

BLANKA LOUČKOVÁ

VEGETACE NA FLUVIÁLNÍCH TVARECH V RENATURALIZOVANÝCH ŘÍČNÍCH ÚSECÍCH OPAVY, ČERNÉ OPAVY A BRANNÉ DESET LET OD MIMOŘÁDNÉ POVODŇOVÉ DISTURBANCE

LOUČKOVÁ, B. (2011): *Vegetation on Fluvial Landforms along Near-Natural Reaches of the Opava, Černá Opava and Branná Rivers Ten Years after Extreme Flood Disturbance. Geografie, 116, No. 3, pp. 354–374.* – Riparian vegetation patterns and fluvial geomorphic forms and processes are very closely related environmental phenomena. This paper examines riparian vegetation patterns in relation to fluvial geomorphic landforms in five near-natural river reaches within ten years of a catastrophic flood. Extreme disturbance – the July 1997 flood – destroyed technically designed river channels and created suitable conditions for a number of ecosystems with high biodiversity and ecological stability. In summer 2007 (ten years after catastrophic flood), in five re-naturalized reaches, vegetation along with other environmental variables was collected on particular landform types (bars, islands, banks, floodplains and terraces). The analyses show that the key environmental determinants of riparian vegetation variation are the fluvial-geomorphic surfaces. The results suggest that many bottomland species of woody and herbaceous vegetation have predictable distribution patterns that correspond with observable fluvial landforms. **KEY WORDS:** riparian vegetation – fluvial processes and landforms – vegetation patterns – flood – disturbance – near-natural river systems – multivariate analysis.

1. Úvod

Říční krajiny představují ve svém přirozeném stavu druhově nejbohatší ekosystémy mírného pásma (Naiman, Décamps, McClain 2005). Vyznačují se jedinečnou kombinací vodních a terestrických složek, pestrou mozaikou biotopů a vysokou druhovou diverzitou (Gurnell, Petts 2002). Rozšíření rostlinných druhů a složení vegetačních porostů na dnech říčních údolí je výsledkem prostorové heterogenity, která vzniká v důsledku rozdílných hydrologických podmínek a různé intenzity disturbancí v podobě fluviálně-geomorfologických procesů (Hupp, Rinaldi 2007; Lite, Bagstad, Stromberg 2005; Tabacchi a kol. 1996).

Zrnitost půdního substrátu, konkrétní hydrologické procesy probíhající na daném místě a topografie terénu (relativní výška nad povrchem údolní nivy) dohromady tvoří předpoklady, které následně dávají vzniknout typickým geomorfologickým tvarům, jež jsou iniciovány a následně udržovány působením fluviálních procesů. S rostoucí relativní výškou nad úrovní nivy a zvětšující se vzdáleností od říčního koryta klesá délka trvání inundací a jejich četnost. V důsledku těchto změn je možno vyzorovat na dně říčních údolí charakteristickou sekvenci fluviálních tvarů (zjednodušeně: šterková lavice v korytě toku – povrch údolní nivy – říční terasa), jež je výsledkem rozdílných

hydrologických procesů působících na určitém místě. Přítomnost daného druhu na konkrétním tvaru reliéfu tak může být významným ukazatelem specifických hydro-geomorfologických podmínek, které probíhají na daném tvaru reliéfu (Gurnell, Petts 2002; Hupp, Rinaldi 2007, Nagasaka, Nakamura 1999; Nakamura, Shin 2001). Řada studií zdůrazňuje roli disturbancí na vývoj a udržování pestré mozaiky vegetace na údolních dnech (Baker 1992, Clark 1991, van der Naat a kol. 2003). V případě říčních ekosystémů lze za nejvýznamnější typ disturbancí považovat povodně, které svou velikostí, frekvencí výskytu, délkou trvání a také načasováním výrazně ovlivňují ekologické procesy v prostoru niv (Poff a kol. 1997). Extrémní povodně jsou zásadní pro vznik pestré škály biotopů v říčním korytě i v navazující nivě (tzv. „flood pulses“ viz Junk, Bayley, Sparks 1989). Pro říční systémy jsou však významné také malé fluktuace vodní hladiny, tzv. „flow pulses“ (viz Tockner, Malard, Ward 2000), v jejichž důsledku vzniká na povrchu údolní nivы v závislosti na intenzitě inundace pravidelná zonace vegetačních porostů (Hupp, Osterkamp 1996, Naiman, Décamps, McClain 2005). Významnou českou prací v tomto směru je publikace Jeníka (1955), v níž autor podává detailní rozbor sukcesních procesů na aluviálních náplavech řeky Belé v Tatrách a zdůrazňuje význam periodicity vodního toku a charakter řečiště. Vývojem vegetačního krytu povodňového koryta Bečvy po záplavách v roce 1997 se zabýval Lacina (1999, 2000, 2004), vývoj měkkého luhu v nivě Bečvy iniciovaného povodní v roce 1997 studoval Klečka (2004). Sukcesi po záplavách v roce 1997 a 2002 v nivě Tiché Orlice popisuje Kovář (1998) a Kovář a kol. (2002). Rekolonizační procesy vegetace po mimořádné povodňové disturbanci jsou také hlavními tématy prací Chuman, Lipský, Matějček (2006) a Chuman, Šefrna, Zádorová (2007), Koppové (2001) a Kouteckého (2003). Problematice následků povodně, změnám v krajině a antropogenním zásahům do říčních niv a koryt vodních toků se detailně věnuje Langhammer (ed., 2007), Langhammer, Vilímek (2008), problematikou ekomorfoloogického monitoringu se zabývá Matoušková (ed., 2008). Geomorfoloogické účinky povodně 1997 na území Moravy a Slezska podrobně studoval Hrádek (2000).

Lidské zásahy do přirozené dynamiky vodních toků prováděné masivně zejména ve 20. století zcela narušily dynamickou rovnováhu hydrologických procesů a vyvolaly rozsáhlé změny ve specifických ekologických podmínkách říčních niv. S přeměněnými hydrologickými podmínkami postupně zanikla celá řada rozmanitých biotopů, typických pro heterogenní poříční krajinu. Extrémní povodeň, která postihla Česko v červenci roku 1997, díky své mimořádné geomorfologické účinnosti zničila na mnoha místech technicky opevněná koryta a projevila se tak jako přírodní revitalizační činitel. Díky této disturbanci se na mnoha místech opět vytvořily vhodné podmínky pro celou řadu ekosystémů s vysokou druhovou diverzitou a ekologickou stabilitou.

Předkládaná studie se zabývá vzájemnými souvislostmi mezi fluviálně-geomorfologickými procesy a strukturou rostlinných společenstev v pěti přírodních úsecích na třech vybraných řekách Česka po deseti letech od mimořádné povodně. Ve zkoumaných úsecích nebyly po povodni prováděny technické úpravy koryta a říční niva byla ponechána v obnoveném renaturalizovaném stavu. V průběhu dalšího vývoje nebyly zkoumané říční úseky postiženy dalšími povodňovými událostmi, sukcesní vývoj tak nebyl narušen další disturbancí v podobě extrémní povodně.

Cílem prováděného výzkumu bylo odpovědět na následující otázky: Jaká je struktura rostlinných společenstev na jednotlivých fluviálních tvarech po deseti letech od mimořádné povodňové disturbance? Které faktory prostředí jsou klíčové v těchto renaturalizovaných úsecích pro řízení dynamiky vegetace? Do jaké míry se na rozšíření rostlinných společenstev podílí fluviální tvary, které jsou výsledkem hydrogeomorfologických procesů operujících na daném místě?

2. Studovaná oblast

Studovaná oblast se sestává z pěti úseků (každý o délce zhruba 1,5 km), které se nacházejí v renaturalizovaném přírodě blízkém stavu a jsou charakteristické pestrou mozaikou vodních a terestrických biotopů a množstvím říčních ostrovů a šterkových lavic. Společným jmenovatelem a také důvodem výběru těchto pěti studovaných úseků byla skutečnost, že po povodni 1997 zde nebyla říční koryta technicky upravena a navazující niva byla ponechána bez zásahu v „renaturalizovaném“ stavu. Úseky se pro studované účely vyznačují obdobnými podmínkami (nadmořská výška, biogeografie vegetační stupeň, výskyt jednotlivých druhů, klimatické podmínky, geologické podloží). Základní morfometrické a hydrologické charakteristiky studovaných říčních profilů jsou uvedeny v tabulce 1. Tři úseky jsou lokalizovány na horním toku řeky Opavy mezi obcemi Vrbno pod Pradědem a Nové Heřmínovy, čtvrtý úsek se nachází na dolním toku Černé Opavy (přítok Opavy) severně od Vrba pod Pradědem, pátý úsek je situován na řece Branné zhruba 3 km severovýchodně od Hanušovic (obr. 1). Západní část studované oblasti (Branná) je odvodňována do Černého moře, východní část (Opava, Černá Opava) do Baltského moře. Geomorfologicky náleží studované úseky do Jesenické podsoustavy, konkrétně do celků Nízký Jeseník (úseky na Opavě), Hrubý Jeseník (úsek na Černé Opavě) a Hanušovická vrchovina (úsek na řece Branné; Demek, Mackovčín 2006). Území je tvořeno sedimenty spodnokarbonského stáří v podloží (převážně břidlice a droby), průměrný dlouhodobý roční úhrn srážek spádového povodí Opavy je 1060 mm, průměrná dlouhodobá roční teplota vzduchu je 5,8 °C (Bureš 1998).

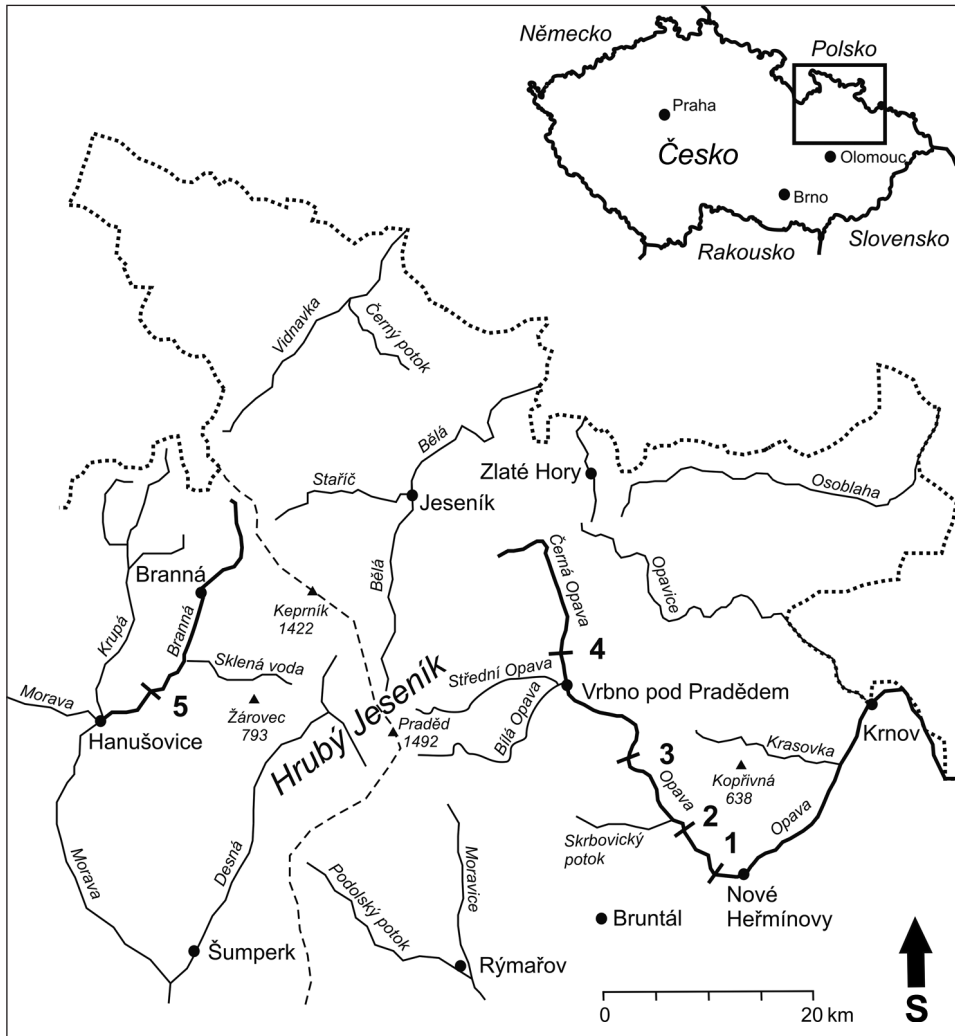
Potenciálními přírodními společenstvy jsou v nivě Opavy *Saliceta fragilis superiora* (vrbinový vrbový křehký vyššího stupně), *Fraxini-alneti superiora* (jasanové olšiny vyššího stupně), v nivě Černé Opavy a Branné dominují *Fraxini-alneti aceris superiora* (javorové jasanové olšiny vyššího stupně; Buček, Lacina 2002). Šířka údolní nivy ve sledovaných úsecích se pohybuje v rozmezí 150–500 m.

V červenci 1997 byla studovaná oblast postižena extrémně ničivou povodní. Srážkový úhrn ve dnech 4.–9. 7. 1997, který zformoval hlavní vlnu červencové povodně, dosáhl hodnoty 443 mm (Hrádek, Lacina 2003). Na řece Opavě překonával maximální průtok stoletou úroveň od horního toku až po ústí do Odry, v Krnově byl překročen 700letý průtok s hodnotou 375 m³.s⁻¹ (Hrádek 2000). Průměrný dlouhodobý roční průtok v hydrologické stanici Opava-Karlovice v zájmovém území je 2,5 m³.s⁻¹, kulminační povodňový průtok při červencové povodni činil 325 m³.s⁻¹ a byl dvojnásobně vyšší než Q_{100} (Bureš 1998).

Před povodňovou událostí byla část údolních niv studovaných úseků zorněna a zemědělsky obdělávána, po katastrofické povodni (obr. 2) nejsou tyto rozsáhlé plochy dříve využívané půdy využívány a leží „ladem“ (Hrádek, Lacina 2003; obr. 3).

Tab. 1 – Hlavní morfometrické a hydrologické charakteristiky studovaných říčních transektů

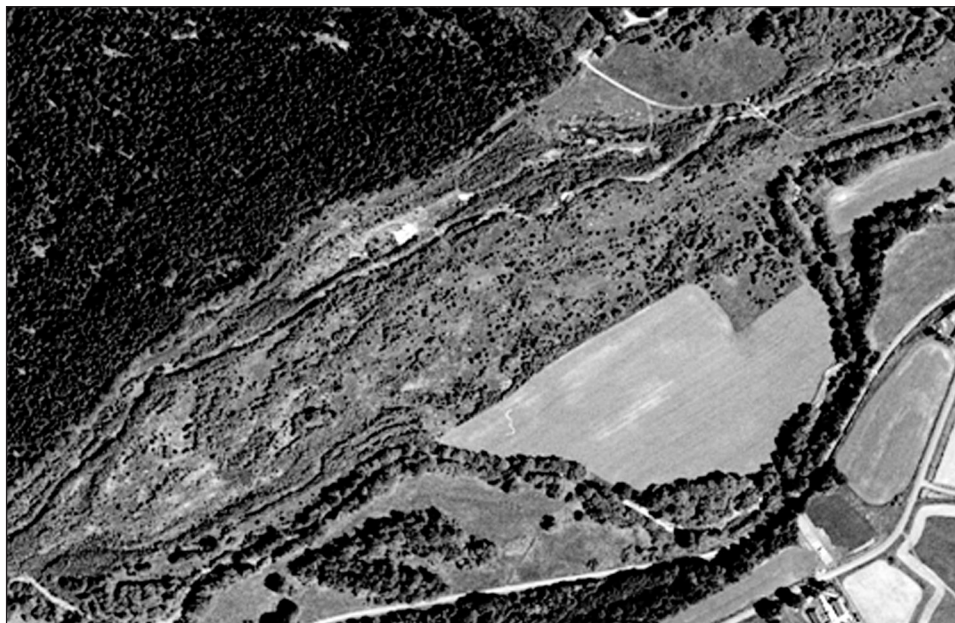
Označení transektu	Sklon koryta (%)	Průměrná šířka koryta (m)	Průměrná hloubka koryta (m)	Šířka nivy (m)	Nadmořská výška (m n. m.)	Vegetační stupeň
T 1	5	6	0,4	400	400	4. (bukový)
T 2	6	6	0,5	250	420	4. (bukový)
T 3	7	12	0,45	200	460	5. (jedlobukový)
T 4	13,93	11	0,35	170	590	5. (jedlobukový)
T 5	15	5	0,4	180	430	4.-5. (bukový – jedlobukový)



Obr. 1 – Vymezení studované oblasti a jednotlivých říčních úseků. Přerušovaná čára znázorňuje rozvodnici mezi povodími.



Obr. 2 – Niva Opavy u obce Nové Heřmínovy těsně po povodni – srpen 1997 (místo úseku č. 4). Zdroj: Městský úřad Bruntál.



Obr. 3 – Niva Opavy u Nových Heřmínov v roce 2007 (místo úseku č. 4). Zdroj: VÚ Dobruška.

3. Metodika

3.1. Terénní výzkum

Data byla získávána z pěti profilů situovaných ve výše popsaných neupravených úsecích toků, jež byly vytyčeny kolmo na osu řečiště vždy v desetimetrové šíři. V rámci každého profilu vedeného napříč údolní nivou od terasy k terase byly vymezeny jednotlivé fluvialní tvary (lavice, ostrov, břeh, niva, terasa) ve shodě s metodikou Baker, Walford 1995; Hupp, Osterkamp 1985; Hupp, Rinaldi 2007. Vzhledem k heterogenitě prostředí nebylo možno zachovat shodný počet ploch ve všech profilech (minimální počet 9 na transektu Branné, maximum 20 na transektu č. 1 Opava-Nové Heřmínovy. Také velikost jednotlivých ploch byla v rámci transektu – vzhledem k rozdílné ploše biotopů říční krajiny (povodňová lada versus nátržový břeh) – různá. Šířka ploch byla konstantní a totožná s šířkou transektu (10 m), délka jednotlivých ploch se lišila v závislosti na velikosti daného biotopu od 1 m (břeh, šterková lavice, břehová nátrž), po maximum 10 m. Celkem bylo vytyčeno 71 ploch (transekt č. 1 zahrnoval 20 ploch, v případě transektu č. 2 to bylo 16 ploch, u transektu

Tab. 2 – Základní popisné statistiky měřených proměnných vegetace a prostředí

Proměnná (jednotka)	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	Horní kvartil	Dolní kvartil
Pokryvnost vegetace-stromové a keřové patro (%)	0,3	0,25	1,0	0,0	0,7	0,0
Pokryvnost vegetace-bylinné patro (%)	0,8	1,0	1,0	0,1	1,0	0,8
Typ fluvialního tvaru (kvalitativní proměnná; lavice, ostrov, břeh, niva, terasa)						
Nadmořská výška (m)	454,6	421,0	593,0	401,0	460,0	403,0
Šířka nivy (m)	259,6	250	400	170	400	180
Velikost plochy (m ²)	55,6	50,0	100,0	10,0	100,0	20,0
Relativní výška nad dnem koryta (m)	1,4	1,3	3,6	0,1	2,0	0,7
Vzdálenost ke korytu (m)	18,5	5,0	120,0	0,1	30,0	0,5
PDSI*	8,2	8,7	8,8	2,7	8,7	8,3
Zrnitost sedimentů (kvalitativní proměnná; jíl, jíl a písek, písek, šterk, oblázky)						
Střední velikost částic (D_{50} ; mm) ⁺	0,4	0,4	1,9	0,02	0,4	0,4
Obsah minerál. dusíku ($\mu\text{g/g}$ půdy) ⁺	0,9	0,9	2,7	0,1	0,9	0,9
Půdní enzymatická aktivita (ml O ₂ /5g půdy) ⁺	26,5	26,5	61,6	9,3	26,5	26,5
Půdní obsah sušiny (%) ⁺	82,9	83,0	94,8	67,5	83,0	82,9
Půdní pH ⁺	6,0	6,0	8,0	3,8	6,0	6,0

* Sklon a expozice byly přepočítány na sumu potenciální přímé radiace na daném místě (tzv. PDSI, *Potential Direct Solar Irradiation*), tj. suma záření, která dopadne na dané místo, pokud slunce nebude stíněno mraky (Herben, Münzbergová 2003; McCune, Keon 2002).

⁺ charakteristiky měřené na 21 plochách

č. 3 bylo vytyčeno celkem 13 ploch, transekt č. 4 obsahoval 13 ploch a transekt č. 5 celkem 9 ploch), v rámci každé byly zaznamenávány údaje o vegetaci spolu s vybranými proměnnými prostředí (viz níže).

Metodou fytoocenologického snímkování byla v letních měsících v roce 2007 (červenec, srpen) mapována vegetace. U každého fytoocenologického snímku byla zaznamenávána vertikální struktura vegetace (jednotlivá vegetační patra) a relativní zastoupení jednotlivých druhů v každém patře, jež bylo odhadováno pomocí Zlatníkem upravené Braun-Blanquetovy kombinované stupnice pokryvnosti a početnosti (Zlatník 1976). Metody gradientové analýzy byly provedeny v programu *Canoco for Windows 4.5* (Ter Braak, Šmilauer 1998), specializovaném statistickém programu pro aplikace v ekologii společenstev (data o dominanci jednotlivých druhů byly převedeny na procentickou stupnici). Doplňující statistické analýzy byly provedeny v programu *STATISTICA for Windows 8.0* a *SPSS 16.0*.

K charakteristice prostředí jednotlivých ploch bylo použito 13 vysvětlujících proměnných (viz tab. 2). Nadmořská výška každé plochy byla stanovena pomocí GPS přístroje. Šířka nivy byla určována přímo v terénu, velikost plochy byla měřena pásmem, stejně jako vzdálenost k říčnímu korytu. Relativní výška ploch nad dnem koryta byla měřena nivelačním přístrojem, sklon každé plochy byl měřen pomocí sklonoměru. Dále byla u jednotlivých fytoocenologických snímků vizuálně stanovena zrnitost sedimentů na ploše, každá plocha byla zařazena do jedné z následujících kategorií: 1. oblázky a štěrky, 2. štěrky, 3. písek, 4. písek a jíl, 5. jíl); pro každou plochu byl určován typ fluvialního tvaru. Z 21 ploch (vzhledem k finančním nákladům) byly odebrány půdní vzorky z hloubky do 25 cm, které byly následně podrobeny dalším analýzám – stanovení střední velikosti částic (D_{50}), určení pH , stanovení obsahu minerálního dusíku, sušiny a enzymatické aktivity. Tyto plochy byly vybrány tak, aby pokryly spektrum půdních podmínek na fluvialních tvarech.

3.2. Analýza dat

Data byla analyzována v několika krocích. Za účelem identifikovat vzájemné korelace jednotlivých naměřených proměnných prostředí byla nejprve provedena neparametrická metoda výpočtu Spearmanových koeficientů pořadové korelace (*Statistica for Windows 8.0*). Následně byla na data aplikována detrendovaná korespondenční analýza za účelem postihnout nejdůležitější směry variability ve floristických datech a zjistit hlavní faktory ovlivňující strukturu dat (*Canoco for Windows 4.5*, Ter Braak, Šmilauer 1998), pro jednotlivé proměnné prostředí byla poté provedena dodatečná korelace s prvními čtyřmi osami DCA pomocí neparametrické metody výpočtu Spearmanových korelací. Vzhledem k poměrně silnému vlivu fluvialních tvarů na strukturu vegetace byla na vegetační data aplikována technika binární diskriminační analýzy (BDA) za účelem odhalit signifikantní vazby mezi konkrétním druhem a specifickým typem reliéfu. BDA byla provedena pro 33 nejfrekventovanějších rostlinných druhů a umožnila detailní popis druhového složení na jednotlivých fluvialních tvarech.

Tab. 3 – Spearmanovy korelační koeficienty mezi naměřenými charakteristikami

	Nadmořská výška	Relativní výška nad dnem koryta	Vzdálenost ke korytu	Zrnitost sedimentů	Terasa	D_{50}	Obsah dusíku	Enzymatická aktivita
Šířka nivy	-0.65***							
Velikost plochy								
Relativní výška nad dnem koryta		0.51***						
Vzdálenost ke korytu								
PDSI								
Zrnitost sedimentů	0.32**	-0.46***	-0.40***					
Terasa		0.48***	0.43**	-0.25*				
Niva		0.35**	0.45***					
Břeh	-0.24*		-0.29*					
Ostrov	0.28*	-0.49***	-0.31**	0.25*				
Lavice		-0.37**		0.44***				
D_{50}				0.47***				
Obsah dusíku				-0.26*		-0.36**		
Enzymatická aktivita			0.27*	-0.37**	0.28*	-0.57***	0.68***	
Obsah sušiny						0.52***		-0.36**
Půdní pH		-0.23*	-0.44***		-0.60***		-0.31**	-0.36**

Pozn.: *** korelace významné na hladině $p < 0,001$, ** korelace významné na hladině $p < 0,01$, * korelace významné na hladině $p < 0,05$.
Kurzivou jsou označené proměnné měřené pouze na 21 plochách.

4. Výsledky

4.1. Vzájemné korelace naměřených parametrů

Korelační koeficienty mezi jednotlivými naměřenými proměnnými prostředí jsou shrnuty v tabulce 3. S rostoucí vzdáleností od koryta vodního toku stejně jako s rostoucí výškou nad dnem koryta dochází ke zjemňování půdního substrátu. Vzdálenost od vodního toku poměrně silně koreluje s relativní výškou nad dnem koryta a zákonitě s posloupnou sekvencí fluvialních tvarů (lavice – ostrov – břeh – niva – terasa). Poměrně významná je i negativní korelace této proměnné s půdním *pH*. Zrnatost substrátu je negativně korelována s obsahem dusíku a enzymatickou aktivitou, zákonitě kladně potom s hodnotou *D*₅₀. Směrem do vyšších nadmořských výšek se ve zkoumaných územích zvyšuje výskyt říčních ostrovů. Rostoucí velikost plochy snímku pozitivně koreluje s relativní výškou nad dnem koryta a s rostoucí vzdáleností od vodního toku. Z tabulky korelačních koeficientů je také patrná řada vzájemných korelací mezi pedologickými charakteristikami a rovněž negativní korelace hodnot půdního *pH* s rostoucí relativní výškou údolního dna (nejkyselejší půdy jsou vázány na biotopy jehličnatých lesů na terasách).

4.2. Nepřímá gradientová analýza (detrendovaná korespondenční analýza)

Detrendovaná korespondenční analýza (dále také jen DCA) byla provedena za účelem postihnout nejdůležitější směry variability ve floristických datech a zjistit jejich celkovou heterogenitu. Do analýzy byla kromě druhových dat zahrnuta také všechna naměřená data prostředí (tzn. i data, která byla naměřena pouze na 21 plochách – střední velikost částic (*D*₅₀), *pH*, obsah minerálního dusíku, enzymatická aktivita, obsah sušiny). Analýza byla prováděna pro druhy stromového, keřového i bylinného patra dohromady, chybějící hodnoty proměnných, které byly naměřeny pouze na 21 plochách, byly u ostatních ploch doplněny průměry vypočítanými z naměřených hodnot (Lepš, Šmilauer 2007).

Výsledky (tab. 4) ukazují, že první dvě osy vysvětlují dohromady 10 % celkové druhové variability (první osa cca 6,2 %, druhá osa 3,8 % variability). Obě osy spolu s osou č. 3 rovněž velmi dobře koreluje s daty prostředí ($r = 0,862$ v případě osy 1, $r = 0,839$ v případě osy 2, $r = 0,802$ v případě osy 3). Tyto poměrně vysoké vzájemné korelace druhů s prostředím naznačují, že velká část variability floristických dat může být vztahována k souboru naměřených proměnných prostředí. Výše uvedené rovněž naznačuje, že variabilita floristických dat zřejmě není řízena pouze jedním dominantním faktorem, ale několika nejspíš vzájemně korelovanými proměnnými, projevujícími se na úrovni více ordinačních os. Celková variabilita souboru druhů, která je připisatelná dodatečným naměřeným proměnným prostředím, je rovna hodnotě 38,5 %.

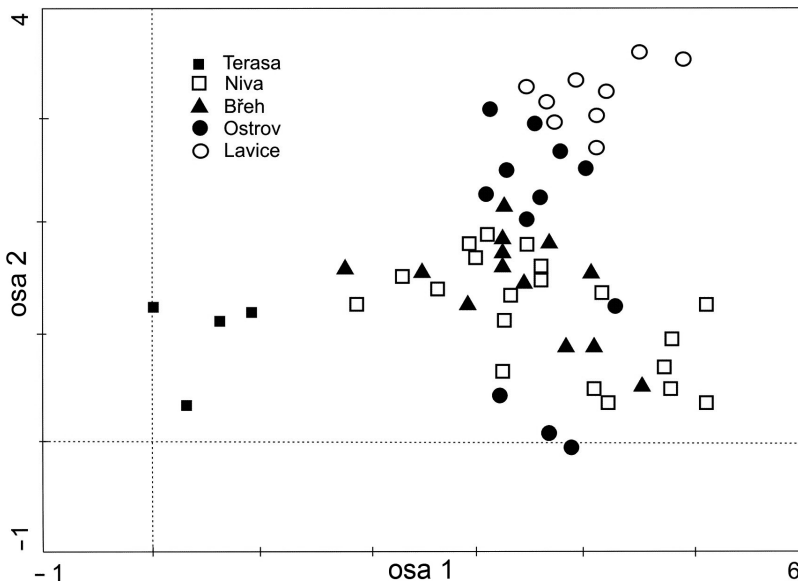
Výše uvedené předpoklady jsou rovněž patrné z grafu skór snímků (obr. 4), kde DCA zřetelně oddělila snímky z relativně výše položených stanovišť (terras, seskupeny v levé spodní části grafu) a snímky situované poblíž vodních toků, zejména na šterkových lavicích (v pravé horní části grafu).

Tab. 4 – Výsledky nepřímé gradientové analýzy (DCA) – souhrn

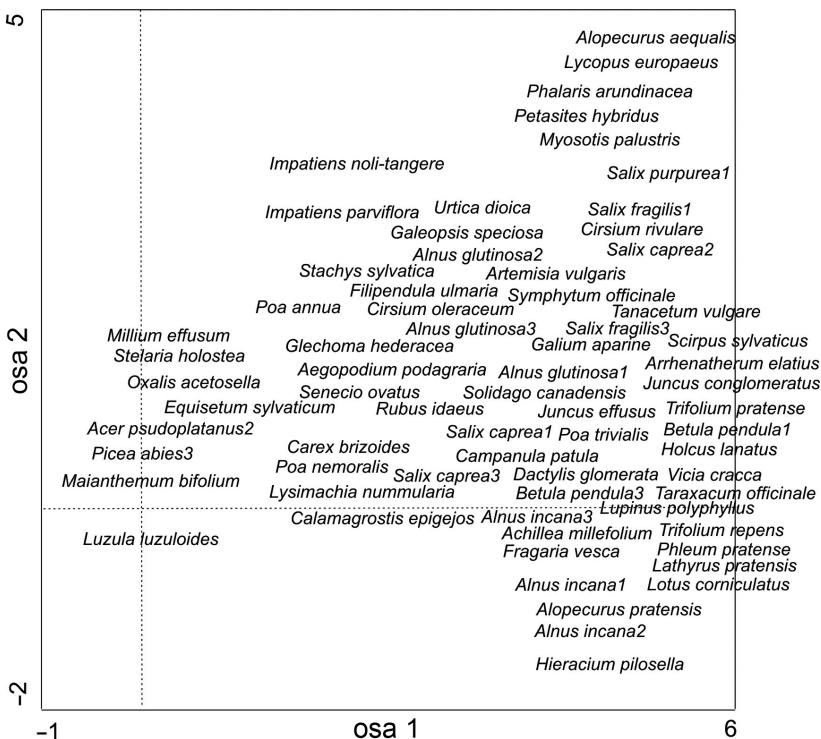
Analýza DCA	Osa			
	1	2	3	4
Vlastní hodnoty	0,637	0,384	0,258	0,209
Korelace druhy – prostředí	0,862	0,39	0,802	0,615
Kumulativní procentuální variance druhových dat	6,2	10,0	12,5	14,5
Suma vlastních hodnot	10,250 (celková variabilita souboru)			
Suma vlastních hodnot všech kanonických os	3,951 (38,5 %)			

Na obrázku 5 jsou zobrazeny druhy v prostoru prvních dvou ordinačních os. Druhy typické pro biotopy s nízkou relativní výškou nad dnem koryta jsou sešklupeny v pravé horní části grafu (*Phalaris arundinacea*, *Petasites hybridus*, *Lycopus europaeus*, *Myosotis palustris*, *Alopecurus aequalis*) a druhů situovaných na okrajových vyvýšených částech údolí (údolní svahy, terasy) v levé části grafu (*Picea abies*, *Acer pseudoplatanus*, *Millium effusum*, *Oxalis acetosella*, *Maianthemum bifolium*, *Luzula luzuloides*). V centrální části grafu převažují druhy typicky se vyskytující na březích a v prostoru údolní nivy – *Stachys sylvatica*, *Urtica dioica*, *Solidago canadensis*, *Campanula patula*, *Cirsium oleraceum*, *Dactylis glomerata*.

Toto rozmístění druhů naznačuje, že první ordinační osu lze interpretovat jako gradient výšky nad dnem koryta (elevace) a potažmo také jako gradient fluvialního tvaru. Rovněž druhá ordinační osa je patrně dobře korelována s výše zmíněnými proměnnými.



Obr. 4 – DCA – skóry snímků v prostoru 1. a 2. ordinační osy



Obr. 5 – DCA – skóry druhů v prostoru 1. a 2. ordinační osy. Číslo za názvem dřeviny indikuje vegetační patro 3 – hlavní úroveň, 2 – od 1,3 m po hlavní úroveň, 1 – do 1,3 m.

Pro jednotlivé proměnné prostředí byla provedena dodatečná korelace s prvními čtyřmi osami DCA pomocí neparametrické metody výpočtu Spearmanových korelací (tab. 5). Z korelační matice je patrné, že první osa, která shrnuje nejdůležitější směr floristické variability v souboru, je silně korelována proměnnými terasa, elevace nad dnem koryta a půdní *pH*. Kromě geomorfologických proměnných koreluje s první osou také řada půdních charakteristik – obsah minerálního dusíku, enzymatická aktivita, střední velikost částic (*D*₅₀).

První osa znázorňuje gradient reliéfu – relativní výšku nad úrovní koryta a tím potažmo i typ fluviálního tvaru (terasa, niva, břeh, ostrov, lavice), který je s proměnnou elevace poměrně silně korelován. Zároveň také odráží změnu půdních charakteristik. S druhou osou opět silně koreluje proměnná lavice, poměrně silně se projevuje negativní korelace proměnné velikost plochy. Patrná je také negativní korelace nadmořské výšky. Na úrovni třetí a čtvrté ordinační osy se silně projevila korelace fluviálního tvaru břeh. Z tabulky 5 je patrné, že některé proměnné jsou korelovány s více osami. Je to zejména proměnná fluviální tvar jakožto kategoriální proměnná, kde se pozice jednotlivých typů reliéfu projevuje zřetelně napříč grafem, a také charakteristika vzdálenost od koryta, která se projevila na úrovni druhé, třetí a čtvrté osy.

Cílem detrendované korespondenční analýzy bylo nalézt nejsilnější směry variability v souboru dat. Z vysokých hodnot korelačních koeficientů s první osou i s dalšími ordinačními osami lze usuzovat, že floristickou variabilitu

Tab. 5 – Spearmanovy koeficienty pořadové korelace mezi naměřenými proměnnými prostředí a prvními čtyřmi osami DCA

Proměnná prostředí	osa 1	osa 2	osa 3	osa 4
Nadmořská výška		-0,41*		
Velikost plochy	-0,45*	-0,70***	-0,41*	
Relativní výška nad dnem koryta	-0,63***	-0,41*	-0,46*	
Vzdálenost od koryta		-0,44*	-0,39*	0,45*
PDSI ⁺				0,45*
Zrnitost sedimentů	0,44*			
Terasa	-0,88***			
Niva		-0,53**	-0,41*	
Břeh			0,62***	-0,70***
Ostrov				
Lavice	0,39*	0,75***		
D 50	0,51**			
Obsah dusíku	-0,58**			
Enzymatická aktivita	-0,57**			
Obsah sušiny				
pH	0,72***			

Pozn.: *** korelace významné na hladině $p < 0,001$, ** korelace významné na hladině $p < 0,01$, * korelace významné na hladině $p < 0,05$

⁺ Sklon a expozice byly přepočítány na sumu potenciální přímé radiace na daném místě (tzv. PDSI, *Potential Direct Solar Irradiation*), tj. suma záření, která dopadne na dané místo, pokud slunce nebude stíněno mraky (Herben, Münzbergová 2003; McCune, Keon 2002).

datového souboru lze interpretovat pomocí naměřených faktorů prostředí, které byly do analýzy zahrnuty technikou dodatečné korelace. Variabilita se poměrně zřetelně projevila již na úrovni první ordinační osy. Nejdůležitějším faktorem prostředí, strukturujícím druhová data je reliéf (typ fluviálního tvaru spolu s elevací a šířkou nivy), nicméně celý soubor dat je řízen několika navzájem korelovanými prediktory, které se projevují na úrovni os vyššího řádu.

4.3. Vegetace na fluviálních tvarech

Vzhledem k relativně silnému vlivu fluviálních tvarů na strukturu vegetace, zjištěnému v předcházející analýze, byla na vegetační data aplikována technika binární diskriminační analýzy (Hupp, Osterkamp 1985; Hupp, Rinaldi 2007; Strahler 1978) za účelem podpořit výsledky gradientové analýzy a odhalit signifikantní vazby mezi druhem a specifickým typem reliéfu. Binární diskriminační analýza, aplikovaná celkem na 33 nejfrekventovanějších druhů, odhalila řadu vzájemných souvislostí a potvrdila závěry gradientové analýzy. Výsledky (tab. 6) ukazují, že ve sledovaných úsecích se vyskytují jak druhy preferující výskyt v podmínkách daného fluviálního tvaru, tak druhy, které nevykazují nijak zvláštní afinitu k jednotlivým typům reliéfu.

Výsledky provedených analýz umožnily definovat v zájmových úsecích několik hlavních skupin rostlinných druhů dle vztahu k fluviálně-geomorfologickým procesům a tvarům:

- Druhy jevící zřetelnou afinitu ke specifickým fluviálně-geomorfologickým tvarům: např. *Barbarea vulgaris* (lavice), *Alnus incana* (ostrov), *Alnus glutinosa* (břeh), *Lupinus polyphyllus* (niva), *Poa pratensis* (niva), *Solidago canadensis* (niva), *Picea abies* (terasa), *Vaccinium myrtillus* (terasa).
- Druhy běžně se vyskytující v místech pravidelně a poměrně intenzivně disturbovaných: *Alopecurus aequalis*, *Barbarea vulgaris*, *Polygonum minus*, *Phalaris arundinacea*, *Salix purpurea*, *Salix cinerea*.
- Druhy, které se vyhýbají stanovištím s vysokou mírou fluviálně-geomorfologických disturbancí (zejména destruktivní mechanický účinek vodního proudu, časté zaplavování, snížená dostupnost živin na hrubozrnných substrátech): *Cirsium oleraceum*, *Lotus corniculatus*, *Poa pratensis*, *Symphytum officinale*, *Tanacetum vulgare*, *Campanula patula*.
- Druhy s širokou ekologickou amplitudou, které nelze považovat za indikátory specifických tvarů reliéfu a fluviálně-geomorfologických podmínek, nicméně mohou naznačovat vliv jiného faktoru (např. zvýšený obsah určitých živin v půdě, trvalé zamokření): *Urtica dioica*, *Stachys sylvatica*, *Aegopodium podagraria*, *Lysimachia nummularia*, *Juncus sp.*

Závěry gradientové analýzy spolu s výsledky binární diskriminační analýzy rovněž umožnily specifikovat složení vegetace na jednotlivých fluviálních tvarech. Stručná charakteristika tvarů spolu s typicky se vyskytujícími druhy je uvedena v následující části.

Štěrková lavice: Akumulace erodovaných oblázků a štěrků s nepravidelnou písčitou výplní v korytě vodního toku jsou pod přímým mechanickým působením říčního proudu a těmito mezními podmínkami je schopno přizpůsobit se pouze malé procento rostlinných druhů. Tato krajní stanoviště osídluje zejména pionýrské druhy jako *Alopecurus aequalis*, *Barbarea vulgaris*, *Polygonum minus*, *Malachium aquaticum*. Konvexní části lavic jsou již osídlovány širším spektrem rostlinných druhů: *Petasites hybridus*, *Alopecurus aequalis*, *Rumex obtusifolius*, *Phalaris arundinacea*, *Epilobium montanum*. Extrémní podmínky stanoviště (časté vymílání vodním proudem, destruktivní účinky vodního proudu, časté záplavy) nepodporuje souvislý výskyt dřevinného patra, obvyklými dřevinami osidlujícími tento fluviální tvar jsou vrby – *Salix purpurea*, *S. cinerea*, *S. fragilis*, *S. caprea*. Důležitým faktorem pro ecési semenáčků a jejich následný vývoj je na tomto typu reliéfu přítomnost jemnozrnných písčitých překryvů, které zmírňují extremitu stanovištních podmínek. Podle geobiocenologické typizace (Buček, Lacina 2002) lze společenstva štěrkových lavic ve sledovaných úsecích zařadit ke skupině typu geobiocénu *Saliceta fragilis superiora* (vrbiny rby křehké vyššího stupně), nejmladšímu stádiu vývoje nivních společenstev v pahorkatinných oblastech. Jedná se o neustálená společenstva, která se vyvíjejí na nejmladších částech nivy, typicky vázaná na pravidelně přeplavované štěrkopísčité náplavy.

Říční ostrov: Říční ostrovy jsou narozdíl od často přemísťovaných štěrkových lavic stabilizovanými vnitrokorytovými útvary, které nebývají zaplavovány tak často a rovněž extremita hrubozrnného substrátu je zmírněna výskytem jemně písčitého materiálu. Stejně jako v případě štěrkových lavic, dominantními společenstvy z hlediska geobiocenologické typizace (Buček, Lacina 2002) jsou zde vrbiny vrby křehké vyššího stupně (*Saliceta fragilis superiora*). Příznivější podmínky umožňují rozvoj většího počtu druhů dřevin. Ve zkoumaných

Tab. 6 – Hodnoty standardizovaných reziduálů z binární diskriminační analýzy pro vybrané druhy

Druh	lavice	Ostrov	Břeh	Niva	Terasa
<i>Aegopodium podagraria</i>	-1,70	-1,90	0,76	1,80	-0,30
<i>Alnus glutinosa</i>	-1,09	-0,56	1,28	0,22	-0,99
<i>Alnus incana</i>	-0,82	3,32	-0,30	-1,61	-0,75
<i>Artemisia vulgaris</i>	-0,29	1,16	-0,66	0,20	-0,73
<i>Barbarea vulgaris</i>	3,47	0,46	-0,96	-0,99	-0,46
<i>Betula pendula</i>	-0,77	-1,22	-0,11	1,81	-0,70
<i>Cirsium oleraceum</i>	-1,07	-1,50	1,18	1,32	-1,52
<i>Cirsium rivulare</i>	-0,85	-0,29	0,22	1,10	-1,38
<i>Dactylis glomerata</i>	-1,20	0,22	-1,42	1,91	-0,18
<i>Epilobium montanum</i>	1,42	0,34	0,02	-0,52	-1,06
<i>Galeopsis speciosa</i>	-1,48	-0,21	1,04	-0,49	0,86
<i>Galium aparine</i>	-1,67	0,01	0,24	1,01	-0,87
<i>Impatiens parviflora</i>	-0,93	0,76	0,67	-0,78	-0,03
<i>Juncus conglomeratus</i>	-0,87	-1,38	0,73	1,22	-0,80
<i>Juncus effusus</i>	-1,05	-0,45	-0,01	1,36	-0,96
<i>Lotus corniculatus</i>	-0,87	-0,65	-0,47	1,81	-0,80
<i>Lupinus polyphylus</i>	-1,01	-0,96	-0,37	2,09	-0,92
<i>Luzula luzuloides</i>	-0,87	-1,52	-1,67	-0,54	2,97
<i>Lysimachia nummularia</i>	-1,05	-0,45	0,98	0,38	-0,96
<i>Petasites hybridus</i>	1,49	0,43	0,60	0,95	-1,66
<i>Phalaris arundinacea</i>	-0,30	0,40	0,47	0,28	-1,97
<i>Picea abies</i>	-0,77	-1,22	-0,79	-0,18	5,00
<i>Poa pratensis</i>	-1,01	-1,59	0,15	2,09	-0,92
<i>Salix caprea</i>	-1,05	0,15	0,01	0,87	-0,96
<i>Salix fragilis</i>	-1,09	-0,56	0,80	0,69	-0,99
<i>Salix purpurea</i>	-0,58	-0,92	0,68	0,62	-0,53
<i>Senecio ovatus</i>	-0,96	0,26	0,56	-0,55	0,61
<i>Solidago canadensis</i>	-0,92	-0,77	-0,62	2,09	-0,84
<i>Stachys sylvatica</i>	-1,00	-0,61	-0,20	1,25	-0,12
<i>Symphytum officinale</i>	-1,11	-0,44	0,45	0,90	-0,90
<i>Tanacetum vulgare</i>	-0,02	-0,22	0,55	0,10	-0,96
<i>Urtica dioica</i>	0,42	-0,73	0,47	0,03	-0,24
<i>Vaccinium myrtillus</i>	-0,29	-0,46	-0,56	-0,57	3,50

Pozn.: pozitivní hodnoty indikují hojný výskyt druhu na daném typu reliéfu, negativní hodnoty indikují vzácný výskyt na daném tvaru, pouze reziduály s absolutní hodnotou minimálně 1 jsou považovány za vyjádření významného vztahu

úsecích je typickým zástupcem stromového a keřového patra na tomto tvaru reliéfu olše šedá (*Alnus incana*), často se vyskytuje také *Populus alba* a *Salix triandra*. Optimální podmínky zde nachází *Phalaris arundinacea*, která ve zkoumaných úsecích často natolik dominuje, že znemožňuje souvislejší výskyt ostatních druhů typických rovněž pro tento typ reliéfu: *Petasites hybridus*, *Lycopus europaeus*, *Myosotis palustris*, *Alopecurus aequalis*. Zejména okraje ostrovů osidlují hygrofilní druhy, které dobře snášejí občasné zaplavení během

zvýšených vodních stavů, a které zde, na místech s relativně lépe dostupnou jak podzemní, tak povrchovou vodou (narozdíl od centrálních částí ostrovů) dobře prosperují. Lepší dosažitelnost vláhy v těchto partiích je patrně rozhodujícím činitelem ovlivňujícím výskyt druhů. Vyvýšené části jsou často osidlovány druhem *Impatiens parviflora*, rovněž byl zaznamenán opakovaný výskyt pupalky dvouleté (*Oenothera biennis*).

Břeh: Vegetační porost rostoucí na březích ve sledovaných úsecích je tvořen zejména společenstvy olší (*Alnus glutinosa*), vrb (*Salix purpurea*) a jasanů (*Fraxinus excelsior*), ve sledovaných úsecích jsou břehové porosty tvořeny převážně společenstvy jasanových olšin vyššího stupně (*Fraxini-alneta superiora*), jež jsou kontaktními společenstvy vrbin vrby křehké. Tato společenstva jsou charakteristické vyvinutějšími půdami a pravidelnou účastí lesních mezofytů v synusii podrostu. V nižších patrech se typicky vyskytují *Prunus padus* a *Populus tremula*. V synusii bylin dominují *Aegopodium podagraria*, *Galium aparine*, *Urtica dioica*, *Stachys sylvatica*, *Cirsium oleraceum*, *Galeopsis speciosa*. Zejména na transektech situovaných na Opavě dochází vlivem silné laterální eroze k výraznému podemílání břehů a ke vzniku poměrně rozsáhlých břehových nátrží až postupně kolmých břehových stěn. Tyto biotopy vykazují převážně absenci dřevin, z bylin toto stanoviště osidlují zejména *Phalaris arundinacea*, *Tanacetum vulgare* a *Impatiens parviflora*.

Niva: Prostor niv ve sledovaných lokalitách (s výjimkou Branné) byl v minulosti poměrně intenzivně zemědělsky využíván, lokality Nové Heřminovy a Skrbovice dokonce ještě před povodní v roce 1997. Po této mimořádné záplavě však již nebylo zemědělské využití nivních luk obnoveno a dnes tak nejsou tyto plochy obdělávány – leží „ladem“ (Hrádek, Lacina 2003). Rozsáhlé plochy těchto lad nedisponují souvislým dřevinným patrem a jsou typicky tvořeny hustými travinobylinnými společenstvy (*Saliceta fragilis superiora*, *Fraxini-alneta superiora*) s vysokými hodnotami pokryvnosti. Nejčastěji vyskytujícími se druhy jsou ve sledovaných lokalitách *Dactylis glomerata*, *Lotus corniculatus*, *Poa pratensis*, *Tanacetum vulgare*, *Holcus lanatus*, *Alchemilla vulgaris*, *Artemisia vulgaris* a *Hypericum maculatum*. V prostoru nivy vykazují také vyšší procento pokryvnosti invazní neofyty *Solidago canadensis* a *Lupinus polyphyllus*. Poměrně hojným zástupcem stromového patra je *Betula pendula*, *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, na Branné také *Ulmus glabra* a *Acer platanoides*.

Terasa: Terasy představují ve studovaném území obecně nejstarší typ fluvialního tvaru. Pro tento typ stanoviště jsou charakteristické vyzrálé lesní porosty s dominancí dřevinných druhů. Potenciální vegetace z hlediska geobiocenologické typizace (Buček, Lacina 2002) tvoří ve studovaných úsecích společenstva jedlodubových bučin (*Fageta abietino-quercina*), rovněž jsou zastoupeny javorové jasanové olšiny vyššího stupně (transekt č. 3). V aktuální vegetaci však převládají spíše kulturní hospodářské smrčiny s dominancí *Picea abies*. Dále je zastoupen *Fagus sylvatica*, *Acer pseudoplatanus* a *Fraxinus excelsior*, ojediněle se vyskytuje *Abies alba*. Příznačnými zástupci keřového patra jsou *Lonicera nigra*, *L. xylosteum*, *Sambucus nigra*, *Sorbus aucuparia*. V synusii bylin se typicky vyskytuje *Luzula luzuloides*, *Maianthemum bifolium*, *Vaccinium myrtillus*, *Millium effusum*, *Oxalis acetosella*, ve vyšších nadmořských výškách (na profilech Opavy a Černé Opavy) byl zaznamenán

i výskyt *Prenanthes purpurea*. Na transektu Černé Opavy byl rovněž zaznamenán výskyt montánního druhu *Festuca altissima*.

5. Shrnutí a diskuze

Vzájemná souvislost mezi fluviálně-geomorfologickými procesy a strukturou rostlinných společenstev v poríční krajině je námětem četných biogeografických výzkumů prováděných ve světě i u nás (např. Baker, Walford 1995; Hupp, Osterkamp 1985; Hupp, Rinaldi 2007; Chuman, Lipský, Matějček 2006; Jeník 1955; Karrenberg, Edwards, Kollman 2002; Klečka 2004; Lacina 2000). Zdokumentování vlivu geomorfologických faktorů na prostorové uspořádání vegetace ve vybraných říčních segmentech Opavy, Černé Opavy a Branné je i dílčím cílem předkládané studie.

Hlavním cílem analýz bylo zjistit celkovou heterogenitu souboru a odhalit hlavní směry variability v datech. Poměrně vysoké vzájemné korelace druhů s prostředím na úrovni prvních třech ordinačních os naznačily, že celý soubor dat nebude řízen pouze jedním faktorem, ale zřejmě několika navzájem korelovanými prediktory. Variabilita se projevila již na úrovni první ordinační osy, která shrnuje nejdůležitější směr variability. Nejvýraznějším faktorem strukturující vegetaci se ukázal být gradient reliéfu (typ fluviálního tvaru společně s relativní výškou), analýza zřetelně oddělila skóry druhů typicky se vyskytujících na stanovištích s relativně nízkou elevací poblíž koryta vodního toku a druhů osidlujících terasy a údolní svahy. Tato skutečnost byla dobře patrná také v případě rozboru jednotlivých snímků, kde analýza jasně odlišila plochy situované na bázi údolních svahů a plochy z oblasti vodního toku. Proměnné fluviální tvar a vzdálenost od koryta se projevily také na úrovni třetí a čtvrté ordinační osy, se kterými byly také poměrně silně korelovány. Analýzy ukázaly, že nejvýznamnější proměnnou, která ovlivňuje prostorové rozšíření vegetace ve zkoumaných říčních úsecích Opavy, Černé Opavy a Branné, je gradient fluviálního tvaru, výsledek spolupůsobení několika dílčích faktorů. Vliv typu reliéfu se jak v případě stromového a keřového patra, tak v případě bylinného patra, uplatnil mnohem více než např. velikostní struktura sedimentů.

Tyto závěry se shodují s výsledky výzkumů prováděných v Evropě i na území Severní Ameriky. Hupp a Rinaldi (2007), kteří studovali prostorové rozšíření vegetace v Toskánsku v Itálii, uvádí, že nejdůležitějším faktorem, ovlivňujícím variabilitu vegetace ve třinácti sledovaných úsecích, byl gradient fluviálního tvaru. Zdůrazňují, že v nivních ekosystémech v podmínkách mírného pásma hrají právě fluviálně-geomorfologické procesy a tvary zásadní roli ve struktuře rostlinných společenstev. Rovněž závěry výzkumu z řeky Passage Creek z oblasti severní Virginie dokazují, že rozdíly v relativní výšce jsou primárním faktorem ovlivňujícím distribuci vegetace v údolních dnech. Půdní faktory, zejména zrnitostní složení substrátu, se uplatňují až druhořadně (Hupp, Osterkamp 1985). Ke stejným závěrům dospěl také Wistendahl (1958) při svých výzkumech na řece na řece Raritan. I závěry řady dalších výzkumů prováděných v posledních deseti letech např. v Itálii, Spojeném království, Francii, Japonsku, dokladují, že rozdílná intenzita fluviálních procesů je klíčovým faktorem pro rozšíření rostlinných společenstev v říčních nivách

(Décamps a kol. 1988; Gurnell, Petts 2002; Hupp 2000; Marston a kol. 1995; Nagasaka, Nakamura 1999; Tabacchi a kol. 1998) a hrají v procesech struktura-
race vegetace nejvýznamnější roli.

Vývoj vegetačního krytu po extrémní záplavě byl námětem řady českých prací. Zákonitosti rozšíření vegetace na řece Bečvě sledovali zejména Lacina (1999, 2000, 2004), Klečka (2004), Kovář a kol. (1998, 2002), Chuman, Lipský, Matějček (2006), Chuman, Šefrna, Zádorová (2007). Společným vodítkem prací těchto autorů je fakt, že katastrofální fluviální disturbance v podobě ničivé záplavy může být v extravilánech obcí z geoekologického úhlu pohledu vnímána jako pozitivní přirozený revitalizační činitel obnovující pestrou mozaiku biotopů říční krajiny. Podobně jako na Bečvě (Klečka 2004) bylo i na nejmladších náplavech ve sledovaných úsecích pozorováno výrazné rozšíření druhu *Phalaris arundinacea*, který má své optimum na aluviích, jejichž horní úroveň se nachází zhruba v rozmezí 0,3–1,3 m nad průměrnou letní hladinou vody v korytě (Kopecký 1961). Stejně jako v případě povodňových lad na Bečvě (Lacina 2004) se v bylinném patře poměrně hojně vyskytovaly ruderalní druhy (*Artemisia vulgaris*, *Urtica dioica*, *Tanacetum vulgare*) a zástupci dominující v zónách říčního koryta vykazovaly menší hodnoty dominance. V průběhu šetření byl zaznamenán také výskyt několika druhů invazních neofytů. Jedním z pozorovaných druhů byl zlatobýl kanadský (*Solidago canadensis*), jehož těžišťem výskytu byl zejména prostor nivy (průměrná pokryvnost zde dosahovala hodnoty okolo pěti procent). Obdobné závěry uvádí Kovář a kol. (2002) z aluviálních náplavů na Tiché Orlici, kde pět let po povodni dominovaly zejména *Solidago canadensis*, *S. gigantea* a *Impatiens glandulifera*. Hygrofilní *Impatiens glandulifera* se vyskytovala velmi sporadicky, s průměrnou pokryvností okolo 1 % a to výhradně na biotopech říčních ostrovů. Narozdíl od výskytu na Bečvě, kde se šířila zejména na zastíněných biotopech starých břehových porostů a lužních lesů (Lacina 2004), na Opavě nebyl v průběhu tří let pozorován na žádném jiném stanovišti. Rovněž Chuman, Šefrna, Zádorová (2007) uvádí výrazné rozšíření netýkavky žláznaté po jarní povodni v roce 2006 z náplavů Sázavy. Podle závěrů Matějčka (2007) je tento druh dokonce nejrozšířenějším invazním druhem na vybraných českých a moravských vodních tocích (mapováno celkem 12 vodních toků o celkové délce téměř 180 km), následuje *Solidago canadensis* a *S. gigantea*.

Je důležité zdůraznit, že je to právě odlišná intenzita disturbančních procesů (zaplavování, eroze, akumulace), působící na specifických fluviálních tvarech, která má za následek rozdíly v druhovém složení vegetace, ne tvary samy o sobě. Fluviální tvary ovlivňují uspořádání vegetace na svém povrchu nepřímo, prostřednictvím frekvence výskytu povodní a délky trvání zaplavování, což jsou atributy specifické pro konkrétní fluviální tvar. Drobné rozdíly v mikroreliéfu údolní nivy jsou přímým důsledkem rozdílných hydrologických procesů, které se zde uplatňují. Různé studie tyto činitele zmiňují jako nejpodstatnější determinanty (Hupp 1982; Johansson, Nilsson 1993; Yin 1998).

Výsledky zkoumání na vybraných renaturalizovaných úsecích řek Opavy, Černé Opavy a Branné potvrdily závěry mnoha publikovaných prací s obdobnou tematikou: zákonitosti uspořádání vegetace podél říčních koridorů a fluviálně-geomorfologické procesy představují úzce spjatý ucelený systém a přítomnost daného druhu na konkrétním typu reliéfu může poskytovat informaci o hydrogeomorfologických podmínkách stanoviště.

Interdisciplinární přístup ke studiu procesů v říční krajině je nezbytný k tomu, aby byla zachována a udržena jejich vysoká biodiverzita. Zkoumání existujících podmínek v úsecích řek s přirozenou dynamikou fluvialních procesů poskytuje cenné informace nejen pro biogeografy, geomorfology a ekology, ale také pro vodohospodáře a odborné pracovníky, kterým mohou získané poznatky sloužit jako účinný nástroj pro plánování revitalizačních strategií přesného managementu.

Literatura:

- BAKER, W. L. (1992): The Landscape Ecology of Large Disturbances in the Design and Management of Nature Reserves. *Landscape Ecology*, 7, s. 181–194.
- BAKER, W. L., WALFORD, G. M. (1995): Multiple Stable States and Models of Riparian Vegetation Succession on the Animas River, Colorado. *Annals of the Association of American Geographers*, 85, č. 2, s. 320–338.
- BUČEK, A., LACINÁ, J. (2002): *Geobiocenologie II*. MZLU v Brně, Brno, 240 s.
- BUREŠ, L. (1998): Koncepce ekologicky vhodné péče o obnovený říční ekosystém Opavy v ř. km 91,400–110,00. *Vodní zdroje Chrudim a Ekoservis Jeseníky*, 24 s.
- CLARK, J. S. (1991): Disturbance and population structure on the shifting mosaic landscape. *Ecology*, 72, s. 1119–1137.
- DÉCAMPS, H., FORTUNE, M., GAZELLE, F., PAUTOU G. (1988): Historical influence of man on the riparian dynamics of a fluvial landscape. *Landscape Ecology*, č. 1, s. 163–173.
- DEMEK, J., MACKOVČIN, P. (2006): *Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny*, AOPK, Brno, 582 s.
- GURNELL, A. M., PETTS, G. E. (2002): Island-dominated landscapes of large floodplain rivers, a European perspective. *Freshwater Biology*, 47, s. 581–600.
- HERBEN, T., MŮNZBERGOVÁ, Z. (2003): *Zpracování geobotanických dat v příkladech. Část I. Data o druhovém složení. PŘF UK, katedra botaniky, Praha.*
- HRÁDEK, M. (2000): Geomorfologické účinky povodně 1997 na území severní Moravy a Slezska. *Geografický časopis*, 52, č. 4, s. 303–321.
- HRÁDEK, M., LACINA, J. (2003): Destructional landforms arised from extreme events in the Desná River valley and their vegetation. *Moravian geographical reports, Institute of Geonics*, 11, č. 1, s. 2–19.
- HUPP, C. R. (1982): Stream-grade variation and riparian-forest ecology along Passage Creek, Virginia. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 109, s. 488–499.
- HUPP, C. R. (2000): Hydrology, geomorphology and vegetation of Coastal Plain rivers in the south-eastern USA. *Hydrological Processes*, 14, s. 2991–3010.
- HUPP, C. R., OSTERKAMP, W. R. (1985): Bottomland vegetation distribution along Passage Creek, Virginia, in relation to fluvial landforms. *Ecology*, 66, s. 670–681.
- HUPP, C. R., OSTERKAMP, W. R. (1996): Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology*, 14, s. 227–295.
- HUPP, C. R., RINLADI, M. (2007): Riparian Vegetation Patterns in Relation to Fluvial Landforms and Channel Evolution Along Selected Rivers of Tuscany (Central Italy). *Annals of the Association of American Geographers*, 97, s. 12–30.
- CHUMAN, T., LIPSKÝ, Z., MATĚJČEK, T. (2006): Succession of vegetation in alluvial floodplains after extreme floods. *Geografie*, 111, č. 3, s. 314–325.
- CHUMAN, T., ŠEFRNA, L., ZÁDOROVÁ, T. (2007): Následky extrémních záplav na vegetaci a půdní kryt na příkladu nivy Sázavy. In: Langhammer, J. (ed.): *Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. PŘF UK, Praha*, s. 115–119.
- JENÍK, J. (1955): Sukcese rostlin na náplavech Belé v Tatrách. *Acta Universitatis Carolinae, Biologica IV*, UK, Praha, 58 s.
- JOHANSSON, M. E., NILSSON, C. (1993): Hydrochory, population dynamics and distribution of the clonal aquatic plant *Ranunculus lingua*. *Journal of Ecology*, 81, s. 81–91.

- JUNK, W. J., BAYLEY, P. B., SPARKS, R. E. (1989): The flood pulse concept in river-floodplain systems. In Dodge, D. P. (ed.): Proceedings of the International Large River Symposium, Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 106, s. 110–127.
- KARRENBERG, S., EDWARDS, P. J., KOLLMAN, J. (2002): The life history of Salicaceae living in the active zone of floodplains. *Freshwater Biology*, 47, s. 733–748.
- KLEČKA, J. (2004): Změny v geobiocenózách říční nivy následkem povodně na příkladu Spojené Bečvy. Disertační práce. LDF MZLU, Brno, 65 s.
- KOPECKÝ, K. (1961): Fytoekologický a fytoocenologický rozbor porostů *Phalaris arundinacea* L. na náplavech Berounky. (Příspěvek k vlivu pobřežní vegetace na sedimentační činnost vodních toků). *Rozpravy ČSAV, Řada matematických a přírodních věd*, 71, č. 6, Nakladatelství ČSAV, Praha, 105 s.
- KOPPOVÁ, J. (2001): Znovuosidlování náplavů vegetací na aluviálních loukách (niva Tiché Orlice po dvousetleté záplavě r. 1997). Diplomová práce. UK v Praze, PŘF, Praha, 93 s.
- KOUTECKÝ, P. (2003): Změny vegetace aluviálních luk po povodních (jižní Morava). *Zprávy ČBS*, 38, s. 111–115.
- KOVÁŘ, P. (1998): Povodňové náplavy: otevřený biologický prostor. *Živa*, 5, s. 203–204.
- KOVÁŘ, P., JANOUŠKOVÁ, P., KOPPOVÁ, J., KÖPPL, P., KRIVÁNEK, M. (2002): Vegetační sukcese v nivě řeky pět let po záplavě. *Živa*, 6, s. 253–257.
- LACINA, J. (1999): Výzkum změn biocenóz a vývoje říčního koryta ve vybraných profilech Bečvy po povodni 1997. (Předběžné sdělení.) In: Vaishar, A. (ed.): Povodně, krajina a lidé v povodí řeky Moravy I. Brno, Regiograph, s. 46–52.
- LACINA, J. (2000): Adaptivní sukcese v povodňovém korytě Bečvy. In: Buriánková, J., (ed.): Niva řeky Bečvy. Brno, PŘF MU, s. 19–22.
- LACINA, J. (2004): Sukcese v povodňových korytech moravských řek na příkladu Bečvy a Desné. In: Měkotová, J. (ed.): Říční krajina 2: Sborník příspěvků z konference. UP, Olomouc, s. 130–139.
- LANGHAMMER J., ed. (2007): Povodně a změny v krajině. UK v Praze, MŽP, Praha, 350 s.
- LANGHAMMER, J., VILÍMEK, V. (2008): Landscape changes as a factor affecting the course and consequences of extreme floods in the Otava river basin, Czech Republic, *Environmental Monitoring and Assessment*. 13, s. 53–66.
- LEPŠ, J., ŠMILAUER, P. (2007): *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*. Cambridge University Press, Cambridge, 269 s.
- LITE, S. J., BAGSTAD, K. J., STROMBERG, J. C. (2005): Riparian plant species richness along lateral and longitudinal gradients of water stress and flood disturbance, San Pedro River, Arizona, USA. *Journal of Arid Environments*, 63, s. 785–813.
- MARSTON, R. A., GIREL, J., PAUTOU, G., PIEGAY, H., BRAVARD, J. P., ARNESON, C. (1995): Channel metamorphosis, floodplain disturbance, and vegetation development: Ain River, France. *Geomorphology*, 13, s. 121–131.
- MATĚJČEK, T. (2007): Sledování výskytu invazních druhů rostlin v říčních nivách. In: Langhammer, J. (ed.): Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. UK v Praze, PŘF, Praha, s. 121–126.
- MATOUŠKOVÁ, M., ed. (2008): *Ekohydrologický monitoring vodních toků: v kontextu evropské Rámcové směrnice o vodní politice 2000/60/ES*. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha.
- MCCUNE, B., KEON, D. (2002): Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. *Journal of Vegetation Science*, 13, s. 603–606.
- NAGASAKA, A., NAKAMURA, F. (1999): The influence of landuse change on hydrology and riparian environment in a northern Japanese landscape. *Landscape Ecology*, 14, s. 543–556.
- NAIMAN, R. J., DÉCAMP, H., MCCLAIN, M. E. (2005): *Riparia. Ecology, Conservation and Management of Streamside Communities*. Elsevier Academic Press, London, 430 s.
- NAKAMURA, F., SHIN, N. (2001): The downstream effects of dams on the regeneration of riparian tree species in northern Japan. In: Dorava, J. M., Montgomery, D. R., Palcsak, B. B. (eds.): *Geomorphic processes and riverine habitat*. American Geophysical Union, Washington, DC, s. 173–181.
- POFF, N. L., ALLAN, J. D., BAIN, M. B., KARR, J. R., PRESTEGAARD, K. L., RICHTER, B. D., SPARKS, R. E., STROMBERG, J. C. (1997): The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47, s. 769–784.

- STRAHLER, A. H. (1978): Binary Discriminant Analysis: A New Method for Investigating Species-Environment Relationships. *Ecology*, 1, s. 108–116.
- TABACCHI, E., PLANTY-TABACCHI, A. M., SALINAS, J., DÉCAMPS, H. (1996): Landscape structure and diversity in riparian plant communities: a longitudinal comparative study. *Regulated rivers: Research and Management*, 12, s. 367–390.
- TABACCHI E., CORRELL, D., HAUER, R., PINAY, G., PLANTY-TABACCHI, A. M., WISSMAR, R. C. (1998): Development, maintenance and role of riparian vegetation in the river landscape. *Freshwater Biology*, 40, s. 497–516.
- TER BRAAK, C. J. F., ŠMILAUER, P. (1998): CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4). Microcomputer Power, Ithaca, NY, U.S.A.
- TOCKNER, K., MALARD, F., WARD, J. V. (2000): An extension of the flood pulse concept. *Hydrological Processes*, 14, s. 2861–2883.
- VAN DER NAT, D., TOCKNER, K., EDWARDS, P. J., WARD, J., GURNELL, A. M. (2003): Habitat change in braided flood plains (Tagliamento, NE Italy). *Freshwater Biology*, 48, s. 1799–1812.
- WISTENDAHL, W. A. (1958): The flood plain of the Raritan River, New Jersey. *Ecological Monographs*, 28, s. 129–153.
- YIN, Y. (1998): Flooding and forest succession in a modified stretch along the upper Mississippi River. *Regulated rivers: Research and Management*, 14, s. 217–225.
- ZLATNÍK, A. (1976): *Lesnická fytoecnologie*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 495 s.

S u m m a r y

VEGETATION ON FLUVIAL LANDFORMS ALONG NEAR-NATURAL REACHES OF THE OPAVA, ČERNÁ OPAVA AND BRANNÁ RIVERS TEN YEARS AFTER EXTREME FLOOD DISTURBANCE

Riparian vegetation patterns and fluvial geomorphic forms and processes are very closely related environmental phenomena (Hupp, Rinaldi 2007; Lite, Bagstad, Stromberg 2005; Tabacchi et al. 1996). In fluvial systems, water is the most proximal control on the distributional patterns of riparian vegetation. In return, riparian vegetation may also strongly affect rates of sediment erosion and deposition. Riparian vegetation can be indicative of present and ongoing fluvial forms and processes (Gurnell, Petts 2002; Hupp, Rinaldi 2007; Nagasaka, Nakamura 1999; Nakamura, Shin 2001).

The massive regulation of many rivers, mainly during the 20th century, has led to a decline in biodiversity and to the extinction of numerous preserved habitats in riverine landscapes. Disruption of the natural flood regime of floodplains have caused changes that resulted in a recent change in the character of riparian zones. In July 1997 a high-magnitude flood (with a return period of 500 years) exhibiting extreme geomorphic efficiency, occurred in many rivers in Czechia. This flood, acting as an extreme disturbance, completely destroyed the technically designed river channels and created suitable conditions an entire range of ecosystems with high diversity and ecological stability.

The present study investigates associations between landforms and vegetation, ten years after the flood event, in five near-natural river segments in the north-eastern part of Czechia. All the selected river reaches can be characterized as near-natural segments (after the 1997 flood), characterized by a dynamic mosaic of aquatic and terrestrial habitats and a number of vegetated islands and gravel bars.

Field surveys were conducted along transects situated in five river reaches of Opava, Černá Opava and Branná Rivers. Each transect was situated perpendicular to the valley axis and extended from terrace to terrace. Transect length, i.e. flood-plain width, ranged from 150 to 500 m. The studied reaches contained 71 patches. In each of these the following characteristics were collected: percent of canopy cover of each vascular plant species present using Braun-Blanquet cover and sociability scales, landform type (gravel bar, vegetated island, riverbank, floodplain or terrace), height above the channel bed, distance to the

channel, surficial sediment size (5 categories), slope and aspect, width of floodplain, D_{50} , soil pH, soil enzymatic activity, dry matter content and nitrate content (the last five variables were only measured in 21 sampling plots). Vegetation data were analyzed using ordination methods (detrended correspondence analysis) to search for patterns in species composition (Canoco for Windows 4.5, Ter Braak, Šmilauer 1998). Binary discriminant analysis was used to further investigate associations between species, landforms and environment.

The results of the performed analyses suggest that certain bottomland species of woody and herbaceous vegetation have predictable distribution patterns that correspond to observable fluvial landforms. Numerous species can be associated with specific types of fluvial geomorphic surfaces – typically *Barbarea vulgaris* (gravel bar), *Alnus incana* (island), *Alnus glutinosa* (bank), *Lupinus polyphyllus* (floodplain), *Picea abies* (terrace). Certain plants appear to be able to tolerate highly dynamic environments (particularly ruderal and species in early stages of succession) and grow on gravel bars and islands (*Barbarea vulgaris*, *Phalaris arundinacea*, *Salix purpurea*), whereas others avoid surfaces with high rates of fluvial-geomorphic disturbance, preferring habitats with less frequent scouring and a lower inundation rate – floodplains and terraces (*Picea abies*, *Lotus corniculatus*, *Poa pratensis*, *Symphytum officinale*). These tendencies may be of use in the identification of areas with particular sets of hydro-geomorphic conditions. Fluvial-geomorphic processes (episodes of inundation, erosion and deposition) form fluvial landforms and, in turn, support different assemblages of vegetation that respond to these processes. The significant relationship between hydro-geomorphic conditions and riparian vegetation has been presented in numerous studies from France, Great Britain, Italy and North America (Gurnell, Petts 2002; Hupp-Rinaldi 2007; Karrenberg, Edwards, Kollman 2002; Marston et al. 1995 and Tabacchi et al. 1998). Investigation of local vegetation and fluvial geomorphic processes may be useful in inferring the hydro-geomorphic conditions of given sites in the absence of hydrologic data.

Research on existing conditions in near-natural river reaches provides background information for ecologists and its results can be useful for river planners. Knowledge of the distribution patterns of bottomland vegetation in near-natural river systems is important for developing appropriate management and restoration strategies.

Fig. 1 – The study area and the location of surveyed river transects (1–5). The dashed line represents the watershed divide separating the Danube River drainage basin (left) and the Oder River drainage basin (right).

Fig. 2 – Study site 1 (the Opava River) in August 1997, one month after the flood.

Fig. 3 – Study site 1 in April 2007, a decade after the flood.

Fig. 4 – DCA – ordination diagram of samples (only plots with the highest weight are shown).

Fig. 5 – DCA – ordination diagram of species for axes one and two. Only species with the highest weight are shown. For woody species, the number after the Latin name indicates the tree layer: 3 – canopy layer, 2 – under canopy layer, 1 – shrub layer.

Pracoviště autorky: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra geografie, třída 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc; e-mail: blanka.louckova@upol.cz.

Do redakce došlo 27. 4. 2010; do tisku bylo přijato 24. 5. 2011.

Citační vzor:

LOUČKOVÁ, B. (2011): Vegetace na fluvialních tvarech v renaturalizovaných říčních úsecích Opavy, Černé Opavy a Branné deset let od mimořádné povodňové disturbance. Geografie, 116, č. 3, s. 354–374.