
METODIKA MAPOVÁNÍ A GEOINFORMATICKÉHO HODNOCENÍ NÁSLEDKŮ POVODNÍ

JAKUB LANGHAMMER*

* Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK; e-mail: langhamr@natur.cuni.cz

1. ÚVOD

Významnou součástí projektu hodnocení vlivu změn v krajině na průběh a následky povodní je vyhodnocení následků povodně a upravenosti toků pomocí metod geoinformatické analýzy. Geostatistická analýza v prostředí GIS umožňuje kombinovat data různého původu a různé geografické a geometrické povahy tak, aby je bylo možno využít pro interpretaci procesů, probíhajících v krajině.

V rámci realizovaného projektu se konkrétně jednalo o analýzu výsledků mapování upravenosti říční sítě a příbřežní zóny, následků povodně, historického zkrácení říční sítě, analýzu využití území údolní nivy a analýzu fyzickogeografických parametrů regionu. Tyto prvky tvořily základní kameny hodnotícího procesu, jehož cílem bylo ověřit přítomnost vzájemných vazeb a zjistit, do jaké míry lze nalézt statistické a prostorové souvislosti mezi konstatovanými následky povodně a stavem krajiny, zachyceným pomocí vybraných indikátorů antropogenní transformace.

2. MATERIÁL A METODY

Pro řešení byla použita množina vstupních podkladů, vycházejících z odlišných zdrojů – terénního mapování, analýzy historických map, dat DPZ či digitálních vektorových vrstev GIS.

Základním předpokladem bylo definovat takovou strukturu použitých datových zdrojů, která by umožnila propojit informace s rozdílným geometrickým charakterem a odlišnou prostorovou reprezentací.

Řešení sestávalo z následujících kroků:

- Výběr datových podkladů a definice společné datové struktury
- Definice metodiky terénního sběru dat
- Digitalizace dat a integrace do GIS
- Geostatistické vyhodnocení
 - o vztah mezi zkrácením říční sítě a následky povodně

-
- o vztah mezi intenzitou upravenosti říční sítě a příbřežní zóny a následky povodně
 - o vztah mezi překážkami v korytě a údolní nivě a následky povodně
 - o komplexní klasifikace toků na základě FG poměrů, upravenosti a projevů povodně

2.1. DATOVÉ PODKLADY

Použité datové podklady lze rozdělit do tří hlavních okruhů – data, zjišťovaná pomocí terénního mapování, data získaná analýzou historických podkladů a data, odvozená z digitálních distančních podkladů.

Terénní mapování

- o upravenost toků a příbřežní zóny
- o geomorfologické projevy povodně

Historické podklady

- o analýza zkrácení říční sítě
- o analýza historických změn landuse

Distanční podklady

- o morfometrie - digitální model terénu
- o landcover – CORINE
- o topografie - ZABAGED

2.2. TERÉNNÍ MAPOVÁNÍ

Terénní mapování mělo za cíl zajistit data ze dvou hlavních tematických oblastí, které byly datové nepokryty - upravenosti říční sítě a příbřežní zóny a geomorfologických projevy povodně.

Základní východiska, ze kterých mapování vycházelo byla následující:

- výsledky odpovídají potřebám hodnocení a cíli projektu
- zachování objektivitu hodnocení při větším počtu terénních pracovníků
- možnost mapování velkých území
- přenositelnost metodiky i do jiných prostředí
- efektivita z pohledu poměru mezi náklady a přínosy
- možnost integrace výsledků do GIS a jejich dalšího geostatistického zpracování

Výsledkem bylo vytvoření nové metodiky pro hodnocení upravenosti toků a příbřežní zóny a metodiky pro mapování geomorfologických projevů povodně. Obě metodiky byly sestaveny tak, aby při zapojení většího počtu mapovatelů zůstala zachována

objektivita hodnocení, tzn. aby jednotlivé kategorie, do kterých mapování probíhá, byly transparentní a dostatečně jasně vymezené.

Pro mapování bylo zvoleno využití klasických metod terénního mapování. Byla zvažována varianta sběru dat pomocí digitálního záznamu prostřednictvím PDA (kapesní počítač s jednoduchým software pro sběr dat GIS). Přestože tato varianta nabízela úsporu času díky přímému přenosu dat do základního GIS bez nutnosti jejich digitalizace, po vyhodnocení se ukázala jako méně efektivní, zejména s ohledem na náklady spojené s nákupem velkého počtu mapovacích zařízení, času potřebného pro zaškolení, pomalejší práce v terénu, citlivost na atmosférické vlivy a především horší zpětnou ověřitelnost výsledků mapování. Pro hodnocení proto byl použit klasický postup terénního mapování s následnou digitalizací výsledků.

Pro terénní mapování byla vytvořena nová metodika **hodnocení antropogenní upravenosti toků** a údolní nivy. Pro hodnocení nebylo možno využít stávající metody ekomorfologického hodnocení toků, neboť byly jednak příliš komplexní a především zaměřené na zjištění jiných vlastností toků, než odpovídalo potřebám projektu.

Základním principem metodiky bylo rozdělení toků na segmenty, které se vyznačují homogenitou v jednom či více sledovaných parametrech, přičemž tyto úseky mohou být délkově proměnné. Tyto úseky se při terénním mapování vyznačí v mapě, jsou označeny kódem a zjištěné hodnoty jsou zaznamenány do předpřipraveného formuláře.

Upravenost toků se zjišťovala v celkem pěti základních parametrech – upravenost trasy toku, upravenost podélného profilu toku, upravenost koryta toku, upravenost příbřežní zóny a charakter opatření protipovodňové ochrany (tabulka 1). Podrobněji se systémem tvorby legendy a jednotlivými parametry zabývá Langhammer v příspěvku „Antropogenní upravenost říční sítě v povodí Otavy“ tohoto sborníku.

Tabulka 1 Hlavní hodnocené parametry upravenosti toků a příbřežní zóny

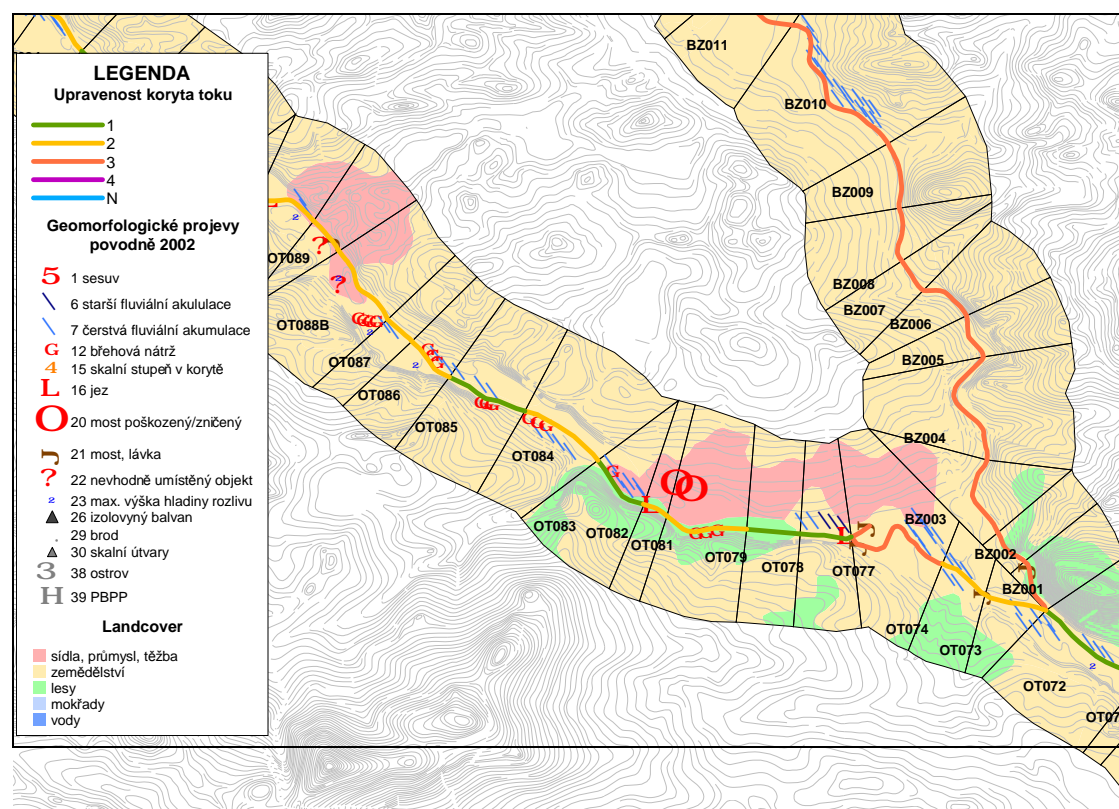
<i>Parametr</i>	<i>Stav</i>
Průběh koryta toku	Přímý / Zákrutový / Meandrující / Divočící / Větvený
Úpravy podélného profilu toku	Bez úprav / Nízké stupně (rozdíl hladin <50 cm) / Středně vysoké stupně (50 -100 cm) / Vysoké stupně (> 100 cm)
Upravenost koryta toku	Neupravené / Částečně upravené / Upravené / Zatrubněné
Příbřežní zóna	Přírodní vegetace (louky, mokřady, les aj.) / Zemědělsky obhospodařované plochy / Umělé povrchy – nesouvislá zástavba, komunikace / Umělé povrchy – souvislá zástavba
Protipovodňová ochrana	Žádná / Protipovodňové hráze / Poldry, opuštěná ramena (meandry) vodního toku / Rybníky a vodní nádrže

Hodnocení základních stavových hodnot parametrů upravenosti pro vodní toky probíhalo vždy pro vodní tok jako celek, přičemž pro charakter jednotlivých úprav byl hodnocen odděleně pravý a levý břeh toku. U parametrů upravenosti, týkajících se příbřežní zóny byl potom princip odděleného hodnocení pro oba břehy aplikován implicitně. K jednotlivým úsekům jsou zároveň připojeny vysvětlující poznámky, které doplňují vypapované informace, zazamenané pomocí jednotných kódů tak, aby je bylo možno jednoduše databázově zpracovat.

Vypapované výsledky byly po kontrole a sjednocení převedeny do digitální podoby. Vymezení úseků a jejich identifikace byly zdigitalizovány do prostředí GIS na základě vektorového podkladu ZABAGED. Jednotlivé úseky byly jednotně okódovány tak, aby i když na jednom toku pracovalo více terénních pracovníků, byla zachována kontinuita hodnocení.

Databázové záznamy z mapovacích formulářů byly zpracovány a sjednoceny odděleně a následně pomocí jednotného identifikátoru úseku propojeny s kartografickým digitálním podkladem. Vlastní analýza výsledků byla provedena v prostředí GIS. Základní princip vazby úseků s formulářovými hodnotami a metody vyhodnocení jsou naznačeny na obr. 1.

Obr. 1 Princip integrace dat v prostředí GIS



Mapování geomorfologických projevů povodně bylo založeno na vytvoření tematicky omezené legendy geomorfologické mapy, do které se zanášely jevy, spojené s následky povodně a prvky krajiny, které mohly mít na průběh povodně vliv. Jako základní měřítko pro mapování byly použity mapy 1:25 000, které zajišťovaly optimální míru podrobnosti pro pokrytí rozsáhlého území. Detailně se metodikou a výsledky terénního mapování morfologických následků povodně věnují Křížek a Engel v příspěvku „Geomorfologické projevy povodně 2002 v povodí Otavy“. Cílem geomorfologického mapování nebylo vytvořit geomorfologickou mapu, ale shromáždit údaje o následcích a průběhu povodně, které bude možné dále využít při geoinformatickém zpracování. Předmětem účelového geomorfologického mapování byly tvary, uvedené v tabulce 2.

Tabulka 2 Hlavní prvky legendy účelové geomorfologické mapy

Gravitační tvary:	Antropogenní tvary:
Sesuv, sesuvné území	Jez
Fluviální tvary:	Protipovodňový val, zeď
<i>Akumulační:</i>	Antropogenně zpevněné svahy
Náplavový /dejekční/ kužel	Antropogenní val, halda
Terasa	Most poškozený nebo zničený
Údolní niva	Most, lávka
Starší /holocenní/ povodňová akumul.	Nevhodně umístěný objekt
Čerstvá fluviální akumulace	
<i>Erozní:</i>	Ostatní:
Erozní rýha	Maximální výška hladiny rozlivu
Zdrojová oblast plošného splachu	Úpad /údolní, svahový/
Přeložené koryto, Opuštěné koryto	Bezodtoká deprese
Výrazné poškození břehu, břehová nátrž	Izolovaný balvan
Protržený val	
Čerstvé zařínutí toku do sedimentů nivy	
Skalní stupeň v korytě	

2.3. ANALÝZA HISTORICKÝCH DAT

Pro analýzu historických změn v krajině byly využity podklady o zkrácení hydrografické sítě v povodí Otavy v průběhu posledních 150 let – viz příspěvek Langhammer, Vajskebr: „Analýza historických změn říční sítě v povodí Otavy“.

Data vycházejí z digitalizace a následné analýzy historických map druhého a třetího vojenského mapování (1844, resp. 1872-6), map generálního štábu ČSA z let 1952-7 a vektorové digitální vrstvy projektu ZABAGED. Z těchto map byl po kartografických úpravách jednotlivých podkladů digitalizován průběh linií vodních toků ve stanovených segmentech říční sítě, změřen a přenesen do jednotné struktury základního GIS.

Druhým využitým podkladem a historickým vývoji území jsou mapy změn využití území, které pro shodné období analyzovali Bičík, Kupková a Štych v příspěvku „Vývoj struktury ploch v povodí Otavy v letech 1845-2000“. Jedná se o procentuální změny ve využití území po katastrofách za jednotlivé časové horizonty.

2.4. ANALÝZA DISTANČNÍCH DAT

Pro zpřesnění údajů o využití území byly využity snímky senzoru Landsat TM a ETM+, přičemž uvedená data byla rovněž integrována do jednotné geodatabáze projektu.

Jako základní vektorový podklad byla použita data z projektu ZABAGED, doplněná o tematické vrstvy digitální Základní vodohospodářské mapy, digitální vrstvou krajinného krytu z projektu CORINE landcover a dalšími.

2.5. INTEGRACE DAT

Základním elementem pro vyhodnocení byly úseky toků, pro které probíhalo mapování upravenosti říční sítě a příbřežní zóny. Jedná se o úseky, které jsou homogenní z hlediska alespoň jednoho hodnoceného parametru, přičemž délka úseků je proměnná. Tyto úseky je možno pro potřeby jednotlivých analýz aglomerovat do větších celků, např. po dílčích povodích, ucelených tocích, administrativních hranicích apod., nicméně jednotlivé segmenty toků zůstávaly nejnižší základní jednotkou, pro kterou probíhalo hodnocení v jednotlivých parametrech.

Pro možnost integrace dat různé geometrické povahy byla pro jednotlivé úseky vytvořena obalová zóna, do které byly postupně začleňovány výsledky jednotlivých dílčích analýz – geomorfologického mapování, hodnocení zkrácení říční sítě, analýzy změn a současného stavu využití území, analýzy digitálního modelu reliéfu aj.. Základní princip integrace dat do jednotlivých úseků ukazuje obr. 1.

Hodnocení je díky vazbě mezi záznamy a úseky možno provádět pro jednotlivé parametry upravenosti odděleně, stejně jako je možné počítat souhrnné ukazatele. Použitý princip umožňuje vykreslení výsledků do podoby tematických map a především pomocí nástrojů prostorové analýzy v prostředí GIS kombinaci údajů o upravenosti s dalšími údaji,

zjištěnými buď z analýzy digitálních podkladů, nebo z terénního šetření. Velmi dobře tak bylo možno např. zkombinovat data o upravenosti toků s jejich fyzickogeografickými charakteristikami, stejně jako s údaji o historických změnách říční sítě, údaji o charakteru landuse a landcover či údaji o vymapovaných následcích povodně v údolní nivě.

3. VÝSLEDKY

3.1. VYBRANÉ PARAMETRY ANTROPOGENNÍ UPRAVENOSTI TOKŮ

Pro vyhodnocení souvislostí mezi následky povodně a antropogenní upraveností koryt toků byla provedena selekce potenciálních ovlivňujících faktorů. Uvažovány byly hlavní ukazatele, mapované v rámci terénního průzkumu upravenosti toků a příbřežní zóny a geomorfologických projevů povodně, které byly doplněny o výsledky hodnocení historického zkrácení říční sítě v povodí Otavy. Vzhledem k tomu, že všechny uvedené analýzy byly realizovány na stejném rozsahu hydrografické sítě, bylo možné provést integraci výsledků pomocí GIS analýzy do jednotných segmentů. Jako základní element byly vybrány úseky, ve kterých probíhalo mapování upravenosti toků a příbřežní zóny. Pro komplexní analýzu byla vytvořena obalová zóna, do které byly integrovány výsledky dalších hodnocení, které nebyly svázány bezprostředně s daným úsekem toku a které měly nelineární charakter.

Vybrány byly následující faktory – upravenost vedení trasy koryta, upravenost úseku v podélném profilu, upravenost koryta toku a příbřežní zóny, počet jezů, počet mostů, počet nevhodně umístěných objektů, zkrácení říční sítě mezi časovými horizonty 1844 – 1876 -1952 – 2000. Jako projevy povodně byly uvažovány počty zjištěných čerstvých fluviačních akumulací po povodni 2002, počty břehových nátrží, zničených mostů a počet sesuvů (viz tabulka 3).

Mezi jednotlivými parametry byla provedena základní korelační analýza, která měla za cíl ukázat na přítomnost základních vazeb mezi jednotlivými elementy hodnocení. Výsledky analýzy však ukázaly, že síla korelace mezi četností výskytu následků a intenzitou antropogenní upravenosti je ve většině případů nezřetelná a pro potřeby identifikace příčinných vztahů jen obtížně využitelná.

Ukázalo se, že vzájemné souvislosti jednotlivých parametrů jsou složitější a že je nelze popsat jednoduchými lineárními vazbami. Jednotlivé veličiny jsou uváděny v odlišných jednotkách, vzájemně jsou srovnávány bezrozměrná čísla, představující výsledky klasifikace do intenzitní škály s vypočtenými hodnotami nebo četnostmi. Pro

analýzu příčinných souvislostí proto bylo nutno zvolit metodu, která by nebrala v úvahu stavové hodnoty jednotlivých parametrů mechanicky, ale na základě určitých pravidel, která vycházejí z reálné situace interakce přírodních systémů s antropogenními vlivy.

Jako optimální varianta byla zvolena klasifikace vztahu mezi konstatovanými následky povodně a zvolenými příčinnými faktory podle uživatelem definovaných rozhodovacích pravidel. Toto hodnocení bylo provedeno pro vyhodnocení antropogenní upravenosti toků a příbřežní zóny, historického zkrácení říční sítě a vyhodnocení vlivu překážek v korytě toku a údolní nivě. Klasifikace podle rozhodovacích pravidel byla provedena pomocí databázového dotazování na stavové hodnoty objektů v prostředí GIS, kam byly výsledky integrovány, aby byla zajištěna možnost jejich další prostorové analýzy.

Tabulka 3 Korelace parametrů upravenosti toků a údolní nivy s následky povodně 2002

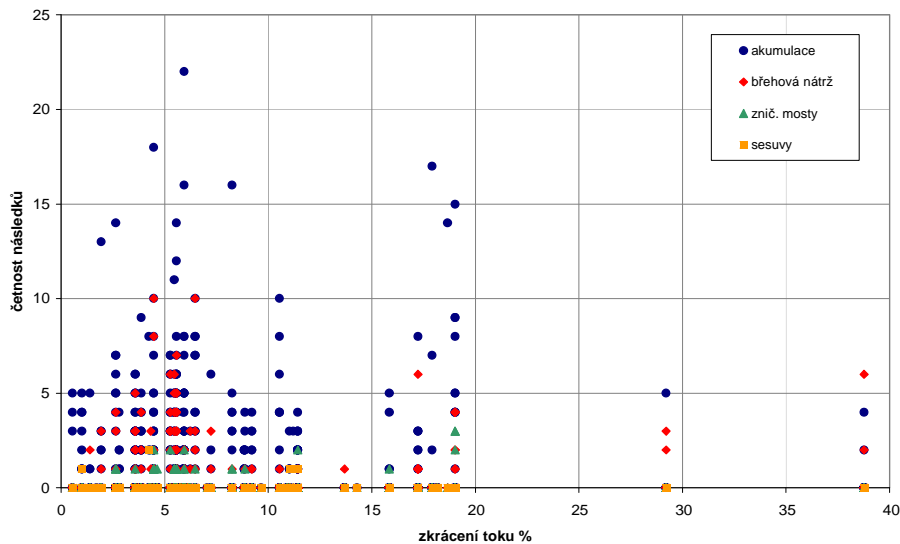
	H_mean	sklon	upravenost	trasa	podeln_y_prof	niva	pocet_akumulaci02	pocet_breh_natrzi	pocet_jezu	pocet_nevhod_obj	pocet_znic_mostu	pocet_sesuvu	pocet_skal_stupnu	podil_urban	podil_orne	podil_zemed	podil_louky	podil_lesa	podil_voda	zkraceni_2VM_3VM	zkraceni_2VM_2000	zkraceni_3VM_50s	zkraceni_3VM_2000	zkraceni_50s_2000	
H_mean	1.000																								
sklon	0.565	1.000																							
upravenost	-0.255	-0.083	1.000																						
trasa	-0.099	-0.026	0.285	1.000																					
podeln_y_prof	-0.167	-0.093	0.330	0.108	1.000																				
niva	-0.124	-0.041	0.312	0.964	0.245	1.000																			
pocet_akumulaci02	-0.118	-0.115	-0.092	-0.080	-0.035	-0.084	1.000																		
pocet_breh_natrzi	-0.088	-0.094	0.007	-0.005	0.043	-0.005	0.317	1.000																	
pocet_jezu	-0.160	-0.110	0.209	0.063	0.421	0.091	0.018	0.067	1.000																
pocet_nevhod_obj	-0.053	-0.032	0.018	-0.025	-0.006	-0.013	0.043	0.037	-0.026	1.000															
pocet_znic_mostu	-0.031	-0.031	-0.025	-0.011	-0.025	-0.011	0.151	0.222	0.008	-0.009	1.000														
pocet_mostu	-0.052	-0.054	0.166	0.013	0.147	0.031	0.065	0.150	0.289	0.171	0.032	1.000													
pocet_sesuvu	0.075	-0.028	-0.044	-0.065	0.014	-0.060	0.024	-0.023	-0.026	-0.012	-0.014	-0.030	1.000												
pocet_skal_stupnu	0.056	-0.002	-0.017	0.002	0.009	-0.003	-0.021	0.045	0.028	-0.013	0.082	0.007	-0.006	1.000											
podil_urban	-0.204	-0.147	0.342	0.190	0.241	0.200	-0.094	0.018	0.194	0.025	0.019	0.218	-0.026	-0.031	1.000										
podil_orne	-0.587	-0.388	0.136	-0.023	0.055	0.003	0.076	0.024	0.054	0.104	-0.052	0.027	-0.033	-0.026	-0.106	1.000									
podil_zemed	-0.617	-0.439	0.099	-0.022	0.057	0.004	0.180	0.085	0.058	0.090	0.020	0.014	-0.051	-0.049	-0.270	0.731	1.000								
podil_louky	0.147	0.080	-0.050	0.014	0.002	0.007	0.032	0.071	0.010	-0.035	0.054	-0.017	-0.029	0.015	-0.132	-0.360	0.062	1.000							
podil_lesa	0.729	0.532	-0.275	-0.063	-0.184	-0.094	-0.104	-0.093	-0.166	-0.100	-0.025	-0.133	0.051	0.064	-0.271	-0.676	-0.844	0.021	1.000						
podil_voda	0.045	-0.060	-0.092	-0.132	-0.016	-0.135	-0.052	-0.022	0.013	-0.029	-0.035	0.001	0.105	0.014	-0.010	-0.040	-0.141	-0.082	0.008	1.000					
zkraceni_2VM_3VM	0.102	0.131	-0.112	0.039	-0.033	0.020	0.033	0.037	0.014	0.080	0.058	0.069	-0.037	0.010	-0.071	-0.102	-0.090	0.033	0.132	-0.016	1.000				
zkraceni_2VM_2000	-0.409	-0.286	0.263	0.008	0.121	0.015	-0.022	0.010	0.156	0.020	0.019	0.099	-0.015	-0.024	0.106	0.334	0.295	-0.105	-0.362	0.040	-0.028	1.000			
zkraceni_3VM_50s	-0.295	-0.229	0.264	-0.008	0.091	0.006	-0.087	-0.063	0.125	0.000	-0.044	0.058	0.008	-0.025	0.132	0.253	0.185	-0.074	-0.267	0.056	-0.469	0.821	1.000		
zkraceni_3VM_2000	-0.416	-0.316	0.283	0.004	0.119	0.018	-0.033	-0.003	0.157	-0.008	-0.010	0.075	0.002	-0.028	0.137	0.341	0.299	-0.115	-0.383	0.047	-0.415	0.905	0.949	1.000	
zkraceni_50s_2000	-0.421	-0.306	0.121	0.036	0.117	0.038	0.157	0.183	0.209	-0.020	0.087	0.135	-0.017	-0.014	0.042	0.304	0.367	-0.116	-0.396	0.018	0.122	0.468	0.099	0.352	1.000

3.2. KLASIFIKACE ÚSEKŮ PODLE VZTAHU MEZI ZKRÁCENÍM TOKŮ A NÁSLEDKY POVODNĚ

Pro vyhodnocení vztahu mezi zkrácením říční sítě a intenzitou následků povodně bylo provedena analýza v prostředí GIS. Do obalové zóny vodních toků byly integrovány výsledky analýzy historického zkrácení říční sítě v jednotlivých hodnocených etapách a následky povodně jako výsledek mapování geomorfologických projevů povodně – čerstvé fluviaální akumulace, břehové nátrže, sesuvy, poškozené objekty na toku aj.

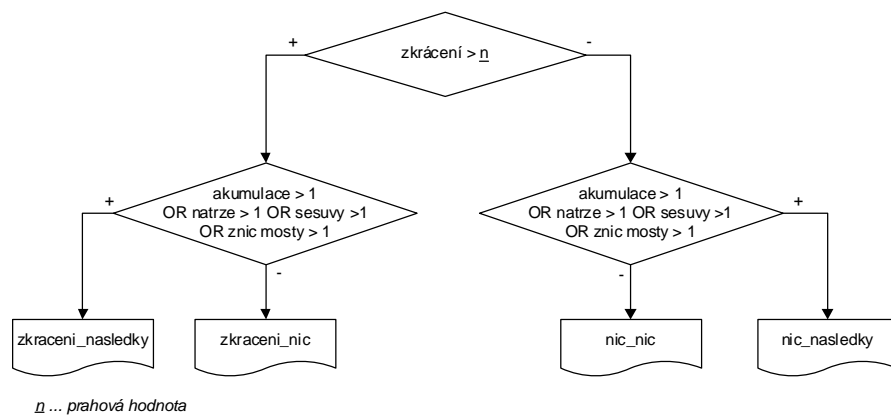
Základní statistické vyhodnocení pro povodň jako celek neprokazuje významné korelace mezi intenzitou zkrácení toků a četností výskytů následků povodně v srpnu 2002 (viz obr. 2).

Obr. 2 Četnost následků povoně v souvislosti se zkrácením toku

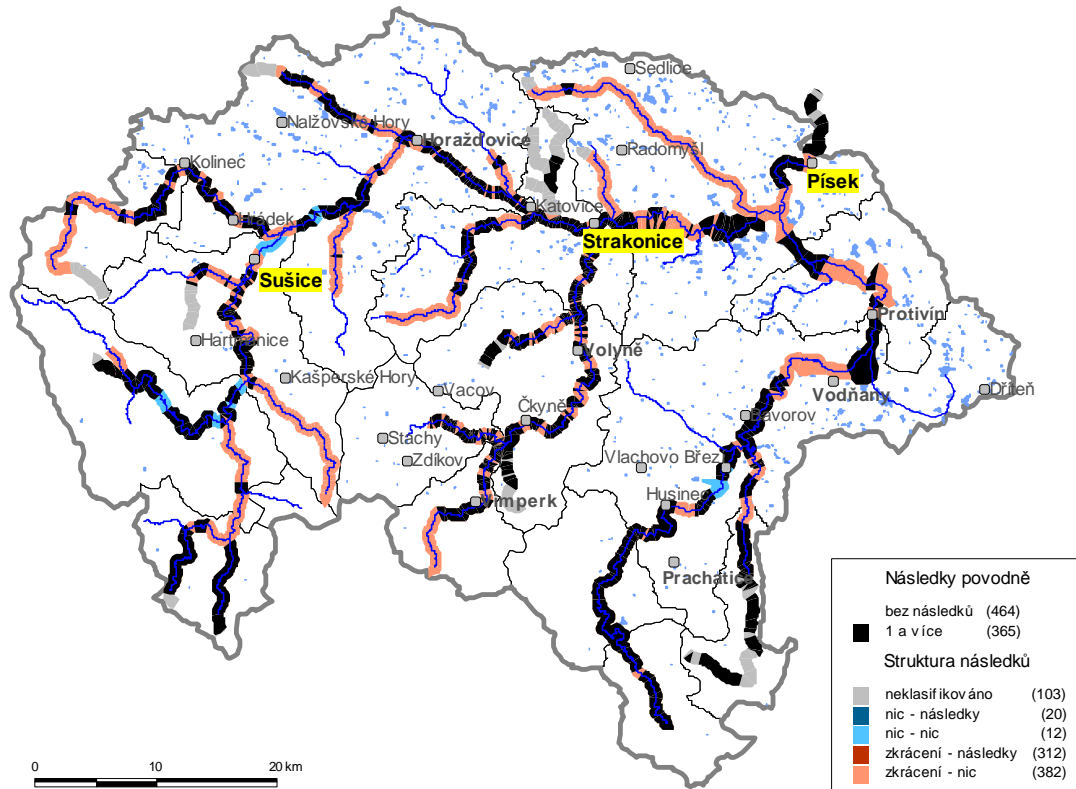


Zákony hydrauliky a empirické zkušenosti z vyhodnocení vlivu úprav toků na odtokový proces však dokazují, že napřímení toků je doprovázeno akcelerací erozní a akumulací činnosti toku, zejména při extrémních událostech. Pro klasifikaci proto bylo upuštěno od hledání vztahu mezi četností výskytu povodňových následků a intenzitou napřímení toku. Je zřejmé, že četnost výskytu fluviačních akumulací či břehových nátrží je zapříčiněna i jinými vlivy, zejména morfologií území, charakterem koryta toku a geografickou polohou, důležitou roli hrají i rozdíly mezi výsledky mapování v jednotlivých částech povodí. Pro klasifikaci proto je podstatná přítomnost alespoň jednoho z uvažovaných projevů následků povodně – akumulace, břehová nátrž, sesuv či destrukce objektu na toku, nikoliv počet výskytů těchto objektů (viz obr. 3). Hodnocení bylo provedeno pro různé hladiny zkrácení říční sítě, aby bylo možno postihnout souvislosti mezi intenzitou napřímení toku a projevy činnosti povodně (viz obr. 4).

Obr. 3 Rozhodovací pravidla pro klasifikaci zkrácení toků a následků povodně



Obr. 4 Historické zkrácení toků v povodí Otavy a následky povodně 2002



Klasifikace ukázala, že výsledky míra závislosti zkrácení toku a četnosti výskytu následků povodně je závislá na prahové hodnotě zkrácení říční sítě, kterou bereme jako vstupní kritérium (viz tabulku 4). Nejčetnější výskyt projevů povodně v upravených úsecích je při minimální míře zkrácení. Omezíme-li výběr napřímených úseků 2% zkrácením v průběhu celého hodnoceného období posledních 150 let, konstatujeme, že v těchto úsecích se v 94% případech nacházejí projevy erozní či akumulární činnosti povodně. Dvouprocentní zkrácení však pozorujeme na převážné většině říční sítě povodí Otavy, včetně horských úseků v přírodě blízkých či chráněných oblastech. Posuneme-li práh zkrácení toku na 5% původní délky, podíl úseků, kde souběžně dochází k projevům činnosti povodně, klesá na 66%. Pokud práh zkrácení posuneme na hodnotu 10%, čímž vybereme úseky, zkrácené nad celkový průměr povodí Otavy (9,1%), podíl úseků s následky ve zkrácených segmentech toků klesá až na 20% těchto úseků.

Tabulka 4 Úseky toků podle míry zkrácení a následků povodně

	<i>zkraceni</i> > 2%	<i>zkraceni</i> > 5%	<i>zkraceni</i> > 10%
počet úseků celkem	725	725	725
zkrácení s následky	311	218	68
zkrácení + žádné následky	382	238	107
bez zkrácení s následky	20	113	263
bez zkrácení+ bez následků	12	156	287
podíl upravených	95.6%	62.9%	24.1%
podíl úseků s následky	45.7%	45.7%	45.7%
podíl upravených úseků na následcích	94.0%	65.9%	20.5%
podíl následků v upravených úsecích	44.9%	47.8%	38.9%

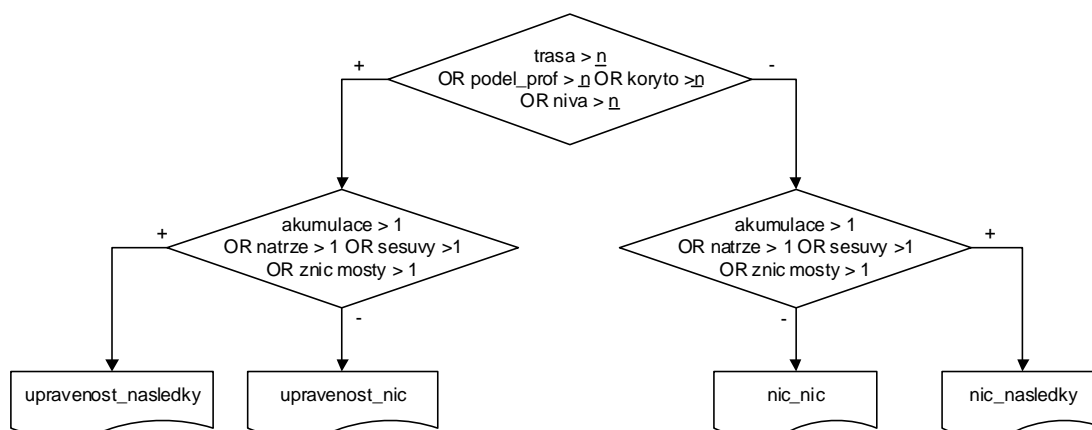
3.3. KLASIFIKACE ÚSEKŮ PODLE VZTAHU MEZI UPRAVENOSTÍ TOKŮ A NÁSLEDKY POVODNĚ

Souvislost mezi upraveností a četností výskytu následků se odlišuje podle jednotlivých hodnocených parametrů upravenosti a podle geografických podmínek.

Zároveň je významná intenzita upravenosti. U částečně upravených toků v jednotlivých parametrech je závislost nejtěsnější, u intenzivní upravenosti vliv klesá.

Klasifikace byla prováděna opět pomocí metody rozhodovacích pravidel. Pro parametry upravenosti byly použity jako vstupní kritéria míra upravenosti toků v jednotlivých parametrech a alternativní výskyt minimálně jednoho z mapovaných projevů povodně v srpnu 2002 (viz obr. 5).

Obr. 5 Rozhodovací pravidla pro klasifikaci upravenosti toků a následků povodně



n ... prahová hodnota

Pro kvantifikaci výsledků bylo třeba výsledky mapování převést do jednotné číselné škály. Zde je však třeba brát v úvahu obtížnou souměřitelnost jednotlivých parametrů, přičemž přiřazené hodnoty nelze mechanicky uvažovat jako identické projevy antropogenní upravenosti na daný aspekt stavu vodního toku. Z hodnocených parametrů lze nejlépe kvantifikovat intenzitu upravenosti podélného profilu toku a upravenost koryta. Pro přítomnosti stupňů byla zachována škála, použitá při mapování, členící stupně v toku podle jejich výšky. Upravenost koryta byla uvažována ve stupnici 1 – přírodní, 2-částečně upravené, 3-zcela upravené 4-zatrubněné. Stejně jako u ostatních parametrů byl pro úseky, které procházely vodní nádrží nebo přírodní vodní plochou přiřazen kód 0. Obtížnější byl již převod údajů o využití příbřežní zóny a především trasy koryta. U příbřežní zóny byly stupněm 1 hodnoceny plochy přírodní, 2 zemědělské, 3 řídká zástavba a 4 intenzivní zástavba. Při hodnocení úprav ve vedení trasy koryta toku potom stupeň 1 byl přiřazen úsekům divočícím a větveným, stupeň 2 označoval trasu meandrující, 3 trasu zákrutovitou a stupeň 4 trasu přímou. V tomto parametru je nutno klasifikaci brát pouze jako orientační, neboť nelze jednoznačně odlišit podíl antropogenních zásahů na konkrétním charakteru průběhu koryta. Řad úprav nemusí být při terénním průzkumu zřejmá – zákrutovitá trasa tak může být stejně produktem antropogenní úpravy, stejně jako přirozeného vývoje toku. Uvedená stupnice proto spíše než intenzitu antropogenních zásahů vyjadřuje charakter trasy toku s ohledem na podmínky pro proudění vody v korytě.

Mezi hodnocenými parametry existují značné rozdíly v rozsahu upravenosti v rámci povodí, které se promítají i do celkového statistického vyhodnocení. Zatímco u upravenosti trasy koryta toku a údolní nivy vykazuje drtivá většina toků odchylky od přírodního stavu, u upravenosti koryta toku je částečně upravena pouze polovina úseků, u upravenosti v podélném profilu je to pouze necelá čtvrtina. Pokud bychom uvažovali intenzivnější upravenost v těchto parametrech, podíl upravených úseků na celku povodí se rapidně snižuje.

Souhrnná klasifikace upravenosti (tabulka 5) vyjadřuje upravenost koryta toku alespoň v jednom z hodnocených parametrů, omezených stanoveným prahem. Ukazuje se, že odchylku stavu koryta od přírodního stavu alespoň v jednom z hodnocených kritérií nacházíme na celkem 88% úseků toků v povodí. Na necelé polovině těchto úseků potom nacházíme následky povodně – fluvialní akumulace, břehové nátrže, poškozené konstrukce mostů apod. Podíl úseků, ve kterých nacházíme projevy povodně se výrazně nemění ani při

vyšší intenzitě upravenosti (45% při intenzitě upravenosti 3 a vyšší v libovolném z parametrů).

Pro hodnocení souvislosti mezi upraveností toků a následky povodně je klíčové zjištění, že přes 92% nalezených následků povodně se nachází v úsecích, které byly alespoň v jednom z hodnocených parametrů částečně upraveny činnostmi člověka.

Tabulka 5 Klasifikace upravenosti toků a následků povodně

	Trasa toku	Podélný profil	Koryto toku	Příbřežní zóna	Upravenos t > 1	Upravenos t > 2
upravenost s následky	311	83	180	217	336	306
upravenost bez následků	347	89	199	244	399	368
bez úprav s následky	54	282	185	148	29	59
bez úprav a bez následků	117	375	265	220	65	96
počet úseků celkem	829	829	829	829	829	829
počet upravených	658	172	379	461	735	674
podíl upravených	79.4%	20.7%	45.7%	55.6%	88.7%	81.3%
počet s následky	365	365	365	365	365	365
podíl úseků s následky	44.0%	44.0%	44.0%	44.0%	44.0%	44.0%
podíl upravených	85.2%	22.7%	49.3%	59.5%	92.1%	83.8%
úseků na následcích						
podíl následků v upravených úsecích	47.3%	48.3%	47.5%	47.1%	45.7%	45.4%

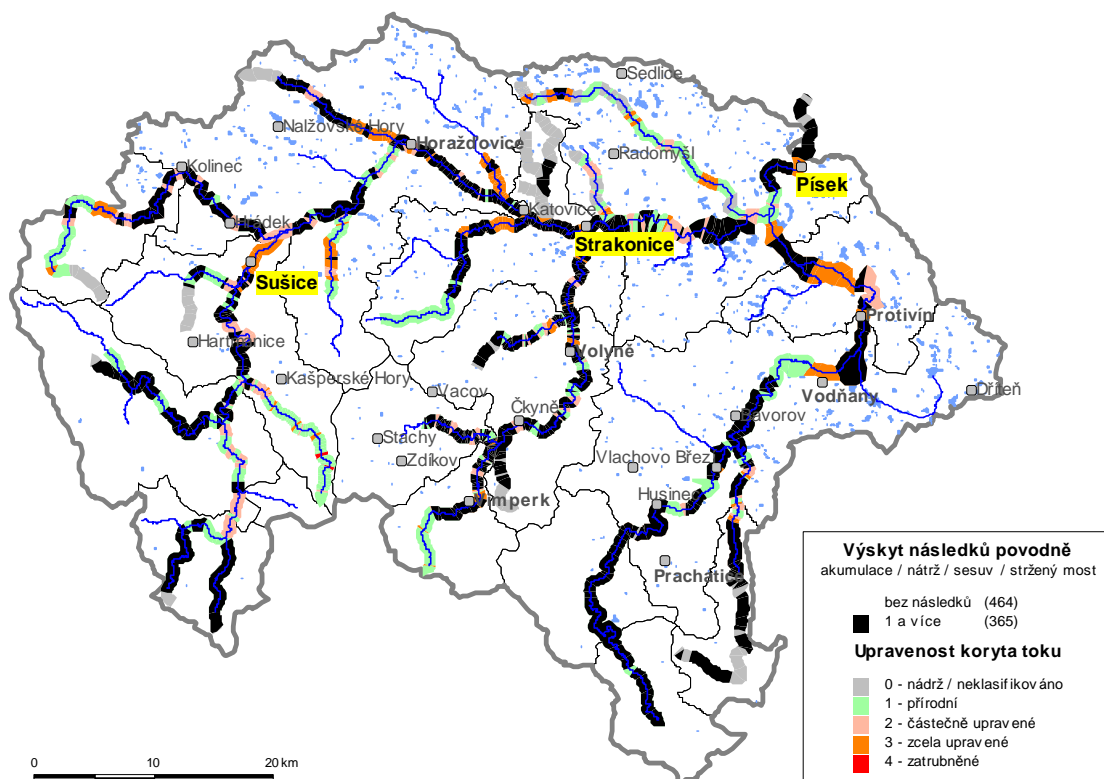
Při podrobné analýze jednotlivých parametrů zjistíme, že nejsilnější je tato vazba u upravenosti příbřežní zóny a upravenosti průběhu trasy koryta. U parametru trasa koryta se přes 85% nalezených následků povodně nachází v úsecích přímých nebo zákrutovitých. U upravenosti příbřežní zóny se v úsecích s antropogenním ovlivněním zemědělstvím či zástavbou nachází na 60% konstatovaných následků. Vazba mezi intenzitou upravenosti koryta toku a četností výskytu úseků s následky povodní přitom klesá s intenzitou zaznamenaných úprav. Zatímco na částečně a intenzivněji upravených úsecích koryt

(stupeň 2 a více) nacházíme 49% úseků s následky povodně, u zcela upravených a zatrubněných úsecích (stupeň 3 a více) je to již jen 11%. Obdobný průběh závislosti vidíme u upravenosti podélného profilu. Mezi úseky s výskytem stupňů s rozdílem hladin 50 cm a vyšším pozorujeme 22% úseků s následky povodně, u úseků se stupni 100 cm a vyššími je to již opět jen 11%.

U všech hodnocených parametrů stejně jako u souhrnného vyhodnocení dosahuje podíl úseků s následky na veškerých upravených úsecích necelých 50%. Více než polovina všech upravených úseků tak zůstává bez následků povodně.

Klasifikace ukázala, že výskyt projevů činnosti povodně je velice těsně svázán s upraveností vodních toků a příbřežní zóny (obr. 6). Téměř 90% následků nacházíme v úsecích se středně a vysoce intenzivní upraveností v alespoň jednom z hodnocených parametrů. Přestože v charakteru následků hraje zásadní roli i prostorový aspekt, toto zjištění představuje významný argument pro posílení protipovodňové ochrany cestov revitalizačních úprav vodních toků.

Obr. 6 Upravenost koryt toků a následky povodně



3.4. HODNOCENÍ VLIVU PŘEKÁŽEK V ÚDOLNÍ NIVĚ NA NÁSLEDKY POVODNĚ

Na výši škod při povodni a pro charakter následků měly rozhodující vliv překážky proudění v údolní nivě. Objekty v údolní nivě, které při normálním vodním stavu i při povodních s nízkou dobou opakování stojí mimo inundační zónu se při extrémních povodních stávají překážkami pro proudění. Nevhodně dimenzované mosty, jezy, ale i zástavba v údolní nivě působí v kombinaci s materiálem, unášeným povodní, na dočasné zadržetí vody a při uvolnění překážky na vytvoření bleskové odtokové vlny. To akceleruje akumulární i erozní procesy, zároveň jednotlivé objekty se při destrukci stávají zdrojem materiálu, unášeného dále povodňovou vlnou a působícího problémy dále na toku.

Při geoinformatickém vyhodnocení jsme vycházeli z výsledků geomorfologického mapování, kde jako potenciální překážky proudění v korytě toku a údolní nivě byly zaznamenávány následující objekty:

- stupeň v korytě nebo jez
- most
- nevhodně umístěný objekt

Pro vyhodnocení byla použita klasifikace podle rozhodovacích pravidel (viz obr. 7), kdy podle přítomnosti překážky a charakteru následků byly úseky rozčleněny do následujících 8 tříd:

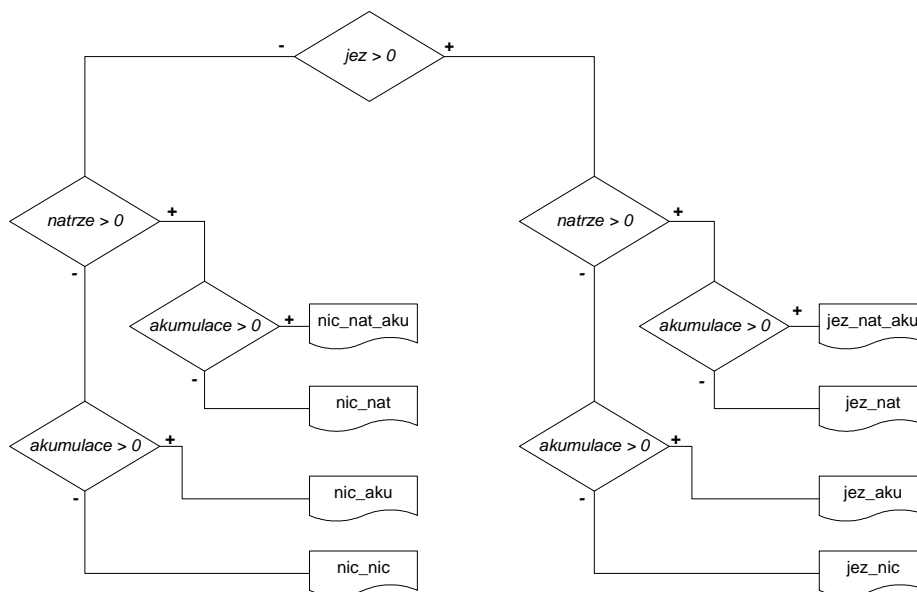
- | | | |
|-------|--------------|---------------------|
| I. | překážka | í akumulace |
| II. | překážka | í nátrž |
| III. | překážka | í akumulace + nátrž |
| IV. | překážka | í bez následků |
| V. | bez překážky | í akumulace |
| VI. | bez překážky | í nátrž |
| VII. | bez překážky | í akumulace + nátrž |
| VIII. | bez překážky | í bez následků |

Zpracování proběhlo nejprve pro jednotlivé faktory odděleně, tj. klasifikován byl charakter následků zvlášť pro stupně a jezy, pro mosty a pro nevhodně umístěné objekty. Následně byla provedena klasifikace souvislosti výskytu libovolné z uvedených potenciálních překážek pro proudění s následky povodně.

Při hodnocení byly uvažovány dvě varianty souvislosti výskytu daného typu následku povodně s překážkami. Primárně byl hodnocen výskyt následků ve stejném úseku s překážkou, navíc s ohledem na charakter vlivu překážek na postup povodně a její

následky i souvislost výskytu překážek ve stejném a jednom následném úseku toku. S ohledem na průměrnou délku úseků, která představuje 610 metrů přitom lze považovat souslednost dvou úseků pro jejich vliv na výskyt následků za dostatečnou.

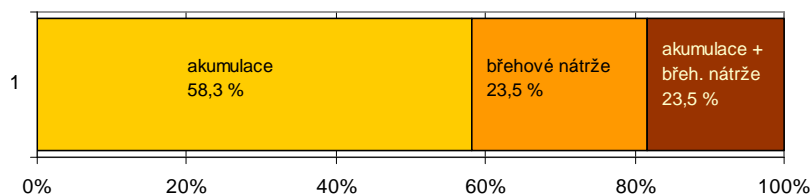
Obr. 7 Rozhodovací pravidla pro klasifikaci překážek proudění a následků povodně



3.4.1. JEZY A STUPNĚ V KORYTĚ

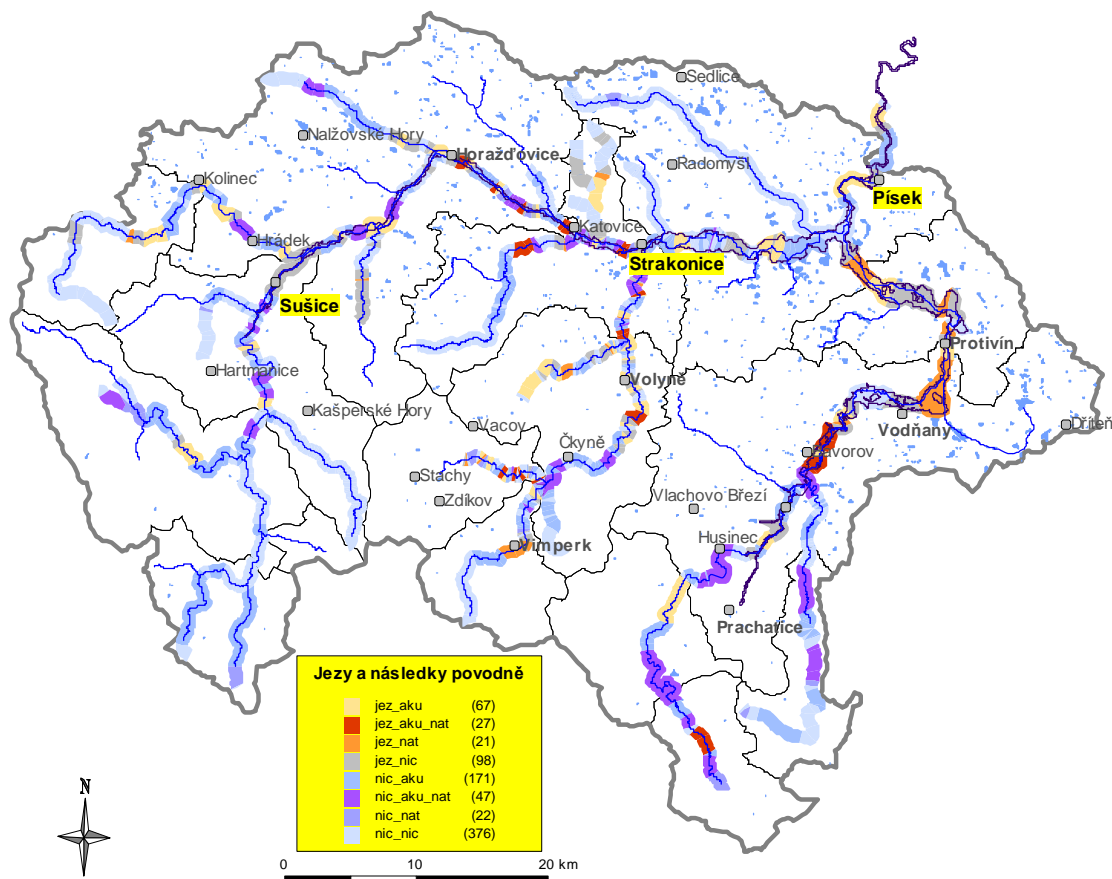
Výsledky vyhodnocení prokázaly předpoklad vlivu souslednosti úseků na četnost výskytu následků. Například vyhodnocení vlivu přítomnosti jezu na výskyt fluvialních akumulací a břehových nátrží v důsledku povodně ukázalo, že při vyhodnocení pouze ve stejném úseku činí podíl počtu segmentů s konstatovanou souvislostí mezi výskytem stupně v korytě a následky 8% z celkového počtu úseků v povodí, zatímco při zahrnutí následků i na následném úseku se podíl těchto segmentů zvýší na 13%. Z hlediska charakteru následků v souvislosti s přítomností jezů převažuje výskyt akumulací – představují 58%, břehové nátrže 23,5% a současný výskyt akumulací i břehových nátrží pozorujeme na 18% úseků s následky (obr. 8).

Obr. 8 Struktura následků



Prostorovou strukturu rozložení segmentů toků do jednotlivých tříd ukazuje mapa na obr. 9. Podíl úseků s jezem či stupněm v korytě, ve kterém byly nalezeny projevy erozní či akumulační činnosti povodně představuje cca 54% z celkového úhrnu. Tento poměr se přitom výrazně neliší u vyhodnocení v individuálních úsecích (53%) od výsledků hodnocení ve dvou sousledných segmentech (54%).

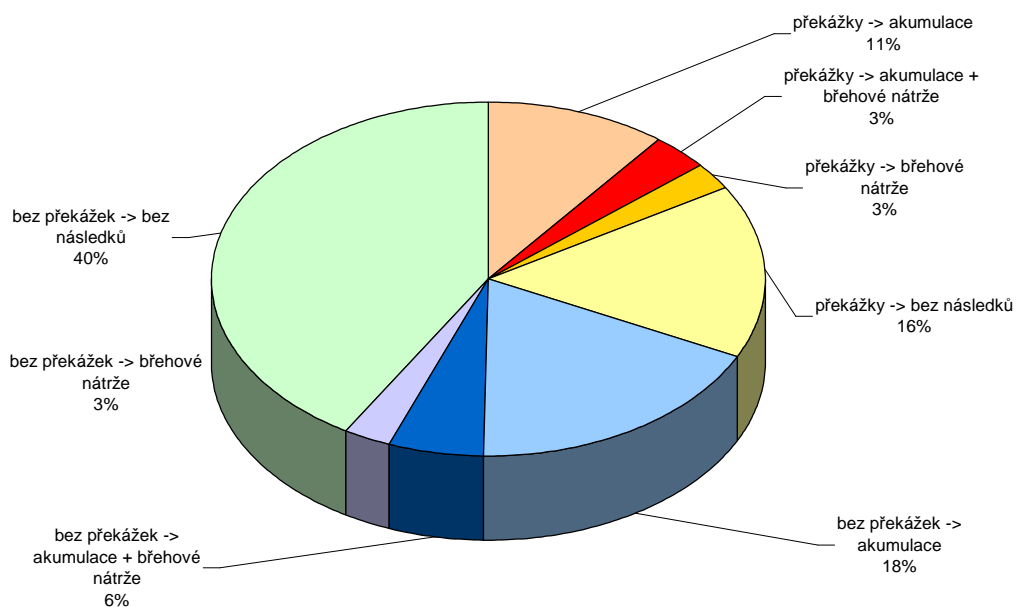
Obr. 9 Klasifikace stupňů v korytě a následků povodně 2002



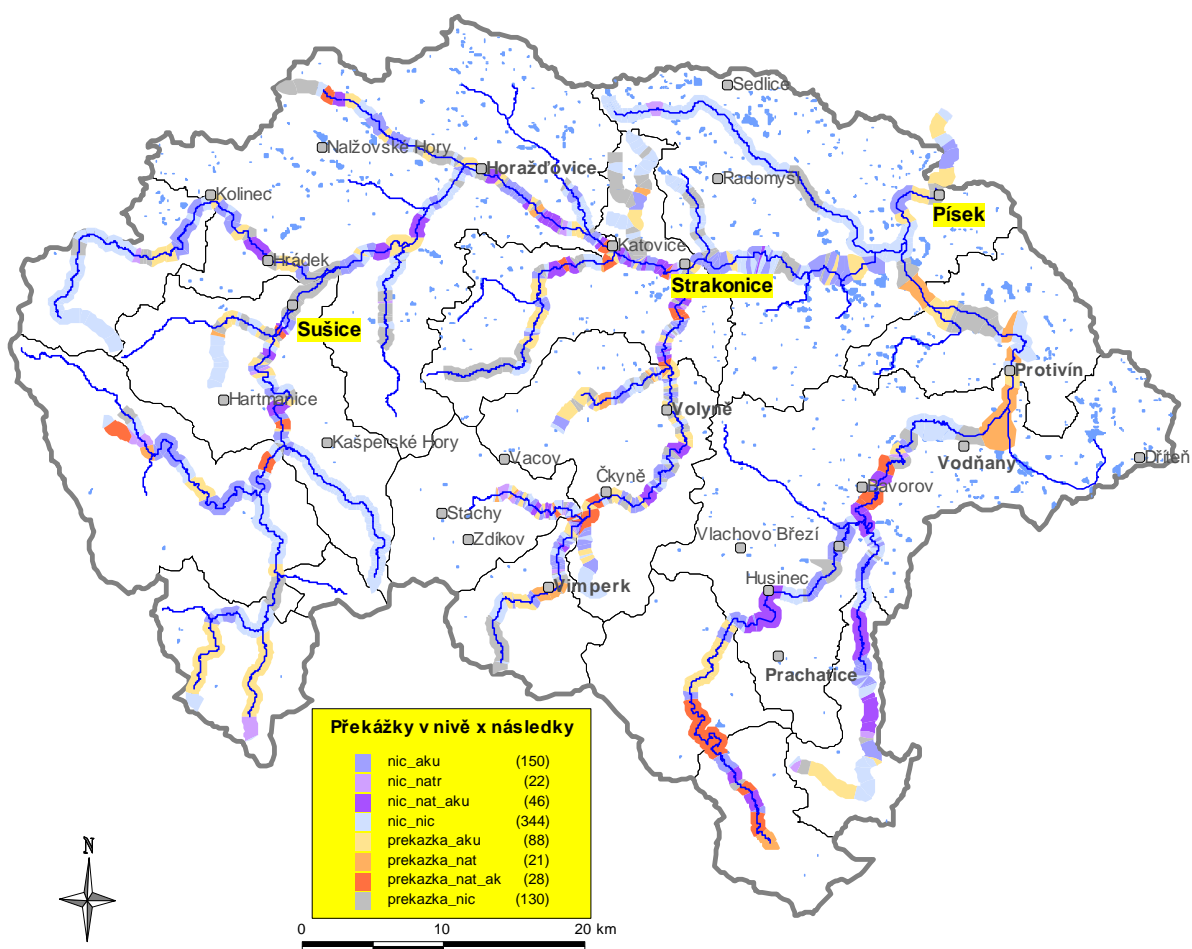
3.4.2. PŘEKÁŽKY PROUDĚNÍ VODY PŘI POVODNI A NÁSLEDKY

Pokud do hodnocení zahrneme všechny mapované potenciální překážky a provedeme shocnou klasifikaci jako v předchozím případě, zjistíme, že podíl úseků, kde došlo k projevu povodně v souvislosti s výskytem překážky na toku či v údolní nivě vzroste pouze nepatrně – na celkových 17%. Poměr úseků kde došlo k projevům erozní či akumulační činnosti povodně v rámci segmentů, kde se vyskytují potenciální překážky proudění a se přitom výrazně nemění – představuje 51,5% (obr. 10 a 11).

Obr. 10 Struktura výsledků klasifikace vlivu překážek na následky povodně



Obr. 11 Klasifikace překážek v nivě a následků povodně 2002



Všechny uvažované potenciální typy překážek v korytě toku a údolní nivě – stupně v korytě a jeze, mosty a nevhodně situované objekty mají přibližně stejný poměr počtu úseků s nalezenými následky oproti celkovému počtu úseků s překážkami, přestože absolutní četnost jednotlivých typů překážek je velice odlišná (tabulka 6). Značná část potenciálních překážek proudění tedy na četnost následků povodně nemá přímý vliv, naopak velká část projevů činnosti povodně je evidentně zapříčiněna jinými okolnostmi.

Tabulka 6 Přehled výsledků klasifikace vlivu překážek proudění na následky povodně

	<i>jez</i>	<i>most</i>	<i>nevh. objekt</i>	<i>překážka</i>
počet úseků celkem	829	829	829	829
překážka - akumulace	67	59	9	88
překážka - nátrž	27	13	2	21
překážka - nátrž i akumulace	21	18	3	28
překážka bez následků	98	87	11	130
bez překážky - akumulace	171	179	229	150
bez překážky - nátrž	47	30	41	22
bez překážky - nátrž i akumulace	22	56	71	46
bez překážky a bez následků	376	387	463	344
podíl úseků s překážkou	25.7%	21.4%	3.0%	32.2%
podíl úseků s následky	42.8%	42.8%	42.8%	42.8%
podíl upravených úseků na následcích	32.4%	25.4%	3.9%	38.6%
podíl následků v upravených úsecích	54.0%	50.8%	56.0%	51.3%

3.5. KOMPLEXNÍ KLASIFIKACE TOKŮ

Pro postižení komplexity vzájemných souvislostí mezi projevy činnosti povodně a potenciálními ovlivňujícími faktory je nutno brát v úvahu nejen vliv antropogenních úprav toků, ale i další faktory, zejména celkové změny ve využití krajiny, vliv fyzikogeografických činitelů i geografické polohy.

Pro komplexní vyhodnocení vazeb mezi těmito prvky byla provedena shluková analýza, která umožnila rozklasifikovat vodní toky v povodí do oblastí s charakteristickými znaky geografického prostředí, intenzitou antropogenních úprav i projevů následků povodně.

Řešení je založeno na integraci datových vstupů v prostředí GIS a jejich zhodnocení pomocí clusterové analýzy podle principu, popsaného v kapitole 2.5. Z GIS analýzy následků povodní, příčinných faktorů a fyzickogeografických poměrů úseků vodních toků byla vytvořena vstupní datová matice pro clusterovou analýzu, přičemž její výsledky byly zpětně propojeny z GISovými podklady.

Pro generování vstupní matice dat byla využita prostorová analýza v GIS. Pro jednotlivé elementární úseky toků, vycházející ze struktury mapování upravenosti říční sítě, byly z jednotlivých analytických vrstev pomocí bufferu extrahovány parametry, uvedené v tabulce 7.

Tabulka 7 Parametry komplexní klasifikace toků

Parametr
střední výška úseku
sklon
upravenost koryta
vedení trasy koryta
upravenost úseku v podélném profilu
upravenost údolní nivy
počet jezů
počet mostů
počet nevhodně umístěných objektů
počet skalních stupňů v korytě
podíl urbanizovaných ploch
podíl orné půdy
podíl veškeré zemědělské půdy
podíl plochy luk
lesů a vodních ploch
zkrácení říční sítě mezi časovými horizonty 1844 – 1876 -1952 – 2002
dále počet zjištěných akumulací po povodni 2002
počet břehových nátrží
počet zničených mostů a počet sesuvů.

Klasifikace toků do jednotlivých kategorií byla provedena pomocí clusterové analýzy metodou K-means vně prostředí GIS, přičemž pro vizualizaci výsledků byla vyklasifikovaná data zpětně integrována se zdrojovou vrstvou v GIS.

Klasifikace toků do pěti výsledných tříd prokázala těsnou souvislost fyzickogeografických charakteristik hodnocených úseků vodních toků s mírou jejich antropogenní transformace a s odpovídajícím charakterem následků při extrémní povodni v srpnu 2002. Výsledkem klasifikace pomocí clusterové analýzy je 5 tříd toků (viz tabulka 8, obr. 12).

Výraznou roli v klasifikaci hrál sklon úseku toku a jeho průměrná nadmořská výška, stejně jako parametry antropogenních změn determinující charakter následků povodně. Nejčteněji je zastoupena nížinná oblast (třída 2), která se vyznačuje nejvyšší průměrnou upraveností koryt toků, transformací v podélném profilu i nejvyšší upraveností údolní nivy. Z hlediska proudění vody je zde nepříznivým faktorem vysoký výskyt nevhodně umístěných objektů, absolutně nejvyšší četnost výskytu jezů i mostů. Z dokumentovaných následků povodně v roce 2002 zde nacházíme nejvyšší průměrný počet břehových nátrží, druhý nejvyšší průměrný výskyt povodňových akumulací, stejně tak do této zóny spadá vysoký podíl poškozených mostních konstrukcí.

Absolutně nejvyšší průměrný podíl čerstvých fluviálních akumulací vykazuje cluster 5 (odpovídá „středním tokům“), zahrnující pahorkatinné toky s nízkým průměrným sklonem, předcházející zóně clusteru 2 (odpovídá „dolním tokům“). Zde jsme zaznamenali i nejvyšší četnost nevhodně umístěných objektů v toku či údolní nivě, představující překážku pro proudění.

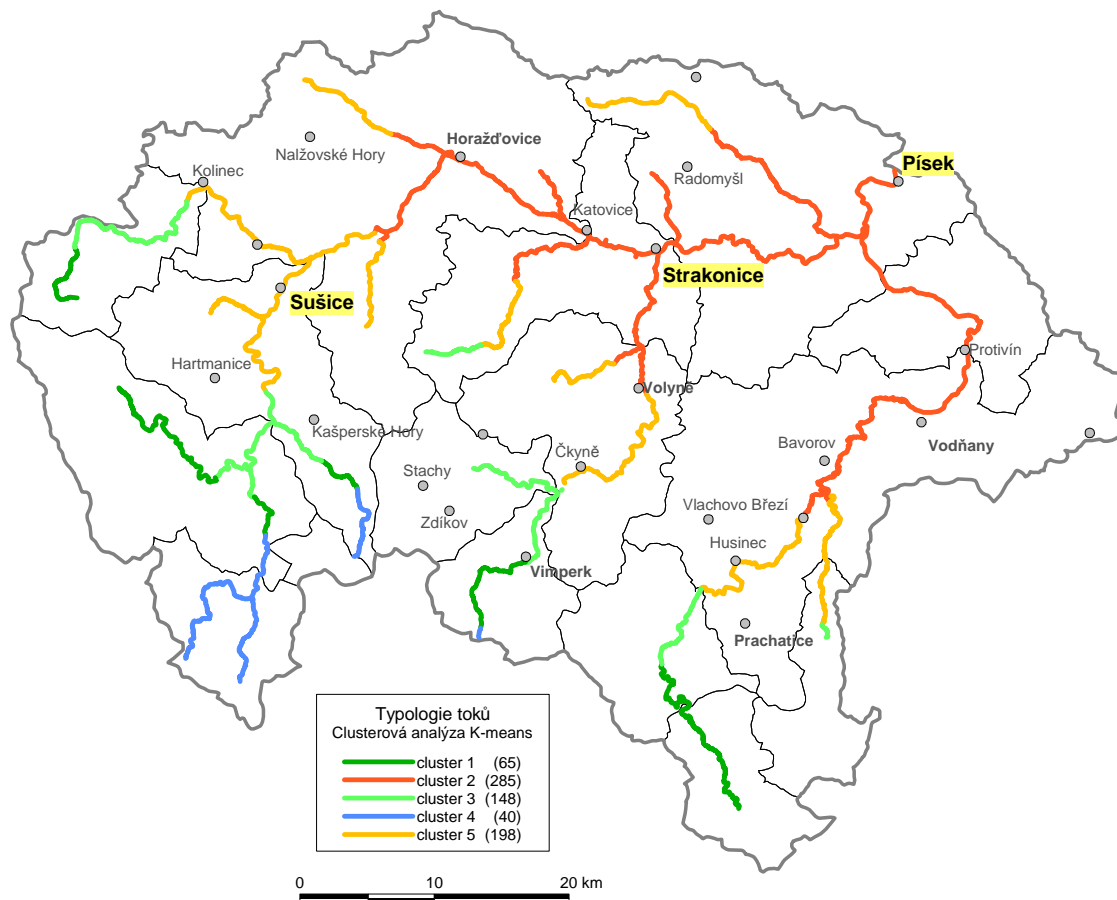
Tabulka 8 Komplexní klasifikace toků

Třída	Cluster	Délka úseků
Nížinné toky	2	36,4 %
Pahorkatinné toky	5	28,3 %
Podhorské toky	3	14,4 %
Horské toky	1	13,6
Pramenné úseky	4	7,3 %

Horské úseky toků jsou rozčleněny na celkem 3 třídy. S ohledem na charakter reliéfu Šumavy je logicky samostatnou kategorií třída 3, představující toky na strmě ukloněných svazích na úpatí Šumavy. Registrovali jsme zde značnou aktuální upravenost koryt toků, zároveň ale nejvyšší podíl luk na využití údolní nivy ze všech tříd. Z hlediska následků je na tocích na úpatí Šumavy druhý nejvyšší počet břehových nátrží a nejvyšší

podíl stržených či destruovaných mostů v hodnocených úsecích. Dlouhodobá změna říční sítě je v těchto úsecích průměrná, přičemž zkrácení toků proběhlo v naprosté většině případů na počátku 20. století.

Obr. 12 Typologie toků v povodí Otavy na základě clusterové analýzy



Pramenné úseky toků s nejvyšší průměrnou nadmořskou výškou a i nejvyšším spádem toku (třída 4) mají díky nepatrné intenzitě osídlení a infrastruktury zanedbatelný podíl na povodňových škodách. Upravenost toků je zde nejnižší, průměrný podíl lesnatosti těchto úseků se blíží 90%. Naproti tomu míra zkrácení říční sítě je zde vzhledem k přírodnímu charakteru povodí značná, zejména v období konce 19. století. Vzhledem k tomu, že se jedná o oblast formování odtokové vlny povodně, setkáváme se v této třídě výhradně s erozními projevy proudění.

Zbývající třída horských toků vrcholové části Šumavy (třída 1) zahrnuje toky s vysokým průměrným spádem toku, kde díky zvýšené intenzitě využití údolní nivy je pozorovatelný nárůst povodňových škod. Stále nízký je zde podíl antropogenně pozměněných ploch na rozloze údolní nivy. Celková míra průměrné upravenosti koryt toků

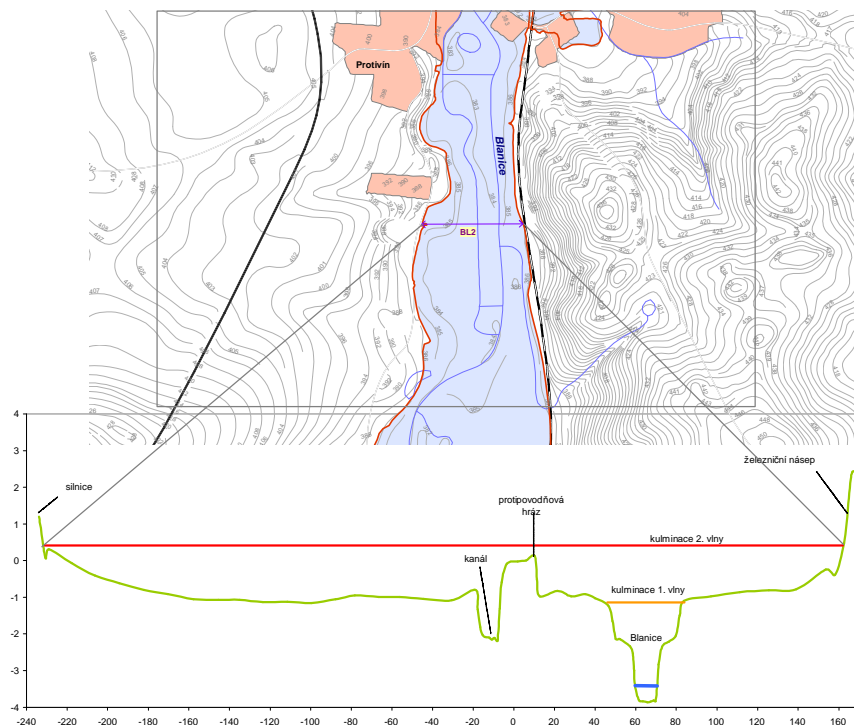
je v této třídě nejnižší, stejně jako je nejnižší upravenost v podélném profilu i vedení trasy toku. Díky poloze v jádrové zóně povodně jsou zde vysoké hodnoty průměrného výskytu následků povodně, a to jak erozního charakteru, tak akumulárního.

4. DISKUSE

Při hodnocení výsledků klasifikace vlivu zkrácení toků, upravenosti koryt toků a údolní nivy a přítomnosti překážek na výskyt následků povodně v oblastech, kde konstatujeme vysokou míru antropogenních zásahů do koryta a údolní nivy často zaznamenáváme slabší vazby mezi výskytem překážek a četností následků. Jedná se zejména o dolní úseky hlavních toků v povodí, Blanice a Otavy. V těchto oblastech je celková intenzita upravenosti toků, příbřežní zóny i údolní nivy nejvyšší, přesto závislosti mezi stavem antropogenní transformace a následky nejsou zcela průkazné.

Příčinou může být extremita povodně v srpnu 2002. Na dolních tocích se povodňová vlna pohybovala již celým prostorem údolní nivy, kde vystupovala nad její dno až o několik metrů (viz obr. 13). Vliv úprav toků i četných regulačních objektů, jako jsou jezy, proto byl logicky oslaben. Naproti tomu na horních a středních úsecích, kdy většina odtoku byla soustředěna do vlastního koryta či do úzkého pásu příbřežní zóny, vliv umělých zásahů do této oblasti na následky roste.

Obr. 13 Profil údolní nivy Blanice nad Protivínem s vyznačenou výškou hladin při povodni 2002



5. ZÁVĚRY

Navržená a aplikovaná metodika terénního mapování upravenosti toků a následků povodní ukázala velmi dobrou využitelnost pro komplexní analýzu projevů extrémních srážkoodtokových procesů v krajině. Zvolený přístup umožňuje aplikaci této metodiky i v obecné rovině, tzn. i v jiných oblastech, než představovalo modelové povodí Otavy. Možnost integrace výsledků mapování s analýzami historických a distančních podkladů do prostředí GIS umožňuje takto vytvořené podklady využít pro vyhodnocení a objektivní geostatistickou klasifikaci zranitelnosti území povodněmi, pro vyhodnocení následků povodní a pro analýzu souvislostí mezi jednotlivými projevy povodní a možnými příčinnými faktory.

Geoinformatická analýza vztahu mezi upraveností toků a následky povodně v srpnu 2002, založená na nově vytvořené metodice terénního mapování v kombinaci s historickými a distančními podklady ukázala na souvislost mezi fyzickogeografickými charakteristikami toků, mírou jejich antropogenní upravenosti a charakterem následků při povodni. Provedená klasifikace na základě shlukové analýzy prokázala, že v různých částech povodí zaznamenáváme odlišné projevy povodně, že tyto odlišné následky mají vazbu na geografickou polohu, nadmořskou výšku, intenzitu a charakter antropogenní upravenosti koryt toků a údolní nivy.

Provedená typologie může být využita jako podklad pro plánování vhodných preventivních opatření protipovodňové ochrany, neboť tato opatření musí respektovat přirozenou diverzitu toků. Jednotlivé typové kategorie toků vyžadují odlišný přístup k protipovodňové ochraně, umožňují její lepší diverzifikaci, což přispívá k její vyšší efektivitě, stejně jako k ekonomické účelnosti.

Typologie toků, provedená na základě geostatistické analýzy v prostředí GIS ukázala na základní rozčlenění toků do kategorií podle jejich odlišných vlastností a s nimi souvisejícími rozdílnými projevy při extrémních povodních. Je možno ji využít jako podklad pro diferencovaný přístup k protipovodňové ochraně, která je z hlediska variability přírodního prostředí a charakteru jeho využití nejučinnější.

6. LITERATURA

Bičík, I.; Kupková, L. Vývoj struktury ploch v povodí Otavy v letech 1845-1948-1990-2000. In: Langhammer, J. (ed.) *Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní*. Praha: PŕF UK, 2003. s. 113-121.

-
- ČHMÚ *Hydrologické vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002*. Praha: ČHMÚ, 2003. <http://www.chmi.cz/hydro/pov02/>.
- Havlík, A., Just, T., Slavík, O. *Ekologická studie povodí Bílina 2.díl - Kvalita vody a produkce znečištění v povodí Bílina*. Praha: VÚV TGM, 1997.
- Just, T. et al. *Revitalizace vodního prostředí*. 1. vyd. Praha: AOPK ČR, 2003. 144 s. ISBN 80-86064-72-7
- Kakos, V. Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873 až 1982. *Meteorologické zprávy*, 1983, roč. 36, s. 171 – 181.
- Kender, J. et al. *Voda v krajině*. Praha: MŽP ČR a AOPK, 2004.
- Konvička, M. et al. *Město a povodně*. Brno: ERA group, 2002. 219 s. ISBN: 80-86517-38-1
- Křížek, M., Engel, Z. Geomorfologické projevy povodně 2002. In: Langhammer, J. (ed.) *Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní*. Praha: PřF UK, 2003. s. 83-101.
- Langhammer, J. Analýza upravenosti říční sítě v povodí Otavy. In: Langhammer, J. (ed.) *Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní*. Praha: PřF UK, 2003. s. 156-177.
- Langhammer, J., Vajskebr, V. *Vývoj říční sítě v povodí Otavy, Zpráva z dílčí etapy řešení projektu Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní*. Praha: PřF UK, 2003.
- Maidment, D. R. (ed.) *Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1993. ISBN: 0-07-039732-5
- Šobr, M. Přehled protipovodňových opatření v povodí Otavy a zhodnocení jejich funkčnosti. In: Langhammer, J. (ed.) *Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní*. Praha: PřF UK, 2003, 200 s.
- Vilímk, V., Langhammer, J., Křížek, M., Lipský, Z., Stehlík, J. *Posouzení efektivnosti změn ve využívání krajiny pro retenci a retardaci vody jako preventivní opatření před povodněmi - závěrečná zpráva*. Praha: PřF UK, 2003. 55 s.