

---

# Antropogenní impakt a jeho odezva v morfologii koryt beskydských štěrkonosných toků: příkladová studie řeky Ostravice, Česko

VÁCLAV ŠKARPICH, ZDENĚK KAŠPÁREK, TOMÁŠ GALIA, JAN HRADECKÝ

---

Ostravská univerzita v Ostravě, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Ostrava (University of Ostrava, Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geoecology, Ostrava, Czechia), Česko; e-mail: vaclav.skarpich@osu.cz

**ABSTRACT** **Anthropogenic impact and morphology channel response of Beskydian gravel-bed rivers: a case study of the Ostravice River, Czechia** – This paper presents an analysis of both the contemporary and historic development of the geomorphic regime of the Ostravice River channel in the Czech part of the Outer Western Carpathians. The assessment concentrates on the conditions and causes of the channel development in the last 200 years compared with the state of European channels. The original anabranching river pattern has gradually been replaced by a single narrowed channel. At some sections, the original riverbed has lowered by as much as 2.5 m in the second half of the 20<sup>th</sup> century. These changes were due to strong anthropogenic impacts in the form of river-channel control and construction of dams. A large influence on the contemporary processes was also exerted by changed hydrological conditions and a predisposition of flysch lithology in a channel bedrock to erosion. Currently, the deficit of transportable sedimentary material along with the changed morphology of channels with concentrated water flows are intensifying erosion processes.

**KEY WORDS** gravel-bed streams – channel changes – active channel width – incision – Ostravice River – Moravskoslezské Beskydy Mts

---

ŠKARPICH, V., KAŠPÁREK, Z., GALIA, T., HRADECKÝ, J. (2016): Antropogenní impakt a jeho odezva v morfologii koryt beskydských štěrkonosných toků: příkladová studie řeky Ostravice, Česko. *Geografie*, 121, 1, 99–120.

Do redakce došlo v lednu 2015, přijato do tisku v září 2015.

## 1. Úvod

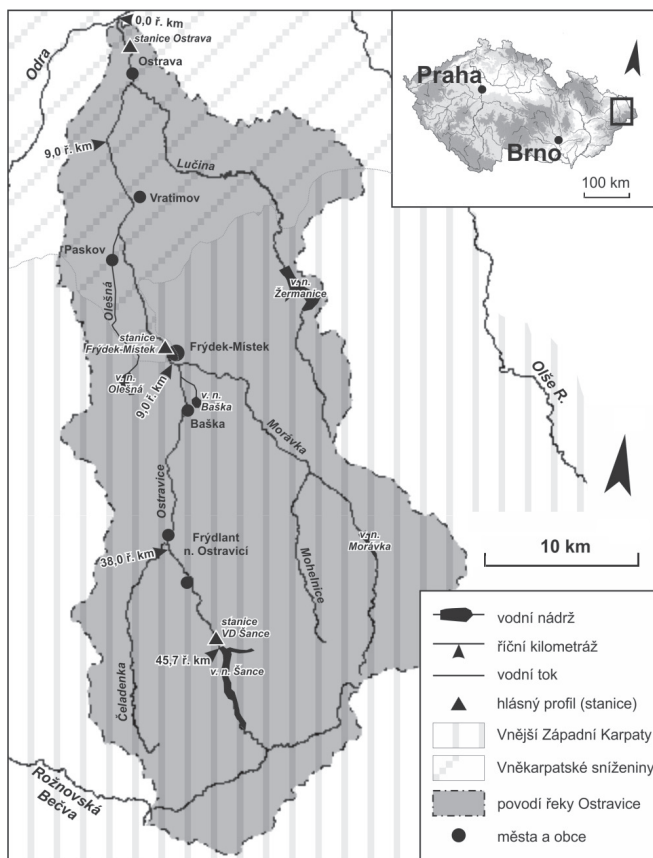
Současné změny aquatických systémů jsou ve světové geomorfologické a geografické literatuře v popředí zájmu především z hlediska jejich negativního působení na ekologickou funkci krajiny (Femmer 2002, Wyzga 2008, Hložek 2014). Tyto dopady však významně ovlivňují také lidskou činnost (Kondolf 1997; Hanák 2001; Ohera 2004; Škarpich, Hradecký, Dušek 2013) ve smyslu destrukce staveb využívaných člověkem (např. eroze mostních konstrukcí, jezů a hrází zajišťující zásobování vodou). V české části Vnějších Západních Karpat, se zaměřením na Moravskoslezské Beskydy a jejich předpolí, jsou tématu změn říčních systémů věnovány pouze dílčí studie. Hlavní orientace výzkumu v této oblasti směřuje především k identifikaci a popisu změn a jejich příčin (Hradecký 2002; 2007; Hradecký a kol. 2012; Škarpich, Galia, Hradecký 2011; Škarpich, Hradecký, Dušek 2013). Některé studie se věnují také výzkumu morfologických parametrů a procesů ovlivňujících koryto nivní systém, jeho hydraulických poměrů v kontextu transportních podmínek nebo vlivu říčního dřeva na hydraulické a transportní poměry sedimentárního pohybu v korytě (Galia, Škarpich, Hradecký 2012; Škarpich, Galia, Hradecký 2012). Důležité je také zmínit práci Máčka a kol. (2011) zabývající se v oblasti Moravskoslezských Beskyd a jejich předpolí vlivem říčního dřeva a jeho mobility na morfologické parametry a transport sedimentů v korytech.

Cílem tohoto příspěvku je analýza vývoje a následné zhodnocení morfologických změn koryta řeky Ostravice, které prošlo v posledních desetiletích transformací z původního větvičného se štěrkonosného koryta na koryto jednoduché, místy zahloubené ve skalním podloží. Za hlavní parametry morfologických změn koryta lze považovat především změny vertikální úrovně dna (hloubkovou erozi nebo agradaci) a změny šířky aktivního koryta. Aktivním korytem je myšleno řečiště v celé své šířce u větvičích se toků s říčními lavicemi nepokrytými vegetací (sensu Liébault, Piégay 2002). Tyto změny pak byly konfrontovány s morfologickými změnami na vybraných vodních tocích především v oblasti Vnějších Západních Karpat a předpolí Alp ve francouzské a italské části.

## 2. Charakteristika studované oblasti

Zájmovou oblastí výzkumu je koryto řeky Ostravice od soutoku s řekou Odrou v ř. km 0,0 až po těleso hráze údolní nádrže Šance na ř. km 45,7. Plocha celého povodí je 827,4 km<sup>2</sup> a celková délka toku 65,1 km.

Z hlediska fyzicko-geografických charakteristik je nutné zmínit litologickou predispozici území k erozním procesům. Především významná dotace sedimentárního materiálu do vodních toků měla v minulosti výrazný vliv na vznik a vývoj štěrkonosných větvičích se koryt v předpolí Moravskoslezských Beskyd (Škarpich,



**Obr. 1** – Přehledová mapa povodí řeky Ostravice v Česku. Zdroj podkladových dat: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka; Národní Geoportál INSPIRE.

Hradecký, Dušek 2013). Geologicky lze zájmové území zařadit mezi mladá pásemná pohoří. Stavba je tvořena soustavou alochtonních flyšových příkrovů nasunutých během paleogénu a spodního neogénu od JV na severoevropskou platformu a část její předhlubně. Tato stavba je typická flyšovými souvrstvími se střídajícími se vůči erozi méně odolnými jílovcí, jílovcovými břidlicemi, slínovci a odolnějšími pískovci, částečně slepenci a vápenci mesozoického až paleogenního stáří (Menčík a kol. 1983). Především střídání různě odolných vrstev má za následek vysokou nestabilitu s významným ovlivněním svahových procesů a aktivní tvorbu koluviálních a proluviálních sedimentů (Pánek, Hradecký, Šilhán 2009; Šilhán, Stacke 2011), které jsou následně fluviálně transportovány do oblasti předpolí Moravskoslezských Beskyd. Zvýšené dotace sedimentů do fluviálního systému poté předurčují vznik tzv. větvičího se říčního vzoru vodního toku s migrací koryta, projevy laterální eroze a výskytem šterkových lavic.

V horní části studovaného úseku (38,0–45,7 ř. km) řeka protéká územím Moravskoslezských Beskyd (dle členění Demek, Mackovčín, ed. a kol. 2006),

**Tab. 1** – Hodnoty N-letých povodňových průtoků a  $Q_a$  dlouhodobých průměrných ročních průtoků pro vybrané hlásné profily v zájmové oblasti

Hlásný profil	ř. km	$Q_a$ ( $m^3/s$ )	N-letý průtok ( $m^3/s$ )						100P	
			1	2	5	10	20	50		100
Ostrava	2,3	15,5	186	280	431	565	714	936	1 120	840
Frýdek-Místek	22,7	11,0	131	202	317	421	538	714	865	550
VD Šance	44,5	3,2	52,8	84,9	132	170	211	267	313	70

100P = 100letý průtok ( $m^3/s$ ), neovlivněný údolními nádržemi

Zdroj dat: Český hydrometeorologický ústav, Povodí Odry, s. p.

s vysokými hodnotami relativního převýšení, které mnohdy překračují 500 m (viz obr. 1). Úsek 25,0–38,0 ř. km se nachází v Podbeskydské pahorkatině (dle Demek, Mackovčín, ed. a kol. 2006). Tento reliéf je charakteristický mohutnými náplavovými kužely s některými dílčími denudačně oddělenými příkrovovými troskami karpatského flyše, mezi něž patří např. masiv Ondřejníku v povodí Ostravice (Menčík a kol. 1983). V dolním úseku (0,0–25,0 ř. km) je naopak území charakteristické plochým reliéfem Ostravské pánve (viz obr. 1; Demek, Mackovčín, ed. a kol. 2006).

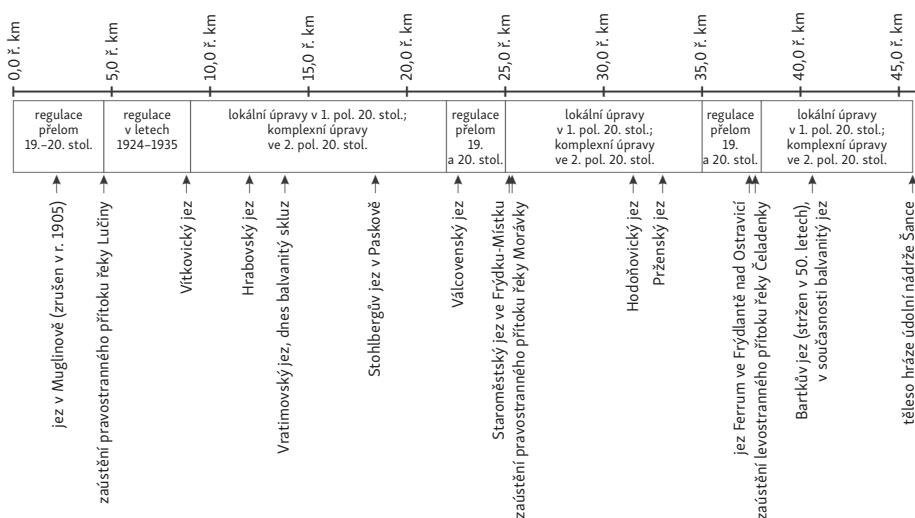
Z pohledu klimatických charakteristik oblast Moravskoslezských Beskyd patří mezi srážkově nejbohatší areály v Česku. Průměrné roční srážky na Lysé hoře dosahují hodnoty 1 400 mm/rok (Český hydrometeorologický ústav). Důležitým faktorem při současném studiu jsou významné změny hydrologického režimu řek, které mají přímý dopad na transport sedimentárního materiálu říčními koryty. Tyto změny indikuje především přítomnost údolních nádrží ve smyslu odběru vody a zachycování povodňových průtoků (Škarpich, Hradecký, Dušek 2013). V povodí řeky Ostravice se jmenovitě jedná o nádrže Šance, Morávka, Baška, Olešná a Žermanice. Před výstavbou těchto nádrží se poměry mezi nejmenšími a nejvyššími průtoky pohybovaly v dolním úseku řeky Ostravice v předpolí Moravskoslezských Beskyd okolo 1 : 2 000 a na horním toku Ostravice až 1 : 6 000. Tyto rozdíly v maximálních a minimálních průtocích však byly nádržemi posléze velmi unifikovány (Povodí Odry, s. p.). Pro názornost přiblížení hydrologické situace v povodí Ostravice byly vybrány některé hodnoty dlouhodobých průměrných a N-letých průtoků neovlivněných a ovlivněných údolními nádržemi u vybraných limnigrafických stanic, přehledně vyjmenovaných v tabulce 1.

Z hlediska charakteristiky vegetačního krytu je důležitá současná vysoká zalesněnost území v horské oblasti, která se přímo odráží ve fluvialním systému z hlediska dlouhodobého deficitu transportovatelných sedimentů pro koryto řeky Ostravice. Ovšem postupný historický vývoj vegetačního krytu poukazuje na fakt významného odlesnění probíhajícího v období od 16. stol. do konce 19. stol. s následným opětovným zalesněním z důvodů nároků společnosti na dřevní hmotu

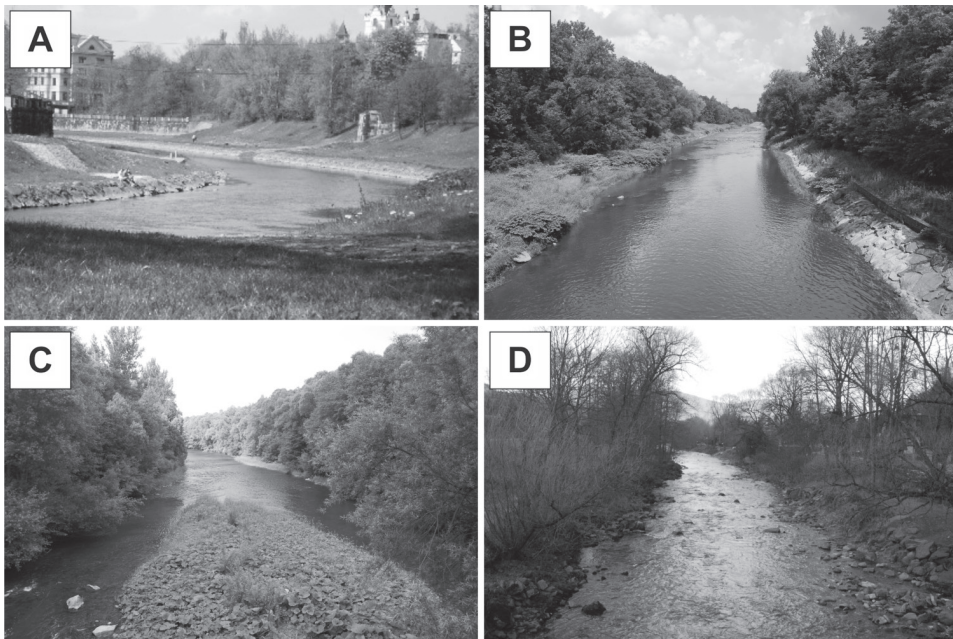
a pozvolnému zániku pastevevství od konce 19. století. Podrobněji se vývojem krajinného krytu a využití území zabývají některé dílčí studie Pavelka a Trezner, ed. (2001); Pitronová (1968); Polášek (2006) nebo Škarpich, Hradecký, Tábořík (2011); Škarpich, Hradecký, Dušek (2013).

## 2.1. Historická analýza antropogenních zásahů do korytového systému řeky Ostravice

Historicky Ostravice tvořila zemskou hranici mezi Moravou a Slezskem. Stabilita koryta z pohledu situativní polohy tak byla žádoucí (viz obr. 2). Úpravy břehů se prováděly zpočátku především v místech, kde se s tokem křížily nejvýznamnější komunikace nebo se z řeky odváděla voda na mlýnské náhony a železné hamry, např. v Bašce nebo Lískovci (Brosch 2005). Po povodních na konci 19. a začátkem 20. století se regulace toku Ostravice začaly uplatňovat ve větším měřítku. Úpravy probíhaly především v rámci zastavěného území Ostravy, Frýdku-Místku a Frýdlantu nad Ostravicí (Poyry Enviroment 2008). Zásahy na dolním toku od ústí po zaústění přítoku Lučiny (v ř. km 4,6) byly jako jedny z prvních spojeny především s protipovodňovým zabezpečením města Ostravy (Werner 1921). Dno řeky v tomto úseku bylo také v šedesátých letech prohloubeno odtěžením štěrkového materiálu. Úpravy dalších výše se nacházejících úseků spadají do období let 1924–1935 (Brosch 2005).



**Obr. 2** – Schematické znázornění regulačních zásahů do koryta řeky Ostravice ve studovaném úseku. Zdroj: autoři.



**Obr. 3** – Současné koryto řeky Ostravice: A – v úseku ř. km 4,5; B – v úseku ř. km 21,5; C – v úseku 27,9 ř. km; D – v úseku ř. km 41,8; pohledy směrem po proudu. Zdroj: autoři.

Zásahy do toku si vyžádaly i mezilehlé úseky mezi městy. Mezi Frýdkem-Místkem a Ostravou to byl především zájem na zajištění stabilizace souběžné a velmi frekventované trati tzv. Frýdlantské dráhy (v provozu od r. 1871) v úseku Frýdek-Místek – Ostrava, vedené po pravém břehu řeky. Na levém břehu to pak byla např. ochrana zástavby Paskova. Do dnešní podoby pak byly tyto úpravy přebudovány ve druhé polovině 20. století. V současnosti je vlastní koryto Ostravice od ústí po těleso hráze údolní nádrže Šance regulováno břehovým opevněním (obr. 3A–D) se stabilizačními prvky podélného profilu v podobě jezů a balvanitých skluzů (Brosch 2005). Důvodem kromě stabilizace půdorysného průběhu koryta a protipovodňových opatření z pohledu převodu daných N-letých průtoků byla také stabilizace koryta ovlivněného poklesy z důlní činnosti. Tyto práce zasáhly především koryto Ostravice v úseku od soutoku v ř. km 0,0 až po přibližně 22,0 ř. km ve městě Frýdek-Místek.

Na řece Ostravici bylo v minulosti vybudováno také velké množství jezů (obr. 2). Některé z nich se zachovaly dodnes. Naopak řada z nich byla buďto zničena povodňovými událostmi nebo byla postupně v rámci úprav toku odstraněna. Jsou jimi např. jez v Muglinově (zrušen v r. 1905, v současnosti by se nacházel v ř. km 2,2; Werner 1921) nebo Bartkův jez v Ostravici (na ř. km 40,6), který byl stržen v padesátých letech a v současnosti se na jeho místě nachází balvanitý

skluz (Brosch 2005). Z jezů, které se dochovaly do dnešní doby, můžeme jmenovat např. Prženský jez (ř. km 33,0), Hodoňovický jez (ř. km 31,5), Válcovský jez (ř. km 22,6), Hrabovský jez (ř. km 12,0), a Vítkovický jez (ř. km 8,8). Tyto jezy jsou využívány především k zásobování průmyslových závodů. Některé z jezů slouží také k sanitárním účelům z důvodu převodu vody obcemi, např. Slezský náhon od bývalého Vratimovského jezu (ř. km 13,8) nebo Paskovský náhon od bývalého Stohlbergova jezu v Paskově (ř. km 18,6; Brosch 2005).

Mezi jezy, které byly v minulosti využívány k odběrům vody a v dnešní době již neplní svůj původní účel, lze uvést např. Staroměstský jez ve Frýdku-Místku (ř. km 25,1). Tento jez zajišťuje v současnosti především stabilizační funkci v podélném profilu koryta. V některých případech byly jezové konstrukce sanovány do formy balvanitých skluzů, např. bývalý jez Ferrum ve Frýdlantě nad Ostravicí (ř. km 37,4).

V současnosti je tak celý studovaný úsek upraven stabilizací břehů s lichoběžníkovým profilem koryta. Výjimkou jsou úseky procházející částí měst Frýdek-Místek a Ostrava, kde je koryto upraveno do obdélníkové profilu. Takto regulované jednoduché koryto má za následek zvýšení rychlosti proudění, které se následně odráží v postupné erozi dna. Z důvodu opevnění břehů (ve velké míře lomovým kamenem) v korytě Ostravice je patrná absence boční eroze. K vyrovnání podélného sklonu koryta se ve studovaném úseku nachází celkem 9 již výše zmíněných jezů s dalšími 32 spádovými objekty (z toho je 25 tzv. balvanitých skluzů; Poyry Enviroment 2008). Tyto úseky zcela jistě přispívají ke snížení energie proudící vody, avšak mají za následek také snížení prostupnosti sedimentárního materiálu s následným efektem tzv. hladové vody (Kondolf 1997).

### 3. Metodická část

K hodnocení půdorysných změn průběhu vodních toků a říčního vzoru je ve fluviaální geomorfologii hojně využívána analýza leteckých a družicových snímků a starých mapových podkladů (např. Hradecký 2002; Liebault, Piégay 2002; Gaeuman, Schmidt, Wilcock 2005; Zawiejska, Wyźga 2010; Škarpich, Hradecký, Dušek 2013). Pro studovaný úsek řeky Ostravice v předpolí Moravskoslezských Beskyd byla využita analýza starých mapových podkladů: (a) II. vojenského mapování, z roku 1836–1852 v měřítku 1 : 28 800 a (b) III. vojenského mapování, z roku 1876–1878 v měřítku 1 : 25 000. Hlavním problémem při analýze starých mapových děl je především generalizace a měřítkové omezení ovlivňující přesnější geodetickou lokalizaci jednotlivých větví aktivního koryta. U starých mapových podkladů se přesnost měření pohybuje okolo 20 m. Pro rekonstrukci půdorysného vývoje říčního vzoru jsou tak tato data postačující. Dalším zdrojem informací byly letecké snímky z období let 1937, 1955, 1961, 1966, 1979 a 2010 s prostorovým

rozlišením 0,2–0,5 m. Data poskytl Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad v Dobrušce a Český úřad zeměměřický a katastrální.

Ke zjištění dynamiky vývoje koryta byla použita analýza šířky aktivního koryta a index divočení v jednotlivých sledovaných obdobích. Měření probíhalo vždy po 100m úsecích z důvodu délky studovaného úseku a statistické průkaznosti souboru měřených dat. Za aktivní koryto je považováno viditelné koryto se šterkovými lavicemi bez vegetace. K charakteristice šířky koryta byl využit aritmetický průměr jako míra centrální tendence pro posouzení vývoje změn. Z důvodu nenormálního rozložení dat pak byl pro hodnocení vývoje míry změn šířky koryta v jednotlivých obdobích využit neparametrický Mann-Whitney U-test při hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Tato metodika posuzování změn půdorysných aspektů koryta je hojně využívána ve světové literatuře (Liébault, Piégay 2002; Zawiejska, Wyzga 2010).

Z hlediska vývoje dynamiky koryta je možné v oblastech s projevy větvičích se říčního vzoru vodního toku využít analýzu pomocí hodnocení míry intenzity větvení prostřednictvím tzv. indexu divočení. Ve fluvialní geomorfologii existuje široká škála těchto indexů, např. dle Brice (1960; 1964); atp. Hodnocení míry intenzity větvení je založeno na indikaci především třech faktorů: (1) distribuci a rozměru šterkových lavic, (2) počtu koryt v oblasti větvení a (3) celkové délce všech větví pro danou délku údolí (Egozi, Ashmore 2008). V předkládaném příspěvku je využit index divočení dle Howarda, Keetche, Vincenta (1970):

$$B_i = \bar{a} - 1,$$

kde  $\bar{a}$  je průměrný počet větví v příčném profilu. Tento vztah je vhodný především pro vodní toky s nižší intenzitou divočení nebo větvení, které bylo pro řeku Ostravici v minulosti typické.

Pro analýzu byl studovaný úsek řeky Ostravice od soutoku s řekou Odrou po těleso hráze údolní nádrže Šance rozčleněn do homogenních úseků charakterizovaných současným částečným antropogenním impaktem na koryto. Tímto je myšlen vliv městské zástavby nebo charakter území (např. zemědělské využití atp.) v okolí toku. Studovaný úsek byl tak rozčleněn na úseky: (1) ř. km 0,0–9,0 (obr. 3A), charakteristický městskou zástavbou aglomerace Ostravy; (2) ř. km 9,0–25,0 (obr. 3B), charakteristický především rozvolněnou vesnickou zástavbou a městskou zástavbou Frýdku-Místku; (3) ř. km 25,0–38,0 (obr. 3C), charakteristický rozvolněnou vesnickou zástavbou a zemědělskou krajinou; (4) ř. km 38,0–45,7 (obr. 3D), charakteristický městskou zástavbou Frýdlantu nad Ostravicí, rozvolněnou zástavbou obce Ostravice a zemědělskou krajinou.

K posouzení intenzity hloubkové eroze koryta jsou ideálním podkladem geodeticky zaměřené příčné a podélné profily v jednotlivých časových obdobích. Bohužel se kromě několika geodetických bodů vypovídajících o intenzitě zahlubování v úseku od soutoku s Odrou (na ř. km 0,0) po ř. km 13,2 (Povodí Odry, s. p.) nepovedlo získat vhodnější data pro analýzy těchto změn. V úseku ř. km 28,4 pak

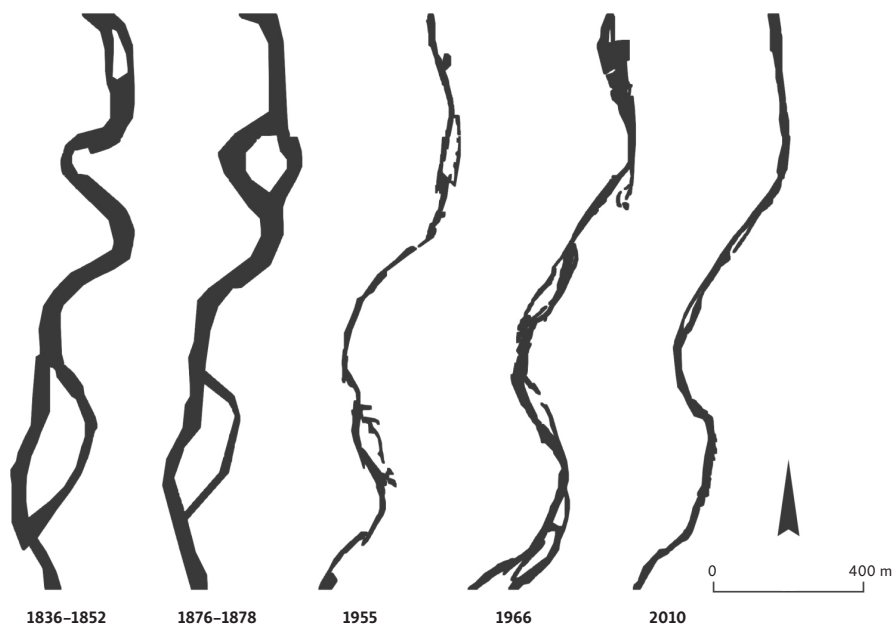


byl geodeticky zaměřen příčný profil v roce 2010 s následnou korelací s příčným profilem ze Státního okresního archivu ve Frýdku-Místku.

#### 4. Výsledky analýzy vývoje korytového segmentu řeky Ostravice v předpolí Moravskoslezských Beskyd

Na základě analýzy historických map a leteckých snímků u sledovaných úseků řeky Ostravice lze usuzovat na široké řečiště s občasným překládáním jednotlivých větví (obr. 4) ještě v první polovině 20. století. Letecké snímky z let 1937, 1955 a místy i z let 1961 a 1966 potvrzují stále charakteristický výskyt větvení. Široké řečiště bez vegetačního krytu ukazuje na aktivní překládání jednotlivých koryt. Ze snímků jsou také identifikovatelné některé menší (v té době vyschlé) koryta s aktivní migrací s částečně povodňovou vegetací v okolí a s úzkou vazbou na vyšší vodní stavy.

Především období od roku 1955 je charakteristické svým trendem postupné transformace vývoje říčního vzoru k jednoduchému korytu v celém sledovaném



**Obr. 4** – Schematická ukázka vývoje říčního vzoru řeky Ostravice v úseku ř. km 27,7 až 29,2 v letech 1836–1852 a 2010. Zdroj podkladových dat: 2<sup>nd</sup> Military Survey, Section No. 0-6-X and 0-7-x, Austrian State Archive/Military Archive, Vienna; 3<sup>rd</sup> Military Survey, Section No. 4161-1 a 4161-3, Austrian State Archive/Military Archive, Vienna; Ministerstvo životního prostředí ČR; Vojenský geografický a hydrometeorologický ústav v Dobrušce; Český úřad zeměměřický a katastrální.

**Tab. 2** – Vývoj indexu divočení ve studovaných úsecích řeky Ostravice, n – počet měřených transektů v daném úseku

Úsek	n	1836–52	1876–78	1937	1955	1961	1966	1979	2010
ř. km 0,0–9,0	91	0,352	—	—	0,648	—	0,187	0,110	0,088
ř. km 9,0–25,0	160	0,738	—	—	0,506	—	0,706	0,244	0,138
ř. km 25,0–38,0	130	0,631	0,200	1,292	0,854	—	—	0,500	0,254
ř. km 38,0–45,7	77	0,325	0,494	0,247	0,325	0,208	—	0,104	0,026

Zdroj dat: autoři

**Tab. 3** – Vývoj průměrné šířky aktivního koryta (v metrech) ve studovaných úsecích řeky Ostravice, n – počet měřených transektů v daném úseku

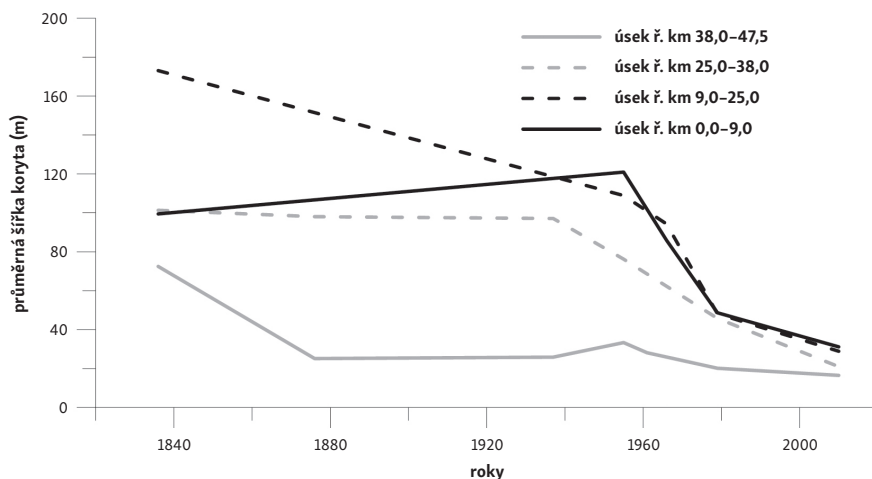
Úsek	n	1836–52	1876–78	1937	1955	1961	1966	1979	2010
ř. km 0,0–9,0	91	99			121		86	49	31
ř. km 9,0–25,0	160	173			109		94	48	29
ř. km 25,0–38,0	130	101	98	97	76			46	21
ř. km 38,0–45,7	77	72	25	26	33	28		20	17

Zdroj dat: autoři

úseku řeky Ostravice. Na základě analýzy leteckých snímků z roku 2010 je patrná úplná transformace říčního vzoru v jednoduché koryto. Řeka Ostravice si však stále v určité míře zachovala šterkonosný charakter v podobě viditelných šterkových lavic ukládaných v jednoduchém regulovaném korytě (viz např. obr. 3D).

Výsledky analýzy vývoje říčního vzoru potvrzuje také zhodnocení indexu divočení dle Howarda, Keetche, Vincenta (1970). V období od roku 1836–1852 do roku 1955 je viditelná stagnace z pohledu výskytu větvení koryta (tab. 2). Od roku 1955 poté analýza potvrzuje postupné snížení míry větvení z pohledu výskytu jednotlivých větví v aktivním korytě. Nižší hodnoty v některých úsecích v letech 1836–1852 a 1876–1878 jsou patrně ovlivněny mírou generalizace archivních mapových zdrojů. Tyto archivní mapové zdroje však potvrzují výskyt širokého aktivního řečiště ve většině úseků, kde lze předpokládat také výskyt většího množství větví koryta.

Vývoj šířky aktivního koryta pro sledovaný úsek řeky Ostravice vykazuje výrazný trend zužování především v období druhé poloviny 20. století (obr. 5, tab. 3). Odlišných výsledných hodnot analýzy dosahuje úsek v ř. km 38,0 až 45,7 (viz obr. 5). K největšímu zúžení aktivního koryta zde došlo především v období let 1836–1852 až 1876–1878 (viz obr. 5), kdy hodnota Mann-Whitney U-testu ukazuje na signifikantní změnu (viz obr. 6D). V následujícím období je viditelná stagnace průměrné šířky aktivního koryta, kdy se pohybovala v rozmezí 17–33 m (tab. 3). Testování však poukazuje na pozvolnou transformaci šířky koryta také po roce



**Obr. 5** – Vývoj průměrné šířky koryta pro studované úseky řeky Ostravice v období od roku 1836–1852 do současnosti v roce 2010. Zdroj dat: autoři.

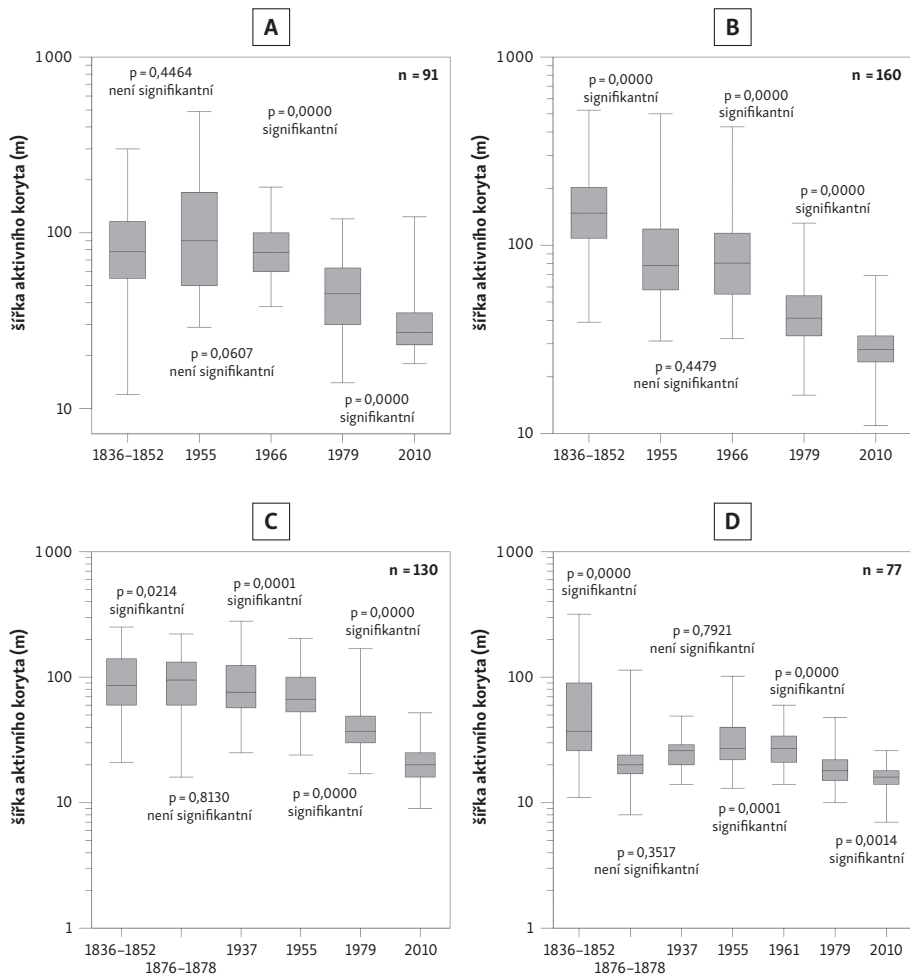
1955, kdy dle statistického testování docházelo také k postupnému zužování aktivního koryta (viz obr. 5 a 6D).

V úseku ř. km 0,0 až 9,0 (obr. 6A, oblast aglomerace Ostravy) v období od roku 1836–1852 do roku 1955, resp. 1966, nevykazuje signifikantnost ve změně šířky koryta. V období let 1955–1966 je však hodnota Mann-Whitney U-testu velmi blízko testovanému kritériu a lze tedy předpokládat mírný trend zužování. Od roku 1955 do současnosti je již viditelná postupná transformace širokého aktivního koryta v úzké jednoduché koryto.

Studovaný úsek ř. km 9,0–25,0 (obr. 6B) již v období let 1836–1852 až 1955 pokazuje na postupný trend zužování aktivního koryta. V období od roku 1955 je viditelné zpomalení tohoto vývoje a následující období od roku 1966 do současnosti (rok 2010) je pak charakteristické přestavbou říčního vzoru širokého větvičitého se koryta v jednoduché koryto podobně jako v úseku 0,0 až 9,0 ř. km.

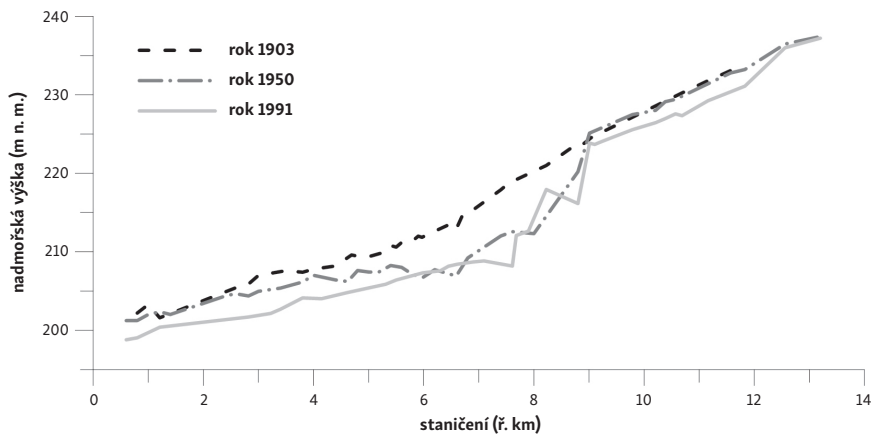
Úsek ř. km 25,0–38,0 (obr. 6C) vykazuje postupný vývoj zúžení koryta mezi roky 1836–52 až 1876–78 a po roce 1955 až do současnosti (rok 2010). V období 1836–1852 až 1876–1878 je však hodnota Mann-Whitney U-testu velmi nízká a lze tak usuzovat spíše na pozvolné zužování aktivního koryta.

Analýzu vertikální změny úrovně dna za posledních 100 let bylo možné provést pouze v dolní části studovaného úseku v ř. km 0,6–13,2 a v úseku ř. km 28,4 za pomoci geodeticky zaměřeného příčného profilu a archivních dat. V období od roku 1903 do roku 1950 je v ř. km 0,6–13,2 viditelné zahloubení především ve střední části tohoto úseku. Další období od roku 1950 vykazuje postupné zahloubení především v ostatních částech tohoto úseku (viz obr. 7). Lokálně se ve středním

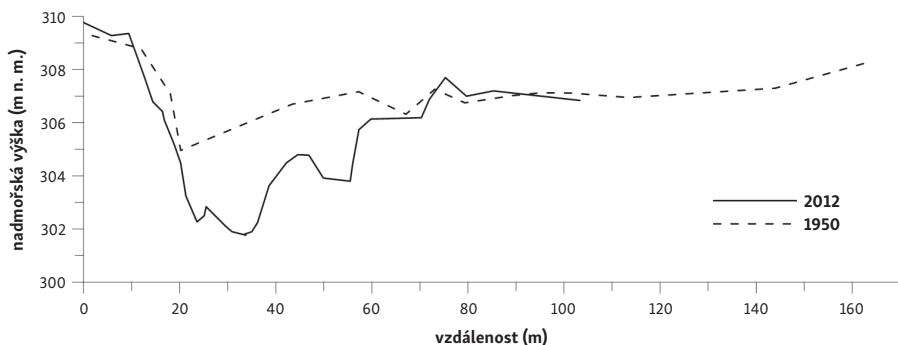


**Obř. 6** – Změny šířky aktivního koryta řeky Ostravice mezi roky 1836 až 2010: A – pro úsek mezi ř. km 0,0 až 9,0; B – pro úsek mezi ř. km 9,0 až 25,0; C – pro úsek mezi ř. km 25,0 až 38,0; D – pro úsek mezi ř. km 38,0 až 45,7; n – počet měřených transektů ve zkoumaném úseku koryta; p – výsledek neparametrického statistického Mann-Whitney U-testu prezentujícího signifikantnost a nesignifikantnost rozdílů mezi jednotlivými měřeními šířkami aktivního koryta v daných obdobích; krabicový graf znázorňuje rozpětí měřených šířek mezi dolním a horním kvantilem v daných obdobích. Zdroj dat: autoři.

úseku objevují i projevy aggradace v období 1950 až 1991. Průměrně se koryto od roku 1903 do roku 1991 v celém sledovaném úseku (ř. km 0,6–13,2) zahloubilo o 3,4 m (průměrná rychlost vertikální degradace dna 0,039 m/rok). Koryto řeky Ostravice se v tomto úseku zahlubovalo za uplynulých sto let s takřka konstantní intenzitou: V prvním období od roku 1903 do roku 1955 to bylo celkově v průměru



**Obr. 7** – Podélné profily úseku ř. km 0,6–13,2 řeky Ostravice v letech 1903, 1950 a 1991. Zdroj dat: Povodí Odry, s. p.



**Obr. 8** – Vývoj příčného profilu v letech 1950–2012 na řece Ostravici v ř. km 28,4. Zdroj podkladových dat: Státní okresní archiv Frýdek-Místek; autoři.

o 2,4 m (0,046 m/rok), od roku 1950 do roku 1991 se koryto zhloubilo v průměru o 2,0 m (0,049 m/rok).

Ze zaměřeného příčného profilu na ř. km 28,4 (viz obr. 8) lze identifikovat zhloubení v období od roku 1950 do roku 2012 o 3,2 m. Průměrná rychlost vertikální degradace dna vykazuje hodnotu 0,052 m/rok. Nutné je však zmínit, že hodnoty průměrného ročního zhloubení jsou v těchto případech pouze částečně relevantní. Důležitým faktem je v oblasti Moravskoslezských Beskyd zjištění na základě studie Škarpich a kol. (2013), že nejvýraznější vliv na hloubkovou erozi mají v oblasti předpolí Moravskoslezských Beskyd povodňové průtoky. Ty jsou hlavním korytotvorným faktorem a zhloubení tak nemá pro sledované období konstantní trend, ale předpokládáme jeho vyšší míru během jednotlivých povodňových událostí.

## 5. Diskuze

Dopady lidské činnosti na říční systém byl v posledních 100 letech v oblasti flyšových Karpat akcelerován mnohými faktory. Za jednu z hlavních příčin změn beskydských toků lze považovat také postupné zalesnění horské oblasti Moravskoslezských Beskyd od 19. stol. až do současnosti po předchozím odlesnění a tím omezení přísunu splavenin z pramenných povodí, které v současnosti omezuje i hrazení bystřin (Škarpich, Galia, Hradecký 2011; Škarpich, Hradecký, Dušek 2013; Hradecký a kol. 2012).

Důležitým impulsem ve vývoji vodních toků v oblasti Karpat byla také výstavba bariér, např. jezů a údolních nádrží (Hradecký a kol. 2012; Škarpich, Hradecký, Dušek 2013). Bariéry nesou hlavní příčinu v omezení pohybu sedimentů ve smyslu teorie tzv. říčního (dis)kontinua (Fryirs a kol. 2007; Hooke 2003; Kondolf 1997; Weis, Kubinský 2014). Významným impulsem bylo také ovlivnění průtokových poměrů (vlivem údolních nádrží) a omezení výskytu povodní důležitých pro transport štěrků v korytě toku.

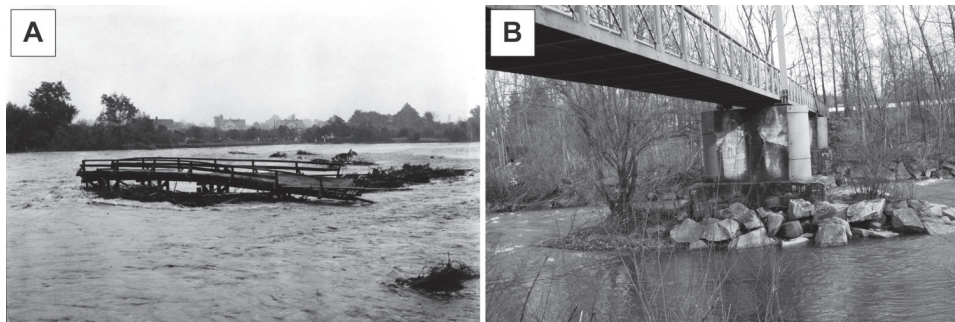
Na řece Ostravici šlo především o regulační práce spojené s usměrněním toku a stabilizací podélného průběhu koryta. Jezové konstrukce také významně přispěly k deficitu sedimentů transportovaných proudící vodou v korytě ve smyslu tzv. efektu hladové vody (sensu Kondolf 1997). Problematické se jeví postupné zahlubování toku spojené s poklesy území z důvodu důlní činnosti. Na tento fenomén lze sice poukázat, ale míra tohoto ovlivnění nebyla prozatím kvantifikována.

K analýze vývoje říčního vzoru a morfologie koryta bývá ve světové geografické a geomorfologické literatuře hojně využívána analýza starých mapových podkladů a leteckých snímků (Liébault, Piégay 2002; Zawiejska, Wyźga 2010). Problematické u těchto podkladů se může jevit přesnost, např. u starých mapových podkladů II. a III. vojenského mapování z roku 1836–1852, resp. z roku 1876–1878 je udávána přesnost okolo 20 m. Přesnost analýzy leteckých snímků je omezena především prostorovým rozlišením. Přesnost měření však z důvodu dostatečně vysokých rozdílů, např. v šířce aktivního koryta v jednotlivých analyzovaných letech, poukazuje na vhodnost použitých metod. Výsledky identifikace postupné transformace koryta řeky Ostravice z hlediska vývoje říčního vzoru jsou srovnatelné s některými vodními toky v oblasti polských Karpat (Wyźga 1993; Korpak 2007; Zawiejska, Wyźga 2010). Tato oblast má velmi podobné fyzickogeografické rysy jako zájmové území české části Vnějších Západních Karpat. Procesy spojené s hloubkovou erozí vykazují trend postupného zahlubování po celé 20. století. V období první poloviny 20. století se dolní úsek řeky Ostravice zahloubil o 2,3 m (0,046 m/rok) a ve druhé polovině 20. století o dalších 2,0 m (0,049 m/rok). Tyto rychlosti zahlubování vykazují také např. řeka Mszanka, Dunajec nebo Raba (viz tab. 4). Procesy hloubkové eroze ve svém důsledku také ovlivňují samotnou funkci některých staveb využívaných člověkem. Příkladem může být mostní konstrukce

Tab. 4 – Dokumentované příklady morfologických změn koryt a základních charakteristik vybraných evropských řek

Vodní tok (stát)	Sledovaný úsek	Dlouhodobý průměrný průtok (m <sup>3</sup> /s)	Sledované období zúžení aktivního koryta	Úbytek šířky koryta ze 100 % počátečního stavu (%)	Průměrný roční úbytek šířky koryta ze 100 % počátečního stavu (%)	Průměrné zúžení aktivního koryta (m/rok)	Sledované období zhloubení toku	Průměrné zhloubení toku (m/rok)	Zdroj
Ain (Francie)	—	122,0	1945–1996	27	0,53	0,47	1860–1995	0,022	D
Drome (Francie)	—	19,0	1946–1991	43	0,96	1,04	1928–1986	0,052	D, C
Eygues (Francie)	—	6,0	1948–1996	29	0,60	1,19	1952–2002	0,061	D
Brenta (Itálie)	Upper Venetian Plain	93,0	1960–2003	38	0,88	3,28	1932–1997	0,075	E, F
Piave (Itálie)	Longarone – Ponte di Piave	87,8	1954–1990	54	1,50	7,33	1954–1990	0,020	B
Ostravice (Česko)	0,0–9,0 ř. km	15,5	1955–2010	74	1,35	1,64	1950–2010	0,049	—
Ostravice (Česko)	25,0–38,0 ř. km	6,6	1955–2010	72	1,31	1,00	1950–2002	0,052	—
Morávka (Česko)	0,0–7,0 ř. km	3,7	1955–2010	83	1,51	0,89	1966–2010	0,163	I
Morávka (Česko)	7,0–13,5 ř. km	3,7	1955–2010	78	1,42	1,17	1951–2010	0,033	I
Olše (Česko)	55,0–70,0 ř. km	1,8	1955–2010	51	0,93	0,20	1960–2003	0,013	J
Mszanka (Polsko)	0,0–12,8 ř. km	3,0	1911–2003	70	0,76	0,47	1960–2003	0,046	G
Dunajec (Polsko)	Golkowice	37,8	1952–1979	44	1,63	2,22	1950–2000	0,025	H
Dunajec (Polsko)	Zabno	85,5	1952–1979	22	0,81	0,93	1960–2000	0,018	H
Raba (Polsko)	Dobczyce – Wieniec	18,6	1955–1987	61	1,91	2,61	1971–1976	0,018	A

Zdroj dat: Wyźga 1993 (A); Surian 1999 (B); Kondolf, Piegay, Landon 2002 (C); Liebault, Piegay 2002 (D); Surian, Cisotto 2007 (E); Surian a kol. 2009 (F); Korpak 2007 (G); Zawiejska, Wyźga 2010 (H); Škarpich, Hradecký, Dušek 2013 (I); Škarpich, Hradecký, Dušek 2014 (J); autoři

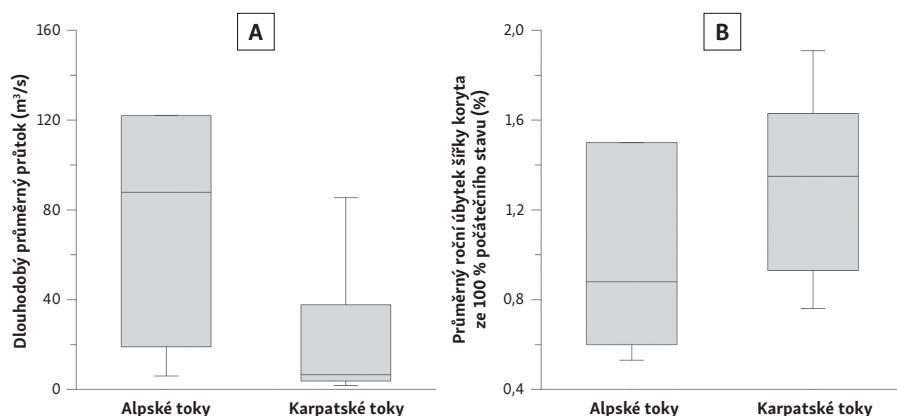


**Obr. 9** – A – zbytky dřevěného mostu v Bašce u Frýdku-Místku po povodni v roce 1960. Zdroj: Archiv Povodí Odry, s. p. B – hloubkovou erozí postižený pilíř mostní konstrukce pro pěší v Bašce u Frýdku-Místku. Foto: V. Škarpich.

v Bašce, která byla několikrát obnovována z důvodů podemlání její konstrukce (obr. 9A a B).

Z pohledu vývoje šířky aktivního koryta na řece Ostravici docházelo od začátku 19. století k postupnému zužování s akcelerací těchto procesů od druhé poloviny 20. století. Při srovnání rychlostí průměrného ročního úbytku šířky koryta ze 100 % počátečního stavu alpských a karpatských toků, vykazují některé toky v Karpatech rychlejší zužování aktivního koryta oproti tokům v alpské oblasti (tab. 4, obr. 10A a B). Příčinou mohou být vlivy člověka na korytový systém z pohledu hydrologických změn a geologické predispozice. Při srovnání hodnot průměrného ročního úbytku šířky koryta ze 100 % počátečního stavu a dlouhodobého průměrného průtoku vybraných evropských řek vykazují výrazně vyšší rychlost zužování aktivního koryta řeky karpatské oblasti oproti alpským tokům. Karpatské toky tak i při nižších hodnotách vodnosti dosahují podobných, mnohdy i vyšších rychlostí zužování aktivního koryta než toky alpské (srovnej obr. 10A a B). Hlavním důvodem, který by byl potvrzen také ve studii Škarpich, Hradecký, Dušek (2013), je především geologická predispozice flyšových Karpat. Ta podmiňuje rychlejší změny morfologie vodních toků vlivem erodibility podloží. Vysoké dodávky sedimentárního materiálu podmiňují výskyt štěrkonosných koryt. Naopak v případě stabilizace sedimentárních zdrojů v povodí, např. zvýšením zalesněnosti území (sensu Pavelka, Trezner, eds. 2001; Pitronová 1968; Polášek 2006 nebo Škarpich, Hradecký, Tábořík 2011; Škarpich, Hradecký, Dušek 2013), vede ke zvýšené erozivní schopnosti proudící vody na podloží toků a postupnou transformaci širokého větvičího se aktivního koryta v koryto jednoduché. Dalším důvodem je také sukcese doprovodné vegetace vodního toku, která v důsledku změny hydrologických poměrů (snížení povodňových událostí jako disturbančního faktoru ovlivňující doprovodnou vegetaci vodních toků) podmiňuje postupné zužování aktivních koryt v karpatské oblasti. V případě řeky Ostravice se jedná





**Obr. 10** – Grafické srovnání (A) dlouhodobého průměrného průtoku a (B) průměrného ročního úbytku šířky aktivního koryta ze 100% počátečního stavu u vybraných karpatských a alpských toků (viz tab. 4). Zdroj dat: Wyźga 1993; Surian 1999; Kondolf, Piégay, Landon 2002; Liébault, Piégay 2002; Surian, Císotto 2007; Surian a kol. 2009; Korpak 2007; Zawiejska, Wyźga 2010; Škarpich, Hradecký, Dušek 2013; Škarpich, Galia, Hradecký 2014; autoři).

o vliv údolní nádrže Šance (nacházející se na samotném toku) a údolní nádrže Morávky (na pravostranném přítoku řeky Morávky). Na řece Morávce byl vliv údolní nádrže na hydrologické poměry potvrzen již studií Škarpich, Hradecký, Dušek (2013). Vliv údolní nádrže Šance na 1, 2, 5, 10, 20, 50 a 100letých povodňových průtoků je podrobněji rozveden v tabulce 1. Pro příklad v hlásném profilu vodní nádrže Šance (ř. km 44,5) je např. udáván přirozený (neovlivněný) průtok  $Q_{100} = 313 \text{ m}^3/\text{s}$  a ovlivněný průtok nádrží Šance  $Q_{100} = 70 \text{ m}^3/\text{s}$  (podrobněji viz tab. 1). Tyto člověkem indukované změny mají samozřejmě pozitivní vliv na zachycení povodňových událostí a eliminaci vzniklých škod (např. destrukce budov, inženýrských sítí, ochrana lidských životů, atd.). Z hlediska fungování fluvialní krajiny větvicích se štěrkonosných toků však absence těchto přirozených procesů nese negativní vliv na disturbance ve smyslu výskytu vegetace v aktivním korytě. V případě pravidelných záplav docházelo k postupné destrukci sukcesní vegetace na štěrkových náplavech a uvolnění původně naplaveného materiálu pro následný transport. V současnosti jsou však tyto náplavy postupně stabilizovány vegetací a nepřítomnost vyšších povodňových průtoků (jako disturbančního činitele) podmiňuje k následnému zužování aktivních koryt, usměrnění proudnice do jednoho profilu a zastavení transportu sedimentárního materiálu.

Výskyt vyšších povodňových průtoků také podmiňuje samotné přeplavování štěrkových náplavů. Na základě práce Froehliche (2010) v povodí řeky Homerky v polské části flyšových Karpat bylo zjištěno, že počáteční pohyb dnových sedimentů nastává již při 1letém průtoku, a morfologické změny koryta jsou iniciovány již průtokem 2letým. Problematické však jsou morfologické podmínky při

srovnání těchto dat s námi studovaným tokem. V případě řeky Ostravice se jedná o tok v relativně rovinatém předpolí Moravskoslezských Beskyd (plocha celého povodí 827 km<sup>2</sup>) se sklonem ve studovaném úseku od 0,001 do 0,009 m/m. U řeky Homerky se jedná o koryto bystřinného charakteru (plocha povodí 19,6 km<sup>2</sup>) s průměrným sklonem dosahujícím v průměru 0,05 m/m (Froehlich 2004, 2010).

Současné podmínky transformovaného jednoduchého koryta řeky Ostravice v oblasti předpolí Moravskoslezských Beskyd nesou postupné zvýšení erozních procesů působících především na dno koryta. U větvičích se úseků vodních toků byla ve studii Galia, Škarpich, Hradecký (2012) potvrzena hypotéza zvýšení erozní schopnosti proudící vodou v transformovaných řekách, kdy morfologie jednoduchého koryta přímo odráží transportní charakteristiky ve smyslu zvýšení potenciálního transportu sedimentů. Naopak u větvičích se koryta dochází vlivem rozlivu při zvýšeném průtoku ke snížení erozních procesů. Následkem toho tak dochází ke snížení intenzity transportu sedimentů vzhledem k poklesu okamžitého tečného napětí působícího na dno toku. Ve studovaném úseku řeky Ostravice je potvrzen, především ve druhé polovině 20. stol., postupný trend zužování aktivního koryta. Lze tak předpokládat další akceleraci erozních procesů vlivem soustředění proudící vody do úzkého jednoduchého koryta a následnou nutnost stabilizace podélného profilu v případě zachování dosavadního vodohospodářského managementu.

## 6. Závěr

Řeka Ostravice v posledních 200 letech prošla kompletní transformací říčního vzoru. Původně větvičí se říční vzor se štěrkovými lavicemi byl nahrazen jednoduchým korytem. Analýza vertikální změny úrovně říčního dna potvrdila, že spolu s procesy zužování se koryto také postupně zahlubovalo. Hodnoty zahloubení koryta Ostravice jsou dobře korelovatelné s toky v polské části flyšových Karpat. Průměrné hodnoty zahlubování toků v polské části flyšových Karpat pohybují v rozmezí 0,02–0,05 m/rok, u řeky Ostravice byly zjištěny hodnoty okolo 0,05 m/rok. Také analýzy šířky aktivního koryta poukázaly na postupné procesy zužování aktivního koryta s gradací ve druhé polovině 20. stol. Hlavním predispozičním faktorem je lokální litologická stavba, která podmiňuje v Karpatech rychlejší změny morfologie vodních toků vlivem erodibility podloží (sensu Škarpich, Hradecký, Dušek 2013). Důležitým prvkem je také absence pravidelných záplav, které původně eliminovaly stabilizaci štěrkových náplavů v korytě sukcesní vegetací a v neposledním případě zajišťovaly přeplavování akumulovaného štěrkového materiálu v korytě. Změny aktivní šířky koryta také akcelerují současné procesy zahlubování, vlivem zvýšené erozivní schopnosti proudící vody soustředěním průtoku do jednoduchého úzkého profilu řeky Ostravice (sensu Galia, Škarpich, Hradecký 2012).

## Literatura

- BRICE, J. C. (1960): Index for description of channel braiding. Geological society of America bulletin, 71, 1833–1833.
- BRICE, J. C. (1964): Channel patterns and terraces of the Loup Rivers in Nebraska. Geological survey professional paper 422-D.
- BROSCH, O. (2005): Povodí Odry. Anagram, Ostrava.
- DEMEK, J., MACKOVČIN, P., ed. a kol. (2006): Hory a nížiny zeměpisný lexikon ČR. AOPK, Brno.
- EGOZI, R., ASHMORE, P. (2008): Defining and measuring braiding intensity. Earth Surf. Processes and Landforms, 33, 2121–2138.
- FEMMER, S. R. (2002): Instream gravel mining in southern Missouri – Spatial extent and potential effects on aquatic habitat. U.S. Geological Survey Fact Sheet, 12-02.
- FROEHLICH, W. (2010): Monitoring of Bed Load Transport Within a Small Drainage Basin in the Polish Flysch Carpathians. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5091.
- FROEHLICH, W. (2004): Monitoring bed load transport using acoustic and magnetic devices. In: Bogen, J., Fergus, T., Walling, D. E.: Erosion and Sediment Transport Measurement in Rivers: Technological and Methodological Advances. IAHS, Wallingford, Oxfordshire. 201–210.
- FRYIRS, K. A., BRIERLEY, G. J., PRESTON, N. J., KASAI, M. (2007): Buffers, and blankets: The (dis) connectivity of catchment-scale sediment cascades. Catena, 53, 49–67.
- GAEUMAN, D., SCHMIDT, J., WILCOCK, P. (2005): Complex channel responses to change in stream flow and sediment supply on the lower Duchesne River, Utah. Geomorphology, 64, 185–206.
- GALIA, T., ŠKARPICH, V., HRADECKÝ, J. (2012): Dnový transport sedimentů v souvislosti s transformací geomorfologického režimu štěrkonosných toků Moravskoslezských Beskyd. Geografie, 117, 1, 95–109.
- HANÁK, R. (2001): Morávka – Vyšní Lhoty: Technická opatření pro posun štěrků v prostoru jezu km 11,334, dokumentace pro stavební řízení, A – souhrnná a technická zpráva. Aquatis a. s., Brno.
- HLOŽEK, M. (2014): Horizontal channel development on the upper Jizera and the upper Vltava Rivers between 1938 and 2012. Geografie, 119, 2, 105–125.
- HOWARD, A. D., KEETCH, M. E., VINCENT, C. L. (1970): Topological and geometrical properties of braided streams. Water Resources Research, 1674–1688.
- HOOKE, J. M. (2003): Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. Geomorphology, 56, 79–94.
- HRADECKÝ, J. (2002): Contribution to the morphodynamic chronology of Beskydian rivers (Morávka River 1780–1997). In: Geomorfologický sborník 1, PŘF MU v Brně, Brno, 50–56.
- HRADECKÝ, J. (2007): Štěrkonosný tok Morávka – vývojové trendy korytové morfologie a revitalizační opatření. In: Geomorfologický sborník 6, Ostravská univerzita v Ostravě, Ostrava, 65–67.
- HRADECKÝ, J., ŠKARPICH, V., GALIA, T., DUŠEK, R. (2012): Complex transformation of the channels in the foothills of the Moravskoslezské Beskydy Mts. In: Blahůt, J., Klimeš, J., Štěpančíková, P., Hartvich, F.: Geomorfologický sborník 10, Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i., Praha, 11–12.
- KONDOLF, G. M. (1997): Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. Environmental Management, 21, 533–551.
- KONDOLF, G. M., PIÉGAY, H., LANDON, N. (2002): Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrast between two catchments. Geomorphology, 45, 35–51.

- KORPAK, J. (2007): The influence of river training on mountain channel changes (Polish Carpathian Mountains). *Geomorphology*, 92, 166–181.
- LIÉBAULT, F., PIÉGAY, H. (2002): Causes of 20<sup>th</sup> century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 425–444.
- MÁČKA, Z. a kol. (2011): Říční dřevo ve vodních tocích ČR. Masarykova univerzita, Brno.
- MENČÍK, E. a kol. (1983): Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny. Nakladatelství ČSAV, Praha.
- OHERA, T. (2004): Morávka Vyšní Lhoty km 10,7 přírodní spádový stupeň (č. stavby 5510), projektová dokumentace pro stavební řízení. Aquatis a. s., Brno.
- PÁNEK, T., HRADECKÝ, J., ŠILHÁN, K., (2009): Geomorphic evidence of ancient catastrophic flow type landslides in the mid-mountain ridges of the Western Flysch Carpathian Mountains (Czech Republic). *International Journal of Sediment Research*, 24, 88–98.
- PAVELKA, J., TREZNER, J., ed. (2001): Příroda Valašska. Český svaz ochránců přírody, Vsetín.
- PITRONOVÁ, B. (1968): Těšínské Beskydy na sklonku feudalismu. Salašnictví a lesní hospodářství v Těšínských Beskydech na přelomu 18. a 19. století. Univerzita J. E. Purkyně, Brno.
- POLÁŠEK, J. (2006): Tradice výroby a zpracování železa v Beskydech a Pobeskydí: Plavení dřeva a zaniklé výrobní objekty v oblasti Moravskoslezských a Slezských Beskyd. Muzeum Beskyd, Frýdek-Místek.
- SURIAN, N. (1999): Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 1135–1151.
- SURIAN, N., CISOTTO, A. (2007): Channel adjustment, bedload transport and sediment sources in a gravel-bed river, Brenta River, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 1641–1656.
- SURIAN, N., ZILIANI, L., COMITI, F., LENZI, M. A., MAO, L. (2009): Channel adjustment and alteration of sediment fluxes in gravel-bed rivers of north-eastern Italy: Potentials and limitations for channel recovery. *River research and applications*, 25, 551–567.
- ŠILHÁN, K., STACHE, V. (2011): The present-day geomorphic activity of alluvial fan (a case study from the Moravskoslezské Beskydy Mts.) based on dendrogeomorphological methods. *Moravian geographical reports*, 19, 18–29.
- ŠKARPICH, V., HRADECKÝ, J., TÁBOŘÍK, P. (2011): Structure and genesis of the quaternary filling of the Slavíč River valley (Moravskoslezské Beskydy Mts., Czech Republic). *Moravian Geographical Reports*, 19, 30–38.
- ŠKARPICH, V., GALIA, T., HRADECKÝ, J. (2012): Podmínky transportu a akumulace sedimentů v člověkem ovlivněných korytech beskydských toků: příkladová studie soutoku řeky Morávky a Mohelnice. *Geol. výzk. Mor. Slez.* v r. 2012, 53–58.
- 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.
- ŠKARPICH, V., GALIA, T., HRADECKÝ, J. (2014): Contemporary state and river processes of the Olše River channel (Outer Western Carpathian, Czech Republic). In: Marek, T., Raška, P., Dolejš, M.: *Geomorphological proceedings 12*. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i., Ústí nad Labem, Praha. 61–61.
- WEIS, K., KUBINSKÝ, D. (2014): Analyza zmien objemu Halčianskej vodnej nadržie vplyvom erozie ako podklad pre manažment v povodí. *Geografie*, 119, 2, 126–144.
- WERNER, H. (1921): *Die Regelung des Ostrawitza Wildflusses*, Lehmann und Wentzel, Wien.
- WYŻGA, B. (1993): River response to channel regulation: case study of the Raba River, Carpathians, Poland. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18, 541–556.

- WYŻGA, B. (2008): Stan środowiska rzek południowej Polski i możliwości jego poprawy – wybrane aspekty. Instytut ochrony przyrody, Kraków.
- ZAWIEJSKA, J., WYŻGA, B. (2010): Twentieth-century channel change on the Dunajec River, southern Poland: Patterns, causes and controls. *Geomorphology*, 117, 234–246.

## SUMMARY

### **Anthropogenic impact and morphology channel response of Beskydian gravel-bed rivers: a case study of the Ostravice River, Czechia**

Beskydian streams have been recently subject to geomorphological transitions as a result of human interventions in local landscape and stream channels. The main aim of this paper is to assess the morphological changes in the studied section of the Ostravice River. In particular, the study concerns four basic areas: (i) river pattern change, (ii) active channel change in the past 200 years, (iii) an analysis of channel incision, and (iv) a comparison of the Ostravice River transformation trends with selected European gravel-bed rivers. A large set of interventions into the fluvial regime of the Ostravice River were man-made projects, specifically the construction of weirs, valley dams and channel control works as bank stabilization affected the fluvial processes operating in the Ostravice River channel. Systematic regulation of the examined section started at the beginning of the 20<sup>th</sup> century. These interventions influenced the Ostravice River channel which underwent a rapid change in connection with active channel narrowing and incision. The active channel width was measured using the maps of the Second Military Mapping from 1836 to 1852 (on a scale of 1:28,800), the Third Military Mapping from 1876 to 1878 (on a scale of 1:25,000) and aerial images from 1937 to 2010.

This resulted in the original anabranching river pattern has been gradually replaced by a single, narrowed channel. The reach in r. km 0.0–9.0 displays a trend of channel narrowing between 1966 and the present. The previous period was characterised by a stagnation of the channel width. From the point of view of active channel development, a Mann-Whitney U-test at the significance level of  $\alpha = 0.05$  was used to assess the development of the change. The test shows values of no significant difference from the first half of the 19<sup>th</sup> century until 1966. From 1966 to the present, the Mann-Whitney U-test confirmed a significant difference in the channel width in this area. At some sections, the original riverbed was lowered by as much as 2.5 m in the second half of the 20<sup>th</sup> century. At other sections, the original riverbed was lowered by as much as 2.3 m in the first half of the 20<sup>th</sup> century and 2.0 m in its second half. The river reach 9.0–25.0 km displayed a significant change during the period of 1836–1852 to 1955. Between 1955 and 1966, there was no observed, significant change in the channel width. Between 1966 and the present, there has been a notable progressive channel narrowing. The studied reach of the 25.0–38.0 km displayed a significant change in the channel width between 1836–1852 and 1876–1878 and between 1937 and the present. But the first period from the 1836–1852 is characterised by lower values of the Mann-Whitney U-test. No significant change in the channel width is observed during the period from 1876–1878 to 1937. In the river reach of 28.4 r. km, it was observed that the original riverbed had been lowered by as much as 3.2 m in the second half of the 20<sup>th</sup> century. The upper reach in 38.0–45.7 is characterised by a progressive channel narrowing in the period between the early 19<sup>th</sup> century and the mid-19<sup>th</sup> century and between the second half of the 20<sup>th</sup> century and the present.

The active channel changes and incision of the Ostravice River channel is related to some anthropogenic activities, such as the river control works, damming etc. which blocked the sediment transport in the fluvial continuum. Currently, a deficit of transportable sedimentary material along with a changed morphology of channels with concentrated water flows into the narrow channel intensifies erosion processes in the Ostravice River channel (see Galia, Škarpich, Hradecký 2012).

When comparing the flysch Carpathian rivers with Alpine rivers, the state of channel changes is probably caused by the unfavourable geological predisposition of the Carpathian Flysch prone to erosion processes (see Škarpich, Hradecký, Dušek 2013).

- Fig. 1 Location of the Ostravice River basin in Czechia. In legend: water reservoir, river kilometres, water flow, station, Outer Western Carpathians, Vněkarpatské sníženiny, Ostravice River watershed, towns and villages. Data source: T. G. Masaryk Water Research Institute; Czech National Geoportal.
- Fig. 2 Schematic view of the regulation of the Ostravice River channel in the studied reach.
- Fig. 3 Contemporary Ostravice River channel: A – in river reach 4.5 r. km; B – in river reach 21.5 r. km; C – in river reach 27.9 r. km; D – in river reach 41.8 r. km.
- Fig. 4 Schematisation of the development of the Ostravice River channel pattern between 27.7–29.2 r. km from 1836–2010. Data source: 2<sup>nd</sup> Military Survey, Section No. 0-6-X and 0-7-x, Austrian State Archive / Military Archive, Vienna; 3<sup>rd</sup> Military Survey, Section No. 4161-1 a 4161-3, Austrian State Archive / Military Archive, Vienna; Ministry of Environment of the Czech Republic; Military Geography and Hydrometeorology Office in Dobruška; State Administration of Land and Cadastre.
- Fig. 5 Development of active channel width between 1836–1852 and the present (2010) in the studied reaches of the Ostravice R.
- Fig. 6 Changes in the active channel width of the Ostravice River between 1836 and 2010: A – for the reach between 0.0 and 9.0 r. km; B – for the reach between 9.0 and 25.0 r. km; C – for the reach between 25.0 and 38.0 r. km; D – for the reach between 38.0 and 45.7; n – number of measured transects in the studied reach; p – results of non-parametric statistical Mann-Whitney U-test, presenting the significance/insignificance of the differences between individual active channel widths in given periods; the box plot shows the span of measured widths between the lower and upper quartiles in given periods.
- Fig. 7 Longitudinal profiles of the Ostravice River reach 0.6–13.2 r. km in 1903, 1950 and 1991. Data source: Povodí Odry State Enterprise.
- Fig. 8 Cross-profile development of the Ostravice River coming from 1950 and 2012 in r. km 28.4. Data source: State District Archives in Frýdek-Místek; authors.
- Fig. 9 A residue of wooden bridge in Baška near Frýdek-Místek after the floods in 1960; B – Bridge affected by deep erosion of channel in Baška near Frýdek-Místek. Source: Povodí Odry State Enterprise Archives.
- Fig. 10 Graphical comparison of mean annual discharge and average annual active channel narrowing from the 100% original state of selected Carpathian and Alpine rivers (see Tab. 4). Data source: Wyžga 1993; Surian 1999; Kondolf, Piégay, Landon 2002; Liébault, Piégay 2002; Surian, Cisotto 2007; Surian et al. 2009; Korpak 2007; Zawiejska, Wyžga 2010; Škarpich, Hradecký, Dušek 2013; Škarpich, Galia, Hradecký 2014; authors.