v Liptovskom Hrádku a na Podbanskom (KIDOVÁ a LEHOTSKÝ 2012).

5 POUŽITÉ METÓDY

Prevažnú časť vykonaných prác bola usku- točnená „in office“ pomocou softvérov (Arc- GIS, PAST). Prácami v prostredí ArcGIS 10.0 (v súradnicovom systéme S-JTSK-Krovak- East_North) sme získali kvantitatívne (počet, veľkosť), ale aj kvalitatívne (typ) dáta o morfo- lógii koryta. Pri analýze historických máp a údajov z diaľkového prieskumu Zeme (letecké meračské snímky – LMS a ortofotomapy) sme sa zamerali na hodnotenie evolúcie riečného paternu (pôdorysnej vzorky) za posledných 180 rokov (1823 – 2009) a na analýzu morfolo- gických zmien koryta za posledných 60 rokov (1949 – 2009). Časové horizonty LMS boli vy- brané tak, aby zobrazovali stav pôdorysnej vzorky vždy po extrémnom vodnom stave. V prostredí GIS boli ako zdrojové dáta priesto- roových informácií zdigitalizované: historické mapy z rokov 1823 (2. vojenské mapovanie pre územie Slovenska, mapové listy N-36 Col. N-XXXIV, N-36 Col. N-XXXV a N-35 Col. N-XXXV, Arcanum 2005), 1938 (reambulovaná mapa 3. vojenského mapovania Uhorska z ob- dobia 1. Československej republiky), LMS z diaľkového prieskumu Zeme (DPŽ) z rokov 1949, 1961, 1973, 1986 a 1992 z Topografické- ho ústavu plk. Jána Lipského a ortofotosnímky z rokov 2003 a 2009 z Eurosense Slovakia.

Ak zoberieme do úvahy výpovednú hodnotu máp ako zdrojových dát, treba pripomenúť, že existujú určité obmedzenia podmienené karto- grafickou projekciou, grafickým zobrazením a rozlíšením. Pre neúplnosť a polohovú nepre- snosť sme mapy prvého vojenského mapovania (1782) nezaradili medzi vstupné dáta. Pre hod- notenie pôdorysnej vzorky sme na určenie polo- hy koryta v rámci nivy využili dáta z druhého (1823) a reambulovaného tretieho vojenského mapovania z roku 1938. Podrobnejšiu morfolo- gickú analýzu na úrovni migrácie individuál-

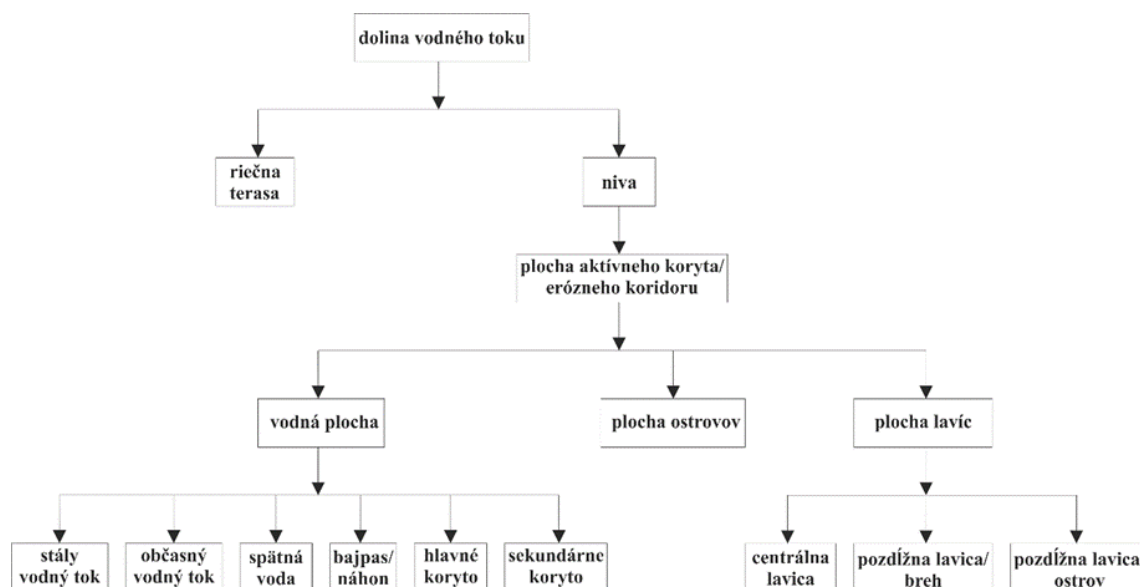
ných korýt, evolúcie lavíc a ostrovov sme usku- točnili pomocou LMS a ortofotosnímkov (1949 – 2009). Pri rektifikácii a následnom spracovaní informácií sme brali do úvahy jednotlivé chyby, ktoré pri nich vznikajú. Týkajú sa hlavne LMS (skreslenie optiky, deformácie spôsobené ne- rovnosťou terénu, atď.), rektifikácie (horizon- tálna presnosť) a vektorizácie (veľkosť pixla, vyhraničenie hraníc, skreslenie, tieň, vegetácia a poveternostné vplyvy (LAGASSE et al. 2004, HUGHES et al. 2006).

Pri lineárnych územiach, akým je záujmová oblasť rieky Belá, je georeferencovanie obtiaž- nejšie z hľadiska absencie kontrolných bodov na snímkach použiteľných pre rovnomernú a čo najpresnejšiu transformáciu/ priradenie k refe- renčnej vrstve. V našom prípade bola ako refe- renčná vrstva použitá ortofotomapa z roku 2003. Pomocou vrstvy vrstevníc sme sa snažili vyhnúť miestam s vyššou nadmorskou výškou ako je dno doliny, čím sa predišlo skresleniu pri samotnej transformácii LMS. Pre záujmové územie sme uprednostňovali transformáciu 2. stupňa, kde hodnota RMS (Root Mean Square) chyby je pre porovnanie s prvostupňovou trans- formáciou rádovo nižšia, čo sa odzrkadlilo aj v presnosti priradenia LMS. Vzhľadom na ab- senciou univerzálnych pravidiel georeferencova- nia LMS bola každá jedna LMS posudzovaná osobitne (presnosť georeferencovania, špecifické terénne podmienky) a georeferencovaná pod- ľa 1. alebo 2. stupňa polynomickej transformá- cie (Tab. 3).

Doplňujúce vrstvy, s ktorými sme ďalej pra- covali v prostredí ArcGIS boli digitálny model reliéfu (DMR), centrálna priestorová databáza základná báza (CPD ZB GIS, 2005 - 2010), spojená vektorová mapa Slovenska (SVM - všet- ky poskytnuté Geodetickým a kartografickým ústavom v Bratislave) a mapa geomorfologické-

<i>Rok LMS</i>	<i>Číslo snímky</i>	<i>Počet bodov</i>	<i>σ Počet bodov</i>	<i>Stupeň transformácie</i>	<i>Total RMS Error (m)</i>
1949	1	30	14,4	2	3.86653
	2	30		2	3.74245
	3	15		1	2.32758
	4	10		1	7.37079
	5	4		1	1.10345
	6	4		1	1.84555
	7	8		1	8.95039
1961	1	20	17,1	2	1.92368
	2	28		2	1.10021
	3	32		2	2.15005
	4	25		2	1.32327
	5	31		2	2.96890
	6	24		1	6.36185
	7	9		1	3.08606
	8	8		2	4.49911
	9	19		1	7.17844
	10	30		2	2.26830
	11	30		2	0.81306
	12	9		1	3.35078
	13	4		1	0.73729
	14	13		1	4.43515
	15	10		2	2.57634
	16	7		2	0.79264
	17	7		1	5.58302
	18	11		2	1.61317
	19	8		2	0.84246
1973	1	22	25,8	2	2.04291
	2	30		2	1.51359
	3	24		2	1.86520
	4	35		2	2.85245
	5	30		2	3.10971
	6	11		2	5.88494
	7	30		2	4.30923
	8	22		2	2.43500
	9	25		1	5.35291
	10	30		2	1.36851
	11	23		2	1.27514
	12	26		2	2.37457
	13	22		2	1.88387
	14	31		2	2.26789
1986	1	31	25.6	2	1.85425
	2	31		2	1.98617
	3	30		2	3.02513
	4	30		2	3.67244
	5	30		1	6.89350
	6	26		1	7.57463
	7	18		2	3.80426
	8	19		2	6.43274
	9	15		2	6.46942
1992	1	32	30.6	2	4.87831
	2	22		2	3.90422
	3	38		2	5.78921
	4	30		1	5.31128
	5	32		2	8.75775
	6	30		2	6.51173
	7	30		2	5.25182
Σ	56				

Tab. 3 Kvalitatívne parametre rektifikácie leteckých meračských snímok (LMS).



Obr. 11 Schéma klasifikácia terestrických a aquatických foriem v prostredí ArcGIS pre obdobie 1949 – 2009.

ho členenia Slovenska (MAZÚR a LUKNIŠ 1978, Geografický ústav SAV), hranice TANAPu a BR Tatry (poskytnuté Správou TANAPu).

Pre interpretáciu výsledkov nám poslúžili hydrologické dáta extrémnych povodňových udalostí, ktoré pri odpočte prekročili výšku hladiny 160 cm a prietok $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na vodomernej stanici v Liptovskom Hrádku (Tab. 4). Práve tieto zvýšené prietoky výrazne ovplyvňujú vnútro-korytové procesy a pretváranie pôdorysnej vzorky skúmaného vodného toku.

Práca v prostredí ArcGIS spočívala vo vytvorení geodatabázy morfológických foriem vodného toku Belá v siedmych časových horizontoch (1949 – 2009). Prvým krokom bolo vytvorenie kľúča pre vnútrokorytovú klasifikáciu terestrických a akvatických foriem. Zo získaných mapových podkladov sme vektorizovali hranice terestrických (dolina vodného toku, riečna terasa, niva, ostrov, lavica) a aquatických foriem (vodná plocha) (Obr. 11) s nasledovnou charakteristikou:

Dolina vodného toku – pozdĺžna zníženie na zemskom povrchu s korytom toku na jej dne,

ktorá je výsledkom činnosti vodného toku (LEHOTSKÝ a GREŠKOVÁ 2004a).

Riečna terasa – stupňovitý, plochý alebo mierne sklonený povrch ohraničený strmšími svahmi z vnútornej aj vonkajšej strany vznikajúci zarezávaním sa vodného toku, predstavujúci staršiu úroveň povrchu nivy (LEHOTSKÝ a GREŠKOVÁ 2004a).

Niva – prirodzená mierne jedno-stranne naklonená pozdĺžne aj priečne diferencovaná akumulčná rovina pozdĺž vodného toku s nekonsolidovanými sedimentmi transportovanými a špecificky usadenými, vodným tokom spravídla zaplavovaná v čase povodní (LEHOTSKÝ a GREŠKOVÁ 2004a).

Plocha aktívneho koryta vodného toku/erózneho koridor – vyčlenená hranou brehu určenou vegetačným krytom, vrátane aktívnych koryt a občasne sprietočených koryt cez centrálnu alebo pozdĺžnu lavicu s vegetáciou genézou viazanú na breh alebo na ostrov. Erózne koridor v zmysle PIÉGAY et al. (2005) predstavuje polohu aktívneho koryta v minulosti. Analógovo interpretovanú plochu aktívneho koryta repre-

Zdrojové dáta	1823	1938	1949	1961	1973	1986	1992	2003	2009
Extrémne prietoky	1813	1934	1948	1958	1968	-	1997	2001	2008

Tab. 4 Výskyt extrémnych povodňových udalostí ($Q > 60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $H > 160 \text{ cm}$ v Liptovskom Hrádku) na vodnom toku Belá v porovnaní s rokom vyhotovenia zdrojových mapových podkladov (KIDOVÁ a LEHOTSKÝ 2012).

zentuje jej plný prietok (*bankfull*). Za stav plného koryta (*bankfull discharge*) na vodnom toku Belá zistený observáciou v teréne považujeme výšku hladiny 100 cm v hornej časti rieky (Podbanské – Pribylina) a prietoku $14,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na vodomernej stanici Podbanské a 140 cm v jej dolnej časti (Pribylina – Liptovský Hrádok) a prietoku $24,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na vodomernej stanici v Liptovskom Hrádku. Prvý povodňový stupeň sa podľa údajov Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) zaznamenáva pri 130 cm na vodomernej stanici na Podbanskom a pri 150 cm na vodomernej stanici v Liptovskom Hrádku.

Terestrickú formu vo vnútri koryta predstavujú ostrovy a lavice.

Ostrov predstavuje sedimentologicky a morfológicky stabilný korytový útvar zo všetkých strán ohraničený vodou s kompaktnou spojitou (viac ako 90 %) dospelou stromovou vegetáciou. Vek vegetácie sme určovali subjektívne. S ohľadom na schopnosť plochy ostrova odolávať eróznym procesom, musí spĺňať základnú podmienku veľkosti, a to, že jeho šírka aspoň v jednom rozmere presahuje šírku najbližšieho aktívneho koryta.

Lavica – minimálna veľkosť plochy pre digitalizáciu bola väčšia alebo rovná 5 m (5 pixelov) šírky aspoň v jednom smere plochy lavice. Menšie lavice boli pre digitalizáciu irelevantné.

– Pozdĺžna lavica/ostrov: korytový útvar pretiahnutého tvaru genézou viazaný prevažne na okrajové časti ostrova.

– Pozdĺžna lavica/ breh: korytový útvar pretiahnutého tvaru genézou viazaný na breh.

– Centrálna lavica: takmer permanentne zatápaný korytový útvar zo všetkých strán ohraničený vodou.

Akvatickú zložku koryta predstavuje vodná plocha koryta. Na LMS a ortofotosnímках bolo možné identifikovať jej niekoľko kategórií:

Stály vodný tok – celoročne prietochné koryto v eróznom koridore.

Občasný vodný tok – periodicky prietochné koryto počas extrémnych povodňových prietokov, identifikované na základe vegetácie v koryte.

Bajpasové koryto – celoročne prietochné odpichnuté koryto pre MVE alebo obec.

Spätná voda – zvýšená hladina vody v smere proti jej prúdeniu spôsobená vzduťm, a to prirodzene väčšími prietokmi na hlavnom toku alebo umelo zúžením koryta, prekážkou v koryte a pod. (LEHOTSKÝ a GREŠKOVÁ 2004a).

Hlavné koryto – celoročne prietochné najširšie

koryto s prúdniciou.

Sekundárne koryto – celoročne prietochné vedľajšie koryto.

Správnosť interpretácie dát z DPZ bola na kritických miestach overená terénnym mapovaním.

Pre postihnutie časovo-priestorovej distribúcie sledovaných zmien vnútrokorytových foriem sme zvolili induktívny prístup hodnotenia pôdorysnej vzorky koryta s využitím štatistických metód:

– rozdelenie celého vodného toku na plošne rovnaké 100 m dlhé korytové úseky (KU_{100m}) vo všetkých sledovaných rokoch (1949 – 2009), na základe ktorých sme prepočítavali jednotlivé sledované parametre (počet a plocha korytových foriem, miera laterálnej erózie a akrecie, dĺžka vodného toku a jeho kategórií, počet uzlov, celková plocha a priemerná šírka aktívneho koryta)

– typológia pôdorysnej vzorky na základe počtu koryt, ostrovov a centrálnych lavíc v zmysle nasledovných podmienok pre 227 plošne rovnakých KU_{100m} pre sledované obdobie 1949 – 2009:

⇒ jednoduché koryto (JK) – 1 až 2 korytá, nezáleží na výskyte ostrova alebo lavice

⇒ migrujúce koryto (MK) – lavicovo-ostrovový typ s avulziami, viac ako 2 korytá, výskyt aspoň 1x ostrov, lavica sa vyskytnúť môže, ale nemusí

⇒ divočiace koryto (DK) – lavicový typ, viac ako 2 korytá, výskyt aspoň 1x lavica, ostrov sa nevyskytuje

– v sledovanom období (1949 – 2009) rozdelenie celého vodného toku na rovnaké 300 m (3-násobok priemernej šírky koryta) korytové úseky (KU_{300m}) pre aplikáciu multivariačnej deskriptívnej štatistickej analýzy hlavných komponentov (PCA) pomocou softwaru PAST s cieľom vyjadriť komplexnú diverzifikáciu vo vývoji koryta a jeho dynamické štruktúry v množine vybraných siedmich morfometrických parametrov (plocha aktívneho koryta, dĺžka celoročne prietochného koryta, počet uzlov centrálnych lavíc, plocha laterálnych lavíc/ ostrov, laterálnych lavíc/ breh, centrálnych lavíc, veľkosť vodnej plochy). Akékoľvek priestorové jednotky charakterizované p parametrami si môžeme predstaviť ako body v p rozmerom priestore, kde každý z rozmerov predstavuje hodnoty jedného parametra. Ak pracujeme len s dvoma parametrami, vzťahy medzi objektmi, ich vzdialenosti a zoskupenia je možné bez problémov sledovať na dvojrozmernom grafe. V prípade

<i>Premenné pôdorysnej vzorky</i>		<i>Akronym</i>	<i>Jednotka</i>
1	Plocha erózneho koridoru	PLEK	m ²
2	Dĺžka aktívnych korýt	DLAK	m
3	Plocha k ostrovom primknutých lavíc	PLO	m ²
4	Plocha k brehu primknutých lavíc	PLLB	m ²
5	Plocha centrálnych lavíc	PLCL	m ²
6	Vodná plocha	VP	m ²
7	Počet uzlov lavíc	POUL	počet

Tab. 5 Závislé premenné vybrané pre multivariačnú deskriptívnu štatistickú analýzu hlavných komponentov (PCA).

väčšieho počtu parametrov však možnosť takejto kontroly chýba. Je preto nutné zredukovať celkový počet parametrov na dva až tri nové (hypotetické) parametre tak, aby došlo k čo najmenšej strate informácie, ktorá je obsiahnutá v pôvodných dátach. V taxonomických aplikáciách sa najčastejšie používa analýza PCA. Táto technika nahrádza pôvodný súbor pozorovaných znakov súborom nových (hypotetických), navzájom nekorelovaných znakov tak, že prvá nová os (prvý hlavný komponent, PC1, prvý nový znak) je vedená smerom najväčšej variability medzi objektmi, druhá os (druhý hlavný komponent, PC2, druhý nový znak) je vedená smerom najväčšej variability, ktorý je kolmý na smer prvého komponentu, atď. Do analýzy bolo vybraných 7 závislých premenných charakterizujúcich pôdorysnú vzorku (Tab. 5) zo siedmich časových horizontov (1949, 1961, 1973, 1986, 1992, 2003 a 2009). Ich dáta boli vypočítané na základe algoritmu (LEHOTSKÝ et al. 2013) v prostredí ArcGIS na 76 pravidelných 300 m dlhých riečnych úsekoch pozdĺžneho profilu. Takto bolo vygenerovaných sedem matíc premenných pôdorysnej vzorky PV_i ($i = 7$) typu (76x7). Štatistické analýzy boli realizované vo voľne dostupnom programe PAST. Aplikáciou analýzy hlavných komponentov na tieto súbory sme extrahovali komponenty, usporiadané podľa klesajúceho podielu na rozptyle pôvodnej informácie. Z nich sme na základe tzv. Kaisarovho výberového kritéria (kritéria vlastnej hodnoty) vybrali pre interpretáciu tie komponenty, ktorých vlastná hodnota (eigenvalue) je rovná alebo vyššia ako 1 (VELICER a JACKSON 1990), t. j. sú dostatočne vyčerpávajúce pre celkový rozptyl hodnôt vstupných premenných. Obsahová interpretácia komponentov sa opiera o tzv. komponentné záťaž. Tieto reprezentujú korelácie medzi premennými a extrahovanými komponentmi, pričom z hľadiska ich hodnôt môžu byť interpretované rovnako ako korelačný koeficient. V našom prípade sa výklad komponentov opiera o premenné s absolútnymi hod-

notami komponentných záťaží vyššími ako 0,5.

Expertnú identifikáciu väzieb v riečnom systéme vodného toku Belá zakladáme na deduktívnom prístupe hodnotenia pôdorysnej vzorky koryta:

– vyčleňovanie segmentov a zón v zmysle hierarchickej klasifikácie morfológie riek (RMHC – River Morphology Hierarchical Classification) podľa LEHOTSKÝ a GREŠKOVÁ (2003) a LEHOTSKÝ (2004a) predstavuje integrovaný a systematický prístup k pochopeniu prírodnej variability vo vnútri riečneho systému rieky Belá a zvyrazňuje vzťahy fluvialného geosystému k celému povodiu. RMHC sa taxonomicky člení do siedmich kategórií (povodie, zóna, segment, riečny úsek, korytový úsek, morfológická jednotka a morfohydraulická jednotka), avšak mapovanie vývoja morfológie a správania sa divočiaco-migrujúcej rieky Belá v nadväznosti na vývoj vyšších aj nižších taxónov bolo možné expertne predikovať len po úroveň segmentu,

– prieskum antropogénnych vplyvov: pochopenie vývoja skúmaného územia si vyžaduje integráciu globálnych a lokálnych prístupov aplikovaných v špecifickom priestorovom a časovom kontexte. Údajová databáza o vývoji antropogénneho vplyvu na morfológiu koryta Belej vznikla získaním informácií z rekognoskácie a terénneho prieskumu povodia, interview so správcou toku v Liptovskom Hrádku, obecných úradov dotknutých obcí, inštitúcie Slovenského vodohospodárskeho podniku v Ružomberku, ale aj z Archívu v Liptovskom Mikuláši. Vzorom pre použitie prístupu analýzy antropogénnych vplyvov bol evolučný model (LEHOTSKÝ et al. 2008), v ktorom sa pre vodný tok Belá vytýčili jednotlivé fluktučné etapy zohľadňujúce zmeny vo vývoji komplexnej riečnej krajiny spôsobené šiestimi iniciátormi/atraktormi: protipovodňová ochrana (Po), poľnohospodárstvo (P), výstavba (V), voľnočasové aktivity (Va), mobilita ľudí (Ml), ochrana prírody (Op).

6 VÝSLEDKY

V súčasnosti (v roku 2006/ 2009) sme identifikovali na území celého Slovenska celkom dvadsať vodných tokov s divočiace a/alebo migrujúcim charakterom pôdorysnej vzorky (KIDOVÁ a LEHOTSKÝ 2012). Na vodnom

toku Belá, ako najdlhšej rieke s viackorytovou pôdorysnou vzorkou na Slovensku, sme pri jej hodnotení aplikovali deduktívny (RMHC, antropogénny vplyv) a induktívny (časovo-priestorová štatistika) prístup.

6.1 HIERARCHICKÁ KLASIFIKÁCIA A ANTROPOGÉNNE VPLYVY

V študovanom území povodia rieky Belej bola aplikovaná metóda hierarchickej klasifikácie morfológie vodných tokov (RMHC – River Morphology Hierarchical Classification) od prvej (povodie) po tretiu úroveň (segment).

Štruktúra a dynamika korytovo-nívných geosystémov sú determinované celkovým charakterom povodia. Povodie rieky Belej ako kotlinovo-horský riečny systém predstavujú tri zóny (zdrojovú, transferovú, odozovú) a segmenty

(A₁, B₁ – B₇, C₁) so špecifickým usporiadaním, morfogenezou a procesmi (**Obr. 12**).

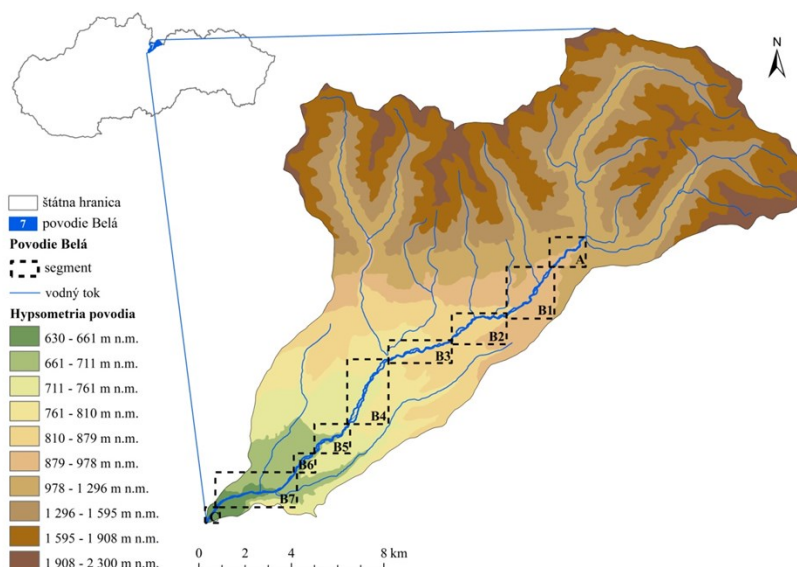
V zhode s uvedenou typológiou rozpoznávame na Belej nasledujúce zóny:

A – zdrojová zóna je situovaná vo vysoko-horskom prostredí Tatier. Z geologického hľadiska (GROSS, KÖHLER a kol. 1980) je táto časť povodia budovaná najmä tatranským grani-toidným jadrom, na ktoré na západe nadväzujú západotatranské metamorfity.

Segment	Sklon (%)	EK_{ss} - súčasná šírka erózneho koridoru (m)	EK_{max} - maximálna šírka erózneho koridoru (m)	Index uzavretia súčasného erózneho koridoru *IUSEK = EK_{max}/EK_{ss}	Dominantná pôdorysná vzorka koryta (maximálny počet ramien na priečnom profile)	Súčasná poloha erózneho koridoru na dne doliny	Spriahnutosť erózneho koridoru so svahmi	Antropogénny vplyv
A1	2.51	34.92	296.66	8.49	4	transverzálna	polospriahnutý	malý
B1	2.20	58.86	756.28	12.84	5	centrálne	nespriahnutý	malý
B2	1.79	51.97	913.01	17.56	4	pravostranná	nespriahnutý	stredný
B3	1.68	51.96	848.42	16.32	5	ľavostranná	polospriahnutý	stredný
B4	1.67	110.81	852.53	7.69	7	centrálne	nespriahnutý	vysoký
B5	1.28	58.36	617.24	10.57	5	transverzálna	polospriahnutý	žiadny
B6	1.17	62.89	568.28	9.03	4	pravostranná	nespriahnutý	vysoký
B7	1.16	44.6	1027.06	23.02	5	pravostranná	polospriahnutý	veľmi vysoký
C1	0.93	52.42	1164.41	22.21	5	pravostranná	nespriahnutý	veľmi vysoký

*IUSEK = EK_{max}/EK_{ss} (veľmi uzavretý 1 < 2, uzavretý 2 < 4, stredne uzavretý 4 < 6, málo uzavretý 6 < 10, voľne široký >10)

Tab. 6 Segmenty vodného toku Belá vyčlenené v zmysle hierarchickej klasifikácie morfológie riek (RMHC)



Obr. 12 Vyčlenené segmenty RMHC na rieke Belá (7) s hypsometriou jej povodia.

V severovýchodnej časti zdrojovej zóny vystupujú mezozoické súvrstvia vápencov a dolomitov Červených vrchov. Kvartér je zastúpený zvyškami morén, terás a sutinami. Zdrojová zóna v Kôprovej doline má charakter typickej ľadovcovej doliny – trógu – s priečnym profilom doliny v tvare písmena „U“. Na jej dne zvyčajne niva chýba a koryto je typické hlbkovou eróziou. Zdrojová zóna Tichej doliny je typická údolím tvaru širokého „U“, s relatívne dobre vyvinutou nivou na mnohých miestach prekrytou náplavovými kužeľmi a laterálne aktívnym korytom.

B – transferová zóna je z hľadiska recentných fluvialných procesov najzaujímavejšou a najdynamickejšou. Leží v Liptovskej kotline, kde predstavuje typickú štrkonosnú rieku, s prvkami kl'ukatenia, migrovania a divočenia v pôdorysnej vzorke koryta. Z podložia vystupuje na viacerých miestach na povrch typický flyš vnútrokarpatského paleogénu (ílovce, siltovce a pieskovce) Liptovskej kotliny, prekrytý mladším glaci-fluviálnym a fluviálnym materiálom (GROSS, KÖHLER a kol. 1980).

C – odozvovú zónu evolučne, geologicky a sklonitostne podmieňuje ohraničenie náplavového kužeľa od Dovalova k ústiu s Váhom, ktorý je prepojený hyporeálne podzemnou vodou s Váhom a v súčasnosti prerušený reguláciou.

Pri typizácii segmentov (**Tab. 6**) bolo ako hlavné kritérium použitá prítomnosť bodov záalomu pozdĺžneho profilu. Na základe uvedených kritérií bolo v transferovej zóne vyčlenených sedem segmentov (B1 až B7). Prvá a tretia zóna je priestorovo zhodná so segmentom A1 a C1, ktorý predstavuje pahorkatinový nespriahnutý segment terasovaného sútokového náplavového kužeľa. Morfológicko-sedimentologické rozdiely v jednotlivých zónach prezentuje **Obr. 13**.

KIDOVÁ (2010) rozdeľuje antropogénne vplyvy v skúmanom území za obdobie posledných 100 rokov do troch vývojových fáz so šiestimi iniciátormi/atraktormi (protipovodňová ochrana (Po), poľnohospodárstvo (P), výstavba (V), voľnočasové aktivity (Va), mobilita ľudí (MĽ), ochrana prírody (Op)).

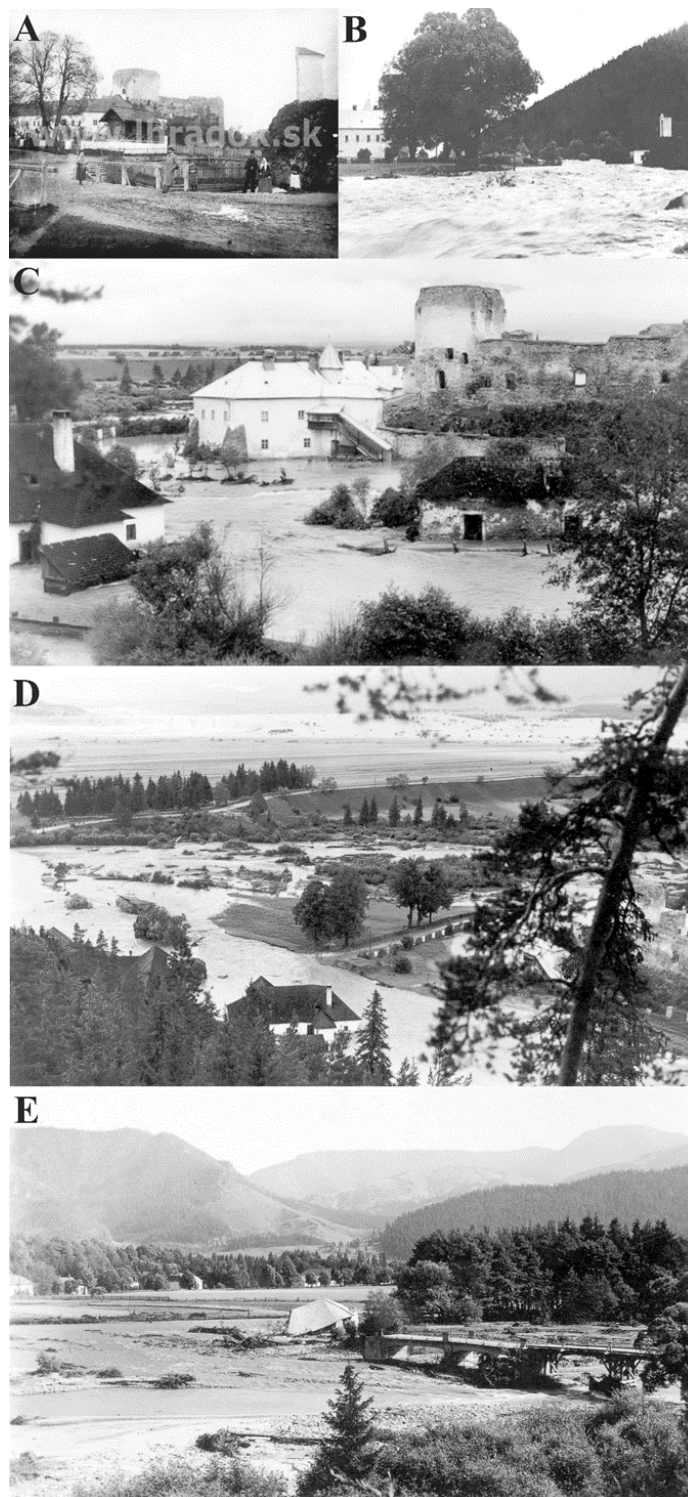
I. fáza (1900-1948): podľa súpisu Archívu

č.	Poloha	Druh vodného diela	Rok vzniku	Koryto náhonu
1	Lipt. Kokava	mlyn, zrubové výhony	1938	ľavobrežný
2	Podtúreň - Prekážka	mlyn	1900 - 1910	ústie do Váhu
3	Lipt. Hrádok – pod zámkom	píla, mlyn	1900 - 1930	ľavobrežný
4	Pribylina	mlyn	-	pravobrežný
5	Vavrišovo	zrubové hate, výhony	1938	pravobrežný

Tab. 7 Prehľad zrušených vodných stavieb na vodnom toku Belá v roku 1962 (KIDOVÁ 2010)



Obr. 13 Transverzálna (hore), centrálna (v strede) a pravostranná (dole) poloha erózneho koridoru na dne doliny v zdrojovej (A1) a transferovej zóne (B4, B7) (Foto: KIDOVÁ 2009).



Obr. 14 Situácia pred povodňou (A) a počas povodne v roku 1934, zaplavená skalka v Liptovskom Hrádku (B), vyliatie neregulovaného koryta rieky Belej medzi Dovalovom a Liptovským Hrádkom (C, D, E), (foto: www.lhradok.sk, Štátny archív v Žiline so sídlom v Bytči, pracovisko Archív Liptovský Mikuláš).

v Liptovskom Mikuláši je zaevidované zrušenie piatich vodných stavieb (Tab. 7). Po viacerých povodňových udalostiach, napríklad v roku 1934 pri $Q_{\max} > 100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Obr. 14) ale aj v rokoch 1925, 1930, 1931, 1948 pri $Q_{\max} = 60 - 100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sa započala a pokračovala výstavba systému protipovodňových hrádzi s následnou redukciou priestoru aktívnej nivy za účelom ochrany intravilánu Liptovského Hrádku a Dovalova, obmedzenia laterálneho presúvania brehov a zanášania úrodných pôd riečnym štrkom. Hlavnými atraktormi boli Po, P.

II. fáza (1948 – 1976): úpravy vodného toku sa v druhej fáze zameriavali hlavne na zabezpečovanie stability hrádzi a koryta vo vyššie uvedenom priestore po ďalších povodniach (1949, 1951, 1958, 1960, 1965, 1968, 1970, 1973). Okrem uvedených aktivít sa lokálne uskutočňovala ťažba štrkov. V súvislosti so vznikom Tatranského národného parku (1948) a jeho och-

ranného pásma sa legislatívne etablovala ochrana celého koridoru. Spomedzi atraktorov dominovali Po, P, V, Op.

III. fáza (1976-2010): v období rokov 1976-1989 neboli do riečneho koridoru, okrem lokálnej ťažby štrkov vykonávané výraznejšie zásahy. Po roku 1989 (zmenené politické pomery) dochádza v študovanom území k postupnej zmene krajiny pokrývky a v súvislosti so zmenenými vlastnými pomermi aj využívanie zeme. Pozornosť sa sústreďuje na lesohospodárske a voľnočasové aktivity a rekreáciu na nive. Začína sa taktiež intenzívnejšie využívanie energetického potenciálu vodného toku v podobe výstavby a prevádzkovania malých vodných elektrární pri Liptovskej Kokave (Obr. 15) a nad Dovalovom (Tab. 8). V tretej fluktuácii sú považované za hlavné atraktory Po, V, Va, MĽ, Op.

č.	Poloha MVE	Rok vzniku	Výška hate [m]	$Q_{MVE} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$P_{MVE} [\text{kW}]$	Sanitárny prietok [dňová voda]	Druh pohonu	Koryto náhonu
1	Pribylina	1941	5,5	0,8	42	neurčený	Klinový re-meň	Mlynský pravobrežný
2	Liptovská Kokava	1997	4	0,9	18-30	210	Hydro-generátor	Kokavský ľavobrežný
3	Liptovská Kokava	1997	1,5	0,9	15	210	Hydro-generátor	Kokavský ľavobrežný
4	Liptovská Kokava	1997	-	-	-	-	Hydro-generátor	Kokavský ľavobrežný
5	Dovalovo	2000	6,6	6	332	290	Hydro-generátor	- ľavobrežný

Tab. 8 Prehľad súčasných MVE na vodnom toku Belá (KIDOVÁ 2010).



Obr. 15 Prevádzka MVE s náhonom na ľavostrannej nive Belej pri Liptovskej Kokave (Foto: KIDOVÁ 2010).

6.2 MORFOLOGICKÉ ZMENY PODĽA ČASOVÝCH HORIZONTOV

Na základe interpretácie zdrojových dát v prostredí GIS sme získali pomerne komplexné informácie o morfológických parametroch vnútrokorytových foriem (plocha aktívneho koryta, dĺžka celoročne prietočného koryta, počet uzlov centrálnych lavíc, plocha laterálnych lavíc/ostrov, laterálnych lavíc/ breh, centrálnych lavíc, veľkosť vodnej plochy), na základe ktorých sme mohli identifikovať morfológický vývoj koryta už od začiatku 19. storočia (1823) a určiť rozsah zmien morfológie vodného toku v priebehu druhej polovice 20. storočia až do roku 2009.

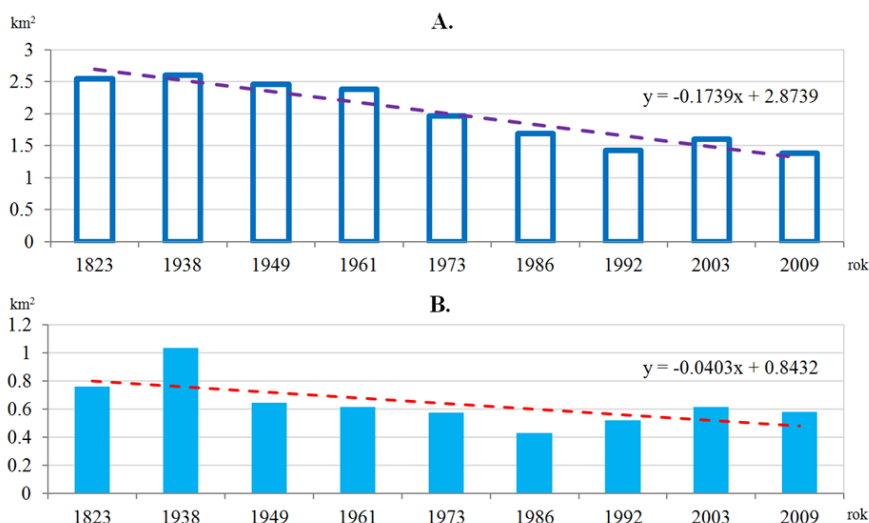
Plocha aktívneho koryta s klesajúcim trendom (**Obr. 16A**) poukazuje na dlhodobú degradáciu riečneho systému, čo sa odráža vo vnútrokorytových zmenách, ako je napriamovanie alebo nárast plochy ostrovov.

Na **obrázku 17** môžeme sledovať pokles dĺžky stáleho ako aj občasného koryta vodného toku hlavne v hydrologicky stálom období 1986 – 1992, kedy sme nezaznamenali na rieke Belá extrémny povodňový prietok. Po povodňovom prietoku v roku 1997 sledujeme nárast dĺžky koryt, ktorá má napriek ďalšiemu extrémnemu prietoku v roku 2001 a 2008 klesajúcu tendenciu. Podobný priebeh sledujeme aj v prípade vývoja celkovej vodnej plochy (**Obr. 16B**) a priemernej šírky koryta (**Obr. 18**).

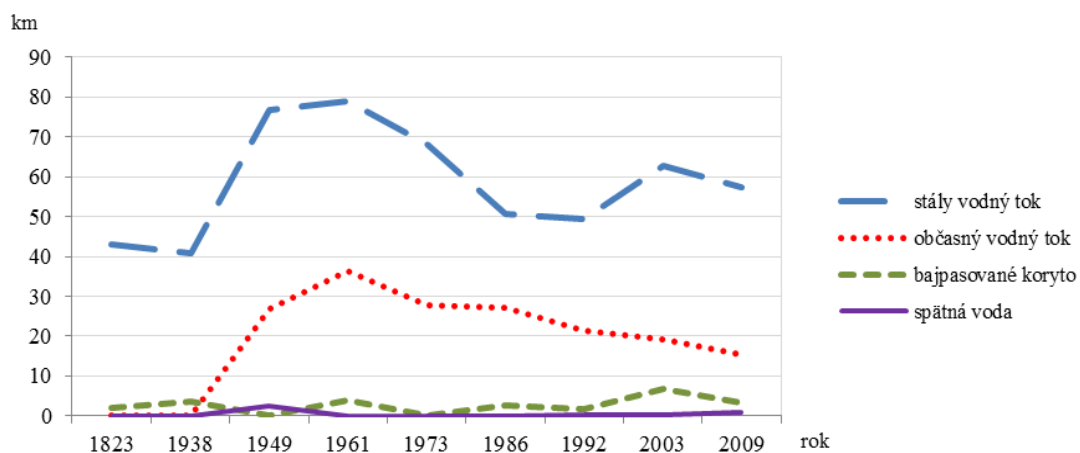
Tento trend potvrdzuje aj porovnanie podielu plochy lavíc a ostrovov (**Obr. 19A**), v ktorom dominujú plochy ostrovov a pozdĺžnych lavíc

genézou viazaných na breh. V roku 1949 namiesto ostrovov prevažoval podiel centrálnych lavíc. V počte vnútrokorytových foriem (**Obr. 19B**) výrazne prevažuje počet štrkových centrálnych lavíc ako dôkaz prítomnosti procesov divočenia. Počet ostrovov sa kontinuálne zvyšuje počas celého sledovaného obdobia, čo dokazuje prítomnosť a postupnú stabilizáciu procesov divočenia. Zároveň platí, že so zväčšujúcou sa plochou ostrovov sa zvyšuje aj miera stabilizácie koryta.

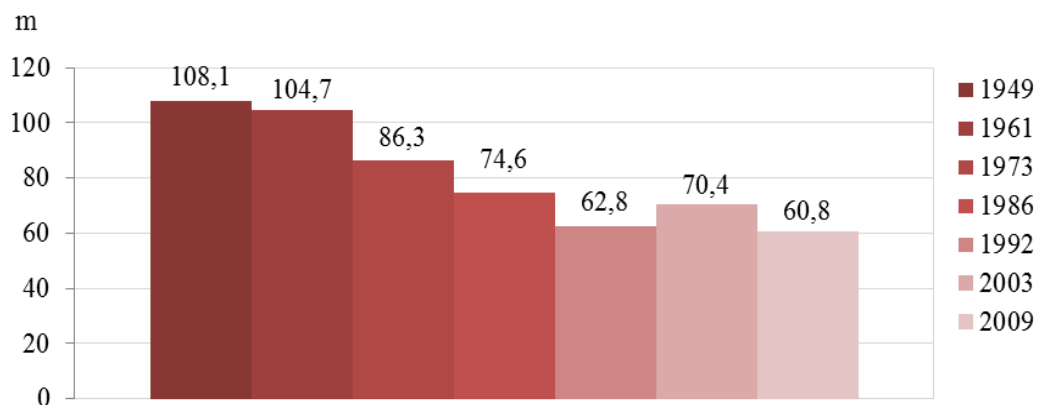
Trend vývoja plochy a počtu jednotlivých vnútrokorytových foriem (**Obr. 20**) má prevažne klesajúci charakter. Výnimkou je počet ostrovov a pozdĺžnych lavíc pri ostrovoch. Ako vidno na grafoch porovnania počtu a plochy jednotlivých foriem (**Obr. 21**), najmenšou mierou sa javí vzťah medzi plochou a počtom pozdĺžnych lavíc pri brehoch, čo môže byť odpoveďou na dynamicky sa vyvíjajúcu pôdorysnú vzorku v rokoch 1961 – 1973 s prevládajúcimi procesmi brehovej erózie, kedy pri rovnakom počte týchto lavíc znížila ich plocha. V hydrologicky pokojnejšom období 1986 – 1992 dominovali procesy laterálnej brehovej akrecie a pribúdajúca plocha pozdĺžnych lavíc pri brehoch. Obdobie dominancie procesov divočenia z roku 1949, ktoré sa objavilo znovu v roku 1992, vystriedalo opäť obdobie s výskytom extrémnych prietokov a laterálnou brehovou eróziou, čo sa premietlo v mierne zvýšenom počte týchto lavíc s ich menšou plochou.



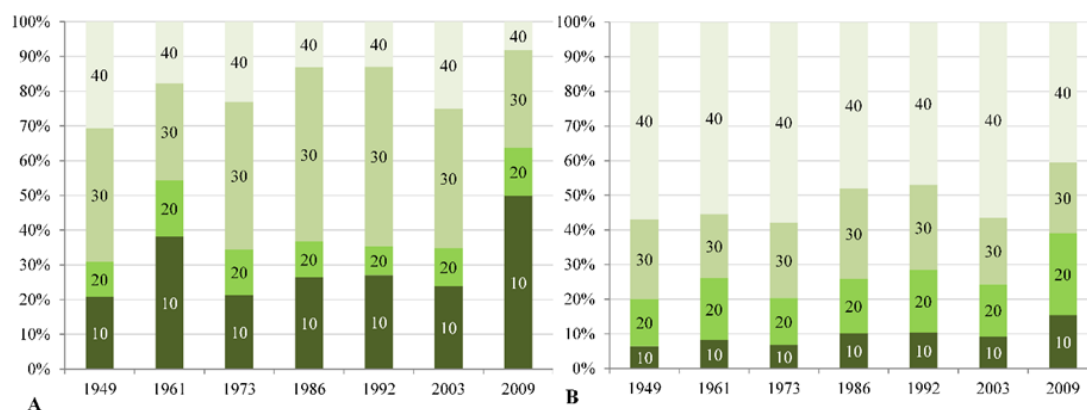
Obr. 16 Plocha aktívneho koryta (A) a vývoj celkovej vodnej plochy (B) v období rokov 1823 – 2009 (krivka naznačuje klesajúci trend).



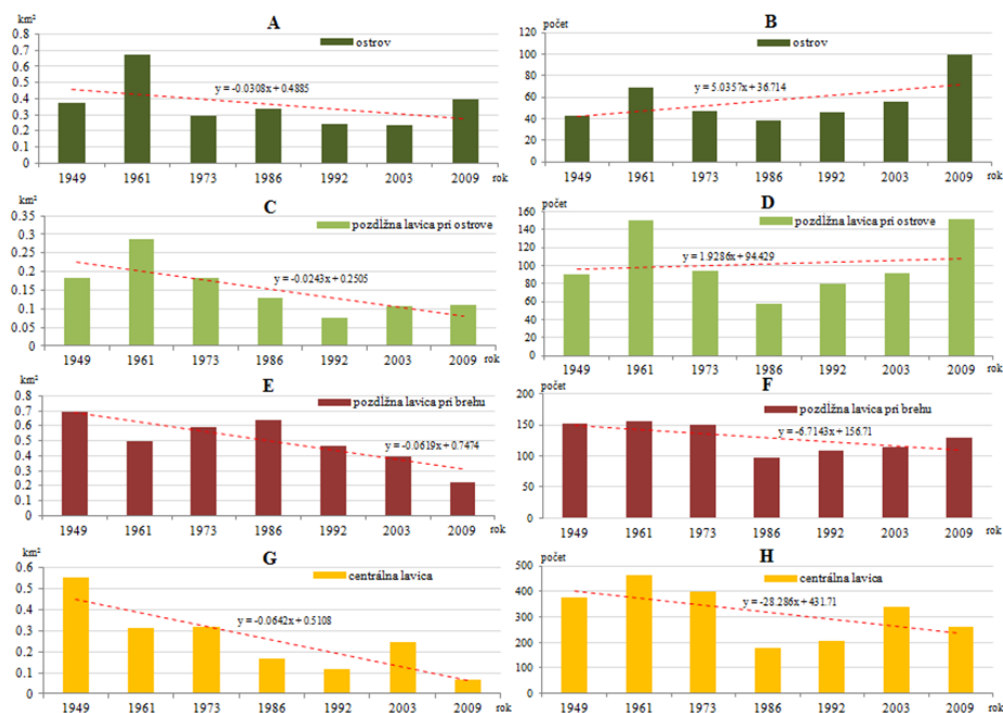
Obr. 17 Zmena celkovej dĺžky vodného toku v čase (1823 – 2009).



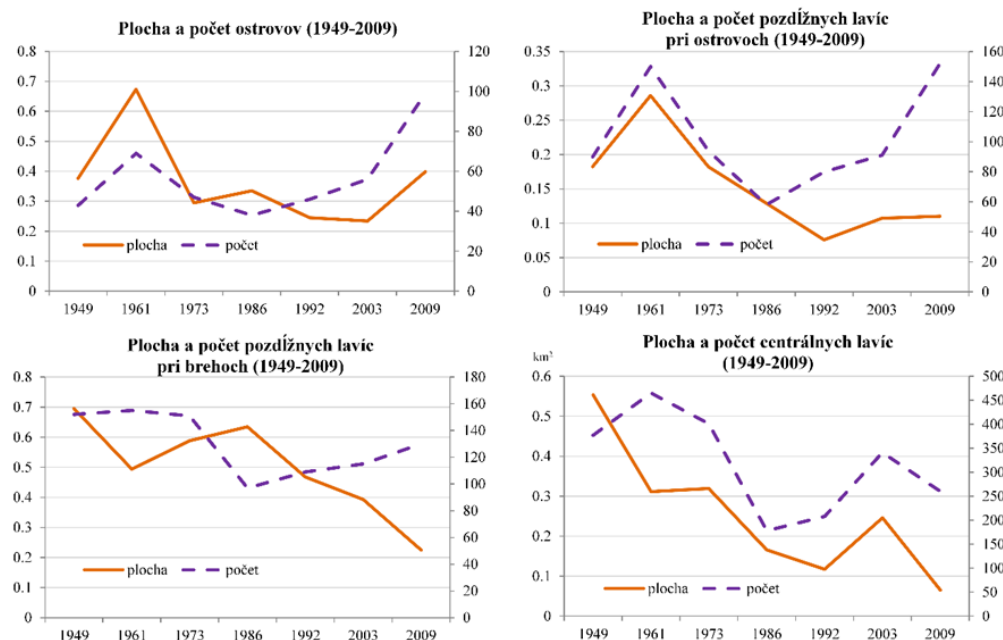
Obr. 18 Vývoj priemernej šírky koryta (m) v období rokov 1949 – 2009.



Obr. 19 Podiel plochy jednotlivých morfológických foriem z celkovej plochy aktívneho koryta (A) a podiel počtu jednotlivých morfológických foriem z celkovej plochy aktívneho koryta (B) v sledovanom období 1949 – 2009, kde 10 – ostrov, 20 – pozdĺžna lavica/ostrov, 30 – pozdĺžna lavica/breh, 40 – centrálna lavica.



Obr. 20 Plocha a počet vnútrokorytových foriem v období rokov 1949 – 2009: A – plocha ostrovov, B – počet ostrovov, C – plocha pozdĺžnych lavíc pri ostrovoch, D – počet pozdĺžnych lavíc pri ostrovoch, E – plocha pozdĺžnych lavíc pri brehu, F – počet pozdĺžnych lavíc pri brehu, G – plocha centrálnych lavíc, H – počet centrálnych lavíc.



Obr. 21 Porovnanie plochy a počtu jednotlivých vnútrokorytových foriem v období rokov 1949 – 2009.

6.3 MORFOLOGICKÉ ZMENY PODĽA KORYTOVÝCH ÚSEKOV A ČASOVÝCH HORIZONTOV

Časovo-priestorovú variabilitu jednotlivých vnútrokorytových foriem sme identifikovali na 227 rovnako dlhých (100 m) korytových úsekoch ($K\dot{U}_{100m}$) na celej dĺžke vodného toku Belá. Na základe získaných výsledkov sme v sledovanom období 1949 – 2009 identifikovali riečne úseky s charakteristickými morfológickými vlastnosťami, čo nám pomohlo lepšie porozumieť ich vývoju v súvislosti s extrémnymi povodňovými udalosťami a presnejšie identifikovať prebiehajúce procesy ovplyvňujúce vnútrokorytovú morfológiu a pôdorysnú vzorku koryta.

Porovnaním morfometrických parametrov (plocha a počet) jednotlivých vnútrokorytových foriem (ostrov, pozdĺžna lavica/ ostrov, pozdĺžna lavica/ breh, centrálna lavica) v sledovanom období 1949 – 2009 sme získali obraz reálnej distribúcie foriem v koryte na celej dĺžke vodného toku Belá. Na tomto základe môžeme niektoré $K\dot{U}_{100m}$ označiť z hľadiska výskytu ostrovov (**Obr. 24**) za nemenné a relatívne stabilné (pozdĺžna prerušovaná čiara). Najväčšiu plochu ostrovov sme identifikovali v roku 1961. Zatiaľ čo v $K\dot{U}_{100}$ č. 1 – 51 sme ostrovy neznamenali takmer počas celého obdobia (1949 – 2003), v tomto riečnom úseku (viacero $K\dot{U}_{100m}$) k došlo pravdepodobne k stabilizácii centrálnych lavíc a ich transformácii na ostrovy (**Obr. 22**), čo sa prejavilo v roku 2009 (prerušovaná čiara).

Pozdĺžne lavice pri ostrovoch a ich distribúcia (**Obr. 25**) v rámci celého vodného toku viacmenej korelujú s výskytom ostrovov. Avšak aj



Obr. 22 Transformácia centrálnych lavíc na ostrovy v $K\dot{U}_{100}$ č. 1 – 51 (Foto: KIDOVÁ 2009).

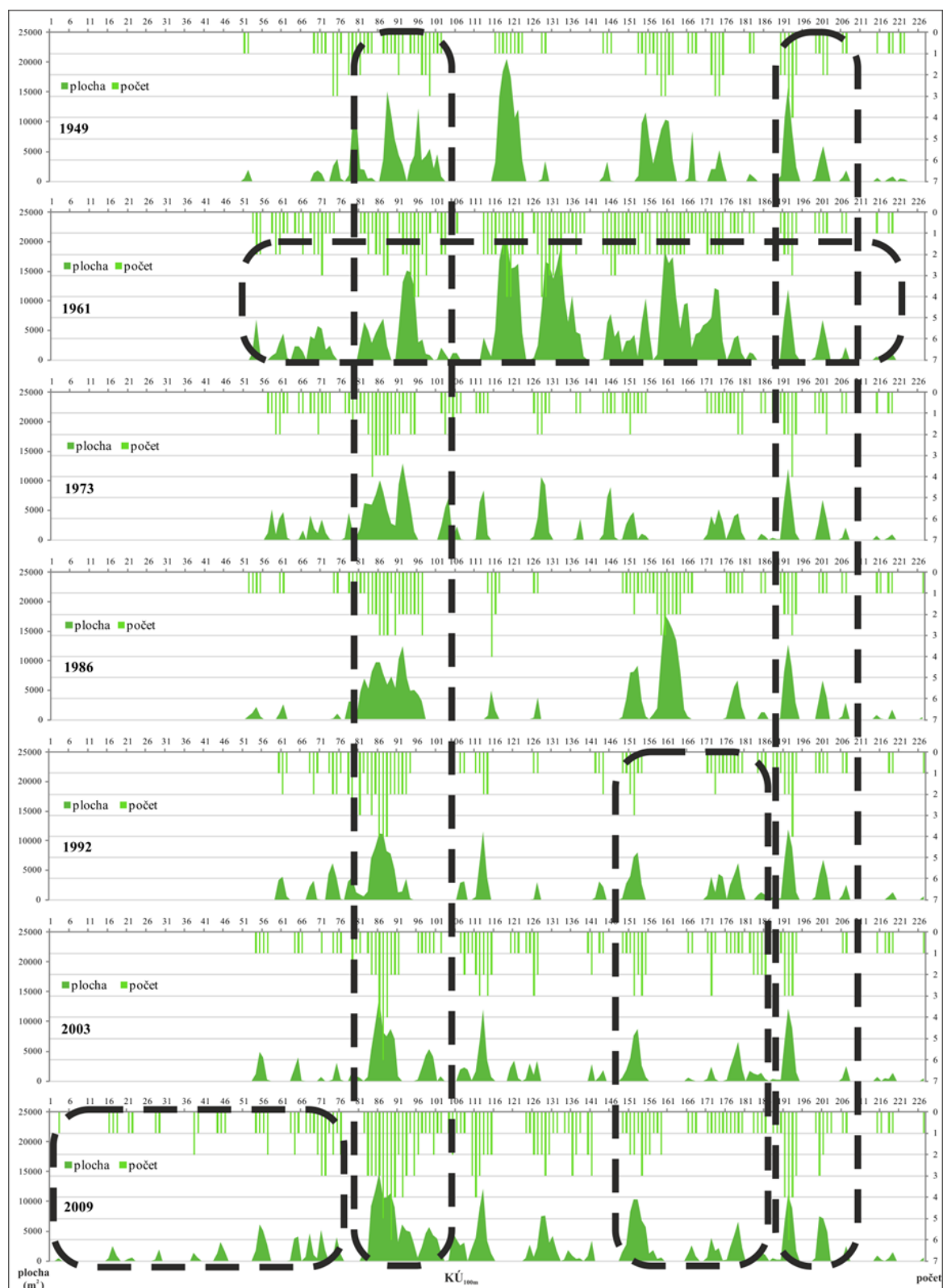
tu v rámci sledovaného obdobia nachádzame podobnosť niektorých $K\dot{U}_{100m}$ (prerušovaná čiara pre roky 1949 – 1973, 1986 – 1992, 2003 – 2009).

Pozdĺžne lavice pri brehoch (**Obr. 26**) môžeme považovať za najčastejšie sa vyskytujúcu vnútrokorytovú formu v rámci všetkých $K\dot{U}_{100m}$. Tento fakt sa najmarkantnejšie javí v ich početnosti v prvých troch sledovaných rokoch (1949, 1961 a 1973). Podobnosť jednotlivých $K\dot{U}_{100m}$ je vyznačená prerušovanou čiarou.

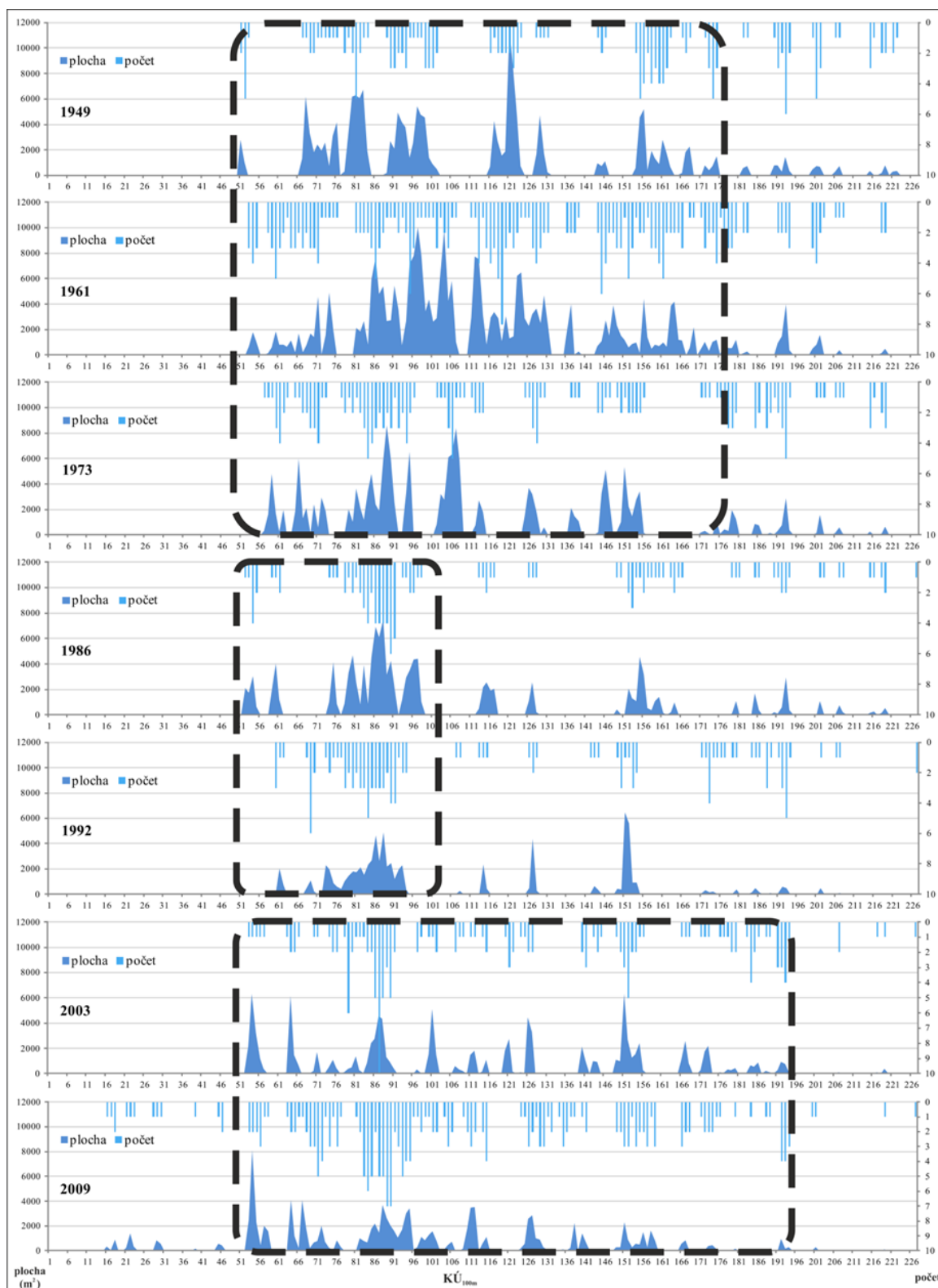
Priestorová distribúcia centrálnych lavíc (**Obr. 27**) má vo viackorytových riečnych systémoch osobitné postavenie v tom zmysle, že najviac odzrkadľujú aktuálnu hydromorfologickú situáciu na vodnom toku (**Obr. 23**). Zo všetkých sledovaných vnútrokorytových foriem sa vyznačujú najväčšou nestabilitou, pretože relatívne citlivo reagujú na zmeny prietoku a výskyt extrémnych povodňových udalostí (zbrázdenie, transformácia, bifurkácie). Početné centrálné lavice sú typické pre divočiaci pôdorys vodného toku, čo sa prejavilo najmä v prvej $\frac{1}{2}$ dĺžky vodného toku ($K\dot{U}_{100m}$ č. 1 – 126) v období rokov 1949 – 1973. Zníženie ich plochy v rokoch 1986 a 1992 súviselo s absenciou extrémnych povodňových prietokov v tomto období. I napriek povodni (2008) došlo k ďalšiemu zníženiu počtu a zmenšeniu plochy centrálnych lavíc v roku 2009. Dôvodom môže byť deštruktívny geomorfologický účinok povodne vo forme zarezania sa koryta do podložia o oderodovanie centrálnych lavíc v koryte (**Obr. 28**).



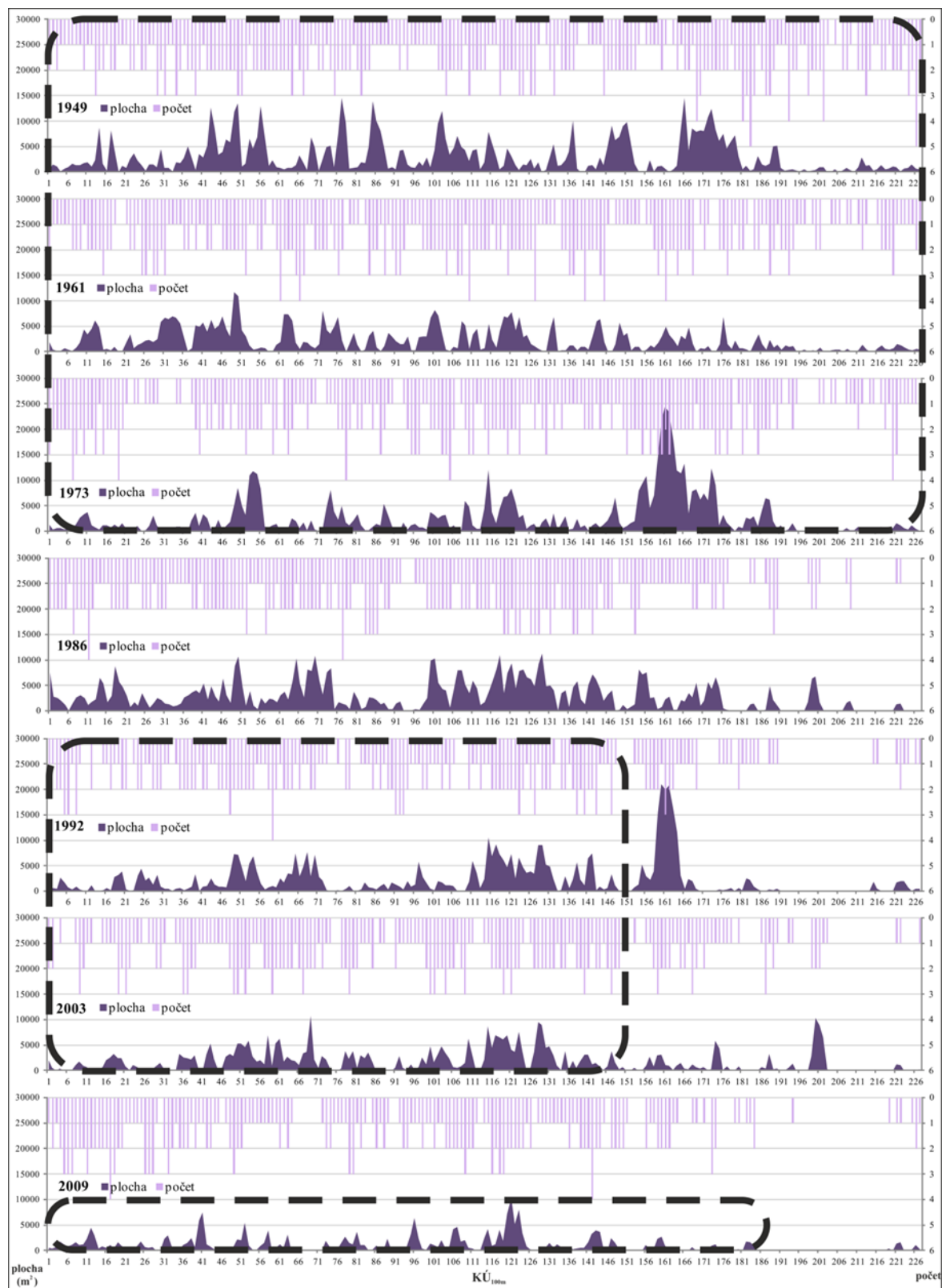
Obr. 23 Dynamický charakter sútoku Račkovského potoku a Belej ($K\dot{U}_{100}$ č. 115 – 116) s výskytom centrálnych lavíc (Foto: KIDOVÁ 2009).



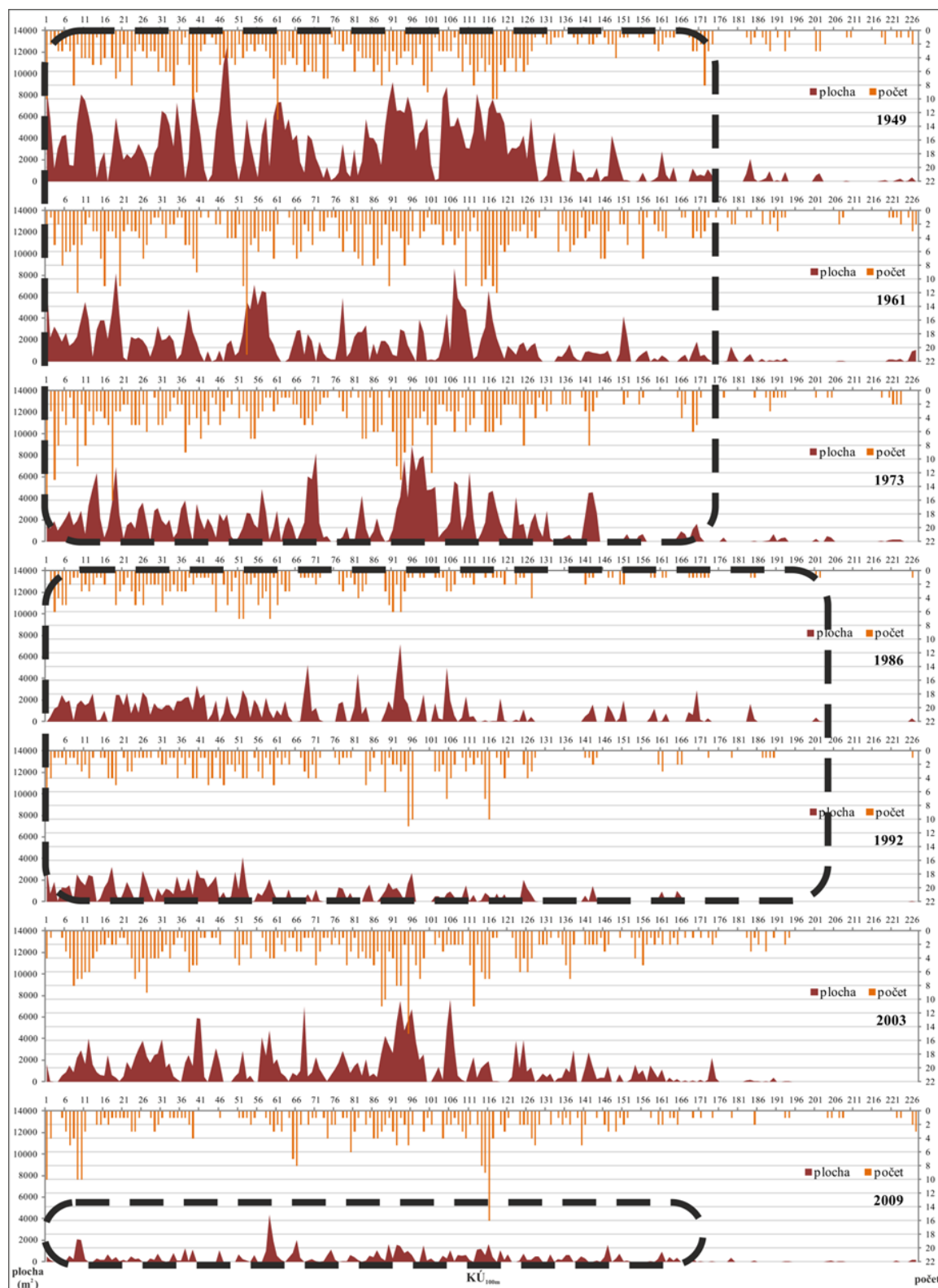
Obr. 24 Počet a plocha ostrovov v jednotlivých KÚ_{100m} (1949 – 2009).



Obr. 25 Počet a plocha pozdĺžnych lavíc pri ostrovoch v jednotlivých KÚ_{100m} (1949 – 2009).



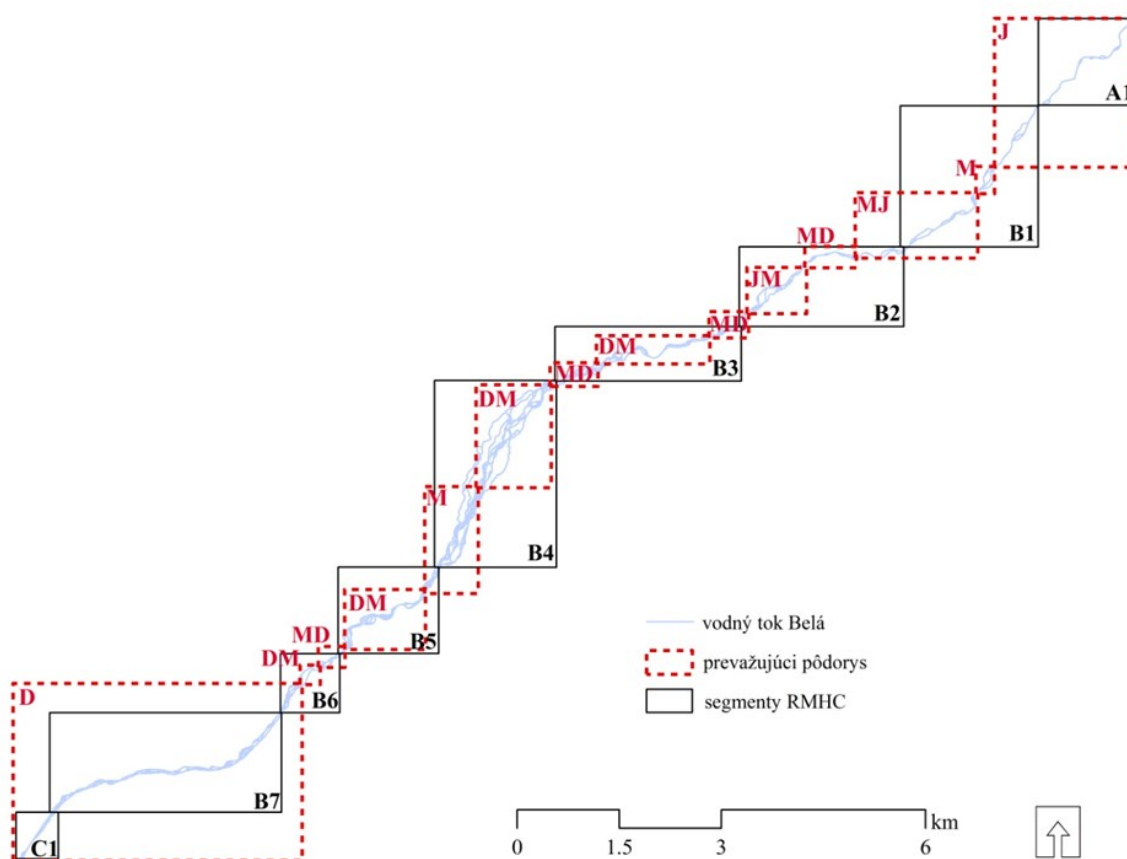
Obr. 26 Počet a plocha pozdĺžnych lavíc pri brehu v jednotlivých KÚ_{100m} (1949 – 2009).



Obr. 27 Počet a plocha centrálných lavíc v jednotlivých KÚ_{100m} (1949 – 2009).



Obr. 28 Príklad rozplavenia centrálnej lavice pri vyšších prietokoch (Foto: KIDOVÁ 2009).



Obr. 29 Klasifikácia vodného toku podľa deduktívneho prístupu RMHC (A1, B1 – B7, C1), stav k roku 2009 a induktívneho prístupu na základe prevládajúcej pôdorysnej vzorky pre $K\dot{U}_{100m}$ (D – divočiace, M – migrujúce, J – jednoduché, MJ – migrujúco-jednoduché, MD – migrujúco-divočiace, JM – jednoducho-migrujúce, DM – divočiaco-migrujúce koryto) pre obdobie 1949 – 2009.

6.4 POROVNANIE INDUKTÍVNEHO A DEDUKTÍVNEHO PRÍSTUPU PRI URČENÍ PREVLÁDAJÚCEJ PÔDORYSNEJ VZORKY

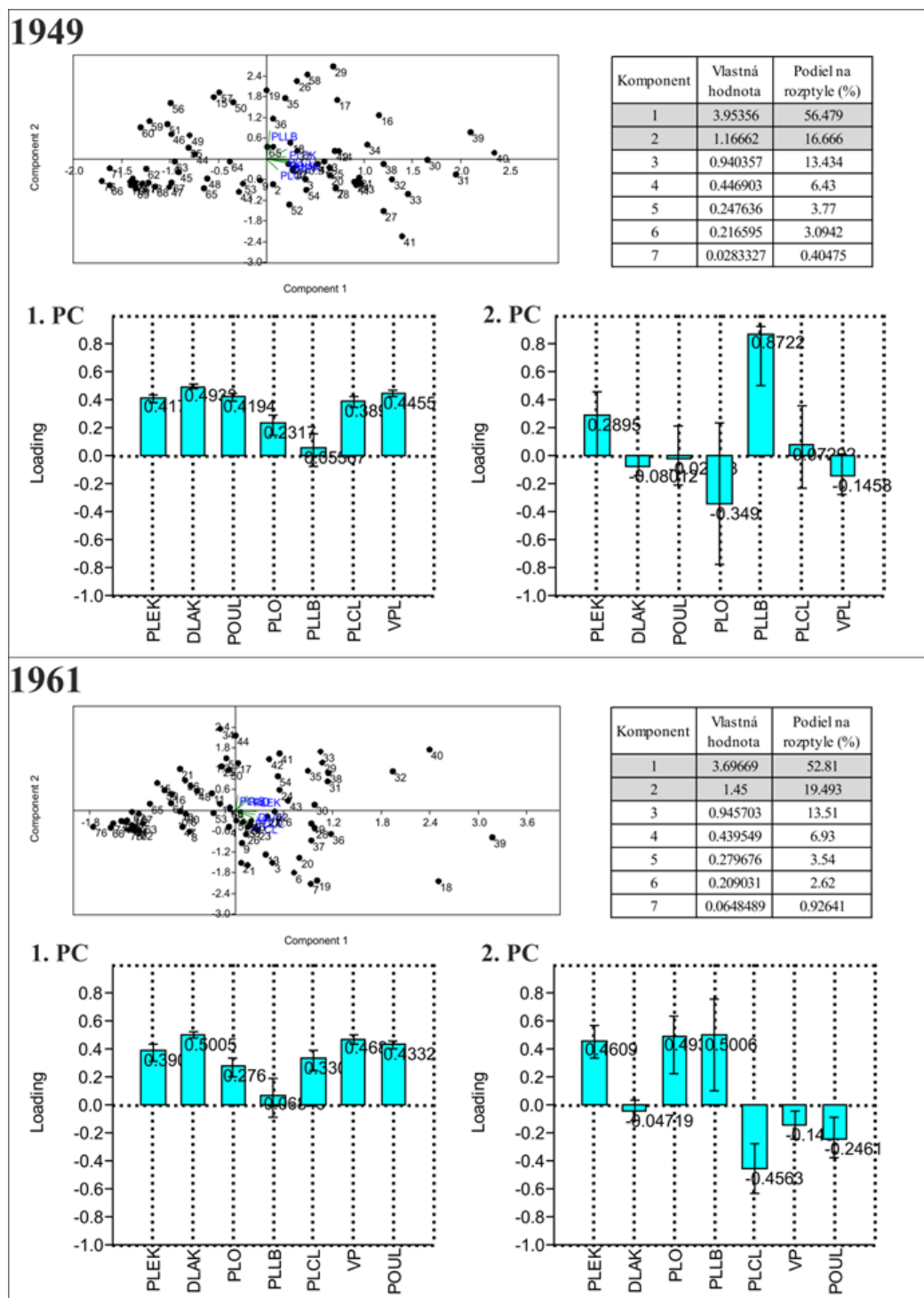
Proces hodnotenia pôdorysnej vzorky vodného toku Belá zahŕňal dva rozdielne prístupy (deduktívny, induktívny), pri ktorých sme uplatňovali rôznu mierku hodnotenia morfometrických parametrov koryta. Zatiaľ čo pri deduktívnom prístupe klasifikácie rieky v zmysle RMHC sme sa sústredili na systematicko-hierarchické usporiadanie vnútornej variability riečného systému prevažne vo vzťahu k jeho prostrediu (miera antropogénneho vplyvu, poloha na dne doliny, spriahnutosť so svahmi atď.), pri induktívnom prístupe sme zvolili za časovo-priestorovú jednotku variability morfológie koryta plošne rovnaký 100 m dlhý korytový úsek (KU_{100m}), na ktorom sme prepočítavali jednotlivé morfometrické parametre koryta (počet a

plocha vnútrokorytových foriem). Spoločným sledovaným parametrom bola prevládajúca pôdorysná vzorka koryta. Avšak oproti induktívnemu prístupu, ktorého jedným z cieľov bola typológia koryta na jej základe, nebola pri vyčleňovaní RMHC segmentov kľúčovou premenou. Rozdielne hranice priestorovej distribúcie jednotlivých riečnych úsekov s prevládajúcim typom pôdorysu (prerušovaná čiara), preto nie sú dôkazom nepresného vyčlenenia segmentov v rámci RMHC, ale sú nápomocné pri ich spresňovaní. Induktívny prístup hodnotenia pôdorysnej vzorky koryta nám zároveň pomohol detailnejšie pochopiť vzájomné usporiadanie vnútrokorytových foriem za posledných 60 rokov (**Obr. 29**).

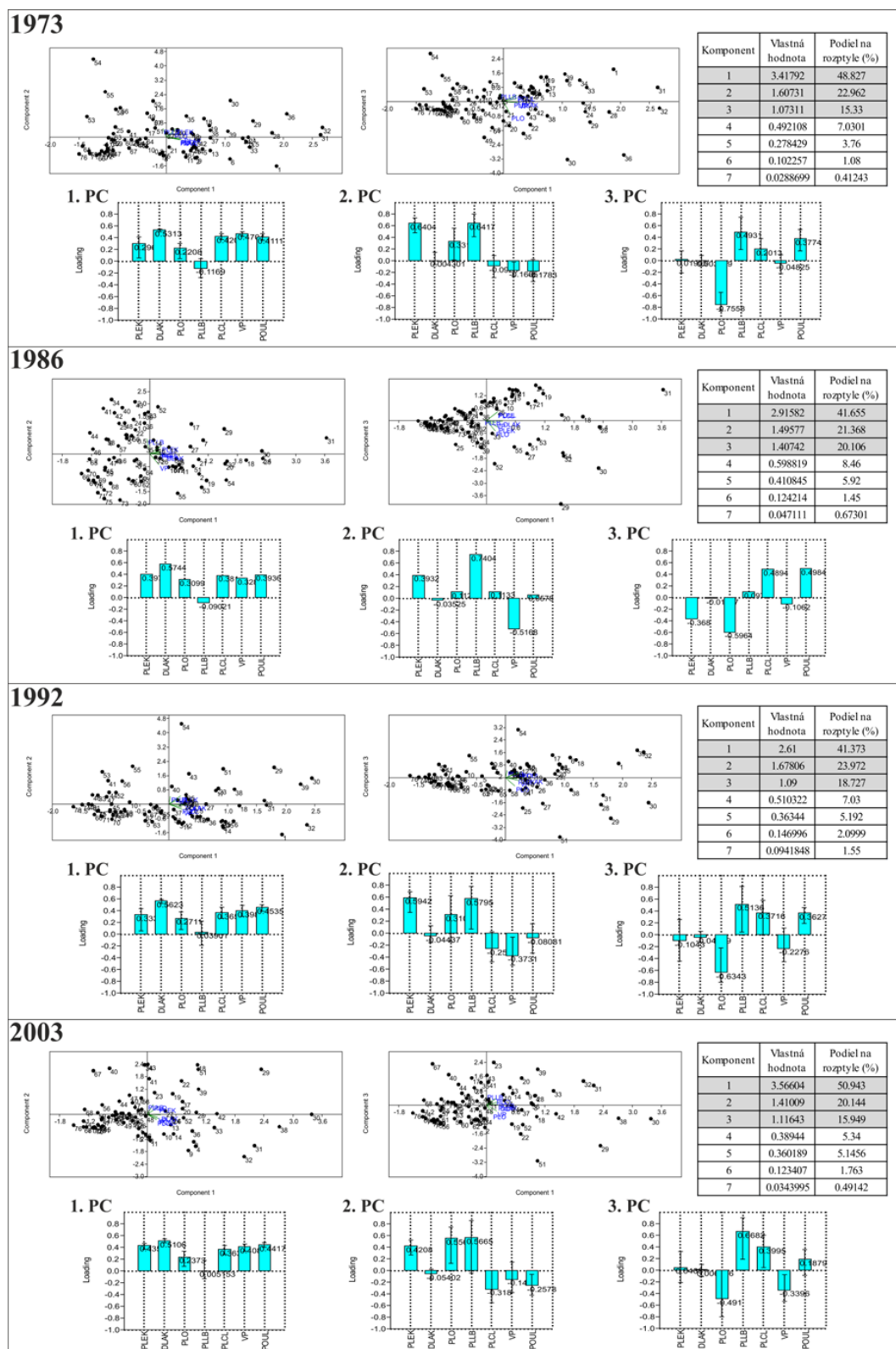
6.5 ANALÝZA PÔDORYSNEJ ŠTRUKTÚRY ERÓZNEHO KORIDORU POMOCOUIACROZMERNEJ DESKRIPTÍVNEJ ŠTATISTIKY

Charakter a zmeny pôdorysnej štruktúry erózneho koridoru sme vyjadrili pomocou viacrozmernej deskriptívnej štatistiky (analýza hlavných komponentov – PCA) nasledovných parametrov: plocha aktívneho koryta, dĺžka celoročne prietokového koryta, počet uzlov centrálnych lavíc, plocha laterálnych lavíc/ostrov, laterálnych lavíc/ breh, centrálnych lavíc, veľkosť vodnej plochy. Z analýzy podielu na rozptyle pôvodnej informácie boli pre interpretáciu charakteru pôdorysnej štruktúry extrahované prvé dva komponenty pre roky 1949 a 1961 (**Obr. 30**) a tri komponenty pre roky 1973, 1986, 1992, 2003 a 2009 (**Obr. 31** a **Obr. 32**). Prvý komponent sa podieľal na rozptyle od 41,3 % v roku 1992 po 56,4 % v roku 1949 a z hľadiska hodnôt komponentných záťaží dominovala premenná DLAK (dĺžka aktívnych koryt) vo všetkých časových horizontoch, pričom komponentné záťaže žiadnej inej premennej nepresiahli kritickú hodnotu 0,5. Podiel druhého komponentu na celkovom rozptyle sa pohyboval od 23,9 % v roku 1992 po 16,6 % v roku 1949, pričom v roku 1949, 1961, 1986 a 2009 dominovala premenná PLLB (plocha k brehu primknutých lavíc). V rokoch 1973 dominovali

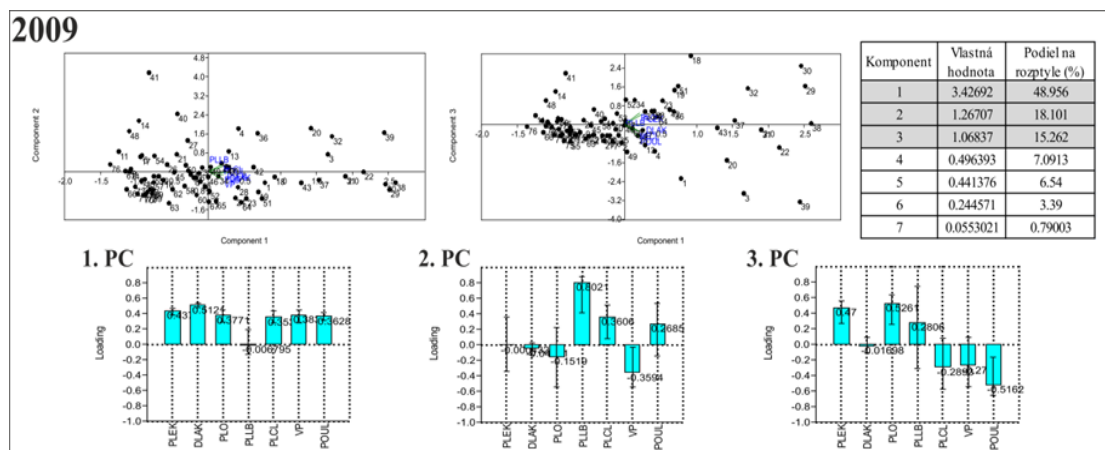
dve premenné, a to PLLB (plochy k brehu primknutých lavíc) spolu s PLEK (plocha erózneho koridoru), resp. PLLB a PLO (plocha ostrovov) v roku 1992. Podiel tretieho komponentu na rozptyle nadobúdal hodnoty 15,2 % v roku 2009 po 20,1 % v roku 1986, pričom v roku 1973, 1986 a 1992 dominovala záporná premenná PLO v kombinácii s kladnými hodnotami záťaže PLLB (1992, 2003) a zápornými hodnotami záťaže POUL (počet uzlov lavíc). Súhrnne z analýzy vyplýva, že vo všetkých rokoch, hoci bola pôdorysná štruktúra skúmaného územia rôzna, dominantný podiel na jej formovaní má dĺžka aktívnych koryt. Interpretácia druhého komponentu poukazuje na dôležitosť premennej PLLB (plochy k brehu primknutých lavíc) pre všetky časové horizonty a spolu s PLEK a PLO pre roky 1973 a 1992. Premenná dĺžka aktívnych koryt sa teda javí ako kľúčová pri formovaní pôdorysnej štruktúry erózneho koridoru. Pokles váhy tejto premennej a vzostup dôležitosti iných premenných poukazuje na zjednodušovanie charakteru divočiaceho koryta a presúvanie jeho pôdorysnej vzorky do kombinovaného meandrujúco-divočiaceho typu.



Obr. 30 Komponenty, ich vlastné hodnoty a komponentné záťaž premenných pôdorysnej vzorky koryta pre roky 1949 a 1961.



Obr. 31 Komponenty, ich vlastné hodnoty a komponentné záťaže premenných pôdorysnej vzorky koryta pre roky 1973, 1986, 1992 a 2003.



Obr. 32 Komponenty, ich vlastné hodnoty a komponentné záťaž premenných pôdorysnej vzorky koryta pre rok 2009.



Obr. 33 Artefakt ťažobnej jamy na pravostrannej nive Belej v blízkosti Pribyliny (Foto: KIDOVÁ 2009).

7. DISKUSIA

Postavenie Belej v rámci viackorytových riečnych systémov na Slovensku dokazuje jej výnimočnosť nielen ako fyzicko-biotického, ale aj historického, socio-ekonomického, či estetického fenoménu. Pri výskume vodného toku Belá sme využili indukčný a dedukčný prístup hodnotenia pôdorysnej vzorky koryta. Klasifikácia rieky Belej v zmysle RMHC (Hierarchická klasifikácia morfológie riek) nám umožňuje podobne ako u vodných tokov Hybica (LEHOTSKÝ 2004b), Studený potok (LEHOTSKÝ a LACIKA 2007) Smrečianka (TOMČÍKOVÁ 2008) alebo Topľa (FRANDOFER 2010) identifikovať nielen taxóny determinované režimovými (hydrologickými) podmienkami, ale aj vnútenými podmienkami jej fungovania ako sklon koryta, index uzavretia súčasného erózneho koridoru, pôdorysná vzorka alebo spriahnutosť so svahmi. Identifikácia jednotlivých hierarchických úrovní v zmysle RMHC je prísne individuálna, preto ich vzájomné porovnanie má zmysel len pri podobných typoch riečnych systémov (pôdorys, morfoštruktúra poloha, atď.). Pri hodnotení pôdorysnej vzorky koryta rieky Belá bola kľúčová analýza leteckých snímok a ortofotosnímok v prostredí GIS. Hlavným krokom bolo vytvorenie klasifikácie terestrických (plocha ostrovov a plocha lavíc – centrálna lavica, pozdĺžna lavica pri brehu, pozdĺžna lavica pri ostrove) a akvatických foriem koryta (vodná plocha – stály vodný tok, občasný vodný tok, spätná voda, bajpasované koryto, hlavné koryto a sekundárne koryto). Naša klasifikácia sa v podstate zhodovala s klasifikáciou divočieho rieky Tagliamento (SURIAN et al. 2009), u ktorej boli na priečných profiloch klasifikované nasledujúce morfológické jednotky: hlavné koryto, vedľajšie koryto, nízka lavica, vysoká lavica a ostrov. Rozlišovanie týchto morfológických jednotiek bolo založené na kombinácii parametrov ako je uhol sklonu, dno-

vý materiál a pokryv vegetáciou. Nízke lavice boli identifikované podľa štrkového dnového materiálu, pokryté jemným sedimentom bez vegetácie. Vysoké lavice mali taktiež štrkový materiál v kombinácii s jemným sedimentom s dobre zakorenenou bylinnou vegetáciou alebo riedkymi krami. Ostrovy boli definované ako plochy s nespojitou drevinnou vegetáciou so štrkovým materiálom. Ďalším príkladom, ktorá využíva klasifikáciu lavíc je práca RICE et al. (2009), ktorý pri migrujúcich vodných tokoch rozlišuje tri hierarchické úrovne štýlov lavíc, a to: zložené (brehová, centrálna a diagonálna lavica), primárne a sekundárne lavicové jednotky. Takáto klasifikácia ponúka ďalšiu detailizáciu nami vykonaného výskumu lavíc. Metóda kvantifikácie údajov z diaľkového prieskumu Zeme je pri výskume morfológie viackorytových vodných tokov pomerne rozšírená (napr. BURGE 2005, BERTOLDI et al. 2011, COMITY et al. 2011), avšak v mnohých prípadoch išlo len o riečne úseky (20 – 30 km), nie o celý tok, čo možno vysvetliť tým, že ide prevažne o väčšie rieky ako Belá (napr. Tagliamento, Piave alebo Mount Pinatubo), u ktorých by bol nami prezentovaný výskum veľmi časovo náročný. Zmeny morfometrických parametrov (veľkosť a počet) vnútrokorytových foriem (lavice a ostrovy) na celej dĺžke vodného toku Belá predstavujú odozvu na extrémne povodňové udalosti, resp. extrémne prietoky, za ktoré sme na vodnom toku Belá považovali prietoky $> 60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a vodné stavy $> 160 \text{ cm}$ na vodomernej stanici v Liptovskom Hrádku. Celkový trend vo vývoji korytových foriem sa odráža v ploche aktívneho koryta s klesajúcim trendom, čo poukazuje na dlhodobú degradáciu riečneho systému.

Správna identifikácia plného koryta je možná iba pri stabilných a mierne stabilných riečnych, resp. korytových úsekoch (GREŠKOVÁ a LEHOTSKÝ 2006), preto pri dynamických

divočiach a migrujúcich riečnych systémoch je táto identifikácia obtiažnejšia. V prípade vodného toku Belá sme stav plného koryta, pri ktorom dochádza k sprietočeniu bočných suchých korýt, pozorovali pri výške hladiny 100 cm v hornej časti rieky (Podbanské – Pribylina) a prietoku $14,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na vodomernej stanici Podbanské a 140 cm v jej dolnej časti (Pribylina – Liptovský Hrádok) a prietoku $24,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na vodomernej stanici v Liptovskom Hrádku.

Porovnaním morfometrických parametrov (plocha a počet) jednotlivých vnútro-korytových foriem (ostrov, pozdĺžna lavica/ ostrov, pozdĺžna lavica/ breh, centrálna lavica), v sledovanom období 1949 – 2009 sme na Belej získali obraz ich reálnej distribúcie v koryte na celej dĺžke vodného toku. Všeobecne vyslovený záver zjednodušovania pôdorysnej vzorky koryta a klesajúci trend vo veľkosti plochy aktívneho koryta rieky Belej, ktorú sme skúmali v súvislosti s odozvou na extrémne povodňové prietoky prejavujúce sa markantnými geomorfologickými účinkami vo forme transformácie, vzniku alebo zániku vnútrokorytových foriem, odrážajú striedanie „hydrologicky extrémnejších“ rokov – morfologicky aktívnejších období (1949 – 1973, 2003 – 2009) a „hydrologicky vyrovnanějších“ rokov – morfologicky menej aktívnych období (1986 – 1992). Podľa PEKÁROVA et al. (2009) fluktuácie priemerných ročných prietokov vodného toku Belá podliehajú vplyvu Severo-atlantickým (NAO) a Južným osciláciám (SO).

Charakter a zmeny pôdorysnej štruktúry erózneho koridoru sme vyjadrili pomocou viacrozmernej deskriptívnej štatistiky (analýza hlavných komponentov, PCA). Z analýzy podielu na rozptyle pôvodnej informácie boli pre interpretáciu charakteru pôdorysnej štruktúry extrahované prvé dva komponenty. Prvý komponent sa podieľal na rozptyle od 41,3 % do 56,4 % a z hľadiska hodnôt komponentných záťaží dominovala premenná DLAK (dĺžka aktívnych korýt) vo všetkých časových horizontoch, pričom komponentné záťaže žiadnej inej premennej nepresiahli kritickú hodnotu 0,5. Podiel druhého komponentu na celkovom rozptyle sa po-

hyboval od 23,9 % do 16,6 %, pričom dominovala PLLB (plocha k brehu primknutých lavíc), PLLB (plochy k brehu primknutých lavíc) spolu s PLEK (plocha erózneho koridoru), resp. PLLB a PLO (plocha ostrovov). Podiel tretieho komponentu na rozptyle nadobúdal hodnoty od 15,2 % do 20,1 % pričom dominovala záporná premenná PLO. Súhrnne z analýzy vyplýva, že vo všetkých rokoch, hoci bola pôdorysná štruktúra skúmaného územia rôzna, dominantný podiel na jej formovaní má dĺžka aktívnych korýt (DLAK).

Morfológia vodného toku Belá však okrem hydrologicko-klimatických podmienok reaguje aj na zmeny krajiny pokrývky v jej povodí. V súvislosti s prísunom sedimentov zo zdrojovej zóny Belej, sme sledovali zmeny v lesnej ploche, ktorá za posledných 50 rokov v jej povodí takmer o polovicu vzrástla, čo spôsobilo zníženie prísunu sedimentov a zmenšenie plochy aktívneho koryta (KIDOVÁ et al. 2016). Výsledky práce COMITY et al. (2011) vplyvom odlesnených plôch v hĺbných častiach zdrojovej zóny dokazujú najväčšiu plochu aktívneho koryta rieky Piave v Taliansku v roku 1890. Počas 20. storočia sa plocha aktívneho koryta rieky Piave výrazne zredukovala v dvoch obdobiach: po povodni v roku 1966 (200 ročná voda) a v rokoch 1970 – 1991, kedy mierne stúpol počet ostrovov (splynutím viacerých malých ostrovov) zarezaním sa koryta do podložia, pričom prebiehala intenzívna ťažba štrku. Odozva rieky na hydrologické podmienky a antropogénne zásahy bola zaznamenaná v pôdorysnej vzorke koryta, ktorá sa zmenila z divočiaceho (1960) na meandrujúco-migrujúci typ (1990). Podobný trend sme zaznamenali aj na rieke Belej. Antropogénne zásahy (protipovodňová ochranná hrádza, dnové stabilizačné prahy, ťažba sedimentov, atď., **Obr. 33**) v $\frac{1}{4}$ celkovej dĺžky vodného toku Belá do istej miery tiež spôsobili narušenie dynamickej štruktúry morfologických foriem a zapríčinili degradáciu pôdorysnej vzorky (KIDOVÁ et al. 2016). Ďalšou príčinou je prispôbovanie sa koryta recentnej tektonike a lokálnym geologicko-morfologickým podmienkam prostredia, v ktorom sa nachádza.

8. NÁVRH OPATRENÍ PRE MANAŽMENT

Hlavných aktérov, ktorý svojimi činnosťami v povodí rieky Belej priamo, či nepriamo ovplyvňujú jej manažment, môžeme rozdeliť podľa zamerania ich aktivít do nasledovných skupín:

1. Neziskové organizácie (NO) a občianske združenia (OZ), ktoré svoje aktivity sústreďujú na rozvoj regiónu a popularizáciu unikátnosti prírodného prostredia. Medzi tie, ktoré bezprostredne súvisia s vodným tokom Belá patrí NO A-projekt (www1) zameraný na podporu udržateľného rozvoja severného Slovenska. V úzkej spolupráci s OZ Miestna akčná skupina Horný Liptov (www2) sa zameriavajú na rozvoj regiónu Horný Liptov tak, aby jeho výnimočné hodnoty ostali zachované, a zároveň prinášali trvalý úžitok miestnym obyvateľom smerom k zlepšeniu kvality ich života. Jedným z uskutočnených projektov zameraného na podporu rozvoja cykloturistiky v regióne bola realizácia značenia siete cyklotrás, ktoré sa z nástupného miesta cyklotrasy mesta Liptovský Hrádok vejárovite rozbiehajú do ďalších obcí v povodí rieky Belá, akou je Liptovský Peter (www3), Vavrišovo

(www4), Pribylina (www5) Liptovská Kokava a Podbanské (www6). Vzájomné prepojenie jednotlivých obcí bolo realizované cyklotrasou, ktorá prevažne vedie povedľa nivy rieky Belá. Ďalšie občianske združenie so zameraním sa na rozvoj cestovného ruchu je OZ Belá (www7) so sídlom v obci Vavrišovo, ktoré sústreďuje svoje aktivity na vodnú turistiku, špeciálne na rafting na vodnom toku Belá v splavnom úseku Podbanské (Kokavský most) – Liptovský Hrádok. V súvislosti s touto činnosťou, ktorá sa sezónne viaže na jaré topenie sa snehu (apríl, máj) sa z dôvodu bezpečnosti z koryta Belej pravidelne odstraňuje mŕtve drevo.

2. Štátne organizácie so zameraním sa najmä na ochranu prírody, prípadne majetku miest a obcí. Medzi aktérov tejto skupiny patrí predovšetkým správa TANAP-u (www8), do ktorého prevažná časť povodia vodného toku Belá patrí (Obr. 34). Časť povodia Belej sa rozprestiera aj na území jeho ochranného pásma, ktorého hranica prebieha od Liptovského Hrádku proti toku Belej a Račkovej po ústie Račkovej doliny, odkiaľ pokračuje pozdĺž dolnej hranice lesa

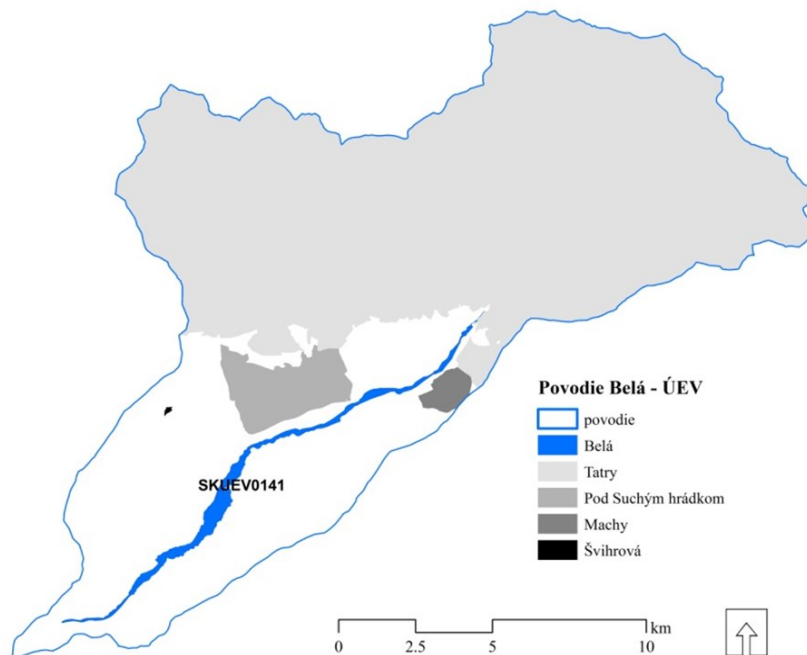


Obr. 34 Prirodzený porast *Myricaria germanica* na naplaveninách Belej z roku 1962 vľavo (Foto: KŇAZOVICKÝ) a z roku 2009 vpravo (Foto: KIDOVÁ).

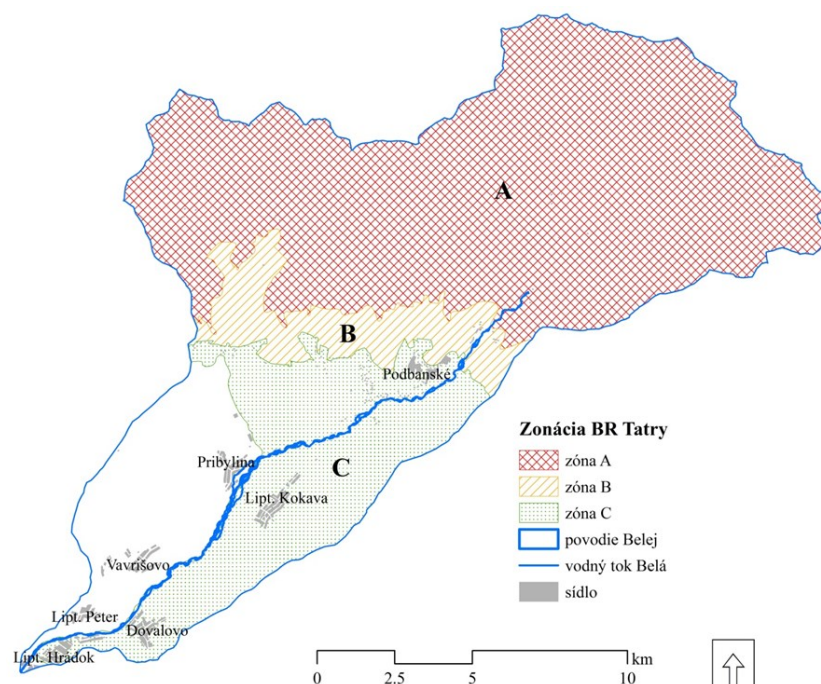
smerom na západ. Podľa Štátnej ochrany prírody SR (ŠOP SR) v rámci Európskej sústavy chránených území v SR (NATURA 2000) rieka Belá predstavuje územie európskeho významu s označením SKUEV0141 (www9, Obr. 35). Predmetom ochrany sú nasledovné biotopy: lužné vrbovo-topoľové a jelšové lesy, horské vodné toky a ich drevinová vegetácia s *Myrica germanica* (Obr. 36), horské vodné toky a ich drevinová vegetácia so *Salix eleagnos*, vlhkostné lemové spoločenstvá na poriečnych nivách od nížin do alpínskeho stupňa, nížinné a podhorské kosné lúky, bukové a jedľové kvetnaté lesy; živočíšne druhy: vydra riečna (*Lutra lutra*), netopier obyčajný (*Myotis myotis*). Medzi činnosti, ktoré môžu mať negatívny vplyv na ciele ochrany v chránenom území patrí výrub drevín brehových porastov nad 50 m dĺžky (žiadateľ nie je správcou vodného toku), údržba brehových porastov nad 1000 m dĺžky (oprávnenie správcu toku), mosty, nadjazdy, tunely, nadchody a podchody na cestách I. až III. triedy, lov rýb, hospodársky odber vody, malé vodné elektrárne (MVE). Navrhované manažmentové opatrenia podľa ŠOP SR sú zakladanie nových brehových porastov s uplatnením pôvodných druhov drevín, protierózne, vodohos-

podárske, protilavínové, brehoochranné a proti-deflačné opatrenia, simulácia inundačných procesov, opatrenia na zlepšenie kvality vôd, revitalizácia tokov, obnova prívodných kanálov, mŕtvych ramien za účelom zavodnenia mokradových biotopov, obnova zdroja potravy (zarybnovanie), ponechávanie stromov a drevnej hmoty v porastoch (ojedinelo stojacich stromov, skupiny stromov a ležaniny). V rámci územného systému ekologickej stability (ÚSES) je rieka Belá považovaná za regionálny terestricko-hydrický biokoridor (RBK1 rieka Belá).

Ďalšími činiteľmi vplývajúcimi na manažment vodného toku Belá sú dokumenty územných plánov dotknutých miest a obcí (Liptovský Hrádok, Liptovský Peter, Vavrišovo, Pribylina, Liptovská Kokava), v ktorých sa v súvislosti s ním zohľadňuje napr. katastrálna hranica obce, posilnenie funkcie lesov v rámci územia európskeho významu, systémová úprava toku a brehu Belej, regulatívy výstavby vodohospodarských zariadení a iné. Najvýznamnejším aktérom vplývajúcim na zmeny morfológie koryta je Slovenský vodohospodársky podnik (SVP), š. p., konkrétne Správa povodia horného Váhu so sídlom v Ružomberku, pod ktorý spadá správa vodného toku Belá. Činnosti, ktoré vy-



Obr. 35 Územia európskeho významu (ÚEV) v povodí Belej s vyznačením kódu územia pre vodný tok Belá s rozlohou 471,66 ha. Územie SKUEV0141 zasahuje do katastrálneho územia obce Dovalovo, Liptovská Kokava, Liptovský Hrádok, Liptovský Peter, Pribylina a Vavrišovo.



Obr. 36 Povodie Belej v rámci zonácie biosférickej rezervácie (BR) Tatry. Jednotlivým zónam zodpovedajú príslušné stupne ochrany (A – 5. stupeň, B – 4. stupeň, C – 3. stupeň).

konáva SVP na rieke Belá (protipovodňová ochranná hrádza, dnové stabilizačné prahy, betónovo – kamenná opora cesty, stabilizácia brehu, **Obr. 37**) v morfológickom slova zmysle spôsobujú jej ireverzibilné zmeny.

3. V súvislosti s vodným Belá skupiny podnikateľskej sféry patria prevádzkovatelia piatich MVE, čističky odpadových vôd (ČOV), rekreačných zariadení, firmy vykonávajúce stavebnú činnosť (Tri vody, s r. o., www10) a spoločnosti zaoberajúce sa ťažbou sedimentu z koryta rieky. ČOV spravuje Podtatranská vodárenská spoločnosť so sídlom v Poprade (www11). Čistička spracováva odpadovú vodu z hotelu Permon, chatovej oblasti, hotelu Kriván a mesta Vysoké Tatry. Recipientom tejto vody je vodný tok Belá. Ďalším príkladom pre demonštráciu morfológických zmien spôsobených vplyvom podnikateľskej sféry je prevádzkovateľ MVE na riečnom úseku nad diaľničným mostom za Dovalovom. Výber lokality pre výstavbu MVE na vodnom toku Belá bol podmienený polohou koryta v minulosti a pre MVE priaznivými sklonitostnými pomermi v danom riečnom úseku. Náhon bol vybudovaný na mieste starého avulzného koryta, ktoré malo v roku 1949 – 1961 ľavostrannú polohu na dne doliny a v súčasnosti úplne kopíruje náhon MVE (**Obr. 38**). Hlavné ko-

ryto sa však po roku 1961 presunulo na pravú stranu a jeho poloha sa nezmenila nasledujúcich 30 rokov (1973 – 1992). Regulačné zásahy v roku 2000 (začiatok prevádzky MVE) do prirodzene vyvíjajúceho sa koryta napomohli k opätovnému presunutiu hlavného koryta na ľavú stranu. Prirodzený vývoj koryta v tomto riečnom úseku bol výrazne ovplyvnený ľudským zásahom a v súčasnosti nemá tendenciu spätnej migrácie.

4. Aktérmi manažmentu, ktorý ovplyvňuje vývoj koryta v najmenšej miere, sú ostatní obyvatelia a ich využívanie priestoru povodia na rekreáciu a oddych (chatári, rybári).

Pre optimálne nastavenie manažmentu na rieke Belá navrhujeme nasledovné opatrenia:

A. V rámci implementácie Rámcovej smernice o vodách 2000/60/EÚ (*Water Framework Directive*), ktorej z priorit je zlepšenie stavu a kvality povrchových vôd do roku 2015 by sme navrhovali prísne rešpektovať tento dokument pri ďalších krokoch v manažmente vodného toku Belá. V zmysle uvedených priorit Rámcovej smernice o vodách navrhujeme ponechať koryto rieky Belej v celej jeho dĺžke bez akéhokoľvek ďalšieho ireverzibilného zásahu človeka.

B. Dlho diskutovaný návrh zmeny hraníc



Obr. 37 Dnový stabilizačný prah v Liptovskom Hrádku (vľavo) a betónovo-kamenná opora cestnej komunikácie medzi Pribylinou a Podbanským (vpravo) (Foto: KIDOVÁ 2009).

zonácie BR Tatry nesie v sebe nielen otázku únosnosti cestovného ruchu v danej oblasti, ale predovšetkým zachovanie prírodného bohatstva v najstaršom národnom parku na Slovensku. V prípade ochrany riečnych systémov sa veľký dôraz kladie na kvalitatívne vlastnosti povrchovej, prípadne podpovrchovej vody a kvantitatívne zastúpenie ohrozených, chránených alebo vzácných rastlinných alebo živočíšnych druhov. Morfológia koryta patrí medzi vlastnosti riečnych systémov, ktoré si zaslúžia v ochrane prírodného dedičstva patričné miesto, ako je to napríklad v prípade Domašinského meandra na rieke Váh a unikátneho geomorfologického útvaru Obtočníka Váhu (Prírodné pamiatky, 4. stupeň ochrany), Kátovského mŕtveho ramena rieky Moravy (prírodná pamiatka, 5. stupeň ochrany), geomorfologicky, biologicky a krajinnársky mimoriadne cenného Klátovského ramena – prítok Malého Dunaja (Národná prírodná rezervácia, 5. stupeň), v prípade potoka Chrenovka, jedného z posledných neregulovaných vodných tokov v okrese Nové Zámky (Prírodná pamiatka, 4. stupeň ochrany) alebo kaňonovi-

tých prielomov Hornádu (Národná prírodná rezervácia, 5. stupeň ochrany), Muráňa a Nitrice (Prírodné pamiatky, 4. stupeň ochrany) a iných (Štátny zoznam osobitne chránených častí prírody SR, www12). Za jedinečne zachovalý a morfológicky unikátny pôdorys považujeme aj pôdorys vodného toku Belá. Vzhľadom na to, že aj najviac nestabilné riečne úseky Belej sú súčasťou celku a podliehajú tak vonkajším vplyvom v celej jej dĺžke, v zmysle zachovania prirodzeného vývoja týchto úsekov by sme súčasnú hranicu zóny C s 3. stupňom ochrany od Liptovského Hrádku po Pribylinu navrhovali posunúť na pravý okraj jej najväčšieho možného erózneho koridoru, ktorý predstavuje hranu riečnej terasy ako prirodzenej bariéry vodného toku (**Obr. 39**). Zóna C zahŕňa časti územia s výraznejším premenením pôvodných prírodných zložiek človekom a socioekonomickým využívaním. Dlhodobým cieľom je podľa ŠOP SR zabezpečiť aj v intenzívne hospodársky využívaných lesných porastoch stanovištne vhodné drevinové zloženie, ktoré posilňuje odolnosť porastov, v priestoroch s trávnyimi porastami



Obr. 38 Prevádzka MVE nad diaľničným mostom za Dovalovom kopíruje ľavostrannú polohu koryta v rokoch 1949 – 1961 (vľavo a v strede). Vybudovanie bezpečnostného prepadu v súčasnom aktívnom koryte (vpravo) obmedzuje jeho laterálnu migráciu.

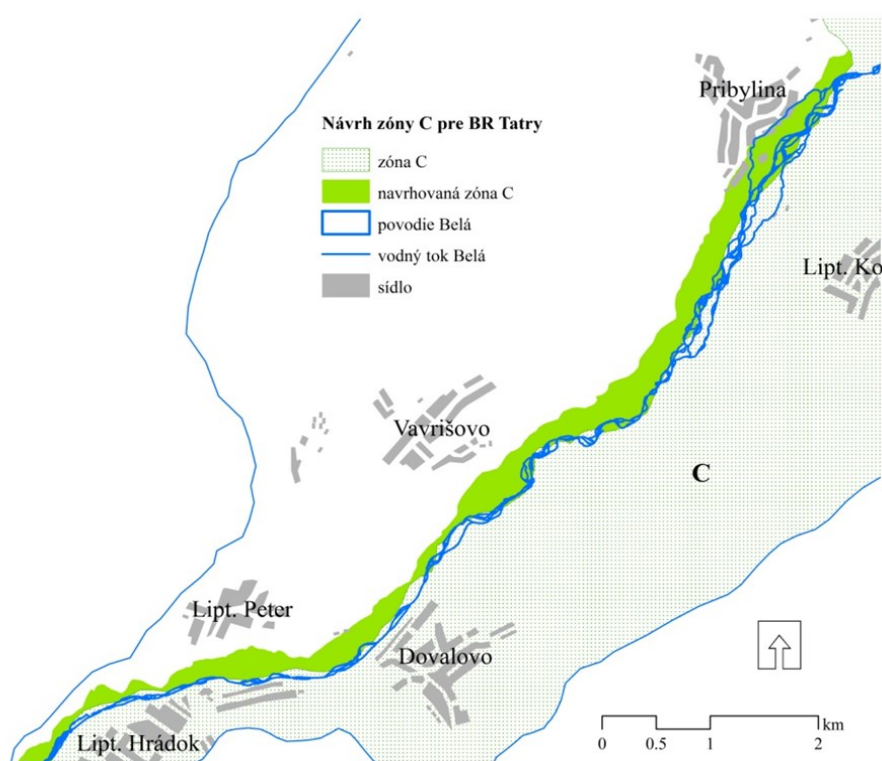
zabezpečiť zachovanie druhej bohatosti a charakteru krajiny a usmerňovať rekreačné a iné využívanie.

C. S cieľom propagovať a chrániť unikátny riečny systém na Slovensku, ktorým je rieka Belá, navrhujeme o ňom oboznámiť širokú verejnosť formou náučného chodníka v rámci existujúcej cyklotrasy vedúcej po nive Belej.

D. Pre zjednodušenie a komplexný prístup k informáciám o Belej vytvoriť webovú platformu financovanú zo zdrojov Európskej únie, kde by sa prezentovali všetci zúčastnení aktéri (vymieňanie najnovších poznatkov, diskusia lai-

kov aj odborníkov, spolupráca).

Vzájomné ovplyvňovanie jednotlivých skupín aktérov môže v budúcnosti naznačiť ďalšie smerovanie v oblasti manažmentu rieky Belá. Otázkou však ostáva, ktorou cestou sa naša spoločnosť pri využívaní prírodného prostredia vyberie. Z tohto dôvodu cítime potrebu o to zodpovednejšie pristupovať k našej vedeckej práci a svojimi výsledkami tak objektívne ovplyvniť decíznu sféru manažmentu na vodnom toku Belá. Ideálnym stavom je rovnováha medzi jej komerčným využitím a zároveň zachovaním jedinečnosti prírodného bohatstva.



Obr. 39 Návrh rozšírenia hranice C zóny pre BR Tatry v prospech ochrany prirodzeného vývoja vodného toku Belá.

9. ZÁVER

V práci sme sa venovali výskumu morfológie viackorytového divočiaco-migrujúceho vodného toku Belá zo zameraním sa na analýzu jej priestorovej štruktúry, jej zmien a identifikácii foriem týchto zmien z hľadiska meniacich sa environmentálnych podmienok v deviatich časových horizontoch v období rokov 1823, 1938, 1949, 1961, 1973, 1986, 1992, 2003 a 2009. Realizovaný bol výskum zmien pôdorysnej vzorky koryta za posledných 180 rokov (1823 – 2009) a v súvislosti s jeho geomorfologickou odozvou na extrémne povodňové prietoky za posledných 60 rokov (1949 – 2009). Okrem toho sme analyzovali kľúčové faktory ovplyvňujúce zmeny v korytovej morfológii a navrhli sme opatrenia na zlepšenie manažmentu riečneho koridoru vodného toku Belá.

Prvá časť našej práce tvoria základné teoretické východiská opierajúce sa o vývoj vodných tokov, problematiku divočiach a migrujúcich riek v klasifikácii riečnych systémov, terminológiu viackorytových vodných tokov, podmienky ich vzniku a výskytu a ich správanie prepojené s prebiehajúcimi vnútrokorytovými procesmi a procesmi formujúcimi nivu. Empirická časť práce tvorí charakteristika študovaného územia vodného toku Belá, použité metódy a postupy výskumu a samotné dosiahnuté výsledky predstavujúce komplexný induktívny a deduktívny prístup k hodnoteniu pôdorysnej vzorky jej koryta.

Prevažná časť prác v rámci induktívneho prístupu prebiehala v prostredí ArcGIS. Analýzou údajov z diaľkového prieskumu Zeme sme vytvorili geodatabázu morfológických foriem vodného toku Belá a identifikačný kľúč pre vnútro-korytovú klasifikáciu terestrických (dolina vodného toku, riečna terasa, niva, ostrov, lavica) a akvatických foriem (vodná plocha). Prezentovaný model typológie vnútrokorytových foriem môže slúžiť ako model pre

ostatné divočiaco-migrujúce rieky. Pre postihnutie časovo-priestorovej distribúcie zmien vnútrokorytových foriem a pôdorysnej vzorky ako odozvy na vybrané povodňové udalosti pre sledované obdobie 1949 – 2009 bol aplikovaný induktívny prístup hodnotenia pôdorysnej vzorky koryta na plošne rovnakých 100 m dlhých korytových úsekoch s využitím štatistických metód. Na pravidelných 300 m dlhých korytových úsekoch sme aplikovali multivariačnú deskriptívnu štatistickú analýzu hlavných komponentov (PCA).

Aplikáciou deduktívneho prístupu hodnotenia pôdorysnej vzorky koryta sme vyčlenili segmenty a zóny v zmysle hierarchickej klasifikácie morfológie riek (RMHC) a vykonali prieskum antropogénnych vplyvov.

Výsledkami práce, ktoré sme dosiahli pri výskume morfológie koryta vodného toku Belá sme dospeli k nasledujúcim záverom:

- klesajúci trend plochy aktívneho koryta poukazuje na dlhodobú degradáciu riečneho systému v zmysle jeho zarezávania do podložia (v hornej časti toku cca 1,3 m/ v strednej časti toku cca 1,5 m/ v dolnej časti toku cca 1,1 – 3,5 m), zužovania a napriamovania korýt, zmeny štruktúry vnútrokorytových foriem, nárastu plochy ostrovov a straty schopnosti ďalšej laterálnej erózie brehov a vnútrokorytových foriem,

- odozvou koryta na extrémne povodňové udalosti je zjednodušovanie divočiaco-migrujúcej pôdorysnej vzorky koryta na migrujúco-meandrujúci typ.

Za kľúčové vplyvy, ktoré sa podieľajú na celkovej degradácii riečneho systému považujeme:

- vplyv človeka narušením laterálnej a longitudinálnej konektivity riečneho systému (výstavba protipovodňových hrádzí, dnové stabilizačné prahy a spevňovanie brehov v morfológicku

najdynamickejšej dolnej časti vodného toku, ťažba štrkov z koryta, zmena lesnej krajiny, pokrývky povodia, prevádzka niekoľkých malých vodných elektrární),

– vplyv podmienok prostredia, v ktorých sa nachádza (tektonicko-geologické, hydrologicko-klimatické).

LITERATÚRA

- ASHMORE, P. E. (1982). Laboratory modelling of gravel braided stream morphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 7, 201 – 225.
- ASHMORE, P. E. (1991). How do gravel bed rivers braid? *Canadian Journal of Earth Sciences*, 28, 326 – 341.
- ASHMORE, P. E., FERGUSON, R. I., PRESTEGAARD, K. L., ASHWORTH, P. J., PAOLA, C. (1992). Secondary flow anabranch confluences in a braided, gravel-bed stream. *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 299 – 311.
- ASHWORTH, P. J. (1996). Mid-channel bar growth and its relationship to local flow strength and direction. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 2, 103 – 124.
- ASHWORTH, P. J., FERGUSON, R. I. (1986). Interrelationships of channel processes, changes and sediments in a proglacial braided river. *Geografisker Annaler*, 68A, 361 – 371.
- ASHWORTH, P. J., FERGUSON, R., POWELL, M. (1992). *Bedload transport and sorting in braided channels*. In Billi, Hey, Thorne, Tacconi eds. Dynamics of gravel bed rivers, Wiley and Sons, 497 – 513.
- BAUMGART-KOTARBA, M. (1987). *Formation of coarse gravel bars and alluvial channels, braided Bialka River, Carpathians, Poland*. In Gardiner V. ed. International Geomorphology, 1986, part I, 633 – 648.
- BENTHAM, P. A., TALLING, P. J., BURBANK, D. W. (1993). *Braided stream and flood-plain deposition in a rapidly aggrading basin: the Escanilla formation, Spanish Pyrenees*. In Best J. L., Bristow C. S. eds. Braided rivers, Geological Society, London, Special Publication, 75, 177 – 194.
- BERTOLDI, W., ZANONI, L., TUBINO, M. (2009). Planform dynamics of braided streams. *Earth Surface Processes and Landforms*, DOI: 10.1002/esp.1755.
- BERTOLDI, W., GURNELL, A. M., DRAKE, N. A. (2011). The topographic signature of vegetation development along a braided river: Results of a combined analysis of airborne lidar, color air photographs, and ground measurements. *Water Resources Research*, 47, W06525, doi:10.1029/2010WR010319.
- BLUCK, B. J. (1979). *Structure of coarse grained braided alluvium*. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 70, 29 – 46.
- BRICE, J. C. (1960). *Index for description of channel braiding*. Geological Society of America Bulletin, 71, 1833.
- BRICE, J. C. (1964). *Channel patterns and terraces of the Loup rivers in Nebraska*. US Geological Survey Professional Paper, 422-D.
- BRIDGE, J. S. (1985). Palaeochannel patterns inferred from alluvial deposits: a critical evaluation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55, 579 – 589.
- BRIDGE, J. S. (1993). *The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport and deposition in braided rivers*. In Best J. L., Bristow C. S. eds. Braided rivers, Geological Society, London, Special Publications, vol. 75, 13 – 71.
- BRIERLEY, G. J., FRYIRS, K. A., OUTHET, D., MASSEY, C. (2002). Application of the river styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. *Applied Geography*, 22, 91 – 122.
- BRIERLEY, G. J., FRYIRS, K. A. (2005). *Geomorphology and river management. applications of the river styles framework*. Blackwell Publishing, Malden, 398 p.
- BRISTOW, C. S. (1987). *Brahmaputra River: channel migration and deposition*. In Ethridge F. G., Flores R. M., Harvey M. D. eds. Recent developments in fluvial sedimentology, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publications, 39, 63 – 74.

- BRISTOW, C. S., BEST, J. L. (1993). *Braided rivers: perspectives and problems*. In Best J. L., Bristow C. S. eds. Braided rivers. Geological Society, London, Special Publications, 75, 1 – 11.
- BURGE, L. M. (2005). Wandering Miramichi rivers, New Brunswick, Canada. *Geomorphology*, 69, 253 – 274.
- BURKHAM, D. E. (1972). *Channel changes of the Gila River in Safford Valley, Arizona, 1864 – 1970*. United States Geological Survey Professional Paper, P 0655–G, G1 – G24.
- CANT, D. J., WALKER, R. G. (1978). Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. *Sedimentology*, 17, 625 – 648.
- CARSON, M. A., GRIFFITHS, G. A. (1987). Bedload transport in gravel channels. *Journal of Hydrology (NZ)*, 26, 1 – 151.
- CHARLTON, R. (2008). *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Routledge, New York, 234 p.
- CHEW, L., ASHMORE, P. (2001). Channel adjustment and a test of rational regime theory in a proglacial braided stream. *Geomorphology*, 37, 43 – 63.
- CHURCH, M. (1983). Pattern of instability in a wandering gravel bed channel. In Collinson J. D., Lewin J. eds. Modern and ancient alluvial systems, International Association of Sedimentologists Special Publication, 6, 169 – 180.
- CHURCH, M. (1992). *Channel morphology and typology*. In Calow P., Petts G. E. eds. The Rivers Handbook, Blackwell Scientific, London, 126 – 143.
- COLEMAN, J. M. (1969). Brahmaputra River channel processes and sedimentation. *Sedimentary geology*, 3, 129 – 239.
- COLLINSON, J. D. (1970). Bedforms in the Tana River, Norway. *Geografiska Annaler*, 52, 31 – 56.
- COMITY, F., DA CANAL, M., SURIAN, N., PICCO, L., LENZI, M. A. (2011). Channel adjustments and vegetation cover dynamics in a large gravel bed river over the last 200 years. *Geomorphology*, 125, 147 – 159.
- FERGUSON, R. I. (1993). *Understanding braiding processes in gravel-bed rivers: progress and unsolved problems*. Geological Society, London, Special Publications, 75, 73 – 87.
- FRANDOFER, M. (2010). *Morphology and classification of upper Topľa River*. In Geomorfologický sborník 9. Editori Křížek, M., Nyplová, P., Vočadlova, K., Borská, J., Praha, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. ISBN 978-80-86561-32-5, s. 16.
- FRIEND, P. F., SINHA, R. (1993). *Braiding and meandering parameters*. In Best J. L., Bristow C. S. eds. Braided Rivers, The Geological Society, London, 105 – 112.
- GERMANOSKI, D., SCHUMM, S. A. (1993). Changes in braided river morphology resulting from aggradation and degradation. *The Journal of Geology*, 101, 451 – 466.
- GOFF, J. R., ASHMORE, P. E. (1994). Gravel transport and morphological change in braided Sunwapta River, Alberta, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19, 195 – 212.
- GOUDIE, A. S. ed. (2004). *Encyclopedia of Geomorphology*. Volume 1, 2, Routledge, London, USA, Canada, 578 p.
- GRAN, K., PAOLA, C. (2001). Riparian vegetation controls on braided stream dynamics. *Water Resources Research*, 37, 3275 – 3283.
- GRAY, D., HARDING, J. S. (2007). *Braided river ecology: a literature review of physical habitats and aquatic invertebrate communities*. Science for Conservation, 279, 1 – 50.
- GREŠKOVÁ, A., LEHOTSKÝ, M. (2004). *Priestorové štruktúry riečnej krajiny*. In Měkotová J., Štěrba O. ed. Řiční krajina 4: sborník příspěvků z konference, Olomouc, Palackého univerzita, 44 – 51.
- GREŠKOVÁ, A., LEHOTSKÝ, M. (2006). Stav plného koryta a jeho význam pre poznávanie a manažment morfológie vodných tokov. *Geografický časopis*, 58, 2, 317 – 328.
- GROSS, P., KÖHLER, E. a kolektív (1980). *Geológia Liptovskej kotliny*. GÚDŠ, Bratislava.
- HALAJ, P. (2004). *Revitalizácia vodných tokov*. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 200 s.
- HLUBOCKÝ, B. (1974). *Reprezentatívne povodie Belej – predbežné vyhodnotenie režimu*

po-vrchových vôd. Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, 79 s.

HONG, L., DAVIES, T. (1979). A study of stream braiding: summary. *Geological Society of America Bulletin*, 90, 12, 1094 – 1095.

HOWARD, A. D., KEETCH, M. E., VINCENT, C. L. (1970). Topological and geometrical properties of braided streams. *Water Resources Research*, 6, 1674 – 1688.

HUGHES, M. L., MCDOWELL, P. F., MARCUS, A. W. (2006). Accuracy assessment of georectified aerial photographs: Implications for measuring lateral channel movement in a GIS. *Geomorphology*, 74, 1 – 16.

JAIN, V., SINHA, R. (2004). Fluvial dynamics of an anabranching river system in Himalayan foreland basin, Baghmata River, North Bihar Plains, India. *Geomorphology*, 60, 147 – 170.

JANTSCH, E. (1980). *The self-organizing universe: scientific and human implications of the emerging paradigm of evolution*. 1st edition, Pergamon Press, Oxford and New York, 343 p.

KELLERHALS, R., CHURCH, M., BRAY, D. I. (1976). Classification and analysis of river processes. *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, 102, 813 – 829.

KIDOVÁ, A. (2010). Vývoj antropogénneho vplyvu na morfológiu koryta vodného toku – príklad rieky Belej. In: Liga, J., Pavlovič, V., Strelková, M., Ričiová, D., Cápay, M. (Eds.), *Mladí vedci 2010: zborník vedeckých prác doktorandov, mladých vedeckých a pedagogických pracovníkov*. Fakulta prírodných vied Univerzity Konštantína Filozofa, Nitra, 485 – 491.

KIDOVÁ, A., LEHOTSKÝ, M. (2012). Časovo-priestorová variabilita morfológie divočiaceho a migrujúceho vodného toku Belá. *Geografický časopis*, 64, 4, 311–333.

KIDOVÁ, A., LEHOTSKÝ, M., RUSNÁK, M. (2016). Geomorphic diversity in the braided-wandering Belá River, Slovak Carpathians, as a response to flood variability and environmental changes. *Geomorphology*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.01.002>

KNIGHTON, A. D. (1998). *Fluvial Forms and Processes*. London, Arnold, 383 p.

KNIGHTON, A. D., NANSON, G. C. (1993). Anastomosis and the continuum of channel pattern. *Earth Surface Process and Landforms*, 18,

613 – 625.

KONTRIŠ, J. (1981). Pôdnoekologické a fyto-cenologické pomery lužných lesov Liptovskej kotliny. VEDA, Bratislava, 3, 27, 164 s.

KOZARSKI, S., ROTNICKY, K. (1977). Valley floors and changes of river channel patterns in the North Polish Plain during the late Wurm and Holocene. *Quaestiones Geographicae*, 4, 51 – 93.

LAGASSE, P. F., SPITZ, W. J., ZEVENBERGEN, L. W., ZACHMANN, D. W. (2004). Handbook for predicting stream meander migration. Washington (National Cooperative Highway Research Program).

LANE, E. W. (1955). *The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering*. American Society of Civil Engineers, Proceedings, 81, 1 – 17.

LEHOTSKÝ, M. (2004a). River morphology hierarchical classification (RMHC). *Acta Universitatis Carolinae: Geographica*, XXXIX, 1, 33 – 45.

LEHOTSKÝ, M. (2004b). Hodnotenie morfológie vodných tokov. *Geomorphologia Slovaca*, 4, 2, 36 – 47.

LEHOTSKÝ, M. (2005). Metodologické aspekty správania a zmien korytovo-nívných geosystémov. *Geomorphologia Slovaca*, 5, 1, 34 – 50.

LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2003). Geomorphology, fluvial geosystems and riverine landscape (methodological aspects). *Geomorphologia Slovaca*, 3, 2, 46 – 59.

LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2004a). *Hydromorfologický slovník (Slovensko-anglický výkladový slovník hydromorfologických termínov)*. Bratislava, Slovenský hydrometeorologický ústav, 77 s., <http://www.shmu.sk/File/implementacia_rsv/slovník/slovnfinal.pdf>

LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2004b). *Korytovo-nívné geosystémy a riečna krajina: prieskum a hodnotenie*. Geografie – sborník české geografické společnosti, 109, 4, 277 – 288.

LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2006). Riečna krajina - integrovaný výskum a environmentálne plánovanie. *Acta Geographica Universitatis Comenianae*, 47, 187 – 195.

LEHOTSKÝ, M., LACIKA, J. (2007). Typy segmentov dolinovo-riečnych systémov s veľv

-sočinovou zdrojovou zónou: príklad Tatier. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, VII, 1, 27 – 35.

LEHOTSKÝ, M., NOVOTNÝ, J., GREŠKOVÁ, A. (2008). Complexity and landscape. *Geografický časopis*, 60, 2, 95 – 112.

LEHOTSKÝ, M., FRANDOFR, M., NOVOTNÝ, J., RUSNÁK, M., SZMANDA, J. B. (2013). *Geomorphic/Sedimentary Responses of Riveres to Floods: Case Studies from Slovakia*. In *Geomorphological Impacts of Extreme Weather*. Dordrecht, Springer, 37 – 52.

LEHOTSKÝ, M., KIDOVÁ, A., RUSNÁK, M. (2015). Slovensko-anglické názvoslovie morfológie vodných tokov. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 1, 63 s.

LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G. (1957). *River channel patterns: braiding, meandering and straight*. U.S. Geological Survey Professional Papers 282b, 39 – 85.

LEWIN, J. (1989). *Floods in fluvial geomorphology*. In Beven K., Carling P., eds. *Floods: hydrological, sedimentological and geomorphological implications*, John Wiley and Sons, New York, 265 – 284.

LEWIN, J., BREWER, P. A. (2001). Predicting channel patterns. *Geomorphology*, 40, 329 – 339.

LUCHI, R., BERTOLDI, W., ZOLEZZI, G., TUBINO, M., BARUFFI, F. (2006). *Un modello concettuale per la stima dei parametri significativi di un corso d'acqua intrecciato: il caso del fiume Tagliamento*. Proceedings of the XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Rome, 10 – 15 September, CD-ROM.

MAGLAY, J., HALOUZKA, R., BAŇACKÝ, V., PRISTAŠ, J., JANOČKO, J., HÓK, J. (1999). Neotektonická mapa Slovenska. MŽP SR a GSSR, Bratislava.

MAJERČÁKOVÁ, O., ŠKODA, P., DANÁČOVÁ, Z. (2007). Vývoj vybraných hydrologických a zrážkových charakteristík za obdobia 1961–2000 a 2001–2006 v oblasti Vysokých Tatier. *Meteorologický časopis*, 10, 4m, 205 – 210.

MARTINCOVÁ, M., PEKÁROVÁ, P. (2010). Identifikácia zmien počtu extrémnych povodní a súch v radoch denných prietokov rieky Belá. *Acta Hydrologica Slovaca*, 11, 2, 267 – 273.

MAZÚR, E., LUKNIŠ, M. (1978). Regionálne geomorfologické členenie Slovenskej socialistickej republiky. *Geografický časopis*, 30, 101 – 125.

MOSLEY, M. P. (1976). An experimental study of channel confluences. *Journal of Geology*, 84, 535 – 562.

MOSLEY, M. (1981). Semi-determinate hydraulic geometry of river channels, South Island, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, 127 – 137.

MOSLEY, M. P. (1982). Analysis of the effect of changing discharge on channel morphology and instream uses in a braided river, Ohau River, New Zealand. *Water Resources Research*, 18, 800 – 812.

MOSLEY, M. (1983). Response of braided rivers to changing discharge. *Journal of Hydrology*, New Zealand, 22, 18 – 67.

NANSON, G. C., KNIGHTON A. D. (1996). Anabranching rivers: their cause, character and classification. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 217 – 239.

NICOLIS, G., PRIGOGINE, I. (1977). *Self-organisation in non-equilibrium systems: from dissipative structures to order through fluctuations*. Wiley, 491 p.

PARKER, G. (1976). On the cause and characteristic scale of meandering and braiding in rivers. *Journal of Fluid Mechanics*, 76, 459 – 480.

PEDERSEN, M. L., OVESEN, N. B., FRIBER, G. N., CLAUSEN, B., LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2004). *Hydromorphological assessment protokol for the Slovak republic*. <http://www.shmu.sk/File/implementacia_rsv/twinning/a1_Protocol_final.pdf>

PEKÁROVÁ, P., MIKLÁNEK, P., HALMOVÁ, D., ONDERKA, M., PEKÁR, J., KUČÁROVÁ, K., LIOVÁ, S., ŠKODA, P. (2011). Long-term trend and multi-annual variability of water temperature in the pristine Bela River basin (Slovakia). *Journal of Hydrology*, 400, 333 – 340.

PEKÁROVÁ, P., PACL, J., MIKLÁNEK, P., ŠKODA, P., PEKÁR, J. (2009). *Long-term discharge trend and multi-annual variability analysis of the mountainous Bela River (Slovakia) in 1895 – 2006*. In Herrmann, A. and Schumann, S., eds. *Landschaftsökologie und Um-*

weltforschung, 50, Brunschweig, 201 – 204.

PICKUP, G., RIEGER, W. A. (1979). A conceptual model of the relationship between channel characteristics and discharge. *Earth Surface Processes*, 4, 37 – 42.

PIÉGAY, H., DARBY, S. E., MOSSELMAN, E., SURIAN, N. (2005). A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion. *River Research and Applications*, 21, 773 – 789.

PIŠÚT, P. (2002). Channel evolution of the pre-channelized Danube River in Bratislava, Slovakia (1712 – 1886). *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 369–390.

PIŠÚT, P., TOMČÍKOVÁ, I. (2008). Rekonštrukcia vývoja Smrečianky v jej odozvovej zóne podľa historických máp. *Geografia Cassoviensis*, 122–127.

PIŠÚT, P., PROCHÁZKA, J., MATEČNÝ, I., BANDURA, P. (2016). Vývoj koryta Váhu pri Leopoldove v 17. – 20. storočí a odozva rieky na zásahy človeka. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, 2016. 272 s. ISBN 978-80-223-4107-3.

RAMOS, A., SOPENA, A. (1983). *Gravel bars in low sinuosity streams (Permian and Triassic, central Spain)*. In Collinson J. D., Lewin J., eds. *Modern and ancient fluvial systems*, Special Publications of the International Association of Sedimentologists, 6, 301 – 313.

RAMOS, A., SOPENA, A., PEREZ-ARLUCEA, M. (1986). Evolution of Buntsandstein fluvial sedimentation in the northwest Iberian ranges (Central Spain). *Journal of Sedimentary Petrology*, 56, 862 – 875.

RICE, S. P., CHURCH, M., WOOLDRIDGE, C. L., HICKIN, E. J. (2009). Morphology and evolution of bars in a wandering gravel-bed river, lower Fraser river, British Columbia, Canada. *Sedimentology*, 56, 709 – 736.

RICHARDS, K. S. (1980). A note on the changes in channel geometry at tributary junctions. *Water Resources Research*, 16, 241 – 244.

RICHARDS, K. S. (1982). *Rivers: form and process in alluvial channels*. Routledge, London, 361 p.

RICHARDS, K. S. (1999). The magnitude-frequency concept in fluvial geomorphology: a

component of a degenerating research programme. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband*, 118, 1 – 15.

RICHARDSON, W. R. (1997). *Secondary flow and channel change in braided rivers*. Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy.

ROBERTSON-RINTOUL, M. S. E., RICHARDS, K. S. (1993). *Braided-channel pattern and palaeohydrology using an index of total sinuosity*. In Bristow C. S., Best J. L., eds. *Braided rivers*, Geological Society Special Publication, 75, 113 – 119.

ROY, A. G., BERGERON, N. (1990). *Flow and particle paths at a natural river confluence with coarse bed material*. *Geomorphology*, 3, 99 – 112.

RUST, B. R. (1978). *A classification of alluvial channel systems*. In Miall A. D., ed. *Fluvial Sedimentology*, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoirs, 5, 187 – 198.

SCHUMM, S. A. (1968). River adjustment to altered hydrologic - Murrumbidgee River and palaeochannels, Australia. *United States Geological Survey Professional Paper*, 598 p.

SCHUMM, S. A. (1977). *The fluvial system*. John Wiley and Sons, New York, 338 p.

SCHUMM, S. A. (1985). Patterns of alluvial rivers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 13, 5 – 27.

SCHUMM, S. A., LICHTY, R. W. (1963). Channel widening and flood-plain construction along Cimarron River in Southwestern Kansas. *United States Geological Survey Professional Paper*, P 352-D, 71 – 88.

SCHUMM, S. A., LICHTY, R. W. (1965). Time, space and causality in geomorphology. *American Journal of Sciences*, 263, 110 – 119.

SIMONS, D. B., SIMONS, R. K. (1987). *Differences between gravel- and sand-bed rivers*. In Hey R. D., Bathurst J. C., Thorne C. R., eds. *Gravel-bed rivers*, John Wiley and Sons, 3 – 15.

SMITH, N. D. (1974). Sedimentology and bar formation in the upper Kicking Horse River, a braided outwash stream. *Journal of Geology*, 82, 205 – 224.

SMITH, S. A. (1990). The sedimentology and accretionary styles of an ancient gravel bed stre-

am: the Budleigh Salterton Pebble beds (Lower Triassic), southwest England. *Sedimentary Geology*, 67, 199 – 219.

SMITH, L. C., ISACKS, B. L., BLOOM, A. L., MURRAY, B. A. (1996). Estimation of discharge from three braided rivers using synthetic aperture radar satellite imagery: potential application to ungauged basins. *Water Resources Research*, 32, 7, 2021 – 2034.

SMITH, N. D., CROSS, T. A., DUFFICI, J. P., CLOUGH, S. R. (1989). Anatomy of an Avulsion. *Sedimentology*, 36, 1 – 23.

STEEL, R. J., THOMPSON, D. J. (1983). Structures and textures in Triassic braided stream conglomerates ('Bunter' Pebble Beds) in the Sherwood Sandstone Group, North Staffordshire, England. *Sedimentology*, 30, 341 – 368.

SURIAN, N., MAO, L., GIACOMIN, M., ZILIANI, L. (2009). Morphological effects of different channel-forming discharges in a gravel-bed river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, 8, 1093 – 1107.

SURIAN, N., RINALDI, M. (2003). Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, 50, 307 – 326.

ŠIPIKALOVÁ, H. ed. (2006). *Spracovanie hydrologických charakteristik za obdobie 1961 – 2000*. Záverečné správy výskumnej úlohy SHMÚ, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava.

THORNE, C. R. (1999). *Chapter 5: bank processes and channel evolution in the incised rivers of north-central Mississippi*. In Darby S. E., Simon A., eds. *Incised river channels*, Wiley, Chichester, England, 97 – 122.

THORNE, C. R., RUSSELL, A. P. G., ALAM, M. K. (1993). *Planform pattern and channel evolution of the Brahmaputra River, Bangladesh*. In Best J. L., Bristow C. S., eds. *Braided rivers*, Geological Society Special Publication, 75, 257 – 276.

TOMČÍKOVÁ, I. (2008). Priestorová variabilita morfológie bystrinného vodného toku. *Geomorphologica Slovaca et Bohemica*, 2, 58 – 68.

VELICER, W. F., JACKSON, D. N. (1990). Component analysis versus common factor analysis: some issues in selecting an appropriate procedure. *Multivariate Behavioral Research*, 25, 1 – 28.

WARBURTON, J., DAVIES, T. R. H. (1994). Variability of bedload transport and channel morphology in braided river hydraulic model. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19, 403 – 421.

WARBURTON, J., DAVIES, T. R. H., MANDL, M. G. (1993). *A meso-scale investigation of channel change and floodplain characteristics in an upland braided gravel-bed river, New Zealand*. In Best J. L., Bristow C. S., eds. *Braided Rivers*, Special Publication, Geological Society, 75, 241 – 256.

WOLMAN, M. G., GREARSON, R. (1978). Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology. *Earth Surface Processes*, 3, 189 – 208.

WOLMAN, M. G., MILLER, J. P. (1960). Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. *Journal of Geology*, 68, 54 – 74.

Internetové zdroje

- www1** <www.aprojekt.sk>
- www2** <www.hornyliptov.sk>
- www3** <<http://www.hornyliptov.sk/obec-liptovsky-peter-vyzva-c-5.html>>
- www4** <<http://www.hornyliptov.sk/obec-vavrisovo-vyzva-c-14.html>>
- www5** <<http://www.hornyliptov.sk/obec-pribylina-vyzva-c-14.html>>
- www6** <<http://www.hornyliptov.sk/obec-liptovska-kokava-vyzva-c-8.html>>
- www7** <<http://www.pribylina.sk/sk/files/subory/oz-bela.pdf>>
- www8** <www.spravatanap.sk>
- www9** <<http://www.sopsr.sk/natura/index1.php?p=4&sec=5&kod=SKUEV0141>>
- www10** <www.trivody.sk>
- www11** <www.pvpsas.sk>
- www12** <<http://uzemia.enviroportal.sk/main/list/page/50>>

GEOMORPHOLOGIA SLOVACA ET BOHEMICA

Volume 16, 2016 — Issue 2

ISSN 1337–6799