

VYBRANÉ ASPEKTY TRANSFORMÁCIE FLUVIÁLNEHO SYSTÉMU RIEKY VÁH V 20. STOROČÍ

Ján Novotný, Martina Cebecauerová*

* Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava, jan.novotny@savba.sk, geoglujz@savba.sk

Selected aspects of transformation of the Váh River fluvial system in the 20th century

The aim of this study is to analyse the changes in the morphology and riverine landscape or land cover of the Váh River, induced by human activity in the 20th Century. The Váh River is an exemplary case of human modification of the fluvial system (damming, by-passing, channel straightening, etc.). The Váh River fluvial system has been analysed in three ways. The planform changes have been evaluated for the whole river course, based on the topographic data displayed on the maps of the Third Military Mapping of the Austro-Hungarian Empire (reflecting the years 1869–1887) and spatial data on the national level of Slovakia – ZB GIS (2005–2008). The bankline movements, channel width and channel bars changes have been analysed in detailed scale, comparing two reaches (Púchov – Trenčín and Piešťany – Sereď). These analyses were based on the data obtained from the aerial photos and orthophotomaps (1949, 1985 and 2003). The land cover structures changes have also been analysed for one reach. The results have proven strong anthropogenic transformation of the Váh River fluvial system, especially channel narrowing, side channels and channel bars vanishing, forest riparian vegetation expansion and reduction of valuable aquatic and semi-aquatic habitats.

Key words: fluvial geomorphology, channel pattern evolution, river dynamics, river training, riverine landscape, land cover changes, channel pattern, by-passed river, the Váh River

ÚVOD

Fluviálne systémy sú veľmi senzitívne a dynamické. Ako konštatujú Brierley a Fryirs (2005), rieky nie sú statickými entitami a premenlivosť je ich prirodzenou vlastnosťou. V zmysle hierarchickej klasifikácie morfológie riek (Lehotský 2004) je možné túto premenlivosť sledovať v rôznych priestorových a časových mierkach. Modifikácie na jednotlivých hierarchických úrovniach nastávajú pri prekonaní prahových (*threshold*) hodnôt relevantných vlastností systému – *intrinsic thresholds* alebo jeho okolia – *extrinsic thresholds* (Schumm 1979). K prekonaniu prahov dochádza pod vplyvom rušivých udalostí, ktoré môžu mať pulzový – *pulsed inputs* (epizodické udalosti s nízkou frekvenciou a vysokou magnitúdou) alebo tlakový, resp. trendový – *ramped inputs* (trvalé zmeny celého systému) charakter (Brunsdén a Thornes 1979 a Lehotský 2005). Pri jednotlivých riekach je možné identifikovať charakteristický spôsob, akým sa na rôznych hierarchických úrovniach prispôsobujú takýmto vplyvom a reagujú na ne. Na úrovni korytovo-nivnej jednotky – *channel-floodplain unit* – takéto prispôsobovanie morfológie, vyvolané súborom erózných a depozitných mechanizmov, a vytváranie i pretváranie charakteristických fluviálnych foriem reliéfu a ich usporiadania chápeme ako správanie rieky – *river behaviour* (Brierley a Fryirs 2005 a Lehotský 2005). Toto platí pri zachovaní relatívnej uniformity hraničných podmienok (vstupné a výstupné hodnoty prietoku vody a toku sedimentov zostávajú v podstate konzistentné). Pri ich prekonaní už hovoríme o zmene rieky – *river change* (Brierley a Fryirs 2005).

Riešenie problematiky správania fluvialných systémov a zmien ich morfológie je esenciálnou úlohou fluvialnej geomorfológie. Jedným zo základných metodologických nástrojov je potom tzv. multitemporálna (resp. diachronická) analýza, založená na štúdiu historických priestorových záznamov (historické a topografické mapy, letecké a satelitné snímky a ortofotomapy), zachytávajúcích rôzne evolučné štádiá skúmaného objektu. Tento prístup sa využíva pri skúmaní širokého spektra procesov, najmä pri analýze zmien základných parametrov koryta rieky (napr. Assani a Petit 2004, Gordon a Meentemeyer 2006, Arnaud et al. 2011 a Ibsate et al. 2013), pri štúdiu laterálnej aktivity koryta (napr. James et al. 2009, Michalková 2009a, Rusnák a Lehotský 2014a, 2014b), pri sledovaní premenlivosti korytových akumuláčnych foriem (napr. Gupta et al. 2002, Hooke a Yorke 2011 a Kidová a Lehotský 2012), pri mapovaní vývoja nívnych foriem a pôdorysnej vzorky toku (napr. Hohensinner et al. 2008, Michalková 2009b, Kidová a Lehotský 2012, Procházka 2013 a Kidová et al. 2016), ako aj pri sledovaní zmien štruktúr krajinej pokrývky celej ripariálnej zóny (napr. Gordon a Meentemeyer 2006, Arnaud et al. 2011, Cebecauerová a Lehotský 2012 a Ibsate et al. 2013).

Cieľom tohto príspevku je identifikácia zmien vybraných morfológických charakteristík fluvialného systému rieky Váh, ktoré nastali v priebehu 20. storočia, keď sa na tomto vodnom toku uskutočnila rozsiahla vodohospodárska výstavba. Zamerali sme sa na kvantifikáciu zmien spôsobených týmito antropogénnymi zásahmi a na to, ako sa rieka správa po ukončení výstavby. V zmysle hierarchickej klasifikácie morfológie riek (Lehotský 2004) sme tok rozdelili do jednotlivých segmentov, v rámci ktorých boli sledované zmeny v ploche základných prvkov fluvialného systému. Podrobnejšie analýzy boli vykonané na príklade dvoch úsekov (Púchov – Trenčín, Piešťany – Sered'), kde bola hodnotená dynamika koryta Váhu na základe porovnania priebehu brehových línií a výskytu lavíc vo viacerých časových horizontoch. Sústredili sme sa najmä na sledovanie recentného vývoja (25 – 30 rokov po ukončení predmetnej vodohospodárskej výstavby), teda na obdobie, keď sa vodný tok svojou morfológiou prispôsobuje zmeneným, ale už relatívne stabilizovaným podmienkam (1985 – 2003). Okrem toho boli v úseku Piešťany – Sered' vyhodnotené aj celkové zmeny v krajinej pokrývke ripariálnej zóny, keďže sa predpokladajú silné väzby medzi morfológiou a vegetáciou v rámci korytovonivného systému (napr. Hupp a Osterkamp 1996).

ŠTUDOVANÉ ÚZEMIE A METÓDY

Rieka Váh má celkovú dĺžku 403 km. Dlhodobý priemerný ročný prietok Qa dosahuje nasledujúce hodnoty: $8,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pri Liptovskom Hrádku, $91,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pri Žiline, $123,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pri Púchove a $141,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pri Šali (SHMÚ 2010).

Váh bol v rámci fluvialno-geomorfológického výskumu zatiaľ preskúmaný len čiastočne. Základné poznatky o novodobej histórii tejto rieky, schematickú klasifikáciu a charakterizáciu jej morfológie prinášajú Michalková a Pišút (2010), ktorí vychádzajú z analýzy historických máp. Anstead a Barabas (2013) mapovali riečny koridor medzi Kráľovou Lehotou a Liptovským Mikulášom, pričom vyhodnocujú jednotlivé úseky z hľadiska narušenia ich hydromorfológických vlastností a kvality brehových porastov a poukazujú na možnosti hydromorfológického prieskumu ako nástroja pre manažment vodných tokov. Pôdorysná vzorka koryta dolného Váhu bola analyzovaná z hľadiska neotektonického vývoja územia (Procházka 2013). Veľká pozornosť bola venovaná interpretácii historických máp a archívnych zázna-

mov s cieľom skúmania odozvy fluvialneho systému dolného Váhu na recentné environmentálne zmeny a antropogénne vplyvy (Pišút a Procházka 2013 a Procházka 2014). O historické mapy z 19. storočia sa opierali aj Lehotský a Matušicová (2014) pri hodnotení človekom indukovaných morfológických zmien v úseku Váhu medzi Kráľovou nad Váhom a Nededom. Procházka a Pišút (2015) prinášajú chronologický prehľad regulácií koryta Váhu v úseku od Serede po jeho ústie do Dunaja v období rokov 1782 – 1900. Zhodnotenie zmien, ktoré nastali v 20. storočí, zatiaľ chýba.

V prvej fáze výskumu sme rozdelili tok Váhu v zmysle koncepcie Lehotského (2004) na jednotlivé segmenty. Hlavnými klasifikačnými kritériami boli sklon toku a šírka holocéennej nivy. Podkladmi pre priestorovú diferenciáciu boli digitálny model reliéfu DMT 3 a geologická mapa Slovenska (Káčer et al. 2005). Na ich základe bol v prostredí GIS ArcMap 10 vygenerovaný pozdĺžny profil rieky a boli vypočítané hodnoty sklonu pre jednotlivé úseky toku, ako aj šírky holocéennej nivy v rámci cca 270 priečných profilov doliny Váhu s približne pravidelnými rozstupmi. Šírku nivy sme určili na základe topografie a rozsahu holocéenných fluvialnych sedimentov zachytených v geologickej mape. Klasifikácia podliehala nevyhnutnému stupňu generalizácie a bola podriadená cieľu práce, ktorým bolo hodnotenie zmien v rámci porovnania priestorových jednotiek odlišujúcich sa z hľadiska vnútených hraničných podmienok správania fluvialneho systému (Brierley a Fryirs 2005).

Interpretácia zmien na úrovni celého toku vychádzala z porovnania dvoch časových horizontov. Prvý (pre zjednodušenie v ďalšom texte hovoríme o roku 1900) zodpovedá mapám tretieho vojenského mapovania z rokov 1869 – 1887 v mierke 1:25 000 (Arcanum 2007). Druhý (pre zjednodušenie v ďalšom texte hovoríme o roku 2000) zodpovedá objektom z kategórií SA010 Povrchové vodné plochy tečúce a BH080 Vodná plocha ZB GIS (ÚGKK 2011) s časovou platnosťou pre roky 2005–2008. Pre oba horizonty boli v prostredí GIS ArcMap 10 vytvorené polygónové údajové vrstvy (v prvom prípade vektorizáciou nad georeferencovanými rastrovými mapami, v druhom prípade prevzatím objektov z existujúcich údajových vrstiev ZB GIS), pričom jednotlivé objekty boli klasifikované do nasledujúcich kategórií: hlavné koryto, bočné koryto, zátočina, mŕtve rameno, umelý kanál, vodná nádrž (obr. 1).

Vyhodnotenie zmien potom spočívalo v porovnaní úhrnných plôch objektov danej kategórie prislúchajúcich k príslušnému segmentu. Vzhľadom na zvolenú metodiku nebolo možné vyhodnotiť zmeny v rámci segmentov Bieleho Váhu (B1 – B4), keďže šírka koryta je tu malá a použitá databáza ZB GIS tieto plochy nerozlišuje.

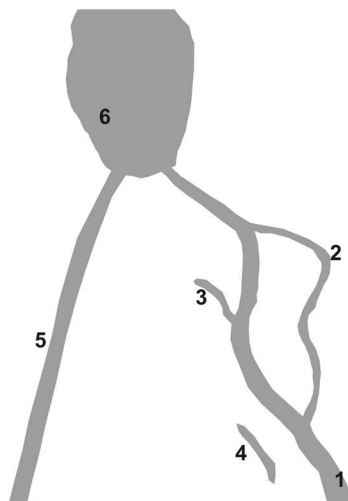
Aby bolo možné kvantitatívne vyhodnotiť zmeny a porovnať jednotlivé segmenty, vypočítali sme pre každý segment jednoduché miery redukcie – mieru redukcie prírodných (teda takých, ktoré nevytvoril priamo človek, pričom môžu byť ľudskou činnosťou modifikované) plôch R_p :

$$R_p = (P_{1900} - P_{2000}) / P_{1900} \cdot 100,$$

kde P_{2000} je súčet plôch prírodných prvkov (hlavné koryto, bočné korytá, zátočiny a mŕtve ramená) v roku 2000, P_{1900} je súčet plôch prírodných prvkov v roku 1900 a mieru redukcie hlavného koryta R_k :

$$R_k = (K_{1900} - K_{vn} - K_{2000}) / (K_{1900} - K_{vn}) \cdot 100,$$

kde K_{2000} je celková plocha hlavného koryta v roku 2000, K_{1900} celková plocha hlavného koryta v roku 1900 a K_{vn} plocha tej časti hlavného koryta v roku 1900, ktorá bola neskôr prekrytá vodnými nádržami.



Obr. 1. Schéma klasifikácie objektov fluvialneho systému

1 – hlavné koryto, 2 – bočné koryto, 3 – zátočina, 4 – mŕtve rameno, 5 – umelý kanál, 6 – vodná nádrž.

Na tejto úrovni sme okrem toho hodnotili aj redukcii plôch potenciálne aktívnej nivy, teda plôch medzirádzových priestorov. Pri ich vymedzovaní sme opäť vychádzali z máp tretieho vojenského mapovania (Arčunum 2007) a z databázy ZB GIS – kategória DB090 Násyp, ochranná hrádza (UGKK 2011). Plochy veľkých vodných nádrží neboli brané do úvahy. Pre jednotlivé segmenty bola vypočítaná miera redukcie aktívnej nivy Rn :

$$Rn = (N_{1900} - N_{2000}) / N_{1900} \cdot 100,$$

kde N_{1900} predstavuje plochy potenciálne aktívnej nivy v roku 1900 a N_{2000} v roku 2000.

Detailnejšie hodnotenie zmien sa opieralo o analýzu leteckých meračských snímok (Topografický ústav plk. Jána Lipského) a ortofotomáp (GEODIS SLOVAKIA, s.r.o.; Eurosense Slovakia, s.r.o.). Pre úsek medzi Piešťanmi a Seredňou boli vyhodnotené tri časové horizonty (1949, 1985 a 2003), pre úsek medzi Púchovom a Trenčínom dva (1985 a 2003). Analýzy vychádzali z vektorizácie brehových línií a lavíc v rámci koryta. Následne boli v rámci priečných profilov korytom (každých 250 m, spolu 260 profilov) hodnotené posuny brehových línií a zmeny šírky koryta. Pri laviciach boli brané do úvahy všetky akumulčné útvary v rámci koryta bez súvislej vegetačnej pokrývky.

Napokon boli v úseku medzi Piešťanmi a Seredňou analyzované celkové zmeny štruktúry krajiny pokrývky ripariálnej zóny rieky Váh porovnaním dvoch ekonomicko-politicky odlišných časových horizontov (roky 1949 a 2003). Prvou odvodenou dátovou vrstvou bola databáza areálov krajiny pokrývky z roku 2003 získanou interpretáciou ortofotomapy územia (GEODIS SLOVAKIA, s.r.o.; Eurosense

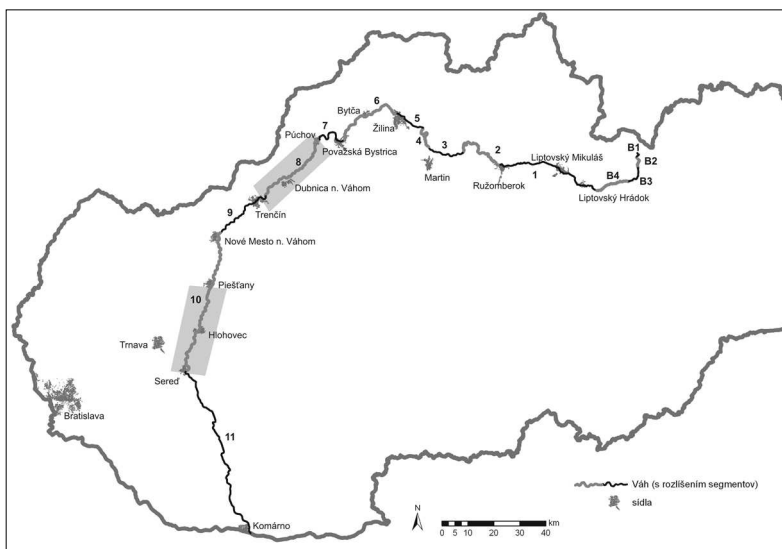
Slovakia, s.r.o.). Vstupnou dátovou vrstvou z roku 1949 boli letecké snímky z vojenského mapovania krajiny v 50. rokoch 20. storočia, ktoré boli najskôr upravené do kartografickej projekcie štátneho mapového diela S-JTSK (zhodnej s ortofotomapou) a následne interpretované metódou revízie a doplnenia vytvorenej referenčnej vrstvy z roku 2003. Interpretovaných bolo 16 tried krajinnnej pokrývky v roku 1949 a 17 tried v roku 2003, ktoré boli navrhnuté s cieľom zachytiť všetky vizuálne identifikovateľné prvky riečnej krajiny v študovanom území a vytvoriť tak jedinečnú komplexnú priestorovú mozaiku krajiny Váhu. Práve dynamickosť vodného toku – jeho horizontálne zmeny a pôsobenie na funkčne napojené krajinné prvky – zachytáva databáza zmien, ktorá vznikla naložením vrstiev krajinnnej pokrývky z rokov 1949 a 2003. Vhodným interpretačným nástrojom databázy zmien je analýza kontingenčných tabuliek (matice zmien tried krajinnnej pokrývky) vytvorená pre dve časti územia (časť Piešťany – Hlohovec a časť Hlohovec – Sereď) i za celok, ako aj základné štatistické posúdenie stavových zmien.

VÝSLEDKY

Klasifikácia fluvialného systému Váhu

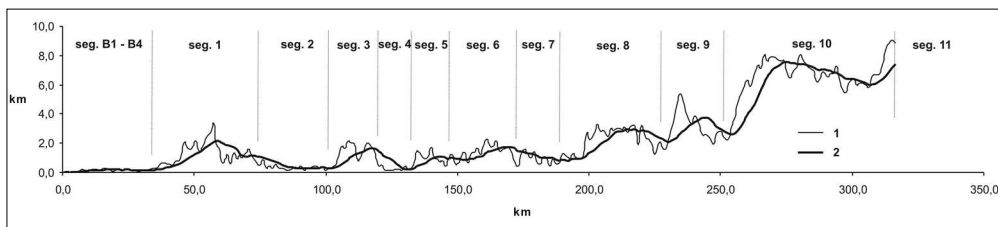
V zmysle koncepcie hierarchickej klasifikácie riečnej morfológie (Lehotský 2004, Lehotský a Novotný 2004 a Lehotský a Lacika 2007) je najvyššou hierarchickou jednotkou samotné povodie, ktorého základnými stavebnými kameňmi sú zóny. Pre rieku Váh je charakteristické to, že jej dolina prebieha naprieč centristicky usporiadanými morfoštruktúrnymi regiónmi klenby Západných Karpát (Minár et al. 2011). Jej zdrojové zóny sa teda nachádzajú v najvyššie vyzdvihnutých centrálnych regiónoch. Po sútoku Bieleho a Čierneho Váhu je dolina generalizovane orientovaná v smere V – Z až JV – SZ. Transferová zóna v rámci medzihorských kotlín je viacnásobne narušená tranzitnými úsekmi v rámci prielomov cez hrastové pohoria. Pri prechode z centrálneho do tranzitného morfoštruktúrneho regiónu Západných Karpát sa orientácia doliny Váhu mení na smer SV – JZ a takto pokračuje následne aj v rámci západného marginálneho morfoštruktúrneho regiónu. Prevládajú tu transferové úseky v rámci kotlín. Po prechode do juhozápadného predpolia, ktorého hranice sa zhodujú s hranicami odozvovej zóny Váhu v rámci Podunajskej nížiny, sa orientácia mení cez smer S – J na smer SZ – JV.

Opísanému priebehu doliny Váhu zodpovedá aj rozdelenie jeho fluvialného systému na jednotlivé segmenty (obr. 2 a tab. 1). Ich hranice vyplývajú najmä zo zmien v šírke holocénnej nivy (obr. 3) a priestorovo sa dajú stotožniť s hranicami geomorfologických jednotiek na úrovni celkov alebo podcelkov. Odlišujú sa mierou pôvodného vetvenia, ktorú chápeme ako pomer plochy bočných korýt a zátočín k celkovej ploche segmentu v roku 1900 (obr. 4). Na základe tohto ukazovateľa je možné segmenty zgrupovať do rozsiahlejších regionálnych celkov. Najnižšiu mieru vetvenia (do 10 %) vykazuje úsek medzi Ružomberkom a Žilinou (segmenty 2 – 5), strednú mieru (10 – 20 %) nadväzujúci úsek medzi Žilinou a Púchovom (segmenty 6 – 7), ako aj segment 1 v rámci Liptovskej kotliny. Najvyššiu mieru vetvenia dosahovali segmenty 8 – 10 medzi Púchovom a Sereďou (viac ako 30 %). Segment 11 v rámci odozvovej zóny mal naopak malý počet bočných korýt (6 %).



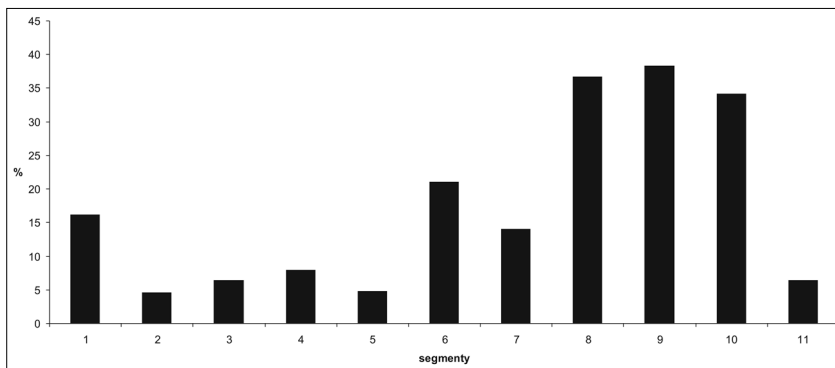
Obr. 2. Segmenty rieky Váh

Čísla zodpovedajú číslam segmentov v tab. 1. Sivými plochami sú zvýraznené podrobnejšie analyzované úseky.



Obr. 3. Šírka holocénnej nivy v rámci segmentov rieky Váh

1 – šírka nivy v jednotlivých priechných profiloch, 2 – kĺzavé priemery šírky nivy (perióda 10). V rámci segmentu 11 v Podunajskej rovine šírka nivy hodnotená nebola (splýva s holocénnymi náplavami Dunaja).



Obr. 4. Miera vetvenia v rámci segmentov rieky Váh

Hodnoty zodpovedajú prvému sledovanému časovému horizontu (zjednodušene rok 1900).

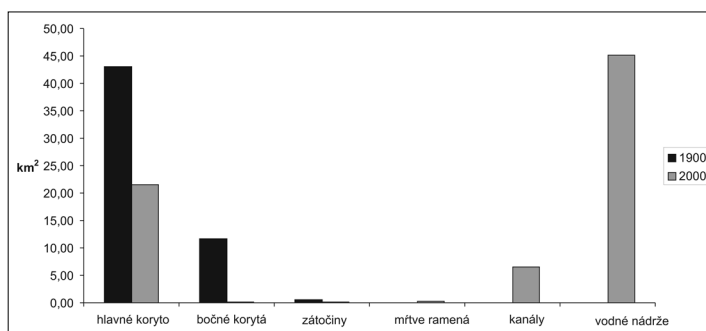
Tab. 1. Priemerné hodnoty vybraných parametrov v rámci segmentov rieky Váh (vrátane Bieleho Váhu)

Segment	Dĺžka (km)	Šírka nivy (m)	Spád (m)	Sklon (‰)	Lokalizácia
B1	3,17	50	460	145,25	južné svahy Vysokých Tatier
B2	4,28	90	590	137,98	Podtatranská kotlina - Tatranské podhorie
B3	9,22	200	180	19,52	Podtatranská kotlina - Liptovská kotlina (Hybianska pahorkatina)
B4	15,82	140	110	6,95	prielomová dolina okrajom pohoria Kozie chrbty (Važecký chrbát)
1	43,08	1 227	195	4,53	Podtatranská kotlina - Liptovská kotlina (Liptovské nivy)
2	28,64	340	65	2,27	prielomová dolina cez pohorie Veľkej Fatry
3	15,53	1 570	36	2,32	Turčianska kotlina
4	12,24	240	24	1,96	prielomová dolina cez pohorie Malej Fatry
5	14,83	1 023	20	1,35	Žilinská kotlina
6	23,50	1 430	40	1,70	Považské podolie - Bytčianska kotlina
7	17,32	920	20	1,16	prielomová dolina cez bradlové pásmo Javorníkov
8	40,29	2 200	65	1,61	Považské podolie - Ilavská kotlina
9	24,40	3 150	21	0,86	Považské podolie - Trenčianska kotlina
10	64,27	6 670	58	0,90	Podunajská pahorkatina - Dolnovážska niva
11	76,69	-	19	0,25	Podunajská rovina

ZMENY FLUVIÁLNEHO SYSTÉMU VÁHU V 20. STOROČÍ

Cieľom analýz na úrovni celého toku rieky Váh bolo interpretovať a kvantifikovať zmeny v plošnom zastúpení základných prvkov fluvialného systému, ktoré nastali v priebehu 20. storočia (obr. 5 a tab. 2). V prvom hodnotenom časovom horizonte mala pôdorysná vzorka dve hlavné zložky – cca 80 % celkovej plochy pripadalo na hlavné koryto a zvyšných 20 % na bočné korytá. Plocha zátočín bola v podstate zanedbateľná a umelé prvky absentovali. Pri druhom časovom horizonte môžeme konštatovať takmer úplný zánik bočných ramien a redukciu celkovej plochy hlavného koryta na 50 % pôvodnej hodnoty. Pritom asi len štvrtina z celkovo zaniknutých plôch hlavného koryta pripadá na plochy prekryté vodnými nádržami. Väčšinou k redukcii hlavného koryta došlo jeho postupným zužovaním. Transformáciu dokresľuje nárast umelo vytvorených plôch (derivačné kanály a vodné nádrže). Miera a charakter zmien sa samozrejme odlišujú v závislosti od prírodných podmienok a intenzity antropogénnych zásahov.

Ako sme už spomenuli, fluvialný systém Váhu bol systematicky antropogénne premieňaný najmä v súvislosti s vodohospodárskou výstavbou. Počas 20. storočia bol s cieľom využitia hydroenergetického potenciálu rieky postupne budovaný systém vodných nádrží, derivačných kanálov a vodných elektrární – tzv. Vážska kaskáda (tab. 3).



Obr. 5. Zmeny plôch objektov fluvialneho systému rieky Váh

Tab. 2. Úhrnné plochy objektov fluvialneho systému rieky Váh

Segment	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	3,55	1,12	0,68	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	21,21
2	2,57	1,39	0,12	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,61
3	1,74	0,80	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00
4	1,22	1,00	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
5	1,61	0,57	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	2,42
6	2,77	1,02	0,71	0,00	0,03	0,01	0,01	1,38	1,66
7	2,14	0,37	0,34	0,00	0,01	0,00	0,00	0,49	5,11
8	5,60	2,33	3,13	0,00	0,11	0,00	0,00	1,58	0,00
9	2,64	1,26	1,60	0,00	0,04	0,00	0,00	0,52	0,00
10	8,61	3,66	4,14	0,06	0,32	0,04	0,00	1,36	3,51
11	10,61	8,05	0,66	0,05	0,06	0,03	0,27	0,09	10,56

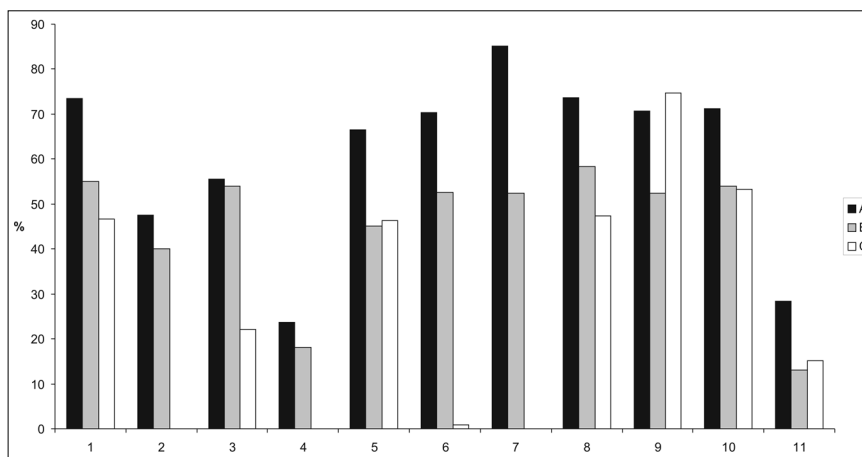
A – hlavné koryto 1900, B – hlavné koryto 2000, C – bočné korytá 1900, D – bočné korytá 2000, E – zátočiny 1900, F – zátočiny 2000, G – mŕtve ramená 2000, H – umelé kanály 2000, I – vodné nádrže 2000 (zvýraznené sú položky, ktoré sú z hľadiska hodnotenia zmien najviac relevantné).

Tab. 3. Prehľad najvýznamnejších objektov Vážskej kaskády

Segment	Vodná nádrž	Bajpas	Výstavba
1	Liptovská Mara + Bešeňová		1975 – 1976
2	Krpelianska priehrada		1957
3		Krpeliansky kanál	1957 – 1961
4			
5	VD Žilina		1994 – 1998
	Hričovská priehrada		1962 – 1964
6	Hričovská priehrada	Hričovský kanál	1962 – 1965
7	Nosická priehrada	Nosický kanál	1956 – 1958
8		Kočkovský kanál	1936 – 1949
9		Biskupický kanál	1953 – 1956
10		Biskupický kanál	1953 – 1956
	Sĺňava	Drahovský kanál	1960 – 1961
11	Kráľová		1985

Zdroj: Slovenské elektrárne (2010) a SPV (2008).

Zmeny v rámci jednotlivých segmentov sme hodnotili na základe miery redukcie prírodných plôch fluvialného systému – R_p , miery redukcie hlavného koryta – R_k a miery redukcie aktívnej nivy – R_n (obr. 6). Všetky miery percentuálne vyjadrujú, aká veľká časť pôvodných plôch zanikla. V rámci celého fluvialného systému Váhu dosiahla miera redukcie pôvodných plôch hodnotu 60,5 %, miera redukcie hlavného koryta 42 % a miera redukcie aktívnej nivy 38 %. Nadpriemerné hodnoty redukcie sme zaznamenali práve pri segmentoch, ktoré mali pôvodne vyšší podiel bočných koryt. Ide o úseky Vážskej kaskády od Hričovskej priehrady až po Hlohovec (segmenty 6 – 10). Vo všetkých prípadoch došlo k silnej redukcii plôch všetkých koryt (cca 70 – 85 %), ako aj samotného hlavného koryta (cca 50 – 60 %). V prípade segmentov 8 – 10 boli zaznamenané aj nadpriemerné hodnoty redukcie plôch potenciálne aktívnej nivy (viac ako 45 %). Podobná situácia je aj pri segmente 1 v Liptovskej kotline. Okrem výstavby Liptovskej Mary tu mali významný vplyv protipovodňové opatrenia, v dôsledku ktorých bolo zregulované a významne zredukované pôvodné široké riečisko Váhu medzi Liptovským Hrádkom a Liptovským Mikulášom. Celkovo najvyššia miera redukcie pôvodných plôch fluvialného systému bola zaznamenaná pri segmente 7, ktorý predstavuje prielomovú dolinu Váhu cez bradlové pásmo. Podstatná časť tohto segmentu je zaplavená vodami Nosiskej priehrady (nazývanej aj Priehrada mládeže). Z tohto dôvodu tu miera redukcie potenciálne aktívnej nivy ani nebola hodnotená. Najvyššia miera redukcie hlavného koryta nastala v rámci segmentu 8 (58 %), v úseku medzi Púchovom a Trenčínom. Popri vodohospodárskej výstavbe ovplyvnila koryto Váhu aj výstavba diaľnice D1, ktorej trasa tu vedie v úzkom priestore medzi riekou a kanálom. Aktívna niva bola najviac zredukovaná v prípade segmentu 9 (až 75 %). Naopak, v rámci tejto skupiny segmentov má z tohto hľadiska výnimočné postavenie segment 6 v rámci Bytčianskej kotliny. Topografické podmienky (relatívne úzke dno doliny v porovnaní so segmentmi 8 – 10) a najmä priestorové riešenie vzájomnej polohy Vážskeho kanála a starého koryta Váhu viedli k tomu, že rozsah medzihrádzových priestorov sa tu v priebehu 20. storočia v podstate nezmenil.



Obr. 6. Miera redukcie plôch fluvialného systému rieky Váh

A – miera redukcie prírodných plôch R_p , B – miera redukcie hlavného koryta R_k , C – miera redukcie plôch potenciálne aktívnej nivy R_n .

Zvláštne postavenie má segment 3 v Turčianskej kotline, miera redukcie hlavného koryta, v dôsledku výstavby Krpelianskeho kanála, tu patrí medzi najvyššie. Celková redukcia pôvodných plôch však dosiahla (v kontexte celého toku) len priemerné hodnoty (cca 40 – 65 %), podobne ako v prípade segmentu 5 v rámci Žilinskej kotliny. Pri tomto segmente sme naopak zaznamenali nadpriemernú hodnotu redukcie plôch potenciálne aktívnej nivy, čo súvisí predovšetkým s výstavbou Vodného diela Žilina, ktorého zvýšené brehy plnia funkciu hrádzi a oddeľujú ho od zvyšného územia pôvodnej nivy. Priemerné hodnoty redukcie boli zaznamenané aj pri segmente 2, ktorý predstavuje pomerne úzku prielomovú dolinu Váhu cez pohorie Veľkej Fatry.

Najnižšie hodnoty redukcie (cca 20 – 30 % v prípade všetkých plôch a cca 10 – 20 % v prípade hlavného koryta) sme zaznamenali pri dvoch segmentoch. Jedným je segment 4, ktorý je úsekom prielomovej doliny cez pohorie Malej Fatry. V rámci tzv. Strečnianskeho prielomu poskytujú prírodné podmienky rieke, ako aj ľudským aktivitám ešte menej priestoru ako v spomenutom prielome cez Veľkú Fatru. Prírodný charakter rieky sa zachoval aj vďaka ochrane prírody (veľká časť územia je súčasťou NPR). Druhým relatívne málo pozmeneným segmentom je posledný úsek rieky od Serede po Komárno v rámci Podunajskej roviny. Koryto sa tu už prirodzene menej vetvilo (obr. 4) a vytváralo výrazné meandrové oblúky. V rámci protipovodňových opatrení boli viaceré z nich prepichnuté a koryto napriamené (Lehotský a Matušicová 2014, Procházka a Pišút 2015). Výrazným zásahom bolo aj vybudovanie vodnej nádrže Kráľová. Budovanie protipovodňových hrádzi sa uskutočnilo v tomto úseku vo veľkej miere ešte pred časovým horizontom, ktorý zobrazujú použité mapy tretieho vojenského mapovania. Preto tu v samotnom 20. storočí nenastali až také významné zmeny ako v prípade niektorých iných úsekov a na základe použitej metodiky vychádzajú hodnoty mier redukcie R_p , R_k a R_n relatívne nízke (obr. 6).

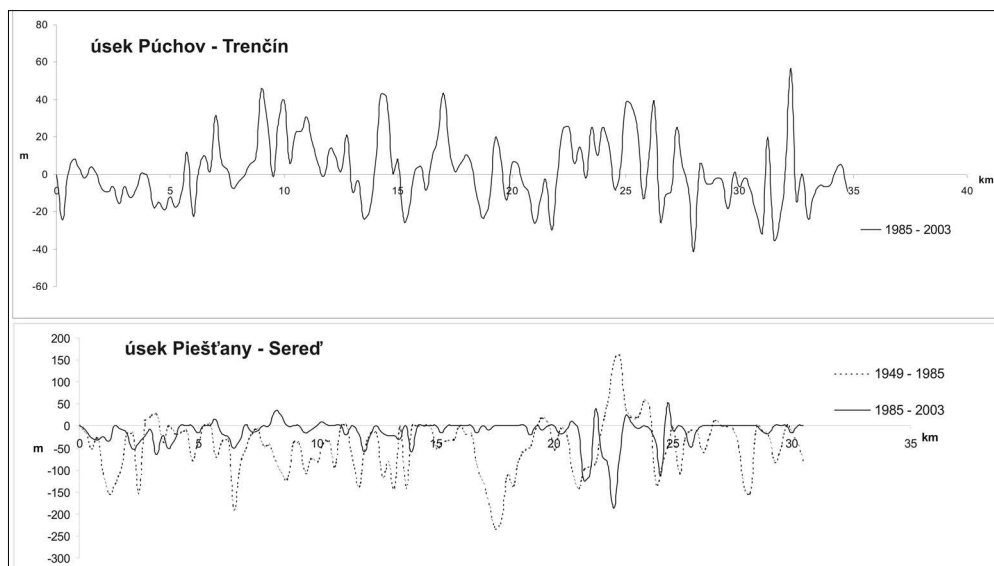
ZMENY KORYTA VÁHU VO VYBRANÝCH ÚSEKOCH VÁŽSKEJ KASKÁDY

Dynamiku súčasného koryta Váhu sme skúmali v dvoch úsekoch. Prvý úsek (dĺžka cca 35 km) medzi mestami Púchov a Trenčín predstavuje bajpasové koryto Váhu v úseku Kočkovského kanála (segment 8). Ide o najstaršiu časť Vážskej kaskády a prvý hodnotený časový horizont (1985) zobrazuje teda stav približne 35 rokov po jej dokončení. Druhý horizont (2003) zachytáva zmeny po necelých dvadsiatich rokoch.

Druhý úsek (cca 30 km) medzi mestami Piešťany a Sereď pokrýva dolnú časť segmentu 10 a zahŕňa posledný úsek Vážskej kaskády (Drahovský kanál). Bajpasový charakter má asi 1/3 hodnoteného úseku, čo umožňuje porovnanie vývoja jednoduchého a rozdeleného koryta. Pri tomto úseku sme mali okrem rokov 1985 a 2003 k dispozícii aj letecké meračské snímky z roku 1949. Hodnotený horizonty teda zachytávajú obdobie približne 10 rokov pred výstavbou a 25, resp. necelých 45 rokov po výstavbe daného úseku Vážskej kaskády.

Prvým hodnoteným parametrom bola šírka koryta (obr. 7 a tab. 4). Výsledky ukazujú pomerne veľké rozdiely medzi oboma úsekmi. V úseku medzi Púchovom a Trenčínom boli prípady zúženia (69 prípadov) a rozšírenia (70 prípadov) koryta rovnako početné a priemerné hodnoty šírky sa príliš nezmenili (tab. 4). V úseku medzi Piešťanmi a Sereďou dominujú prípady zužovania, a to, pochopiteľne, naj-

mä medzi rokmi 1949 a 1985 (91 prípadov zúženía oproti 32 prípadom rozšírenia, resp. prípadom bez signifikantnej zmeny). Trend zužovania je však evidentný aj v období rokov 1985 – 2003 (obr. 7 a tab. 4), pričom to platí tak pre úsek s bajpasom, ako aj pre úsek jednoduchého koryta.



Obr. 7. Zmeny šírky koryta rieky Váh vo vybraných úsekoch

Kladné hodnoty znamenajú rozšírenie, záporné zúženie v rámci daného priečného profilu.

Tab. 4. Štatistické ukazovatele šírky koryta Váhu vo vybraných úsekoch a rokoch

	A 1985	A 2003	B 1949	B 1985	B 2003
μ	72,5 m	74,5 m	144,5 m	97,0 m	83,0 m
Med	69,5 m	70,5 m	123,0 m	82,0 m	77,0 m
σ	19,5 m	19,5 m	67,0 m	51,5 m	36,0 m
MAX	131,0 m	135,5 m	344,0m	367,0 m	214,0 m
MIN	30,5 m	40,0 m	55,0 m	40,0 m	28,0 m

A – úsek Púchov – Trenčín, B – úsek Piešťany – Sereď; μ – aritmetický priemer, Med – medián, σ – smerodajná odchýlka, MAX – najväčšia hodnota, MIN – najmenšia hodnota.

So zmenami šírky koryta úzko súvisia aj posuny brehových línií. V úseku medzi Púchovom a Trenčínom dochádzalo k posunom pravého aj ľavého brehu v oboch smeroch (v smere zužovania aj v smere rozširovania koryta) rovnomerne. Priemerný posun brehovej línie bol rádovo desať metrov, najvyššie hodnoty nepresiahli 50 m. Výnimkou je úsek pri Nemšovej, kde bolo na dvoch miestach koryto umelo premiestnené kvôli výstavbe diaľnice a hodnoty posunu brehovej línie presahujú 100 m.

V úseku medzi Piešťanmi a Sereďou dominujú v celom sledovanom období posuny brehovej línie v smere zužovania koryta. V období medzi rokmi 1949 – 1985 dosahovali posuny v priemere 50 m, maximálne hodnoty prevyšovali 100 m.

V období 1985 – 2003 vo väčšine prípadov nebol zaznamenaný signifikantný posun brehovej línie, významnejšie posuny boli ojedinelé a v priemere dosahovali 30 – 40 m. Tieto „pasívne“ posuny brehovej línie súvisia najmä so zužovaním koryta v dôsledku zarastania vrcholových lavíc v oblúkoch toku.

Užitočným indikátorom zmien fluvialneho systému sú aj zmeny vo výskyte lavíc (Hooke a Yorke 2011). Ako lavice sme v sledovaných úsekoch identifikovali plochy v rámci koryta bez súvislej vegetačnej pokrývky.

Tab. 5. Štatistické ukazovatele počtu a veľkosti lavíc v koryte Váhu vo vybraných úsekoch a rokoch

	A 1985	A 2003	B 1949	B 1985	B 2003
Počet lavíc	96,00	85,00	64,00	42,00	38,00
Celková plocha lavíc (ha)	95,50	90,50	76,90	55,10	28,40
Priemerná veľkosť lavice (ha)	1,00	1,07	1,20	1,30	0,70
Medián veľkosti lavice (ha)	0,70	0,43	0,80	0,66	0,52
σ (ha)	0,84	1,23	0,97	1,38	0,73
MAX (ha)	3,40	6,00	4,20	4,70	3,00
MIN (ha)	0,03	0,01	0,04	0,04	0,07

A – úsek Púchov – Trenčín, B – úsek Piešťany – Sereď.

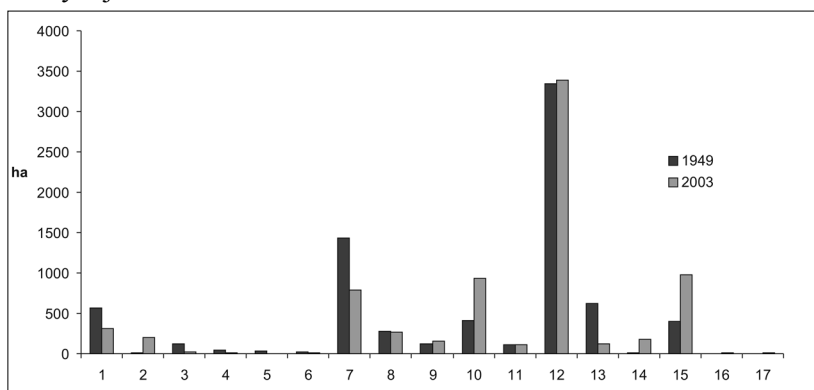
Pri porovnaní oboch úsekov sú aj v prípade lavíc evidentné pomerne významné rozdiely v ich počte, ploche a najmä v trende ich vývoja (tab. 5).

Úsek medzi Púchovom a Trenčínom má, v porovnaní s úsekom Piešťany – Sereď celkovo vyššiu početnosť lavíc (prvý úsek mal v roku 1985 v priemere cca 2,7 lavíc/km, resp. 2,7 ha lavíc/km; kým pri druhom úseku to aj pre rok 1949 bolo len 2,1 lavíc/km, resp. 2,5 ha/km). Najvýznamnejším rozdielom je vývoj počtu a najmä rozlohy lavíc (tab. 5). Vývoj týchto ukazovateľov má klesajúci charakter v oboch úsekoch. V úseku medzi Púchovom a Trenčínom poklesla v období rokov 1985 – 2003 celková plocha lavíc len o cca 5 %. V úseku Piešťany – Sereď dosiahla ich redukcia medzi rokmi 1949 – 1985 cca 28 % a medzi rokmi 1985 – 2003 až cca 48 %, pričom výraznejšia miera redukcie ako v úseku s bajpasom bola zaznamenaná v úseku jednoduchého koryta.

Z porovnania vývoja oboch úsekov medzi rokmi 1985 a 2003 vyplývajú zaujímavé rozdiely. V úseku medzi Piešťanmi a Sereďou dochádza k zužovaniu koryta, ako aj k zániku lavíc. Pokračuje tak trend z predošlého obdobia rokov 1949 – 1985. Naopak, v úseku medzi Púchovom a Trenčínom sa koryto na niektorých miestach zužuje, na iných zasa rozširuje, pričom priemerná hodnota jeho šírky zostáva v podstate nezmenená. Podobná situácia je aj v prípade lavíc, ktorých celková plocha klesla len mierne. Rozdiely môžu byť zapríčinené časom, ktorý uplynul od dokončenia vodohospodárskej výstavby (úsek medzi Púchovom a Trenčínom je o 10 – 20 rokov starší), sú ale zrejme ovplyvnené najmä rozdielmi vo využívaní krajiny v ďalšom období. Stavebné práce počas výstavby diaľnice v úseku Púchov – Trenčín v bezprostrednej blízkosti koryta zabránili výraznejšiemu rozvoju ripariálnej vegetácie a zarastaniu lavíc.

ZMENY KRAJINNEJ POKRÝVKY RIPARIÁLNEJ ZÓNY VÁHU

Pre širšie zázemie (v šírke 1 – 2 km na obe strany od hlavného koryta) druhého hodnoteného úseku boli analyzované celkové zmeny krajinej pokrývky ripariálnej zóny rieky Váh (obr. 8). Keďže ide prevažne o poľnohospodársku krajinu, zaberali v oboch časových horizontoch najväčšie plochy triedy súvisiace s poľnohospodárstvom (orná pôda, lúky, záhrady, sady a vinice). Zmeny v rámci týchto tried potom súviseli so zmenami v spôsobe hospodárenia (zánik pasienkov a lúk, zánik mozaiky malých záhrad a viníc a naopak vznik veľkoplošných vinohradov alebo ovocných sádov). Najväčší absolútny nárast sme zaznamenali pri zastavaných plochách, čo súvisí s vývojom obcí.



Obr. 8. Zmeny rozlohy jednotlivých tried krajinej pokrývky

1 – vodný tok (tečúca voda), 2 – vodné plochy (stojatá voda), 3 – piesok, štrk (bez vegetácie), 4 – pionierska vegetácia, 5 – lavice s rozptýlenou krovinovou a drevinovou vegetáciou, 6 – močiare, 7 – trávne porasty (lúky), 8 – trávne porasty s rozptýlenou drevinovou vegetáciou, 9 – kroviny, 10 – lesy so súvislým zápojom korún, 11 – lesy s nesúvislým zápojom korún, 12 – orná pôda, 13 – záhrady mimo intravilánu, záhradárske osady, mozaikové štruktúry, 14 – sady a vinice, 15 – zastavaná plocha (vrátane zelene a záhrad v intraviláne), 16 – otvorené umelé povrchy (bez vegetácie), 17 – ťažobné areály (ťažba štrku).

Plochy, ktoré priamo definujú fluvialny systém (hlavné prvky systému) boli výrazne zredukované. Trieda 1 – vodný tok zaznamenala v celom území pokles napriamčením úsekov toku, odrezaním bočných ramien a zúžením hlavného koryta. Tieto plochy boli zmenené najmä na trávnaté porasty (trieda 7) a les so súvislým zápojom korún stromov (trieda 10) – táto trieda zaznamenala v absolútnych hodnotách druhý najväčší nárast vo forme mäkkého aj tvrdého lužného lesa. Výmera lavíc (triedy 3, 4 a 5) bola zredukovaná len na 17 % ich pôvodného rozsahu a boli taktiež premenené najmä na lúky a les. Nárast sme zaznamenali v prípade triedy 2 – stojatá voda. Súvisí to jednak so vznikom mŕtvych ramien, ale najmä s rozsiahlou ťažbou štrku a následným zaplavením štrkovísk podzemnou vodou.

Zaujímavé je porovnanie výsledkov analýzy zmien štruktúry krajinej pokrývky Váhu a iných slovenských vodných tokov. Podobný výskum v prípade rieky Torysa (Cebecauerová a Lehotský 2012) ukazuje, že vývoj riečnej krajiny sa ubera podobným smerom. Aj tu zanikajú lavice a narastajú plochy lužného lesa, hoci atraktory – hybné sily spôsobujúce prechod systému z jedného stavu do druhého – môžu byť rozdielne. Kým v prípade Váhu je hlavným atraktorom vodohospodárska vý-

stavba, v prípade Torysy ide o kombináciu prírodných činiteľov a faktorov rozvoja rurálnej krajiny v zmenených sociálno-ekonomických podmienkach.

DISKUSIA

Ako vyplýva z prác viacerých autorov (napr. Lehotský a Matušicová 2014 a Procházka a Pišút 2015), systematickejšie regulácie koryta Váhu môžeme datovať do 19. storočia. Regulačné práce spočívali najmä v budovaní hrádzi a prepichovaní meandrových oblúkov. Účelom týchto opatrení bola predovšetkým ochrana pred povodňami a eróziou brehov. Vplyv človeka na morfológiu fluvialného systému bol významný, ale nevedol ešte k celkovej zmene správania rieky.

Prezentované výsledky demonštrujú trend vývoja fluvialného systému rieky Váh, ovplyvneného rozsiahlou vodohospodárskou výstavbou v dvadsiatom storočí. Analýzy na úrovni celého toku preukázali redukciu plôch aktívnych koryt, a to tak v dôsledku zániku bočných ramien, ako aj zúžením a napriamením hlavného koryta. Analýzy na detailnejšej úrovni potvrdili tento trend pri porovnaní stavu pred a po vybudovaní vodných diel (v úseku Piešťany – Sered'). Výsledky tu tiež poukazujú na zánik lavíc a nárast plôch ripariálnej vegetácie.

Výstavba priehrad patrí k najvýznamnejším antropogénnym zásahom do fluvialných systémov. Zmeny vyvolané prehradením koryta vyplývajú z toho, akým spôsobom bol modifikovaný hydrologický režim a režim transportu sedimentov na danom vodnom toku, a závisia aj od charakteru samotnej rieky a jej povodia (Brandt 2000, Magilligan a Nislow 2005, Petts a Gurnell 2005, Phillips et al. 2005 a Graf 2006). Škála scenárov, ako sa fluvialné systémy prispôbujú budovaniu priehrad, je teda pomerne široká. Všeobecne predstavujú bariéry pre transport sedimentov (Fryirs et al. 2007), keď je najmä hrubozrnnejší materiál zachytávaný vo vodnej nádrži nad priehradou (napr. Kondolf 1997 a Fischer-Antze a Gutknecht 2004).

Podobné symptómy, aké boli pozorované v prípade Váhu (zužovanie aktívneho koryta, redukcia plôch prúdiacej vody, zánik akumulačných foriem bez súvislého vegetačného krytu, expanzia ripariálnej vegetácie a jej zahusťovanie) v mnohých prípadoch charakterizujú zmeny, ktoré nastali vo fluvialných systémoch rôzneho charakteru zasiahnutých vodohospodárskou výstavbou pri porovnaní stavu pred a po výstavbe priehrad (napr. Gordon a Meentemeyer 2006, Arnaud et al. 2011, Takahashi a Nakamura 2011, Kiss a Blanka 2012, Ibisate et al. 2013 a Lehotský et al. 2013). V prípade bajpasových koryt je efekt samotnej priehrady zosilnený redukovaným prietokom vody v pôvodnom koryte.

Samozrejme, výstavba priehrad nie je jediným faktorom, ktorý vyvoláva zmeny fluvialného systému. Ako potvrdzujú mnohé štúdie, najmä pri európskych riekach je možné pozorovať evidentný trend zužovania a zahľbovania ich koryt (napr. Liébault a Piégay 2002, Surian a Rinaldi 2003, Surian et al. 2009, Zawiejska a Wyżga 2010, Comiti et al. 2011, Rădoane et al. 2013 a Škarpich et al. 2013). Táto tendencia pretrváva počas celého 20. storočia a najvýraznejšia bola v jeho druhej polovici. Autori sa zhodujú, že ide o jav podmienený celým komplexom faktorov, kombinujúci vplyv človeka a klimatických zmien.

Aj v prípade Váhu sú príčiny zmien komplexnejšie a nesúvisia iba s konštrukciou priehrad a derivačných kanálov. Na mnohých miestach napríklad dochádza k zarezávaniu koryta v dôsledku ťažby štrku (napr. Topercer 2015), pričom práve ťažba štrku je považovaná za kľúčový faktor spôsobujúci zužovanie a zarezávanie

korýt aluviálnych riek severného a centrálneho Talianska (Surian et al. 2009). Dôležité sú taktiež väzby medzi morfológickými zmenami a vývojom krajinej pokrývky. V prípade Váhu sa zužovanie koryta prejavuje vizuálne na leteckých snímkach a ortofotomápach práve tým, že pôvodné akumulčné korytové formy postupne zarastajú zahusťujúcou sa ripariálnou vegetáciou, ktorá tak fixuje zmeny, ktoré nastali (Hupp a Osterkamp 1996). Progresívny trend vývoja líniovej ripariálnej vegetácie pritom nie je platný len pre rieku Váh, ale pozorujeme ho na celom území Slovenska (Lehotský et al. 2011).

Viaceri autori konštatujú, že spomenutý trend zužovania korýt európskych riek bol v ostatných desaťročiach spomalený až zastavený (napr. Surian et al. 2009 a Rădoane et al. 2013). Tomu by zodpovedali aj zmeny zistené v prípade Váhu, kde sme v období medzi rokmi 1985 – 2003 zaznamenali zmenšenie miery zužovania koryta v porovnaní s predošlým obdobím (úsek Piešťany – Sereď), až absenciu tohto javu (v úseku Púchov – Trenčín).

ZÁVER

Výsledky našej štúdie potvrdzujú vysokú mieru transformácie fluvialneho systému rieky Váh v 20. storočí. V zmysle práce autorov Brierley a Fryirs (2005) môžeme hovoriť o *zмене rieky*. Zanikol pôvodný systém rozvetveného koryta, charakteristický pre väčšinu segmentov tejto rieky. Na úrovni celého toku došlo k takmer úplnému zániku bočných ramien, ktorých plocha na začiatku sledovaného obdobia predstavovala cca 20 % zo všetkých vodných plôch fluvialneho systému Váhu. Plocha hlavného koryta bola zredukovaná približne na polovicu pôvodnej hodnoty a celková redukcia prírodných (prírode blízkych) vodných plôch dosiahla úroveň až 60 %. Namiesto nich vznikli umelo vytvorené vodné plochy (vodné nádrže, derivačné kanály), ktorých úhrnná plocha predstavuje v súčasnosti 70 % všetkých vodných plôch fluvialneho systému Váhu. Celkový úhrn vodných plôch teda vzrástol (o 25 % oproti začiatku sledovaného obdobia), ich charakter je však výrazne odlišný. Počas sledovaného obdobia sa taktiež významne zmenšila plocha potenciálne aktívnej nivy (o cca 40 %).

Zaznamenané zmeny sú výsledkom toho, ako sa rieka Váh prispôsobuje vonkajším impulzom, predovšetkým antropogénneho charakteru. Za najvýznamnejší faktor považujeme masívnu vodohospodársku výstavbu. Z geomorfologického hľadiska sa výstavba priehrad prejavuje predovšetkým v zablokovaní transferu sedimentov a vo vytvorení *rozpojených (disconnected)* riečnych úsekov (Hooke 2003). Modifikovaný priebeh fluvialnych procesov a zmena správania rieky potom všeobecne vedie okrem iného k signifikantnej redukcii hydrologicky aktívnych plôch fluvialneho systému (Graf 2006). Riečna krajina tak poskytuje menej pestré akvatické a semiakvatické habitaty a má celkovo nižšiu komplexitu. Dôsledkom býva pokles populácie až zánik jednotlivých druhov rastlín a živočíchov (Graf 2006). Vo vyspelých krajinách preto silnie snaha obnovovať prírodný charakter vodných tokov a je zrejme, že pochopenie priestorovo-časovej dynamiky procesov, ktoré pretvárajú riečnu krajinu, je nevyhnutným predpokladom pre správne vyhodnotenie ekologického stavu riek, predpovedanie efektov environmentálnych zmien rôzneho charakteru a pre manažment vodných tokov a ich revitalizáciu (napr. Ward et al. 2001, Gregory a Chin 2002, Harvey 2002, Hooke 2003, Graf 2006, Schabuss et al. 2006 a Weigelhofer et al. 2006).

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu č. 2/0020/15 „Odozva geomorfologicko-sedimentovej spojitosti/nespojivosti fluvialného systému na environmentálne vplyvy“ financovaného grantovou agentúrou VEGA.

LITERATÚRA

- ANSTEAD, L., BARABAS, D. (2013). Hydromorfologický prieskum Váhu ako nástroj pre manažment vodných tokov na Slovensku. *Geografický časopis*, 65, 61-81.
- ARCANUM (2007). *The Third Military Survey 1869-1887: Ungarn, Siebenbürgen, Kroatien-Slawonien, 1:25.000*. Budapest (Arcanum Adatbázis Kft.), DVD-ROM.
- ARNAUD, F., BÉRAUD, C., PIÉGAY, H., SCHMITT, L., LE COZ, J., ROLLET, A., JOHNSTONE, K., HOENEN, D., BÉAL, D. (2011). The old Rhine evolution since 1950: Historical aspects. In Habersack, H., Schober, B., Walling, D., eds. *International Conference on the status and future of the world's large rivers: conference abstracts book*. Brno (Tribun EU), p. 170.
- ASSANI, A. A., PETIT, F. (2004). Impact of hydroelectric power releases on the morphology and sedimentology of the bed of the Warche River (Belgium). *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 133-143.
- BRANDT, S. A. (2000). Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 40, 375-401.
- BRIERLEY, G. J., FRYIRS, K. A. (2005). *Geomorphology and river management: applications of the river styles framework*. Oxford (Blackwell Publishing).
- BRUNSDEN, D., THORNES, J. B. (1979). Landscape sensitivity and change. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 4, 463-484.
- CEBECAUEROVÁ, M., LEHOTSKÝ, M. (2012). Komplexita ripariálnej zóny – príklad rurálneho segmentu vodného toku Torysa. *Geografický časopis*, 64, 133-154.
- COMITI, F., DA CANAL, M., SURIAN, N., MAO, L., 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.
- FISCHER-ANTZE, T., GUTKNECHT, D. (2004). Morphological changes of the Danube river east of Vienna over the last nine years. In *Proceedings of the XXIIInd Conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management*. Brno (ČHMÚ), CD-ROM.
- FRYIRS, K. A., BRIERLEY, G. J., PRESTON, N. J., SPENCER, J. (2007). Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment, New South Wales, Australia. *Geomorphology*, 84, 297-316.
- GORDON, E., MEENTEMEYER, R. K. (2006). Effects of dam operation and land use on stream channel morphology and riparian vegetation. *Geomorphology*, 82, 412-429.
- GRAF, W. L. (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, 79, 336-360.
- GREGORY, K. J., CHIN, A. (2002). Urban stream channel hazards. *Area*, 34, 312-321.
- GUPTA, A., LIM, H., HUANG, X., CHEN, P. (2002). Evaluation of part of the Mekong River using satellite imagery. *Geomorphology*, 44, 221-239.
- HARVEY, A. M. (2002). Effective timescales of coupling within fluvial systems. *Geomorphology*, 44, 175-201.
- HOHENSINNER, S., HERRNEGGER, M., BLASCHKE, A. P., HABEREDER, C., HAIDVOGL, G., HEIN, T., JUNGWIRTH, M., WEISS, M. (2008). Type-specific reference conditions of fluvial landscapes: a search in the past by 3D-reconstruction. *Catena*, 75, 200-215.
- HOOKE, J. M. (2003). Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. *Geomorphology*, 56, 79-94.
- HOOKE, J. M., YORKE, L. (2011). Channel bar dynamics on multi-decadal timescales in an active meandering river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, 1910-1928.

- HUPP, C. R., OSTERKAMP, W. R. (1996). Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology*, 14, 277-295.
- IBISATE, A., DÍAZ, E., OLLERO, A., ACÍN, V., GRANADO, D. (2013). Channel response to multiple damming in a meandering river, middle and lower Aragón River (Spain). *Hydrobiologia*, 712, 5-23.
- JAMES, L. A., SINGER, M. B., GHOSHAL, S., MEGISON, M. (2009). Historical channel changes in the lower Yuba and Feather Rivers, California: long-term effects of contrasting river-management strategies. *Geological Society of America Special Paper*, 451, 57-81.
- KÁČER, Š., ANTALÍK, M., LEXA, J., ZVARA, I., FRITZMAN, R., VLACHOVIČ, J., BYSTRICKÁ, G., BRODIANSKA, M., POTFAJ, M., MADARÁS, J., NAGY, A., MAGLAY, J., IVANIČKA, J., GROSS, P., RAKÚS, M., VOZÁROVÁ, A., BUČEK, S., BOOROVÁ, D., ŠIMON, L., MELLO, J., POLÁK, M., BEZÁK, V., HÓK, J., TEŤÁK, F., KONEČNÝ, V., KUČERA, M., ŽEC, B., ELEČKO, M., HRAŠKO, Ľ., KOVÁČIK, M., PRISTAŠ, J. (2005). *Digitálna geologická mapa Slovenskej republiky v M 1:50 000 a 1:500 000*. Bratislava (Ministerstvo životného prostredia SR, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra), DVD-ROM.
- KIDOVA, A., LEHOTSKÝ, M. (2012). Časovo-priestorová variabilita morfológie divočiaceho a migrujúceho vodného toku Belá. *Geografický časopis*, 64, 311-333.
- KIDOVA, 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*, v tlači.
- KISS, T., BLANKA, V. (2012). River channel response to climate- and human-induced hydrological changes: Case study on the meandering Hernád River, Hungary. *Geomorphology*, 175-176, 115-125.
- KONDOLF, G. M. (1997). Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, 21, 533-551.
- LEHOTSKÝ, M. (2004). River morphology hierarchical classification (RMHC). *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, 39, 33-45.
- LEHOTSKÝ, M. (2005). Metodologické aspekty správania a zmien korytovo-nívných geosystémov. *Geomorphologia Slovaca*, 5(1), 34-50.
- LEHOTSKÝ, M., LACIKA, J. (2007). Typy segmentov vysokogradientových dolinovo-riečnych systémov s veľvysočinovou zdrojovou zónou: príklad Tatier. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 7(1), 27-35.
- LEHOTSKÝ, M., MATUŠICOVÁ, N. (2014). Človekom indukované morfológické zmeny riečneho systému – historické pozadie a charakter (príklad dolného toku Váhu). *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 14(2), 31-43.
- LEHOTSKÝ, M., NOVOTNÝ, J. (2004). Morfológické zóny vodných tokov Slovenska. *Geomorphologia Slovaca*, 4(2), 48-53.
- LEHOTSKÝ, M., KIDOVA, A., NOVOTNÝ, J., SKUBINČAN, P. (2011). Líniové (ripariálne) prvky ekosystémov v nelesnej krajine Slovenska a scenáre ich vývoja. *Ekologické štúdie*, 2(1-2), 40-46.
- LEHOTSKÝ, M., HORÁČKOVÁ, Š., SLÁDEK, J. (2013). Morfológicko-sedimentové zmeny by-pasovaného koryta vodného toku – príklad starého koryta Dunaja. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 13(2), 41-49.
- LIÉBAULT, F., PIÉGAY, H. (2002). Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 425-444.
- MAGILLIGAN, F. J., NISLOW, K. H. (2005). Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology*, 71, 61-78.
- MICHALKOVÁ, M. (2009a). Analysis of lateral channel activity of the Sacramento River from aerial photos. *Geografický časopis*, 61, 199-213.
- MICHALKOVÁ, M. (2009b). Diachronic analysis of floodplain lakes of the Sacramento River. *Geografický časopis*, 61, 257-268.

- MICHALKOVÁ, M., PIŠŮT, P. (2010). Fluvial system of the Váh River (Slovakia) on earlier historical maps. In Křížek, M., Nyplová, P., Vočadlova, K., Borská, J., eds. *Geomorfologický sborník 9 (11. mezinárodní konference Stav geomorfologických výzkumů v roce 2010, Branná, 11.-13.5.2010)*. Praha (Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta), pp. 86-87.
- MINÁR, J., BIELIK, M., KOVÁČ, M., PLAŠIENKA, D., BARKA, I., STANKOVIAN-SKY, M., ZEYEN, H. (2011). New morphostructural subdivision of the Western Carpathians: an approach integrating geodynamics into targeted morphometric analysis. *Tectonophysics*, 502, 158-174.
- PETTS, G. E., GURNELL, A. M. (2005). Dams and geomorphology: research progress and future directions. *Geomorphology*, 71, 27-47.
- PHILLIPS, J. D., SLATTERY, M. C., MUSSELMAN, Z. A. (2005). Channel adjustments of the lower Trinity River, Texas, downstream of Livingston Dam. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 1419-1439.
- PIŠŮT, P., PROCHÁZKA, J. (2013). Human modifications of meandering Váh river at the Leopoldov fortress (Slovakia) in the 18th Century. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 13(1), 64.
- PROCHÁZKA, J. (2013). Pôdorysná vzorka riečneho koryta dolného Váhu, Nitry a Dudváhu s osobitným zreteľom na vplyv faktora tektoniky. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 13(2), 19-30.
- PROCHÁZKA, J. (2014). *Geomorfologická odozva environmentálnych zmien riečneho koryta dolného Váhu*. Písomná práca k dizertačnej skúške, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- PROCHÁZKA, J., PIŠŮT, P. (2015). Regulácie koryta nížinného meandrujúceho vodného toku v období r. 1782-1900 (na príklade rieky Váh v úseku Sereď-Komárno). *Geographia Cassoviensis*, 9, 44-55.
- RĂDOANE, M., OBREJA, F., CRISTEA, I. A., MIHAILĂ, D. (2013). Changes in the channel-bed level of the eastern Carpathian rivers: climatic vs. human control over the last 50 years. *Geomorphology*, 193, 91-111.
- RUSNÁK, M., LEHOTSKÝ, M. (2014a). Time-focused investigation of river channel morphological changes due to extreme floods. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 58, 251-266.
- RUSNÁK, M., LEHOTSKÝ, M. (2014b). Povodne, brehová erózia a laterálne presúvanie koryta štrkonosných kľukatiacich vodných tokov (prípadová štúdia tokov Topľa a Ondava). *Acta Hydrologica Slovaca*, 15, 424-433.
- SHMÚ (2010). *Vodohospodárska bilancia SR. Vodohospodárska bilancia množstva povrchových vôd za rok 2009*. Bratislava (Slovenský hydrometeorologický ústav).
- SCHABUß, M., SCHIEMER, F., HABERSACK, H., LIEDERMANN, M. (2006). A comprehensive concept for an eco-hydrological assessment of large scale restoration programmes of floodplain rivers. In *Proceedings 36th International Conference of IAD*. Vienna (Austrian Committee Danube Research / IAD), pp. 41-46.
- SCHUMM, S. A. (1979). Geomorphic thresholds: the concept and its applications. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 4, 485-515.
- SLOVENSKÉ ELEKTRARNE (2010). *Vodné elektrárne*. Bratislava (Slovenské elektrárne, a. s.), [Online]. Dostupné na: <http://www.seas.sk/data/contentlink/cfakepathhydro-power-plants-slovakia-2010-sk.pdf> [cit: 18-02-2015].
- SPV (2008). *VD Žilina*. Bratislava (Slovenský priehradný výbor), [Online]. Dostupné na: http://www.skcold.sk/priehrady/nova_databaza_priehrad/vd_zilina/ [cit: 18-2-2015].
- SURIAN, N., RINALDI, M. (2003). Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, 50, 307-326.
- SURIAN, N., RINALDI, M., PELLEGRINI, L., AUDISIO, C., MARAGA, F., TERUGGI, L., TURITTO, O., ZILIANI, L. (2009). Channel adjustments in northern and central Italy over the last 200 years. *Geological Society of America Special Papers*, 451, 83-95.

- ŠKARPICH, V., HRADECKÝ, J., DUŠEK, R. (2013). Complex transformation of the geomorphic regime of channels in the forefield of the Moravskoslezské Beskydy Mts.: case study of the Morávka River (Czech Republic). *Catena*, 111, 25-40.
- TAKAHASHI, M., NAKAMURA, F. (2011). Impacts of dam-regulated flows on channel morphology and riparian vegetation: a longitudinal analysis of Satsunai River, Japan. *Landscape and Ecological Engineering*, 7, 65-77.
- TOPERCER, J. (2015). *Havarovaná rieka. Havarovaná zodpovednosť*, [Online]. Dostupné na: <http://topercer.blog.sme.sk/c/375799/havarovana-rieka-havarovana-zodpovednost.html> [cit: 18-2-2015].
- ÚGKK (2011). *Katalóg tried objektov ZBGIS (pracovná verzia 2011)*. Bratislava (Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky).
- WARD, J. V., TOCKNER, K., UEHLINGER, U., MALARD, F. (2001). Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration. *Regulated Rivers: Research & Management*, 17, 311-323.
- WEIGELHÖFER, G., BLASCHKE, A. P., HAIDVOGL, G., HOHENSINNER, S., RECKENDORFER, W., REITER, K., SCHUH, B., HEIN, T. (2006). Optima Lobau: an interdisciplinary scientific approach evaluating future scenarios in an urban floodplain. In *Proceedings 36th International Conference of IAD*. Vienna (Austrian Committee Danube Research / IAD), pp. 55-60.
- ZAWIEJSKA, J., WYŻGA, B. (2010). Twentieth-century channel change on the Dunajec River, southern Poland: patterns, causes and controls. *Geomorphology*, 117, 234-246.

Ján Novotný, Martina Cebeauerová

SELECTED ASPECTS OF TRANSFORMATION OF THE VÁH RIVER FLUVIAL SYSTEM IN THE 20TH CENTURY

Fluvial systems are very sensitive and dynamic and they are also of great interest society for water resources, hydropower, flood risk management, navigation, nature protection and so on. Direct human impacts, as well as the global climatic change have created brand new conditions for the evolution of fluvial systems and it is important to study and understand the processes of river behaviour adjustment. It is also necessary to identify the natural morphology of a channel-floodplain system based on historical data.

The aim of this study has been to evaluate morphological changes of the Váh River fluvial system, which is an exemplary case of human modification. The changes in morphology and riverine landscape have been analysed in three ways. The changes of basic planform parameters have been observed for the whole river course. The river channel dynamics has also been analysed, comparing two reaches of the Váh River. The changes of the land cover structures of whole riparian zone have also been evaluated for one of the reaches. The analyses have been based on the historical topographic data (1869–1887 and 2005–2008) as well as on the aerial photos and orthophotomaps (1949, 1985 and 2003).

The whole course of the river has been divided into segments in the sense of the River Morphology Hierarchical Classification (Fig. 2 and Tab. 1). The changes have been evaluated comparing basic elements of the fluvial system (Fig. 1) appearance and area. The results (Fig. 5 and Tab. 2) show the complete destruction of the side channels as well as strong reduction of the main channel area. The segments had primarily different anabranching rates (Fig. 4), hence the highest rate of reduction of the natural areas of the fluvial system has been observed in the segments with the higher anabranching rate (Fig. 6). These are also the segments connected with the construction of the “Váh Cascade” (Tab. 3). This system of dams and by-passed channels covers more than a half of the whole river course at present.

The recent channel dynamics has been studied within two river reaches. They both represent reaches with the by-passed channel, in the reach between Púchov and Trenčín in the

whole length and in one third in the reach between Piešťany and Sered'. Two (Púchov – Trenčín), and three (Piešťany – Sered') time horizons have been analysed. The channel width changes (Fig. 7 and Tab. 4), bankline movements and the channel bars incidence (Tab. 5) have been evaluated. The data reflecting the state after the by-passed channel construction (35 years and 55 years,) have only been analysed in the case of the first reach. It is not possible to recognize any trend in the evolution of the channel width or bankline movements in this reach and changes of these parameters are lower in average compared with the second reach, where analyses have also cover the state before the by-passed channel construction. Here the process of the channel narrowing is evident. Similarly the trend of the channel bars reduction is significant mainly in the case of the second reach (Tab. 5). The differences between the reaches result from the different land use after the by-passed channel construction (highway construction in the first reach).

The changes of the land cover structures in the riparian zone of the Váh River (Fig. 8) have been analysed in the reach between Piešťany and Sered', comparing two time horizons (1949 and 2003). The results confirm the gradual reduction of the flowing water areas and channel bars. On the contrary, the areas of riparian forest have grown markedly.

The comparison of states before and after damming and by-passing corresponds to many studies describing the basic trends of evolution of the fluvial systems modified in this way. The river response is usually connected with channel narrowing and associated vegetation expansion. As a result the riverine landscape contains less valuable aquatic and semi-aquatic habitats while its complexity and biodiversity are limited.