

ZMĚNY V KRAJINĚ A POVODŇOVÉ RIZIKO

Jakub Langhammer (editor)

Sborník příspěvků semináře
Povodně a změny v krajině

5.6.2007

Praha

ZMĚNY V KRAJINĚ A POVODŇOVÉ RIZIKO

Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině

Editor: Jakub Langhammer

PřF UK, Praha

ISBN 978-80-86561-87-5

Vydáno v rámci projektu VaV SM/2/57/05

Tisk: PřF UK v Praze

Vazba: P3K, Praha

Počet stran: 251

Počet výtisků: 150

Redakce: Jakub Langhammer, Sylva Rödlová

Grafická úprava: Jakub Langhammer

Publikace neprošla jazykovou úpravou. Příspěvky byly otištěny z předloh dodaných autory.

© Přírodovědecká fakulta UK v Praze, 2007

OBSAH

Úvod

Projekt Dlouhodobé změny poričních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami

Jakub Langhammer 7

Hydrologické extrémy současnosti a minulosti

Rapid fluvial processes in the Late Quaternary

Jan Kalvoda 17

Historické extrémní případy povodní v povodí Labe a Vltavy

Libor Elleder 29

Povodně na Moravě a ve Slezsku

Macková, J., Brázdil, R., Dobrovolný, P., Halášová, O., Kepřtová, K., Řehánek, T., Soukalová, E.

..... 37

Modelování a kvantitativní analýza povodňových událostí

Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážko-odtokové procesy metodou CN křivek

Michal Jeníček 41

Modelování hydrologických extrémů s podporou DPZ a GIS

Martin Adamec¹, Markéta Hanzlová², Jiří Horák², Jan Unucka³, Dušan Židek⁴ 51

Metodika vymezení údolní nivy v prostředí GIS

Filip Hartvich¹ a Jan Jedlička² 63

Modelování povodňového rizika pro účely zajištění

Adam Podlaha¹, Mgr. Alexandra Králová² 73

Změny v krajině jako ovlivňující činitel i projev povodní

Metody k objektivizaci regionalizace sezonního výskytu povodní na území ČR

Radek Čekal, Josef Hladný 85

Změny ve vývoji odtoku v pramenných oblastech Otavy v kontextu vlivu člověka a změny klimatu

Zdeněk Kliment, Milada Matoušková 95

Povodňové režimy Otavy a Lužnice

Tomáš Vlasák 105

Následky extrémních záplav na vegetaci a půdní kryt na příkladu nivy Sázavy

Tomáš Chuman, Luděk Šefrna, Tereza Zádorová 115

Sledování výskytu invazních druhů rostlin v říčních nivách

Tomáš Matějček 121

Retence vody v krajině a protipovodňová ochrana

Upravenost toků a údolní nivy jako faktor ovlivňující průběh a následky povodní

Jakub Langhammer 129

Vliv antropogenních změn na stabilitu fluvialních systémů

Jan Kopp 143

Prostorové uspořádání popovodňových korytových akumulací Sázavy

Marek Křížek 153

Lokální bleskové povodně v ČR – možnosti řešení z pozice samosprávných obcí Lenka Čamrová, Pavel Hromádka	163
Hydrologická funkce rašelinišť Bohumír Janský, Jan Kocum	173
Postery a diskusní příspěvky	
Antropogenní změny v krajině a povodňové riziko Jakub Langhammer	183
Porovnanie výsledkov modelovania povodňovej hrozby pomocou modelov Fénix a HEC-RAS vo vybranom modelovom území Michal Hazlinger.....	193
Hydrological drought with respect to upcoming climate change Jan Kavan.....	197
Niva jako součást topografické půdní katény Tereza Zádorová, Luděk Šefrna, Tomáš Chuman.....	203
Bilanční odhady příspěvku drenáží ke kvaziustáleným povodňovým průtokům František Doležal, Mojmir Soukup, Zbyněk Kulhavý.....	209
Mapování antropogenní upravenosti toků a následků povodní v povodí horní Litavky Alice Taufmannová, Jakub Langhammer	213
Analýza změn využití území dolního toku Blanice na základě leteckých snímků Petra Hesslerová ¹ , Mgr. Karolína Macháčková.....	221
Sledování dynamiky revitalizovaného koryta Sviňovického potoka Jana Hujslová, Zdeněk Kliment, Milada Matoušková, Markéta Potůčková, Miroslav Šobr	227
Letní povodně v roce 1582, rekonstrukce historické události a doklady o změnách hydrologických podmínek Libor Elleder ¹ , Oldřich Kotyza ²	233
Historické zimní povodně na řece Jihlavě a jejich geomorfologická účinnost Mojmír Hrádek	241
Revitalizace vodních ekosystémů a jejich význam v protipovodňové ochraně Milada Matoušková.....	245
Povodeň jako přírodní revitalizační činitel na příkladu řeky Opavy Mgr. Blanka Šaňková	251

ÚVOD

PROJEKT DLOUHODOBÉ ZMĚNY POŘÍČNÍCH EKOSYSTÉMŮ V NIVÁCH TOKŮ POSTIŽENÝCH EXTRÉMními ZÁPLAVAMI

Jakub Langhammer

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie
e-mail: langhamr@natur.cuni.cz

Seminář Povodně a změny v krajině, konaný na Přírodovědecké fakultě UK v Praze, představuje v souborné podobě výzkumný projekt VaV MŽP SM/2/57/05 Dlouhodobé změny pořičních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami – jeho cíle, metodiku řešení a dosažené výsledky v kontextu současného stavu poznání v oboru.

Projekt, který zastřešuje tento seminář je řešen na půdě Katedry fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK v Praze v období 2005-08. Cílem řešení projektu je poznání prostorových a funkčních zákonitostí působících na změny ekosystémů v pořičních oblastech zasažených extrémními povodněmi, identifikace a typologie kritických oblastí a návrh systematického monitoringu a praktických opatření v těchto oblastech.

Projekt se soustředí na vybrané oblasti ČR zasažené v minulosti extrémními povodněmi. Vybrané zájmové oblasti představují reprezentativní vzorek povodí, vybraný s ohledem na fyzicko-geografické poměry povodí, geografickou polohu, průběh a charakter povodně, charakter a intenzitu následků povodně, dostupnost a reprezentativnost podkladových materiálů, časový odstup od povodně, intenzitu transformace krajiny v povodí a zásahů do prostředí údolní nivy a říční sítě.

Metodika řešení projektu

Metodická východiska

Metodika řešení vychází ze zkušeností, které tým řešitelů získal při řešení projektů Hodnocení vlivu antropogenních zásahů do krajiny na průběh a následky povodní (Langhammer, 2004) a Posouzení efektivnosti změn ve využívání krajiny pro retenci a retardaci vody jako preventivní opatření před povodněmi (Vilímek, Langhammer, Křížek a kol., 2003).

Řešení je založeno na kombinaci terénního mapování s analýzou digitálních podkladů, historických a distančních dat o území.

Projekt je unikátní komplexním charakterem řešení, založeným na multidisciplinárním přístupu a integraci přírodovědných a technických metod výzkumu za využití pokročilých geoinformačních technologií.

V rámci projektu jsou vyvíjeny a ověřovány nové metodiky a techniky výzkumu, hodnocení, analýzy a interpretace extrémních hydrologických procesů.

Zvolená metodika a postup řešení jsou navrženy tak, aby byly transparentní, umožňovaly snadnou ověřitelnost dosažených výsledků a zároveň obsahovaly prvky zpětné vazby. Metodika umožňuje strukturovaný přístup k rozdílným typům vstupních informací a jejich integraci pro analytické zpracování. Výsledky analýz všech uvedených typů datových podkladů jsou integrovány do jednotné geodatabáze v prostředí GIS a následně podrobeny geostatistické analýze, jejímž cílem je nalézt prostorové a statistické vazby mezi jednotlivými indikátory změn ekosystému údolní nivy a následně vymezit a typologicky klasifikovat oblasti kritického vývoje. Identifikace a typologie kritických oblastí potom slouží jako základ

pro diverzifikovaný přístup k managementu ekosystému údolních niv a vodních toků, umožňující návrh účinných opatření a řešení.

Řešitelský tým

Řešitelský tým tvoří na 30 odborníků z předních institucí, zabývajících se problematikou srážkoodtokových vztahů, krajiny a přírodního prostředí (viz níže). Vedle jmenovaných spolupracovníků se na řešení podílí řada studentů pregraduálního i postgraduálního studia PřF UK v Praze.

Řešitel

RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D.

Spoluřešitelé

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Katedra fyzické geografie a geoekologie

Doc. RNDr. Bohumír Janský, CSc., vedoucí katedry

Doc. RNDr. Vít Vilímek, CSc.

Doc. RNDr. Zdeněk Lipský, CSc.

RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

RNDr. Marek Křížek, Ph.D.

RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.

RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

RNDr. Zbyněk Engel, Ph.D.

RNDr. Miroslav Šobr

Mgr. et Mgr. Sylva Rodlová

Mgr. Václav Tremel

Mgr. Julius Česák

Mgr. Zita Dubová

Mgr. Václav Vajskebr

Mgr. Jan Kocum

Mgr. Tomáš Chuman

Mgr. Tereza Zádorová

Bc. Jana Šmídová

Bc. Václav Královec

Bc. Jiří Kadlec

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje

Doc. RNDr. Ivan Bičík, Csc.

Mgr. Tomáš Matějček

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Mgr. Přemysl Štych

Externí spolupracovníci

Ing. Josef Hladný, CSc., ČHMÚ Praha

RNDr. Radek Čekal, Ph.D., ČHMÚ Praha

Ing. Libor Elleder, ČHMÚ Praha

Mgr. Tomáš Vlasák, ČHMÚ České Budějovice

Mgr. Martin Hais, Laboratoř aplikované ekologie LF JČU České Budějovice

Mgr. Petra Hesslerová, ENKI Třeboň

Mgr. Michal Jeníček, Výzkumný ústav vodohospodářský TGM

Mgr. Karolína Macháčková, ArcData Prah

Mgr. Filip Hartvich, Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR

Charakter řešených úloh

Řešení probíhá na různých metodických, prostorových a časových úrovních

Z metodického hlediska jsou řešeny tři skupiny úloh – úlohy metodické, analytické a experimentální.

Metodické úlohy

Metodické úlohy se zabývají úkoly badatelského charakteru a úlohami, jejichž řešení není omezeno na specifické dílčí zájmové území. Zaměřují se zejména na analýzu, klasifikaci a modelování procesů, které ovlivňují výskyt, průběh a následky povodní v širším kontextu a definici nových postupů a analytických metod.

V rámci metodických úloh jsou řešeny např. otázky regionalizace sezonality výskytu povodní a regionalizace zatížení povodňovým rizikem, metodické otázky přístupu k hodnocení povodňového rizika, analýza výskytu historických povodní a jejich kvantitativní rekonstrukce, problematika vlivu rašelinišť na změny odtokového režimu v pramenných oblastech, otázky stavby a dynamiky údolní nivy z pedogeografického hlediska, vývoj geoinformatických metod pro automatizované vymezení prostoru údolní nivy, analýza možností využití dat DPZ pro hodnocení povodňových škod aj.

Analytické úlohy

Analytické úlohy jsou zaměřeny na konkrétní modelová povodí, v rámci kterých jsou komplexně studovány jednotlivé procesy a faktory, ovlivňující odtokový proces, průběh konkrétních povodňových událostí jejich následky v krajině. Modelová území představují povodí, která byla v různém časovém odstupu zasažena extrémními povodněmi a kde je možné na základě datových analýza a terénního maopvání postihnout a hodnotit vzájemné souvislosti mezi změnami v krajině a povodňovými událostmi. Hodnoceny jsou hlavní faktory, které se podílejí ovlivnění odtokového procesu v krajině na úrovni přírodních i antropogenních činitelů a indikátory, které umožňují odvodit informace o průběhu a následcích povodní v daném prostoru, příčinných souvislostech a konsekvencích pro management těchto oblastí.

V rámci analytických úloh je např. prováděno hodnocení antropogenních zásahů do toků a údolní nivy a hodnocení geomorfologických změn v nivách toků v důsledku povodní, analýza historických změn říční sítě a využití území, analýza dlouhodobých změn srážkoodtokových vztahů, modelování srážkoodtokových procesů ve vazbě na změny ve využití krajiny, dendrochronologická analýza a datování změn reliéfu koryta a nivy v důsledku povodní, analýza sukcesních procesů a výskytu invazních druhů v nivách zasažených povodněmi, analýza vlivu povodní za změnu struktury makrozoobentosu aj.

Experimentální úlohy

Experimentální úlohy představují skupinu úkolů, jejichž cílem je analyzovat vybrané aspekty procesů v detailním pohledu za pomoci úzce specializovaných metod a ověřovat nové postupy, metodiky, datové zdroje a analytické postupy z hlediska jejich přínosu a možnosti rutinního využití.

V rámci těchto úloh jsou např. monitorovány srážkoodtokové procesy v pramenných oblastech povodí, hodnocena dynamika vývoje revitalizovaných koryt toků, prováděny geodetické záměry údolní nivy pro účely sestavení korytového modelu a analýzy geomorfologických změn po povodni aj.

Zájmová území projektu

Z prostorového hlediska projekt staví na analýze vybraných klíčových povodí, ve kterých jsou řešeny komplexním způsobem zejména analytické úkoly. Tato území představují povodí, ve kterých byly zaznamenány extrémní povodně. Jde o povodí Blanice, Sázavy a Opavy. Ve vybraných dalších povodích

jsou potom řešeny další úlohy, které metodicky doplňují rámec řešení, ale s ohledem na specifika území a časový harmonogram řešení nejsou řešeny v komplexním záběru. Jde o povodí horní Lužnice, Chomutovky, Harasky a Kocáby a vybrané úseky údolních niv na dolních tocích.

Časový aspekt je důležitý z hlediska vyhodnocení možností a limitů hodnocení změn v krajině v důsledku hydrologických extrémů.

Nejtěsnější časový odstup mezi příčinnou událostí a hodnocením je dokumentován na povodí Sázavy, které představovalo těžiště prací v roce 2006. Díky bezprostřednímu zahájení terénních prací po odeznění povodně bylo možné založit systematické sledování dynamiky vybraných změn v nivách toků, jako např. geomorfologických změn v nivě či sukcesních procesů v důsledku povodně.

Povodí Blanice, které představuje jádrovou oblast extrémní povodně v srpnu 2002 umožňuje sledovat dynamiku procesů a změny v krátkodobém časovém odstupu od příčinné události. Toto povodí, které je klíčové pro většinu velkých letních povodní v povodí Vltavy představuje zároveň území s mimořádnou heterogenitou antropogenních zásahů do krajiny, které v různých částech povodí ovlivňují významně odtokový proces. Časový odstup v řádu jednotek let představuje zároveň limitní hranici pro možnost kvantitativního terénního zachycení projevů povodní a na základě srovnání s analýzami provedenými bezprostředně po průběhu povodně 2002 je možné sledovat dynamiku změn.

Povodí Opavy představuje zdrojovou oblast povodně z července 1997 a území, klíčové pro vývoj a průběh povodí v povodí Odry. Hodnocení, plánované na rok 2007 zde proběhne s desetiletým odstupem od extrémní události a umožní tak v kontextu zkušeností z jiných povodí odlišit typy změn v nivě, které jsou krátkodobého a dlouhodobého charakteru.

Největší časový odstup od extrémní události je v povodí Kocáby, kde časový odstup od extrémní povodně představuje 25 let. Vzhledem k absenci přímých měření průtoků v době povodně zde bude rozhodující využití hydrologického a hydraulického modelování pro rekonstrukci a variantní simulace.

Řešené úlohy a jejich vzájemná souvislost

Jednotlivé řešené úkoly jsou koncipovány tak, aby je bylo možno využít pro komplexní vyhodnocení a jako vstup pro kvantitativní analýzu pomocí geoinformatických nástrojů a modelování. Řešení je zaměřeno zejména na následující okruhy úloh:

- Regionalizace povodí ČR z hlediska sezonality povodňového ohrožení
- Analýza historických extrémních povodní
- Vymezení prostoru údolní nivы z digitálních podkladů v prostředí GIS
- Stavba a dynamika nivы a projevy povodní
- Mapování upravenosti vodních toků v povodí Sázavy
- Analýza historických změn využití území v povodí Sázavy
- Analýza historického zkrácení toku Sázavy
- Katalog historických povodní na povodí Lužnice
- Analýza historických změn říční sítě v povodí horní Opavy
- Analýza srážkoodtokových poměrů v povodí Opavy
- Analýza povodňových situací v povodí Opavy
- Dendrochronologické vyhodnocení změn reliéfu způsobených povodněmi
- Katalog historických povodní na povodí Lužnice

- Analýza historických změn říční sítě v povodí horní Opavy
- Analýza srážkoodtokových poměrů v povodí Opavy
- Analýza povodňových situací v povodí Opavy
- Dendrochronologické vyhodnocení změn reliéfu způsobených povodněmi
- Geodetické zaměření profilů pro hydraulické modelování průběhu povodní
- Monitoring odtokového režimu v experimentálních povodích
- Modelování srážko-odtokových procesů v pramenných oblastech povodí a průchodu povodňových vln
- Monitoring změn makrozoobentosu způsobených záplavami
- Mapování geomorfologických projevů povodní
- Sledování dynamiky revitalizovaného koryta toku v lokalitě Zbytiny
- Mapování a analýza extrémních geomorfologických projevů povodní
- Mapování výskytu invazních druhů v údolní nivě v důsledku povodní
- Posouzení vlivu rašeliništních lokalit na režim odtoků v pramenných oblastech toků (povodí Vydry, Křemelné, Chomutovky a Bystřice)
- Sledování dynamiky revitalizovaného koryta toku v lokalitě Zbytiny
- Monitoring odtokového režimu v experimentálních povodích v pramenné oblasti povodí Blanice
- Geodetické zaměření příčných profilů a instalace zařízení pro monitoring hydrologických procesů

Výsledky řešení projektu a jejich využití

V prvních dvou letech řešení proběhl experimentální výzkum a vyhodnocení průběhu a následků povodní 2002 a 2006 v povodí Blanice, Vydry a Sázavy a analýza následků povodní na povodí Lužnice, Chomutovky a Harasky.

Byly nově vyvinuty a testovány metodiky pro hodnocení následků povodní, identifikaci kritických prvků toků a údolní nivy, hodnocení sukcesních procesů v nivě v důsledku povodní a metodika analýzy historických změn říční sítě.

Realizován byl výzkum metodických a teoretických aspektů vlivu antropogenních zásahů do údolní nivy na průběh a následky povodně a jejich ověření matematickým modelováním.

Byl založen a realizován výzkum změn srážkoodtokových procesů v pramenných oblastech toků na základě experimentálního přístojového měření.

Výsledky projektu jsou systematicky zveřejňovány ve formě článků ve vědeckých časopisech, kapitolách v monografiích a sbornících a jsou prezentovány na mezinárodních a národních konferencích.

Řešení přináší nově vědecké poznatky, významné v mezinárodním kontextu, vytváří nové metodické postupy pro hodnocení hydrologických extrémů a změn v krajině a zároveň poznatky, aplikovatelné v praxi v souladu s požadavky zákona 130/2002Sb.

Badatelský význam projektu spočívá především v experimentálním a kvantitativním výzkumu vztahů mezi změnami v krajině a odtokem při extrémních událostech a ve vývoji nových metodických postupů pro jejich hodnocení.

Řešená problematika je významná v souvislosti s výzkumem dopadu klimatických změn, zejména hydrologických extrémů a možnostem minimalizace jejich dopadů

Projekt přináší nové metodické postupy, významné pro výzkum i použití v praxi, zejména pro hodnocení následků povodní a harmonizaci požadavků na ochranu přírody, ochranu před povodněmi a územní rozvoj v prostoru údolní nivy.

Výsledky výzkumu jsou prakticky aplikovatelné pro podporu legislativy, podporu územně plánovací činnosti a podporu rozhodování.

Praktický přínos výsledků je zejména v těchto oblastech:

- Hodnocení regionálního zatížení povodňovým rizikem a kvantitativního vyhodnocení historických povodní pro hydrologickou předpovědní službu, metodika pro terénní mapování a vyhodnocení následků povodní ve vztahu k antropogenním změnám toků a údolní nivy,
- metodika pro identifikaci a typologii kritických prvků říční sítě z hlediska negativního ovlivnění průběhu a následků povodní a prvků vhodných pro posílení retenčního a transformačního potenciálu nivy,
- metodika pro vymezení údolní nivy na základě multidisciplinárního přístupu a využití geoinformatických metod,
- metodika kvantifikace vlivu jednotlivých typů změn v krajině na průběh a následky povodní a na odtokový proces, ověřená matematickým modelem,
- návrh metody monitoringu a managementových opatření v oblastech zasažených extrémními povodněmi.

Výsledky projektu budou využity :

- Jako podklad pro monitoring a management území zasažených povodněmi,
- jako podklad pro zásady využívání a ochrany prostoru údolní nivy z pohledu harmonizace potřeb ochrany před povodněmi, ochrany přírody a ekonomického rozvoje,
- jako modelové řešení pro posuzování vlivu antropogenních zásahů do krajiny na průběh a následky povodní a odtokový proces.

Závěr

Dosavadní výsledky řešení projektu poukazují na vysokou míru antropogenního narušení vodního režimu ekosystémů zejména pramenných oblastí toků a nepříznivé důsledky změn způsobených člověkem v prostoru údolní nivy a koryt toků. Z toho důvodu budou výsledkem projektu návrhy a způsoby monitoringu a managementových zásahů v těchto oblastech, které budou základem pro tvorbu zákonných opatření, opatření pro potřebu státní správy a podnikatelských subjektů.

Podrobné informace o cílech, postupu a výsledcích řešení projektu jsou přístupné v elektronické podobě na internetových stránkách projektu <http://floodserv.natur.cuni.cz>.

Literatura

Vybrané publikační výsledky projektu za roky 2005-06

BAENA, E.R., GUERRERO, A.I., JANSKÝ, B. (2006): Comparative analysis of the floods in Prague (Czechia) and in Seville (Spain): Seed from the geographical viewpoint. Geografie - Sborník ČGS, 111, 3, p. 326-340.

ČEKAL, R. (2006): Analýza atmosférických příčin povodní na příkladu povodí horní. In: Langhammer J (eds.): Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, in print.

- ČEKAL, R. - HLADNÝ, J. - CHALUŠOVÁ, J.: Regionalizace povodí Labe na základě sezónního výskytu povodní. In: Sborník ze semináře ke grantovému úkolu. Povodně a změny v krajině. PřF UK a MŽP 2006, [v tisku].
- ELLEDER, L. (2006): Historické extrémní případy povodní v povodí Labe a Vltavy. In: Langhammer J (eds.): Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- HAIS M., 2006: Changes in Land Cover Temperature and Humidity Parameters Resulting from Spruce Forests Decay in the Centre of the Šumava National Park. Acta Universitatis Carolinae. Geographica, No. 2, 95 - 105.
- HAIS, M. (2006): Využití metod dálkového průzkumu Země pro hodnocení povodňových událostí. In: Langhammer J (eds.): Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- HARTVICH F., LANGHAMMER J., VILÍMEK V. (2007): The 2002 Flood Consequences in Otava river basin. – Water Resources, 34, 1, 14-26, Springer.
- HARTVICH, F. (2006): Vymezení údolní nivy a hodnocení na základě morfometrických parametrů pomocí GIS. In: Langhammer J (eds.): Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- HLADNÝ, J. (2006): Ochrana před povodňovým rizikem - mýty a realita. In: Langhammer J (eds.): Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- CHALUŠOVÁ, J., HLADNÝ, J., ČEKAL, R. (2006): Regional delimitation of the Elbe river basin base don flood seasonality analysis. Geografie - Sborník ČGS, 111 , 3, p. 247-259.
- CHALUŠOVÁ, J., HLADNÝ, J., ČEKAL, R. (2006): Regionalizace povodí Labe na základě sezónní analýzy výskytu povodní. In: Langhammer J (eds.): Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- CHUMAN, T., LIPSKÝ, Z., MATĚJČEK, T. (2006): Succession of vegetation in alluvial floodplains after extreme floods. Geografie - Sborník ČGS, 111 , 3, p. 314-325.
- CHUMAN, T., LIPSKÝ, Z., MATĚJČEK, T. (2006): Sukcese vegetace v údolní nivě po extrémních záplavách. In: Langhammer J (eds.): Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2006): Retenční potenciál v pramenných oblastech toků. In: Langhammer J (eds.): Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- JENÍČEK, M. (2006): Modelování srážko-odtokových procesů na malých a středně velkých povodích. In: Langhammer J (eds.): Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- KLIMENT, Z., KADLEC, J. (2006): Erozní ohrožení půd v důsledku povodní na příkladě povodí Blanice. In: Langhammer J (eds.): Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2006): Changes of runoff regime according to human impact on the landscape. Geografie - Sborník ČGS, 111 , 3, p. 292-304.
- KŘÍŽEK, M. – ENGEL, Z. (2006): Geomorphological Consequences of the 2002 Flood in the Otava River Basin. Acta Universitatis Carolinae, Geographica 38, č. 2, s. 123-135. Karolinum, Praha. [ISSN 0300-5402]
- KŘÍŽEK, M., ENGEL, Z. (2006): Geomorfologické projevy povodní - příkladová studie povodně 2002 v povodí Otavy. In: Langhammer J (eds.): Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- KŘÍŽEK, M., HARTVICH, F., CHUMAN, T., ŠEFRNA, L., ŠOBR, M., ZÁDOROVÁ, T. (2006): Floodplain and its delimitation. Geografie - Sborník ČGS, 111 , 3, p. 260-273.
- LANGHAMMER, J. (2005): Upravenost vodních toků a příbřežní zóny v povodí Blanice. In: Langhammer J (ed.): Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. PřF UK, Praha, p. 166-183.
- LANGHAMMER, J. (2006): Analýza upravenosti říční sítě a údolní nivy jako faktoru povodňového rizika. JČU, České Budějovice, p. 45-50.
- LANGHAMMER, J. (2006): Anthropogenic modifications of streams and floodplain as factor of flood vulnerability. In: Sorensen T (ed.): Sustainable Local Development. UNE, Brisbane, in print.

- LANGHAMMER, J. (2006): Geoinformatic assessment of extreme flood consequences. Case study: Flood in August 2002 in Central Europe. *Geografie - Sborník ČGS*, 111 , 1, p. 33-50.
- LANGHAMMER, J. (2006): Identification of critical elements in river network in regard to the flood risk. *Acta Universitatis Carolinae - Geographica*, 41 , 1-2, in print.
- LANGHAMMER, J. (2006): Povodňové riziko a antropogenní změny v krajině. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- LANGHAMMER, J. (2006): Upravenost vodních toků a příbřežní zóny v povodí Blanice. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- LANGHAMMER, J. (2006): Změny krajiny jako ovlivňující faktor průběhu a projevů extrémních povodní. *Sborník výsledků řešení projektu VaV SM/2/57/05 v roce 2006*. PřF UK, Praha, 209 pp.
- LANGHAMMER, J., ET AL. (2005): Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. *Sborník výsledků řešení projektu VaV SM/2/57/05 v roce 2005*. PřF UK, Praha, 203 pp.
- LANGHAMMER, J., KŘÍŽEK, M. (2006): Mapování upravenosti říční sítě a následků povodní. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- LANGHAMMER, J., KŘÍŽEK, M., MATOUŠKOVÁ, M., MATĚJČEK, T. (2005): Metodika mapování upravenosti říční sítě a následků povodní. In: Langhammer J (eds.): *Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko*. PřF UK, Praha, p. 65-72.
- LANGHAMMER, J., MATOUŠKOVÁ, M. (2006): Mapping and analysis of anthropogenic transformation of river network and floodplain as a factor of flood risk. *Geografie - Sborník ČGS*, 111 , 3, p. 274-291.
- LANGHAMMER, J., VAJSKEBR, V. (2006): Historické zkrácení říční sítě v povodí Otavy. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- LANGHAMMER, J., VILÍMEK, V. (2006): Present approaches to evaluation of anthropogenous changes in landscape as a factor of flood risk. *Geografie - Sborník ČGS*, 111 , 3, p. 233-247.
- LANGHAMMER, S. (2006): Role územního plánování v protipovodňové ochraně. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- MATOUŠKOVÁ, M. (2006): Revitalizace vodních ekosystémů a jejich význam v protipovodňové ochraně. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- MATOUŠKOVÁ, M., KLIMENT, Z. (2006): Změny srážko-odtokových poměrů v pramenných oblastech povodí Otavy. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- PODLAHA, A., KRÁLOVÁ, A. (2006): Modelování povodňových škod pro účely zajištění. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- ŠEFRNA, L. (2006): Vznik a vývoj nivy z pedogeografického hlediska. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- TREML, V. (2006): Možnosti dendrochronologie při určení změn reliéfu vyvolaných povodněmi. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- VILÍMEK, V. (2006): Přírodní ohrožení a rizika. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- VILÍMEK, V. (2006): Vliv extrémních povodní na reliéf krajiny. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.
- VILÍMEK, V., HLAVÁČ, V., ŠERCL, P. (2006): Vliv antropogenní úprav toku na průběh povodně ve vztahu k potřebám ochrany přírody - příklad přívalové povodně na Olešenském potoce. In: Langhammer J (eds.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP a PřF UK, Praha, in print.

HYDROLOGICKÉ EXTRÉMY SOUČASNOSTI A MINULOSTI

RAPID FLUVIAL PROCESSES IN THE LATE QUATERNARY

Jan Kalvoda

Charles University in Prague, Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geoecology, Albertov 6, Prague 2, 128 43, Czech Republic kalvoda@natur.cuni.cz

Abstract

Geomorphological processes operating at the Earth's surface and changing landforms are highly dependent on active tectonics, climatic conditions, circulation of water, vegetation cover and human impacts and will be significantly affected by global changes. In the presented paper the main features of the evolution of the river network in the Český masiv Massif during the Upper Cainozoic are briefly described. The importance of systematic studies of river accumulation terraces for knowledge of the influence of erosion and floodson relief changes in the Quaternary is explained. Regional geomorphological observations of recent rapid fluvial processes and events in the Czech Republic are summarized. Selected methodological aspects of their physical geographical research in the context of global changes of the natural environment are discussed.

1 Introduction

Geomorphological analysis and monitoring of selected geodynamic and climate-morphogenetic processes are considerable trends of research on global changes of geographical systems of the Earth. Rapid fluvial processes and events are substantially shared on the evolution of the georelief of large regions of continents as well as regional and/or global changes of the natural environment. In the presented study, natural hazards and fluvial risks of fluvial origin are evaluated mainly from a geomorphological point of view. However, on the basis of more than 30 years experience obtained during team-work research of variable types of natural hazards (e.g. Kalvoda 1972, 1975, 1988, 1995, Kalvoda, Zeman 1979, Kalvoda, Zvelebil 1983, Kalvoda, Prášek 1996, Kalvoda et al. 1990, 2004, etc.) the interdisciplinary character of these phenomena is emphasized. Long-term efforts to take advantage of the geomorphological approach in research of natural hazards confirmed the effectivity of interdisciplinary methods and consistent global interpretations of knowledge about the natural environment of high risk regions.

2 Notes on the evolution of the river network in the Český masiv Massif

The present-day Czech landscape gives evidence of the long-term paleogeographical evolution of the georelief of Central Europe. One of the methodological pillars of geomorphological analysis is the idea that the present landforms are the result of the paleogeographical history of the relief. The application of geomorphological research results is essential for assessing the dynamics of landscape changes in Central Europe, including natural risks and hazards.

The present-day landforms of the Český masiv Massif georelief were developing during the Neogene and the Quaternary. During the Lower Miocene, a tropical humid climate with dry periods prevailed in the Český masiv Massif, which later changed to a subtropical wet climate in the Upper Miocene. Periods of humid climate in the Neogene were characterized by very extensive erosion and denudation of the kaolinic and lateritic weathering mantle, down to the basal weathering surface. In the Oligocene and the Miocene, the main European watershed between the collection area of the epicontinental sea to the south-west and the basins of the Parathetis crossed the Český masiv Massif approximately along the north-western margin of the central Bohemian Pluton, then turned to the northern part of the Českomoravská

vrchovina Highlands, and from there it went to the north (Chlupáč 2002). The oldest indices about disposition and changes of the river network of the Český masiv Massif are preserved in the sedimentary record from the period 23 – 5 million years ago. In the Middle and the Upper Miocene, southern Bohemia was still drained to the south, which is evidenced both by relics of fluvial and lake sediments and by secondary findings of river-transported moldavites in the adjacent part of Austria. The period of their impact origin is radiometrically dated as 14.3 million years.



Fig. 1 Rocky riverbed of the Quaternary canyon-like valley of the Divoká Orlice river in the Zemská brána area originated by deep- and backward erosion in crystalline rocks of the Orlické hory Mts. The evolution of slopes in the Divoká Orlice valley depended on the intensity of antecedent cutting and on changes of climate-morphogenetic processes. In recent landform processes, slope movements, a seasonal cryogenic weathering of rocky slopes, and an episodic activity of floods are conspicuous. Photo Eva Vaníčková.

In the Upper Cainozoic, the regionally differentiated tectonic uplifts and changes of the European climate significantly manifested in the evolution of the fluvial network of the Český masiv Massif. There were important changes in its overall system and significant manifestations of epigenetic and antecedent evolution of river valleys through deep, lateral and backward erosion (Fig. 1), as well as ongoing reconstruction of the large area of sedimentation of transported material. Studies on the evolution of the Bohemian river valleys in the Upper Tertiary and in the Quaternary enable the identification of the terrace system and to stress its extraordinary structure of seven terrace accumulations with several secondary levels. The relative height of the highest terraces also indicates the approximate extent of Quaternary erosion. Moreover, incline steps of the valley bottoms of Bohemian rivers represent fronts of waves of backward erosion progressing upstream. These steps are conditioned by occurrences of more resistant rocks to erosion and also by tectonic uplifts.

In the Pliocene and at the beginning of the Quaternary, the Vltava and its affluents were still freely meandering in shallow and large valleys formed on Neogene planation surfaces. The Suchdol terrace is situated up to 2 km westwards from and 90 m above the Vltava valley. In the Middle Pleistocene, the

lower limit of which is the paleomagnetic boundary Matuyama / Brunhes 780 000 years ago, new river terrace steps were being progressively formed together with a relatively rapid epigenetic and antecedent deepening of the river network. The extensive and well developed accumulation sequence of terraces of the Vltava, Sázava, Berounka and Labe Rivers are orographically isolated from its European surroundings. For example, through the České Středohoří Mts (the Bohemian Gate) and downstream of Děčín the Labe flows in ca 380 m deep gorge through the Cretaceous sandstones within the Děčínská vrchovina Hilly Land. Moreover, during the Elster glaciation, the Scandinavian ice sheet reached this gorge in Germany destroying any older terrace evidence.



Fig. 2 Fluvial accumulation terraces in the confluence area of the Obikhingou and Surkhob Rivers developed during the Late Quaternary morphotectonic activity at the northern margin of the Pamirs. Photo Jan Kalvoda.

Deepening of the Bohemian river network in the Upper Cainozoic can be documented from studies of the relief evolution of the Děčínská vrchovina Hilly Land, which is the regional erosion base of the Česká vysočina Highlands. In the Děčínská vrchovina Hilly Land, erosion by the river Labe (Elbe) reached at least 50 m in the Pliocene and 180 – 200 m in the Quaternary (Balatka, Kalvoda 1995, Kalvoda, Balatka 1995). A related geomorphologically important process is also the oscillation of the surface of the world's oceans in the Upper Cainozoic. The difference of levels of the ocean in the European region during the Quaternary between the Eem interglacial (130 000 – 116 000 years ago) and the Vistula glacial (60 000 – 13 000 years ago) is well documented. During the Eem interglacial, the ocean flooded the English Channel and in the Vistula glacial, when the Scandinavian continental glacier moved to the Berlin region 28 000 years ago (comp. Tyráček 2001, Tyráček et al. 2004), the level of the ocean was about 120 m lower than it is today.

3 River terraces in central Bohemia related to downward erosion and flood events

The record of river terraces and related fluvial deposits from the Labe and Vltava rivers in the Czech Republic is traditionally used for evaluation of the Quaternary stratigraphy.

It is also realized that the terrace system which is widespread along the major rivers has developed this form because the Earth's surface in onshore or inner regions of continents is uplifting. When studying the terrace system and evolution of river valleys, it is necessary to use the following procedures (e.g. Balatka, Sládek 1962, Balatka, Kalvoda 1995, Balatka, Štěpančíková 2006): a) evaluation of existing regional literature, b) analysis of the lengthwise profile of river, c) a detailed field geomorphological survey of the valley (comp. Fig. 2), d) reconstruction of river terraces in the lengthwise profile and in transverse valley profiles, e) connection of the established terrace system in the studied valley to the regional terrace system; f) an outline of the main stages of the valley evolution in the Upper Cainozoic. The results of geomorphological research enable the lengthwise profile of fluvial terraces and Neogene sediment localities, the structure of transverse profiles of the river valley and important occurrences of planation surfaces to be drawn. Moreover, the lengthwise profiles show positions of pronounced valley edges of straight valley reaches (Fig. 3).

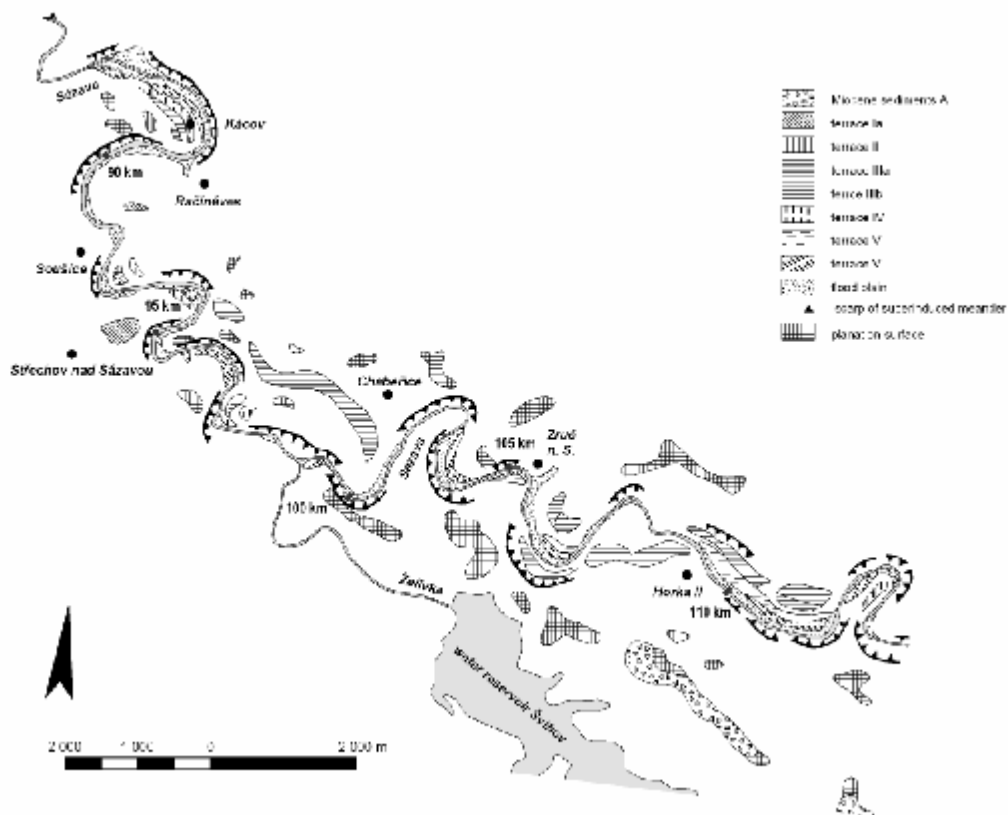


Fig. 3 The lengthwise profile of Quaternary accumulation terraces in the area of the Sázava and Želivka rivers confluence (after Balatka, Štěpančíková 2006) indicates the position of relics of former riverbeds and a gradual antecedent origin of the canyon-like Sázava valley.

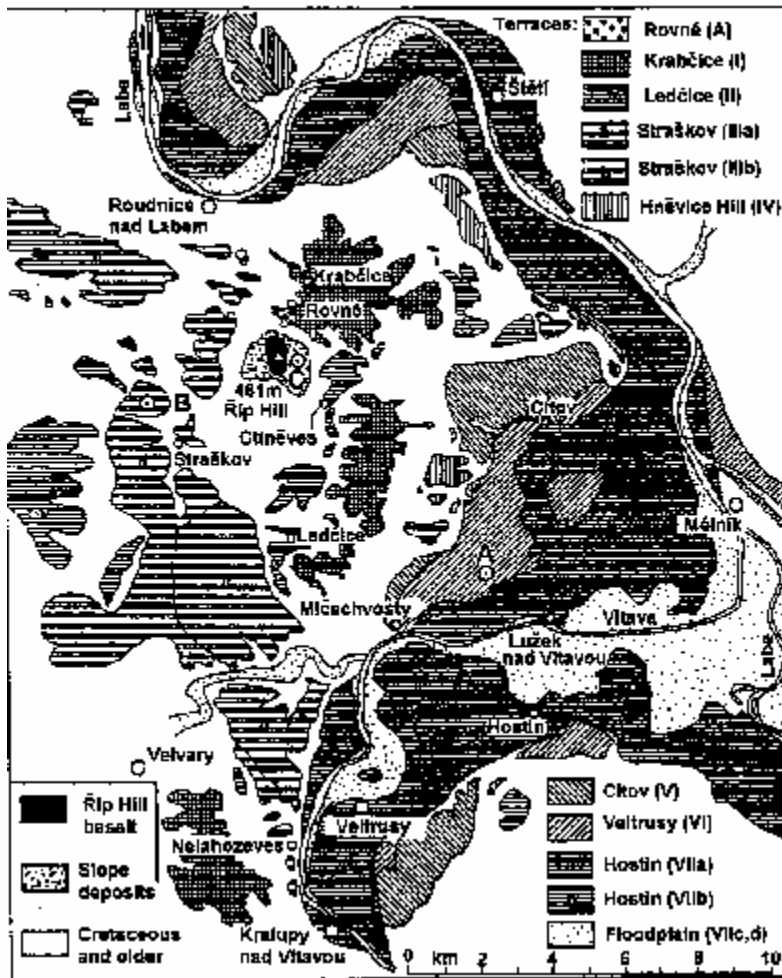


Fig. 4 Geomorphological and sedimentological analyses of river accumulation terraces originated in the Vltava and Labe rivers confluence area (Tyráček 2001, Tyráček et al. 2004) give evidence about essential changes in position of river channels during the Quaternary.

The oldest river terrace accumulations in central Bohemia are situated above the edges of the canyon valleys of the Vltava, Berounka and Sázava rivers (e.g. Záruba et al. 1977, Kovanda et al. 2001). Relics of Miocene gravels and sands in the Sulava locality near Radotín have their surface lowered by erosion at 358 m a.s.l. and their base at 314 m a.s.l., i.e. 163 m or 119 m above the Berounka level. Other relics of these sediments of Miocene age are documented from the neighbourhood of Slivenec, near Suchomasty and on Bílá Hora (380 m a.s.l.). The surface of up to 40 m thick Pliocene sands and gravels between Kobylisy and Sedlec on the Zdíbská plošina Plateau is situated at an altitude of 300 to 325 m, i.e. 125 to 150 m above the Vltava level and 35 – 60 m below the Ládví touchstone ridge (359 m a.s.l.). Northwards from these Pliocene covers on the Zdíbská plošina Plateau are found up to 20 m thick sediments (related to the Lysolaje group of accumulation terraces) with their surface 112 m above the Vltava level, dating already from the Lower Pleistocene.

The Vltava terrace sequence can be subdivided (longitudinally) into two reaches. Downstream of its confluence with the Sázava river the terraces are subparallel to each other and to the modern channel gradient of ca 0.4 m.km^{-1} . Further upstream, the channel gradient is more variable, but typically steeper than the terraces, which thus converge towards the source of the river (Balatka, Sládek 1962). An estimation of the values of the antecedent deepening of the Vltava river according to the position of relics of river accumulation terraces is influenced by a series of uncertainties such as terrace surfaces being irregularly lowered by erosion and destruction of their base. The results of the estimation are an example of the dynamics of the fluvial bedrock erosion and the transportation of weathered material in the region

of central Bohemia during the Quaternary (Kalvoda, Balatka 2006): a) Middle and Upper Miocene (10 to 5 million years ago): speed of deepening about 2 – 4 cm / 1000 years, b) Upper Pliocene and Lower Pleistocene (3 to 1 million years ago): speed of deepening 6 – 12 cm / 1000 years, c) the younger part of the Middle Pleistocene (Riss, 140 to 100 thousand years ago): speed of deepening 6 – 8 cm / 100 years (!?), d) Upper Pleistocene (Würm, 40 to 20 thousand years ago): speed of deepening about 2 – 4 cm / 1000 years, e) Holocene (10 000 years ago up to now): mostly only erosion of gravels, sands and slope accumulations in the valley bottom. The speed of downward erosion of the Vltava probably reached its maximum of between 6 and 10 cm / 100 years in part of the Middle Pleistocene.

The Straškov (IIIb) terrace of Balatka, Sládek (1962) is now ca 70 m above the Vltava river near Račiněves in the neighbourhood of Říp Mt. It is described by Tyráček (2001) as the Straškov 2 terrace and as an equivalent of the Vinohrady terrace in Prague. During aggradation of the Straškov 2 terrace, the Vltava flowed west of the Říp Oligocene – Miocene volcanic neck, subsequently diverting to its present-day position east of Říp (Fig. 4). The fluvial deposits of the Straškov terrace are comprised of a coarse lower unit and a finer upper unit (Tyráček et al. 2004). It is overlain by loess and slope deposits with paleosols representing probably two warm stages. The 12 – 14 m thick lower fluvial units with stratified sands and gravels, indicate a cold-climate braided-channel environment. The 0.5 – 2 m thick upper fluvial unit is composed of sand and fine sandy gravel, disturbed by cryoturbation. It has yielded thermophilous mammals, interglacial molluscs and archeological material.

Quantitative analysis of sediment transfers in the Quaternary environment can be concentrated on the sediment flux processes from source to sink (comp. Beylich 2006). Integrated studies in variable environments have to analyse the key processes of weathering, chemical denudation, erosion, mass movements, fluvial transport and sedimentation. It is necessary to compare knowledge on sediment fluxes and relationships between climate and sedimentary transfer processes in central Europe from a wide range of different environments.

4 Present-day fluvial hazards in the Czech Republic

Natural hazards and disasters are usually defined as those phenomena of the environment harmful to mankind. Geomorphological hazards as part of a larger group of natural hazards, including e.g. floods, slope movements, soil erosion, water quality risk, desertification, sudden weather changes and wildfires, are thought to be a possible occurrence of very dynamic and destructive landform processes or events (Panizza 1986). In hazardous areas, rapid events occur in disequibrated geomorphological systems with low stability and resistance to the disturbances of the frequency, size and extent of natural events and processes (e.g. Kalvoda 1996, 2003, Demek et al. 2006). Recent events of extreme hazardous phenomena in the Czech Republic were active morphotectonics, slope movements and/or landslides, accelerated soil erosion and floods.

Relief changes due to floods depend on variations in the spatial and time distribution of rainfall and variable geological and geomorphological conditions. Different watercourse tracks trigger variable geomorphological processes depending on the stream gradient, amount of flowing water and inclination of adjacent slopes (Vilímek, Langhammer 2005). Enormous precipitations often affect river basins formed by different types of rocks. Conspicuous relief changes are on the tracks of steeper gradients where unabsorbed water flows fast from hills to channels, and loose sediments are washed away from the valley network during floods. Free debris at the bottom of V-shaped valleys and ravines is washed away and hard bedrock is exposed (e.g. Demek et al. 2006, Vaníčková, Kalvoda 2006). Debris forms large alluvial cones at confluences. Bed erosion also steepens valley slopes making them less stable than prior to floods (Fig. 1), which leads to landslides, due to gravitation and changes of saturation conditions. Once rocks and soil are saturated by water, great amounts of soil and weathering residues may, due to surface

wash, be carried away from river basins and transported to channels. Flash-floods have a limited spatial extent, but they can also have important geomorphic consequences and cause heavy property damages.

The extreme precipitation in July 1997 activated slope movements in the flysch relief of the Outer Western Carpathians in eastern Moravia (Kirchner et al. 2000, Kolejka 2003, Kirchner 2005, Kirchner, Krejčí 2005). The slope movements originated new landslides and activated potential slope deformations. Slope failures disturbed the landscape infrastructures in many places and the impact of landslides was of the character of local natural disasters (Kirchner, Krejčí 2002, Krejčí et al. 2002). In the Vsetín region, more than 1 500 landslide phenomena were documented with the total number of slope deformations in the Outer flysch Carpathians in Moravia amounting to 3700 up to April 2001. It is important to file records on landslides and other recent geodynamic processes in river basins and specify their relations to geomorphological processes ongoing during floods (Vilímek, Langhammer 2005). Some relief patterns caused by erosion or accumulation processes during floods can be identified even after longer periods of time.

Flat flood plains usually appear in areas of a milder watercourse gradient in broadened valleys (comp. Figs 3 and 4). For example, the Morava river floodplain was totally flooded during the 1997 flood. The flood water covered the whole historical floodplain, as documented by comparison of the flood limit and of the spatial extent of Holocene fluvisols (Hrádek 1999, 2000). Due to the dense net of settlements and transport networks situated in the Morava river floodplain, the loss of life and extreme damages were extensive. Such a situation could also be documented on the Rožnovská Bečva river, around the town of Rožnov pod Radhoštěm in the Moravskoslezské Beskydy Mountains (Kirchner et al. 2000). On the contrary, in the Otava river basin in southern Bohemia, no significant flood plains damage was detected in the area between Strakonice and Písek towns, because settlements were built outside the inundation area.

Environmental specialists argue that the 1997 floods on the Morava river had such devastating effects due to anthropogenic modifications of landscape. However, it is evident that floods due to extreme rainfall conditions could not be avoided (Demek et al. 2006). The range of damage to property is mainly determined by the scope of development in inundation areas and not by deforestation of upstream areas or similar human activities. Hrádek (2000) stated that improper anthropogenic interventions into the landscape have only a small impact on major floods and their consequences. For example, the 2002 catastrophic floods caused by heavy rainfalls were triggered mainly by high soil and rock saturation after the first precipitation episode.

5 Methodological discussion

It ensues from the character of research work in Earth sciences and from current social needs in the Czech Republic that regional research work in the Central European area has to be systematically correlated to and integrated with the findings on 1) the state and development of the European landscape and society, and 2) trends of global changes in the natural environment on the Earth (Drbohlav et al. 2004). Outputs of physical geographical analyses of a generally scientific and regional character contribute not only to knowledge about the principles of the dynamic behaviour of complex natural systems, but also to the diagnostics of natural hazards, to the prognosis of catastrophic events and to solutions of risk situations during seismic and volcanic phenomena, rapid soil erosion, forest calamities, slope movements and floods in different regions of our planet.

Geomorphological research at the Faculty of Science, Charles University in Prague, is carried out within physical geographical research of the natural environment with special attention to natural hazards and risks. The topics are also connected with long-term cooperation with the Research Centre for Earth Dynamics (comp. e.g. Kalvoda et al. 2004, Kalvoda 2006). The key aims of the present geographical

project of the Faculty of Science, Charles University in Prague, within the partial theme “Natural hazards in the context of global changes” are as follows: 1) documenting the present dynamic geomorphology, geomorphological processes and their changes with a view to the paleogeographical development of the natural environment; 2) understanding how global changes affect the physical geographical system of the Czech Republic and Europe, and comparisons with the regions of Latin America and Asia; 3) determining climatic and hydrological extremes and trends in the Euro-Atlantic area; risks of occurrence, manifestations and impacts of floods; 4) calculating erosion processes due to the conditions of global changes and risks from anthropogenic degradation of soils; 5) identifying extreme natural hazards and risks.

The geographical aspect of collection, archiving and processing of data from field monitoring and measurements enables the preparation of algorithms for mathematical and physical modelling of natural processes. These databases can be used for expert systems (Goudie, Kalvoda 1997, Beylich 2006), e.g. for prognosing and prediction of extreme natural events and processes or for modelling of natural hazards and risks. Described applications can reduce negative social impacts of natural hazards and risks, including sudden, rapid or long-term extreme processes and phenomena.

Escalation of environmental degradation due to demographic pressure increases the range and intensity of natural hazards and disasters. Moreover, these rapid processes and events can very effectively trigger technological hazards. A rapid increase in human and material losses due to natural hazards and disasters is partly connected with the intensity and frequency of extreme fluvial events and processes due to climatic change. It is well known that the effects of climate change posed by the increasing degradation of the environment (including reduced water quality, desertification, deforestation and loss of biodiversity) can contribute to the severity of fluvial hazards and disasters.

Mountains and coastal regions are particularly sensitive to rapid fluvial processes. Storm surges, tsunamis and sea-level rising can be understood as special and very dangerous types of floods which were already announced in the Old Testament. Mountainous rivers are responsible for erosion and sedimentation problems (Fig. 2), but they also transport much beneficial sediment and they are sources of hydro-electric power. Global changes in precipitation, snow- and glacier accumulation and melt regions strengthened by potential energy of steep slopes and sharp gradients are being observed in the mountain areas of the world.

Another aspect to consider is the impact of climate change on the soil carbon budget. Global warming was led to a net release of carbon into the atmosphere from the Earth's surface and this process has a positive feedback, accelerating in turn the warming process. Geochemical studies of the fluvial environment help to better the understanding of geomorphological processes related to floods (Beylich 2006). The main targets are evaluation of 1) weathering rates, 2) total fluxes of elements in natural ecosystems including the disastrous impact of acidification on biota, 3) air pollution to biochemical processes and 4) trends in the chemical composition of soil and water. Acid depositions on soils and products of weathering as a whole, negatively influence the composition of soil and water by leaching cations, resulting in acidification and degradation of soils. The rate of bedrock weathering depends not only on the inclination of slopes and related phenomena but also on acidity flux from the atmosphere, mechanisms of silicate weathering and mass balance in river catchments.

6 Conclusions

Geomorphological hazard studies require a combination of detailed field investigation and theoretical interpretation (comp. Demek, Kalvoda 1992, Kalvoda 1993a, b, Kolejka 2003, Kalvoda, Nikonov 2006). They are concentrated on extreme natural events and phenomena as well as long-term geomorphological changes in the environment (Goudie, Kalvoda 1997), e.g. natural hazards arising as result of global

warming. Comparisons of regions with different extents and histories of anthropogenic impact contribute to the preparation of models of the dynamics of changes of the natural environment by using space for time substitution. It is a major challenge to develop a better understanding of the complex ecosystems and the mechanisms of morphotectonic and climatic controls of fluvial processes in the environment.

Methods of geomorphological research, focused on the origin and intensity of changes and the evolution of landforms, can ensure a comprehensive approach to understanding fluvial network development, broaden knowledge of past natural catastrophes, and support forecasting efforts in hazardous regions. Monitoring of recent geodynamic phenomena and interpreting, correlating and synthesizing measurements (e.g. Demek, Kalvoda 1991, Kalvoda, Mercier 1996, Kalvoda, Rosenfeld 1998, Košťák et al. 2000, Rybář et al. 2000, Stemberk et al. 2000) is involved in risk analysis. The increasing exposure of people to hazardous events and processes requires evaluation of integrated risk management. Research into fluvial processes and their rapid and/or extreme events is closely related to the progressively relevant problems connected to climate changes. It provides great potential to modelling of relationships between neotectonic and climate-morphogenetic processes in a wide range of environments.

Global geomorphological research of flood situations proves that floods should be respected as general and usual natural phenomena forming one part of the long-term landscape evolution (Demek et al. 2006). Floods and rapid fluvial processes as a whole could be attributed to locally retained water due to unsuitably situated facilities or to extreme precipitations and very high discharge values in a particular local river basin. Respecting natural processes and phenomena of various spatial and time scales can be implemented as an effective strategy of natural hazard prevention and clearance of consequences of sudden or catastrophic geodynamic events.

Acknowledgements

The paper was completed in the framework of the physical geography themes of the research project of the Faculty of Science, Charles University in Prague, MSM 0021620831 "Geographical systems and risk processes in the context of global changes and European integration".

References

- Balatka B., Sládek J. (1962): Terasový systém Vltavy a Labe mezi Kralupy a Českým středohořím. Rozpr. Čs. Akad. Věd, Ř. mat.-přír. V., 72, 1, 62 p., Praha.
- Balatka B., Kalvoda J. (1995): Vývoj údolí Labe v Děčínské vrchovině. Sb. ČGS, 100, 3, 173-192, Praha.
- Balatka B., Štěpančíková P. (2006): Terrace system of the middle and lower Sázava River. Geomorphol. Slovaca, 6, 1, 69-81, Bratislava.
- Beylich, A. A. (Ed., 2006): SEDIFLUX - Sedimentary Source-to-Sink-Fluxes in Cold Environments. First ESF SEDIFLUX Science Meeting, Saudarkrokur, Iceland. Geomorphology, 80 (1-2), 146 p., Amsterdam.
- Demek J., Kalvoda J. (1991): Kritéria geomorfologického hodnocení lokalit výstavby a provozu jaderně energetických zařízení. Životné prostredie, XXV, 6, 313-315, Bratislava.
- Demek J., Kalvoda J. (1992): Geomorphology and the Location of Nuclear Power Plant Sites: the Czechoslovak Experience. GeoJournal, 28, 4, 395-402, Dordrecht, Boston, London.
- Demek J., Kalvoda J., Kirchner K., Vilímek V. (2006): Geomorphological aspects of natural hazards and risks in the Czech Republic. Stud. Geomorphol. Carpatho-Balcan., XL, 145 p., 79-92, Kraków.
- Drbohlav D., Kalvoda J., Voženílek V. (Eds, 2004): Czech Geography at the Dawn of the Milenium. Palacky University in Olomouc, 428 p., Olomouc.
- Goudie A. S., Kalvoda J. (1997): The study of environmental hazards in extreme environments as a frontier for physical geography. Acta Univ. Carol., Geogr., XXXI, 2, 11-14, Prague.

- Hrádek M. (1999): Geomorphological aspects of the flood of July 1997 in the Morava and Oder Basins in Moravia, Czech Republic. *Stud. Geomorphol. Carpatho-Balcan.*, XXXIII, 45-66, Krakow.
- Hrádek M. (2000): Geomorfologické účinky povodně v červenci 1997 na území severní Moravy a Slezska. *Geogr. Čas.*, 52, 4, 303-319, Bratislava.
- Chlupáč I. (Ed., 2002): *Geologická minulost České republiky*. Academia, 436 p., Praha.
- Kalvoda J. (1972): Geomorphological studies in the Himalayas, with special reference to the landslides and allied phenomena. *Himal. Geol.*, 2, 301-316, New Delhi.
- Kalvoda J. (1975): Svahové pohyby v Nepálském Himálaji. *Stud. Geogr.*, 51, 185-187, Brno.
- Kalvoda J. (1988): Recent orogeny of the Himalayas – a remarkable geomorphological event. *J. Geodyn.*, 9, 2-4, 319-329, Amsterdam.
- Kalvoda J. (1993a): Geomorphological hazards and risks of selected nuclear power plants in Czechoslovakia. *Acta Univ. Carol., Geogr.*, XXVII, 1, 111-113, Praha.
- Kalvoda J. (1993b): Some observations of the morphotectonic activity in the Pamirs and Thian-Shan. *Acta Univ. Carol., Geogr.*, XXVII, 2, 3-20, Praha.
- Kalvoda J. (Ed., 1995a): *Dynamic geomorphology of tectonic active zones*. *Acta Univ. Carol., Geogr.*, XXX, Suppl., 167 p., Praha.
- Kalvoda J. (1995b): Geomorphological analysis of levelling measurements between Mikulovice village and Jezeří Castle in the Krušné hory Mountains. *Acta Univ. Carol., Geogr.*, XXX, Suppl., 139-160, Praha.
- Kalvoda J. (1996): The geodynamics of landforms hazard processes. *Acta Univ. Carol., Geogr.*, XXXI, 2, 7-32, Praha.
- Kalvoda J. (1998): Geomorphological hazards on stratovolcanos in Southwest Asia. *Acta Univ. Carol., Geogr.*, XXXIII, 1, 31-49, Praha.
- Kalvoda J. (2001): Progress in physical geography. *Acta Univ. Carol., Geogr.*, 36, 2, 29-47, Praha.
- Kalvoda J. (Ed., 2003): *Global change in geomorphology*. *Acta Univ. Carol., Geogr.*, XXXV, Suppl. 2000, 262 p., Praha.
- Kalvoda J. (2006): Geomorfologie ve výzkumných záměrech Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze a Výzkumném centru dynamiky Země. In: I. Smolová (Ed.) „Geomorfologické výzkumy v roce 2006“. *Geomorfol. Sb.*, 5, 88-93, Olomouc.
- Kalvoda J., Zeman A. (1979): Sledování pohybů zemského povrchu na geodynamickém polygonu Horní Bečva v Moravskoslezských Beskydech. *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 54, 6, 349-360, Praha.
- Kalvoda J., Zvelebil J. (1983): Porušování skalních svahů údolí Labe v Děčínské vrchovině. *Sbor. Pr. Geogr. Úst. ČSAV*, 1, 163-173, Brno.
- Kalvoda J., Demek J. (1991): Geomorfologická specifika vybraných lokalit jaderných elektráren v ČSFR. *Životné prostredie*, XXV, 6, 300-305, Bratislava.
- Kalvoda J., Balatka B. (1995): Chronodynamics of the Labe River antecedence in the Děčínská vrchovina Highland. *Acta Montana, Ser. A*, 8 (97), 43-60, Praha.
- Kalvoda J., Mercier J.-L. (Eds, 1996): *The geodynamics of landforms hazard processes*. *Acta Univ. Carol., Geogr.*, XXXI, 2, 113 p., Praha.
- Kalvoda J., Prášek J. (1996): Geomorphological observations in the area of the Bečva geodynamic polygon (the Moravskoslezské Beskydy Mountains). *Stud. Geomorphol. Carpatho-Balcan.*, 30, 63-72, Kraków.
- Kalvoda J., Rosenfeld Ch. (Eds, 1998): *Geomorphological Hazards in High Mountain Areas*. The GeoJournal Library, Vol. 46, Kluwer Acad. Publ., 314 p., Dordrecht, Boston, London.
- Kalvoda J., Balatka B. (2006): Morfostrukturní vývoj reliéfu české části Českého masivu. *Morphostructural evolution of the relief of the Bohemian part of the Český masiv Massif*.

- In: B. Balatka, J. Kalvoda (Eds): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografia a.s., 79 p. a příl., 5-12, Praha.
- Kalvoda J., Stemberk J., Vilímek V., Zeman A. (1990): Analysis of levelling measurements of the Earth's surface movements on the geodynamical polygon Mikulovice – Jezeří in the Krušné hory Mts. Proc. 6th Congr. Intern. Assoc. Engin. Geol., Vol. 3, 1631-1637, Amsterdam.
- Kalvoda J., Vilímek V., Zeman A. (1994): Earth's Surface Movements in the Hazardous Area of Jezeří Castle, Krušné hory Mountains. *GeoJournal*, 32, 3, 247-252, Dordrecht, Boston, London.
- Kalvoda J., Zvelebil J., Vilímek V. (1997): Geomorphological history and monitoring of selected rapid mass movements in north-western Bohemia. – In: J. A. Matthews et al. (Eds) "Rapid mass movement as a source of climatic evidence for the Holocene". *Paläoklimaforschung, Spec. Iss.*, Vol. 19, 444 p., 137-146, Mainz, Stuttgart.
- Kalvoda J., Kostelecký J. (jr.), Kostelecký J. (2004): A pilot morphotectonic interpretation of position changes of the permanent GPS stations in Central Europe. In: D. Drbohlav,
- J. Kalvoda, V. Voženílek (Eds): *Czech Geography at the Dawn of the Milenium*. Palacky University in Olomouc, 428 p., 113-123, Olomouc.
- Kirchner K. (2005): On distribution of slope deformations in the north-eastern part of the Vizovická vrchovina Highland in Eastern Moravia. *Acta Univ. Carol., Geogr.*, XXXIX, 1, 5-18, Praha.
- Kirchner K., Krejčí O. (2002): Slope deformations and their significance for relief development in the middle part of Outer Western Carpathians in Moravia. *Morav. Geogr. Rep.*, 10, 2, 10-19, Brno.
- Kirchner K., Krejčí O. (2005): Slope deformations – an important geomorphological phenomenon of the Outer Western Carpathians. *Geographia, Studia et Dissertationes Univ. Sosnowiec*, 27, 25-38, Katowice.
- Kirchner K., Lacina J., Krejčí O. (2000): Výzkum povodňového koryta Bečvy – význam výzkumu a ochrany. In: Sbor. Přísp. Worksh. "Extrémní hydrologické jevy v povodích", ČVUT, 157-162, Praha.
- Kolejka J. (2003): Geoekologické aspekty zmírňování povodňových škod. *Geografie – Sbor. ČGS*, 108, 1, 1-13, Praha.
- Košťák B., Kalvoda J., Stemberk J., Rybář J., Vilímek V., Zvelebil J. (2000): Deformational function of tectonic structures in massifs. *Acta Montana, IRSM AS CR, Ser. AB, No 8 (115)*, 17-22, Praha.
- Kovanda J. et al. (2001): *Neživá příroda Prahy a jejího okolí*. Academia, ČGÚ, 215 p., Praha.
- Krejčí O., Baroň I., Bíl M., Jurová Z., Hubatka F., Kašpárek M., Kirchner K., Stach J. (2002): Some examples of deep-seated landslides in the Flysch belt of the Western Carpathians. In: J. Rybář, J. Stemberk, P. Wagner (Eds): *Landslides*, A. A. Balkema Publ., 373-380, Amsterdam.
- Nikonov A. A., Kalvoda J. (2006): Recent morphotectonic movements of the Vakhsh nappe in the Northern Pamirs. *Geomorphol. Slovaca*, 6, 1, 23-35, Bratislava.
- Panizza M. (1986): Geomorphological hazard assesment and the analysis of geomorphological risk. *International Geomorphology, part I*, 225-229, London.
- Rybář J., Vilímek V., Cílek V., Košťák B., Novotný J., Stemberk J., Suchý J., Kalvoda J., Cajz V., Hlaváč J. (2000): Rozbor vývoje hlubokého porušení svahů v neovulkanitech Českého středohoří. *Acta Montana, IRSM AS CR, Ser. AB, 8 (115)*, 149-156, Praha.
- Stemberk J., Vilímek V., Kalvoda J., Košťák B., Rybář J., Zvelebil J. (2000): Analysis of manifestation of tectonic activity in seismically active regions of the Bohemian Massif. *Acta Montana, IRSM AS CR, Ser. AB, No 8 (115)*, 61-63, Praha.
- Tyráček J. (2001): Upper Cenozoic fluvial history in the Bohemian Massif. *Quatern. Internat.*, 79, 37-53, London.
- Tyráček J., Westaway R., Bridgland D. (2004): River terraces of the Vltava and Labe (Elbe) system, Czech Republic, and their implications for the uplift history of the Bohemian Massif. *Proc. Geol. Assoc.*, 115, 101-124, London.

Vaníčková E., Kalvoda J. (2006): Geomorphology of the Divoká Orlice valley in the Zemská brána Gate area, The Orlické hory Mountains, Czech Republic, *Geomorphol. Slovaca*, 6, 1, 36-44, Bratislava.

Vilímk V., Langhammer J. (2005): Assessment of flood coarse and consequences. *Acta Univ. Carol., Geogr.*, XXXVIII, 2, 203-217, Praha.

Záruba Q., Bucha V., Ložek V. (1977): Significance of the Vltava Terrace system for Quaternary chronostratigraphy. *Rozpravy ČSAV, Ř. mat.-přír. V.*, 87, 4, 90 p., Praha.

Résumé

Geomorfologická analýza a monitoring geodynamických a klimato-morfo-genetických procesů a jevů jsou výraznými trendy výzkumu globálních změn přírodního prostředí. V regionálně a metodologicky zaměřené studii o rychlých fluviálních procesech jsou přírodní ohrožení a rizika hodnocena převážně z geomorfologického hlediska. Na základě zkušeností získaných prací v týmech při výzkumu různých typů přírodních ohrožení je však zdůrazňován jejich komplexní charakter. Efektivní snahy využívat geomorfologické metody při aplikovaném výzkumu přírodních ohrožení a rizik potvrdily, že optimální je interdisciplinární přístup a důsledná komplexní interpretace poznatků o fyzickogeografickém prostředí rizikových oblastí.

V regionální části práce jsou stručně popsány hlavní rysy vývoje říční sítě Českého masivu v mladším kenozoiku a je vysvětlen význam systematického studia říčních akumulčních teras pro poznání vlivu eroze a povodní na změny reliéfu v kvartéru. Dále jsou shrnuty regionální geomorfologické poznatky o recentních rychlých fluviálních procesech a jevech v České republice a diskutovány vybrané metodologické aspekty jejich fyzickogeografického výzkumu v kontextu globálních změn přírodního prostředí a společnosti.

HISTORICKÉ EXTRÉMNÍ PŘÍPADY POVODNÍ V POVODÍ LABE A VLTAVY

Libor Elleder

Český Hydrometeorologický Ústav, Na Šabatce 17

Abstrakt

Příspěvek přináší přehled extrémních událostí v povodí dolní Vltavy v posledních devíti stoletích a zároveň i přehled historických způsobů jejich záznamu. Kromě odhadu kulminací přináší i srovnání pražské řady s údaji z Berouna, Litoměřic, Ústí nad Labem, Děčína a Drážďan. Příspěvek se dále zabývá analýzou časově proměnlivé sezonality extrémních případů a upozorňuje na jejich kumulaci, nebo absenci v některých historických obdobích.

Klíčová slova: extrémy, historické povodně, sezonalita, proxydata

1 Úvod

Příspěvek vychází z materiálu, který předkládá publikace Brázdil et al. (2005). Jedná se především o publikovaný přehled povodní na dolní Vltavě v předinstrumentálním období a přepočtené výšky povodní v profilu Křížovnického kláštera (1481-1890). Obecnou nevýhodou dokladů o historických povodních je nehomogenita jednotlivých řad. Ta může být dána spojením zmínek o extrémních případech s případy běžných povodní. Přitom bodové hodnocení extremity je často ztíženo jen kusým popisem povodně.

Na základě dokladů o vývoji terénu v Praze, údajů vycházejících z historických relativně objektivních záznamů a povodňových značek je předložen soubor extrémních pražských povodní, který je pak podroben rozboru z hlediska sezonality povodní a jejich klimaticky podmíněných změn.

1.1 Zájmové území

Výběr zájmového území a zpracovávaného období v našem případě úzce souvisí. Důvodem je omezenost „datové“ základny. Výběr území se totiž nutně zužuje na dolní Vltavu, dolní Labe, event. Ohři, kde je k dispozici zatím nejvíc literárních podkladů týkajících se povodní. V daném případě byly povodňové případy studovány na dolní Vltavě v Praze.

Druhým důvodem je i význam Vltavy, která je z povodňového hlediska nejdůležitějším tokem pro celé povodí Labe (nejen v ČR). Na ostatních důležitých povodích byly prozatím vybrány z historických materiálů jen nejvýznamnější případy, zejména pak ty, jejichž význam převyšuje případy z instrumentálního období hydrologie.

1.2 Zpracované období

V povodí dolní Vltavy je možno sestavit relativně věrohodné doklady o významných povodních od 12. století, i když výrazně lepší situaci přináší až konec 15. století. Určitým problémem, který se někdy může promítnout při popisu frekvence historických případů je nerovnoměrná úroveň a četnost zaznamenávání povodňových případů. Četnost historických záznamů je tedy funkcí času a má většinou (ne vždy) stoupající tendenci. V Praze jsou např. povodňové případy zaznamenávány častěji a přesněji v 16. století, než v následujícím období pobělohorském (17. a částečně i 18. století). Důvody popsali např. Kotyza (2002).

Zprávy o historických povodních před r. 1825 s přiřazením vodních stavů přepočtených do metrické soustavy v Praze (či jejich odhadem) poprvé publikoval Dlouhý (1899), později také Novotný (1960), Kotyza (1995) a výchozím materiálem je kromě autorových vlastních poznatků Brázdil et al. (2005).

Podrobnější pohled na některé údaje o historických povodních a měření v Klementinu od r. 1781 jsou publikovány v závěrečné zprávě grantového úkolu VaV 650/6/03 DÚ 02 Vliv, analýza a možnosti využití ochranné funkce údolních nádrží, v kapitole věnované historickým povodním, Elleder (2005).

1.3 Výběr podle extremity povodní

Byly vybírány povodně na předpokládané úrovni Q_k (kulminační stav) $> Q_{50}$. U starších případů (do r. 1481) splňují tento požadavek povodně, které v Praze přestoupily nižší terasu VIIc, resp. dosáhly terasy VIIb, což obvykle dokumentuje dosažení chrámů sv. Mikuláš a Jiljí, Hrdlička (2000). Od roku 1481 jsou to povodně, jejichž kulminační stavy byly vyšší než 420 cm na vodočtu „U Křížovníků“, Brázdil et al. (2005). Tento požadavek splňují podle nynějších poznatků případy uvedené v tab. 1.

Pro účely této studie byly však vybrány pouze extrémní případy. Bylo to mimo jiné v zájmu homogenizace datového souboru a pochopitelně na úkor jeho četnosti. Nechá se tedy shrnout, že tento výběr byl dán třemi důvody:

- 1) eliminovat nerovnoměrnosti v evidenci historických případů v různých obdobích
- 2) eliminovat vliv dnes těžko postižitelných změn profilu
- 3) ve vztahu ke kolísání klimatu je užitečné sledovat zejména extrémní a plošně rozsáhlé případy

Na základě tohoto kritéria bylo možné očekávat v průběhu devíti století průměrně 18 případů na úrovni větší či shodné s Q_{50} . Pokud počítáme i případ z roku 2002 jedná se celkem o 21 případů, viz tab. 1

1.4 Metoda

V rámci této studie byly použity jen podklady získané z archeologických výzkumů, literárních pramenů, povodňových značek a pravidelných měření vodních stavů. Poznátky o vývoji terénu Starého Města jsou založeny na konzultacích s PHDr. L. Hrdličkou, též Hrdlička (2001). Tyto informace jsou využitelné zejména v souvislosti s povodní 1432, kdy došlo k zaplavení nejnižší maninské terasy včetně podterasy VIIb (tedy zřejmě většina Staroměstského náměstí). Autor se přidržel zpráv o dosahu vody k budovám (kostely sv. Jiljí, sv. Mikuláše a sv. Linhartu na Starém Městě) stojícím na hraně terasy VIIb, Hrdlička (2000). Zaplavení těchto míst je dokladem extrémní povodně (cca nad Q_{50}).

1.4.1 Zpracování dokumentárních zdrojů

Rozsáhlý soubor materiálu překládá zmíněná výchozí publikace, Brázdil et al. (2005). Tato práce představuje spolu s dalšími publikacemi v řadě Historie Klimatu v Čechách a přehledem vltavských a labských povodní, Kotyza (1995) zároveň nejúplnější přehled věnovaných historickým povodním. Ostatní zdroje měly spíše charakter doplňkový, Börngen, M., Tetzlaff, G., ed., (2000A-B).

1.4.2 Povodňové značky a nejstarší záznamy maximálních hladin

Nejstarší dodnes dochované pražské povodňové značky (z let 1675 až 1890) jsou na budově Křížovnického kláštera v blízkosti dvou z pražských moderních vodočtů - Křížovnický klášter (pozorování od r. 1887) a Staroměstské mlýny (pozorování od r. 1825). Na stejné budově je osazený i ojedinělý vodočet užívaný nejméně od 15. století. Je to kamenná asi 70 cm vysoká mužská hlava s vousem zvaná Bradáč, Elleder (2003). Je umístěná tak, že dosah vody k její nejnižší části (vousu) znamenal zatápní pobřežních částí města, tedy přibližně ulice Platněřské, či dnešní Karoliny Světlé. Zatopení celé hlavy bylo spojeno s významným zatápním nižší části Starého Města. Jako příklad můžeme uvést zaplavení oblasti Anenského náměstí a přilehlého kláštera sv. Anny (dnes budova Nadace

Vize 97), nebo části oblasti Mariánského náměstí. Podle různých zmínek v kronikářských zdrojích, je podle něj možno odvodit výšky cca 18 povodní (1481- 1736) s přesností uváděnou obvykle (po převodu do metrické soustavy) na 10 avšak někdy jen 30 cm.

S větší opatrností můžeme tak prodlužovat řadu alespoň nejvýznamnějších povodní k roku 1675 podle zmíněných povodňových značek. Pokud využijeme záznamů o dosahu povodní vůči Bradáči, prodloužíme pražskou řadu až do roku 1481 o cca 20 případů.

Analogická, ale obvykle obtížnější situace je i v jiných místech v Čechách. Důstojným protějškem uvedených pražských zdrojů jsou evropsky významné značky provedené do paty děčínské zámecké zámecké skály. Nejstarší autentická značka pochází z roku 1595, v reliktu však dokonce z roku 1432, Brázdil et. al (2005). Nejvýše najdeme značku z roku 1118, kterou však kdosi zhotovil soudě dle jejího provedení snad někdy v 16. či 17. století pravděpodobně dle staršího vzoru či informace, Kotyza (2006). Odborná veřejnost si zatím nebyla vědoma ani existence starého vodočtu z 18. století, který najdeme v sousedství těchto značek (jeho nula byla vztažen k někdejšímu stavu odpovídajícímu plnosplavnosti v daném úseku).

Bohužel dodnes neexistuje kromě soupisů na horní, dolní Vltavě a Labi, (Marhold, 1966a,b,c), centrální evidence povodňových značek. Některé údaje lze najít ve starších podélných profilech našich toků zejména vydávaných ve 20. až 40 letech VÚV TGM. Povodňové značení se vyskytuje i v účelových plánech např. Prahy, či mapových podkladech Komise pro splavnění českých řek. Podrobnější popis potenciálu povodňových značek uvedl Brázdil et al.(2005), soupis některých z nich a významnějších bodů vztahujících se k povodním uvedl Elleder (2005d), na problémy spojené povodňovými značkami upozornil v příspěvku na konferenci ESEH ve Florencii autor, Elleder (2005a).

1.4.3 Instrumentální období měření vodních stavů

Prvá soustavná měření vodních stavů spadají do 20. let 18. století a jsou k dispozici na Labi v Magdeburku nebo Seině v Paříži, Dlouhý (1899). Počátek instrumentálního období klademe u nás někdy do 80. let 19. století, kdy existovala již hustší síť vodočtů na hlavních tocích a podrobná srážkoměrná síť.

Jenže prvá měření povodňových stavů jsou i u nás mnohem starší. Je dobře známo, že rokem 1775 začíná v Praze klementinská řada měřených teplot a atmosférického tlaku, rokem 1804 pak spojitá řada měření srážek. Pokud se však týká záznamu vodních stavů jeho počátek byl u nás obvykle kladen do roku 1825 a to do Prahy (magistrátní měření), Novotný (1960). Důvodů proč začal pražský magistrát s tímto měřením mohlo být několik a přispěla mu jistě velká červnová povodeň roku 1824 (ostatně i počátek Hydrografické komise pro království České je spojen s povodní roku 1872 a suchem roku 1874).

Již roku 1781, a to v poznámkách ke klementinským pozorováním (Hlaváč,1977), hovoří tehdejší ředitel observatoře Antonín Strnad (1746–1799) jasně o úmyslu začít s měřením vodních stavů, též Brázdil et al. (2005). Prvá poznámka o výšce povodně se vyskytla sice již roku 1775, ale teprve po roce 1781 se objevují výšky kulminačních stavů některých povodní v měrných jednotkách. Tak jako meteorologická měření byla součástí tehdejší mezinárodní spolupráce a výměny, nemusely být ani tyto pokusy izolované. V Drážďanech a Míšni totiž začal s měřením vodních stavů již zmíněný Ch.G. Pötzsch (1732-1805) a to roku 1774. Do jaké míry a jak dlouho trvala měření vodních stavů v Klementinu a do jaké míry byla závislá na magistrátním měření není zatím jasné.

Nepravidelné zmínky vodních stavů v klementinských poznámkách a později pravidelně v klementinských ročenkách (od roku 1837) nejsou zatím zpracovány a vyhodnoceny. Jisté však je že odpovídající vodní stavy z „Klementinských ročenek“ jsou systematicky o 30 cm vyšší než magistrátní měření.

Od roku 1851 začínají další měřené řady v Litoměřicích (nepravidelně ale již od r. 1824), v Mělníce, Ústí nad Labem, Děčíně a Českých Budějovicích (od roku 1859) - archiv ČHMÚ, Elleder (2004b). V kronikářských zdrojích či dobovém tisku (např. deník Bohemia) lze ovšem nalézt i doklady o záznamu vodních stavů v jiných lokalitách ještě před započítím pravidelných měření. Ty bývají většinou vztaženy k normálu jezu v dotyčném místě. Je pravděpodobné, že výška byla stanovena příležitostným odměřením a ne s pomocí stálého vodočtu. Situaci osvětluje příklad dobové praxe zveřejněný v Národních listech v průběhu jedné z povodní koncem 19. století, kdy po překročení škály osazeného vodočtu byly hladiny značeny po hodinách přímo na zed' Staroměstských mlýnů.

Příkladem jsou i útržkovité záznamy o průběhu povodně roku 1846 v Lobkovicích, Kostelci n. L. (k normálu jezu), což lze uvést za množství jiných případů. Doklady o nich se objevují častěji v druhé polovině 19. století zejména v dobovém tisku. K těmto řadám přibyly zejména v 80. letech 19. století měření v závěrových profilech Berounky, Otavy, horního Labe a Ohře. Bohužel až počínaje rokem 1876 jsou dostupná i měření v Praze. Příčinou je ztráta pražských raportů z období 1825 až 1890, ke které došlo pravděpodobně někdy v průběhu II. světové války. Tato skutečnost problematizuje význam jinak unikátní pražské řady. Z této řady jsou dostupné jen kulminační stavy a průtoky, resp. měsíční průměrné průtoky 1825 až 1954, Novotný (1960). Průběhy některých důležitých povodní v Praze byly ale již dříve publikovány v tisku a také některých pragensích. Kromě toho jsou k dispozici i v „Klementinských ročenkách“ v tabulce Niederschläge (srážky) údaje o měsíčních maximálních, minimálních a průměrných stavech a nepravidelně i průběhy povodňových situací v Praze (vodní stavy v palcích). O této skutečnosti se však donedávna nic nevědělo a je publikována poprvé.

2 Výsledky

2.1 Přehled extrémních povodní v povodí dolní Vltavy

V následujícím textu je prezentován soubor vybraných extrémních povodní na dolní Vltavě v Praze. Popis vybraných případů z let 1432, 1501, 1655, 1675, 1784, 1799, 1845, 1862, 1890 a 2002 uvádí Brázdil (2005).

Kulminační stavy jsou v tab.1, zároveň s kulminačními stav v Berouně, Elleder (2007) Litoměřicích, Kotyza (2006), Ústí nad Labem, Elleder (2005D), Děčíně, Brázdil et al.(2005) a Drážďanech, Mudelsee. Paralelní řady potvrzují zároveň věrohodnost údajů pražských. Neznámou dřívější tradici záznamu hladin (snad někdejší povodňové značky poblíž mostu přes Bílinu), reprezentují výšky několika středověkých povodní v Ústí nad Labem, které byly zaměřeny, jejich věrohodnost lze však zatím těžko hodnotit. Zatím nejsou uvedeny další paralelní řady na horní Vltavě, Lužnici, Otavě, Sázavě, a horním a středním Labi, Jizeře, které jsou zatím pouze rozpracovány. V tab. 1 jsou uvedeny dle popisů v nejzákladnějších rysech uvedeny příčiny (regionální deště, lijáky, vysoká nasycenost, neobvyklé množství sněhu atd...) a průvodní jevy povodní (ledové či jiné bariéry), tak jak plynou z dokumentárních zdrojů.

Dalším kvalitativním stupněm jsou rekonstrukce povodňových případů, nebo alespoň pokusy o ně. Je míněna buď prezentace rekonstruovaných hydrogramů povodní získaných z rozličných sekundárních zdrojů. Jedná se především o dobový tisk, který od poloviny 19. století (na rozdíl od dnešního stavu) zveřejňoval prakticky denně ranní měření v Praze na Vltavě, za povodní často měření hodinová. I tak lze nahradit některé údaje ze ztracených raportů pražských měření 1825-1890, Novotný (1960). V jiných případech lze využít nezávislá měření prováděná v Klementinu, nebo další zdroje. Takto byly prezentovány některé zimní povodně jako např. 1784, Elleder, Munzar (2003), dále 1785, 1799, 1830 a 1845, Elleder (2005), 1846, Elleder (2006).

Tab. 1 Popisované povodně s jejich příčinami a průvodními jevy, Hk /cm/, kulminační vodní stavy odpovídají hodnotám uvedeným v Brázdil et al.(2005) pro Prahu, Litoměřice, Děčín, Elleder(2004a) pro Beroun, Elleder(2005d) pro Ústí (Děčín, Praha), Mudelsee pro Drážďany

Rok	Měsíc	Typ	Příčiny a následky	Beroun	Praha	Litoměřice	Ústí	Děčín	Drážďany
1118	Září	S _{AS}	?	Není	>600	Není	Není	>1050	Není
1272	12.(19.) březen	W _{M2}	Wis,Sn	Není	>420	Není	802?	Není	Není
1273	18.(25.) srpen	S _{AS}	?	Není	>420	Není	809?	Není	Není
1342	1. (8.) únor	W _{F2}	Wis,Sn	Není	>420	Není	910?	Není	Není
1359	1. (9.) září	S _{AS}	Rh	Není	>420	Není	788?	Není	Není
1367	3. (11.) březen	W _{M2}	?	Není	>440	Není	853?	Není	Není
1370	15. (23.) srpen	S _{AS}	API, Rh(14)	Není	>420 ?	Není	Není	Není	Není
1373	13. (21.) březen	W _{M2}	?	Není	>420	Není	842??	Není	Není
1374	12. (20.) únor	W _{F2}	?	Není	>420	Není	Není	Není	Není
1432	23. (1.4.) březen	W _{M2}	Wis,Sn	Není	>420	Není	783	Není	Není
1432	22. (31.) červenec	S _{AS}	D,Rh(2,5),Bw	Není	>650	698	893	939	Není
1501	15.(25.) srpen	S _{AS}	D,Rh(8),Bw	Není	516	X	822	842	566
Změna kalendáře přechodem z 6.1.1584 na 17.1.1584									
1598	12.březen	W _{M2}	Wrs,S, Wis	482	485	X-60	Není	880	Není
1598	15.srpen	S _{AS}	API, Rh(2), Wis	?	485	X-75	Není	Není	Není
1655	15.únor	W _{F2}	Ws,S, Wis	444	>420	630	830	865	538
1675	23.červen	S _{Ju}	API,Rh	460	485	Není	Není	682	408
1784	28.únor	W _{F2}	Wrs,S(60), I,Wis(6), Rh(2),Bi	421	575	643	827	893	617
1799	22.únor	W _{F2}	I, Wrs,S(60), Wis(6),Rh	329		604	697	810	524
1845	29.březen	W _{M2}	Wrs,S(100), I Wds(8)	336	576	727	911	1039	577
1862	1.únor	W _{JF}	Rh(1)	241		666	843	895	524
1890	4.září	S _{AS}	API,Rh(2-4),Bw	526	504	670	805	840	537
2002	14.srpen	S _{AS}	AF,Rh(2)	400*	635	Není	986	997	640

Vysvětlivky: Wrs=tuhá zima, S=sníh, Sn= nový sníh, Rh=výdatný déšť(počet dnů), API=vysoká nasycenost, AF=předběžná povodeň, D=sucho, Wis(=)silný vítr(Beaufortova stupnice 1-12), Bw=bariéry, w=dřevo,i=led, I=silný led> 30 cm, ?=pochybnost, ??=značná pochybnost, X=relativní hodnota, Typ: viz tab. 2

Pozn. : Diference mezi původním Juliánským kalendářem a skutečným datumem vzrůstala každých cca 128 let o 1 den až do r. 1582 , resp. u nás do r. 1584. Protože výsledná diference byla 10 dní , je potřeba k datům před rokem 1584 přičítat 10 dnů , resp. 10 -1 den na každých 128 let zpět. Tedy v tomto případě se posouvají data o 6 (12. století) až 10 dní (16. století) kupředu. Přepočtená data jsou v závorce

2.2 Celkové zhodnocení

Soubor extrémních vltavských povodní byl hodnocen z hlediska sezonality. Je zřetelné (tab.1), že výskyt extrémních povodňových případů je omezen v zimě na měsíce únor, březen a v létě na červen až září. V následujícím textu je však předloženo ještě detailnější členění. Povodně jsou zatříděny do 5. kategorií použitých v tab. 1 (uvedeny i přepočty datumů z Juliánského na Řehořský kalendář.) a 2. (přehled navrženého pracovního členění).

Pokud se jedná o zimní povodně byla nejčastější varianta zimní povodně (W_{M2}). V tomto období se často jedná o výsledek nebezpečné kombinace prodloužené tuhé zimy a následného vpádu teplého vzduchu od Z až JZ s význačnými srážkami. Tato varianta se vyskytla od první dekády března do první dekády dubna v celkem 6 případech (tedy 29 % případů). Jsou to případy 1272, 1367, 1373, 1432, 1598 a 1845. V tabulce byl přiřazen i případ roku 1342.

Případ (W_{F2}) s oblevou v druhé až třetí dekádě února je velmi frekventovaný, nicméně v případě extrémních povodní se realizoval čtyřikrát a to v letech 1374, 1655, 1784 a 1799, což činí cca 19 % případů. Je možné sem řadit i případ z roku 1342, který začal před začátkem druhé dekády, pak se zvýší podíl na 22 %.

Tyto případy jsou vesměs spojeny s tuhými, sněžnými zimami. Tuhá zima není však nutnou ani postačující podmínkou extrémní povodně. Povodeň na přelomu ledna a února, W_{JF} , nebo začátkem února je v našem případě nejméně častým případem. Zde je doložen jen případ z roku 1862 (tudíž 5 % případů). V povodí středního Labe jsou k tomuto datu doloženy extrémní povodně v letech 1846, podrobněji Elleder (2006) a počátkem února 1775. V souboru se nevyskytuje jinak častý typ prosincové „Vánoční“ povodně (W_D). Byl sice doložen v prosinci 1432, ale jen velmi nejasně a jeho extremita je nejistá.

U letních stoletých povodní je pravděpodobné, často zmiňované schéma postupu tlakové níže po dráze Vb. Situace byla prokazatelně příčinou povodní v letech 1890 a 2002. Toto příčinné schéma by se v Evropském kontextu patrně dalo prokázat i u povodní v letech 1432, 1501 a 1598. Nejčastějším letním typem typ z pozdního léta, srpna a začátku září (S_{AS}) dokladovaný v letech 1118, 1273, 1370, 1501, 1598, 1890 a 2002 tedy v 7 případech tj. případ s maximální četností 33-38 % případů. Extrémní povodeň z roku 1432 se po přepočtu datumu dostává na hranici tohoto období.

Z hlediska četnosti povodní je velmi významné i „medardovské období“ – S_{JU} , mezi extrémní případy (Q_{50-100}) se však dostal jen případ z roku 1675.

Tab. 2 Přehled četnosti jednotlivých typů extrémních povodní

Typ	n	%	období	Roky
W_{JF}	1	5	přelom ½	1862
W_{F2}	4-5	19-23	10.2.-5.3.	(1342), 1374, 1655, 1784 a 1799
W_{M2}	6	29	10.3.-5.4.	1272, 1367, 1373, 1432, 1598 a 1845
S_{JU}	1	5	10.6.-10.7.	1675
S_{AS}	7-8	33-38	5.8.-10.9.	1118, 1273, (1432), 1370, 1501, 1598, 1890 a 2002

Při hodnocení frekvence povodní je zřetelná především vyšší frekvence zimních povodní v období Malé doby ledové „LIA“ od r. 1550 do r. 1850, podrobněji Elleder(2005B). Nejmenší frekvence extrémních případů je ve 20. století, naopak vysoká frekvence 5 případů je mezi léty 1340 a 1380 a mezi léty 1780 a 1870 jsou doloženy 4 extrémní případy.

Vůbec nejvyšší kumulací extrémů vynikají roky 1432 a 1598, kdy nastaly 2 případy v rámci roku.

Tyto výsledky navazují na hodnocení frekvence povodní na Labi, které publikoval Glaser (2000) (od r. 1500) a Brázdil (2005) za pomoci dekádových četností při zohlednění sezonalitě (od r. 1300-1810). V těchto případech se však jednalo o hodnocení frekvence všech věrohodně doložených povodní. Předloženým způsobem získaná představa o frekvenci extrémních povodní se shoduje s uvedenými zdroji v zdůraznění druhé poloviny 14. a 18. století jako období s frekvencí extrémních případů. Z předloženého výsledku lze usuzovat, že z hlediska výskytu extrémních povodní je v povodí Vltavy nebezpečným obdobím především srpen a začátek září, nebo konec března.

3 Závěr

V textu byl podán souhrnnější přehled dokumentárních zdrojů týkajících se extrémních povodní na dolní Vltavě. Byly zdůrazněny jejich příčiny, data kulminací a průvodní jevy. Získané podklady podávají hutnou informaci o sezonalitě a frekvenci extrémních povodní z dlouhodobého časového hlediska devíti století.

Tabulka extrémních případů ukazuje, že sezonalita vltavských povodní souvisí s kolísáním klimatu. Větší počet extrémních zimních případů připadá na období „Malé doby ledové“ 1550-1850. Získaný soubor ukazuje, že pro vznik extrémní povodně na dolní Vltavě je nejnebezpečnější období prodloužené tuhé zimy do konce února či března. Druhým nebezpečným obdobím pozdní léto počínaje druhou dekadou srpna.

Největší kumulací extrémních povodní vynikají roky 1432 a 1598. Největší frekvence extrémních případů je doložena mezi léty 1340 až 1380 (5 případů) a mezi léty 1780 a 1870 (4 případy). Naopak nejméně extrémních případů v povodí dolní Vltavy přinesla období 1680-1780 a 1900-2000, kdy se nevyskytly případy přesahující Q_{50} .

Získané poznatky poukazují na skutečnost, že i z hlediska delšího časového horizontu platí pro povodně v povodí Vltavy i Labe stejné „vzorce chování“ jako dnes. Proměnlivá četnost různých povodňových typů a časově proměnlivá kumulace extrémů svědčí o citlivosti těchto povodí vůči kolísání klimatu.

Poděkování

Příspěvek vznikl za finanční podpory projektu MŽP ČR VaV SM/2/57/05 „Dlouhodobé změny pořičních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“ a Výzkumného záměru „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“ MSM 0021620831.

Za všestrannou pomoc, rady a geodetická zaměření význačných míst děkuji panu Zvonimíru Dragounovi

4 Literatura

- BÖRNGEN, M. – TETZLAFF, G., ED., (2000A): Curt Weikinn Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahr 1850, Bd I./5. Berlin/ Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 674 s.
- BÖRNGEN, M. – TETZLAFF, G., ED., (2000B): Curt Weikinn Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahr 1850, Bd I./6. Berlin/ Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 726 s.
- BRÁZDIL R., KOTYZA, O.(1995): History and Climate in the Czech lands I, Period 1000-1500, Zürcher geographischer Schriften, 260 s.
- BRÁZDIL, R. , DOBROVOLNÝ P., ELLEDER L., KAKOS V. , KOTYZA O. , KVĚTOŇ V., MACKOVÁ J., ŠTEKL V., TOLASZ R. VALÁŠEK H. (2005) : Historické a současné povodně v České republice, Masarykova Univerzita v Brně a Český hydrometeorologický ústav v Praze, Brno a Praha, 2005 (in print)
- DLOUHÝ, J. (1899): Povodně na řekách českých, zvláštní otisk ze „ Zpráv spolku architektů a inženýrů v království českém“ za rok 1899, Spolek architektů českých, Praha, s. 49
- ELLEDER, L. (2003): “Pražský Bradáč, jeho stáří, účel a historie” Historica Pragensia, 1, Museum hl. města Prahy, Praha 2003 str. 301-333 (vyšlo opožděně tiskem 12/2004)
- ELLEDER, L. (2004): “Povodně v Berouně”, in: Jančaříková et al., Český Kras XXX, Muzeum Českého Krasu, Beroun, 2004, s. 59-62
- ELLEDER, L. (2005A): Historical Floods-Potentialities and Pitfalls in European Society for Enviromental History (ESEH) third International Conference: History and Sustainability, Proceedings, poster

- ELLEDER, L. (2005B): Nestacionarita přírodního prostředí a hydrologické procesy- měnící se sezonalita velkých povodní Vltavy a Labe v průběhu posledních 1000let IN Sborník. Hydrologické dni 2005, Bratislava, CD verze
- ELLEDER, L. (2005C): Extrémní zimní povodně v letech 1784, 1785, 1799, 1830 a 1845 v povodí Labe společné rysy a odlišnosti in Hydrologické dni 2005 IN Sborník. Hydrologické dni 2005, Bratislava, CD verze
- ELLEDER, L. (2005D) : “Extrémní povodně před rokem 1890”, in: Kašpárek et al. Závěrečná zpráva za rok 2005 grantového projektu VaV/650/6/03 - „Vliv, analýza a možnosti využití ochranné funkce údolních nádrží pro ochranu před povodněmi v povodí Labe“, VUV, Praha s. 22-31
- ELLEDER, L., MUNZAR J. (2004) : “Extrémní povodeň na Vltavě v únoru 1784 jako následek mimořádných hydrometeorologických podmínek”, Meteorologické zprávy č.5, ČHMÚ Praha, 2004, 125-135 s.
- GLASER, R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas, 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, s. 227
- HLAVÁČ, V., (1977): Poznámky z „Klementinských pozorování 1775-1839“, ČHMÚ, 191
- HRDLIČKA, L. (2000): Centrum raně středověké Prahy, in: Średniowiczny Ślask i Czechy. Centrum średniowiecznego miasta. Wrocław a Europa środkowa (Wratistavia antiqua 2), Wrocław, 191-214 s.
- HRDLIČKA, L. (2001): Jak se měnila a rostla středověká Praha in: Neživá příroda Prahy a jejího okolí (Kovanda et. al), Praha, Academia, Český geologický ústav, s. 209-212
- KOTYZA (2006): Nejextrémnější velké vody na dolním českém toku řeky Labe v letech 1118-1598 a otázka věrohodnosti značek povodní na zámecké skále v Děčíně, v Litoměřicích a Ústí nad Labem, Podřipský muzejník (v tisku)
- KOTYZA, O. (2001): “Skutkům předků svých zahynouti nedají.” Ocenění významu vyprávěcích pramenů severočeské provenience pro výzkum kolísání klimatu v minulosti. In: Česká beseda II – O vyprávěcích pramenech. Příspěvky z konference Katedry pomocných věd historických a archivního studia FF UK v Praze a Katedry historie PedF UJEP v Ústí nad Labem 9. listopadu 2001 v Ústí nad Labem.
- KOTYZA, O., CVRČEK, F., PAŽOUREK, V. (1995): Historické povodně na dolním Labi a Vltavě, Okresní muzeum v Děčíně 1995, 169 s.
- MUDELSEE : www.uni-leipzig.de - www.uni-leipzig.de/~meteo/MUDELSEE/publ/suppl-info/flood-suppl-info-1.pdf
- NOVOTNÝ, J. (1960) : Dvě stoleté hydrologické řady průtokové na českých řekách (Praha 1959), Sborník prací hydrometeorologického ústavu č.2, ČHMÚ, s.126
- obilí, ovoce a vína, hladů, morů a jiných pohrom v království Českém. Tiskem Karla Wetterla, Praha, 266 s.
- SCHALLER, J. (1785): Topographie des Konigreichs Böhmen, Erster Teil, Rakownitzer Kreis (Prag, Wenzel Piskaczek), 42 s.

POVODNĚ NA MORAVĚ A VE SLEZSKU

Macková, J., Brázdil, R., Dobrovolný, P., Halásová, O., Keprtová, K., Řehánek, T., Soukalová, E.

Masarykova Univerzita Brno, Přírodovědecká fakulta

Abstrakt

Povodně jsou z hlediska materiálních škod a ztrát na lidských životech nejničivějším přírodním extrémem na Moravě a ve Slezsku. Pro řeky Bečvu (Teplice nad Bečvou), Moravu (Kroměříž, Strážnice), Svratku (Židlochovice), Dyji (Trávní Dvůr), Opavu (Opava) a Odru (Bohumín) jsou studovány povodně (příčinná podmíněnost, sezonalita, extremita, časová a prostorová variabilita) z období systematických hydrologických pozorování, doplněné o poznatky o historických povodních zjištěných podle dokumentárních pramenů. Detailnější pozornost je věnována popisu vybraných extrémních povodní (VIII 1880, VII 1903, VIII-IX 1938, VII 1997, III-IV 2006). Z časového i prostorového hlediska jsou analyzovány bleskové povodně, včetně podrobnějšího rozboru několika případů v průběhu 20. století. Dále jsou hodnoceny škody způsobené povodněmi a dopady na člověka a společnost jak v minulosti, tak dnes.

**MODELOVÁNÍ A KVANTITATIVNÍ ANALÝZA
POVODŇOVÝCH UDÁLOSTÍ**

MODELOVÁNÍ VLIVU KRAJINNÉHO POKRYVU NA SRÁŽKO-ODTOKOVÉ PROCESY METODOU CN KŘIVEK

Michal Jeníček

Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha, e-mail: jenicek@natur.cuni.cz

Abstrakt

Cílem tohoto příspěvku je prezentovat první výsledky rozsáhlejšího výzkumu zaměřeného na změny odtoku z povodí vlivem změn charakteru vegetace a půdního pokryvu. Pomocí srážko-odtokového modelu HEC-HMS byly provedeny simulace odtokové odezvy na příčinnou srážku ve dvou časových horizontech, 1992 a 2000. Uvedené roky, analyzované na podkladech databáze CORINE Landcover, charakterizují dva odlišné stavy krajinného pokryvu. Modelovou oblastí je povodí Blanice po závěrový profil Podedvory (nad VD Husinec). Modelování vlivu změny vegetačního pokryvu na odtokový proces proběhlo ve čtyřech scénářích – při uvážení jednodenní srážky s dobou opakování 10, 20, 50 a 100 let. Jako hlavní modelovací technika byla použita metoda SCS CN (Soil Conservation Service Curve Number).

Klíčová slova

srážko-odtokový model, modelování srážko-odtokových procesů, povodně, HEC-HMS, změny krajinného pokryvu

1 Úvod

Matematická reprezentace srážko-odtokového procesu má dlouhou historii, ale teprve zhruba od 80. let minulého století se díky dynamickému rozvoji počítačových technologií stává významným nástrojem hydrologů a vodohospodářů ať už pro operativní předpověď, nebo pro návrhové účely. Hydrologické a hydraulické modely se staly standardním prostředkem k ověřování funkčnosti stávajících nebo budoucích protipovodňových opatření.

Cílem tohoto příspěvku je prezentovat první výsledky rozsáhlejšího výzkumu zaměřeného na změny srážko-odtokového procesu vlivem změn charakteru vegetace a půdního pokryvu. Pomocí matematického modelu byly provedeny simulace odtokové odezvy na příčinnou srážku ve dvou časových horizontech, které charakterizují dva odlišné stavy krajinného pokryvu. Modelovou oblastí bylo povodí Blanice po závěrový profil Husinec.

Problematice matematického modelování srážko-odtokových procesů v závislosti na změnách vegetačního pokryvu je v Česku i v zahraničí věnována výrazná pozornost. Půdní a vegetační podmínky mají pro velikost odtokové odezvy na příčinnou srážku rozhodující vliv. Hlavní těžiště výzkumu leží v zahraničí, především v pracích Karvonena et al. (1999), Fohrerové et al. (2001), Klöckingové a Haberlandta (2002) a dalších. Tito autoři se ve svém výzkumu zaměřují především na vliv změn využití ploch v člověkem ovlivněné kulturní krajině. Velká pozornost je také věnována vlivu lesa (např. Robinson et al., 2003) a také problematice „scalingu“ (Payraudeau et al., 2003). Nejčastěji se výzkum provádí na malých, experimentálních povodích.

V podmínkách České republiky docházelo v 70. letech k výrazným změnám struktury zemědělského půdního fondu spojené s hydrotechnickými opatřeními (hydromeliorace, napřimování toků, odvodnění rašeliníšť). Uvedené změny měly negativní vliv na koncentraci odtoku v povodí. Od 90. let minulého století dochází k napravování těchto zásahů a navrácení toků svému přírodnímu režimu. Důvodem je

mimo jiné zmírnění následků extrémních odtokových jevů. Na významnosti dodává celé problematice velké množství studií, např. Jarabáč a Chlebek (1984), Doležal et al. (2004) nebo Kliment a Matoušková (2005). Další specifikum vzniklo během 70. a 80 let ve vrcholových oblastech Krušných a Jizerských hor – zničení lesních porostů vlivem obrovského množství imisí v ovzduší pocházející z průmyslové činnosti člověka. Také tato skutečnost mohla mít významný vliv na koncentraci odtoku, především v pramenných oblastech (viz Blažková a Kolářová, 2004; Březovič, 2006).

2 Vymezení a charakter území

K dosažení uvedených cílů bylo jako modelové území vybráno povodí jihočeské Blanice po závěrový profil Podedvory (nad VD Husinec). Zde se nachází limnigrafická stanice ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav). Plocha povodí po závěrový profil vypočtena na základě digitálních mapových podkladů (ZABAGED) je 209,6 km².

Během posledních let došlo, stejně jako i na dalším území Česka, ke změnám využití ploch především v oblastech s vyšší nadmořskou výškou a na sklonitějších pozemcích, kde byla často orná půda nahrazena loukami a pastvinami. Stav v letech 1992 a 2000 ukazuje příloha 2. Za uplynulé období došlo ke změně krajinného pokryvu na ploše 25,63 km², což odpovídá podílu 12,7 %. Největší změnou bylo převedení 15,69 km² nezavlažované orné půdy na louky a pastviny. Výchozím předpokladem této studie je, že se uvedené změny promítly také při tvorbě odtoku.

3 Metodika

Reakce povodí na srážkovou událost při změnách vegetačního pokryvu byla zhodnocena ve dvou časových horizontech - 1992 a 2000. K hodnocení změn vegetace byla použita databáze CORINE Landcover. Pro simulace srážko-odtokových procesů byl vybrán model HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modelling System), vyvíjený americkou armádou. Schéma modelu je uvedeno v příloze 1.

K výpočtu **objemu odtoku (Runoff-Volume Model)** byla použita metoda SCS CN (Soil Conservation Service Curve Number), využívající k výpočtu odtokové ztráty metodu CN křivek (USACE, 1994; Feldman, 2000). Důvodem jejího využití byla především jednoduchost a nenáročnost na vstupní data. Metoda SCS CN stanovuje efektivní srážku jako funkci úhrnu srážek, půdních vlastností, vegetačního krytu a předchozího nasycení:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

kde P_e je kumulativní efektivní srážka v čase t , P je kumulativní srážka v čase t , I_a je počáteční ztráta (Initial Abstraction) a S je potenciální maximální retence (odpovídá hydrolimitu plné vodní kapacity), která je vypočtena z CN křivky. Hodnota CN byla určena ve vztahu k hydrologické skupině půdy (Novák, 2003) a krajinnému pokryvu na základě tabulky uvedené v Mockus (1964), u nás upravené např. Janečkem (2002).

Pro stanovení **přímého odtoku (Direct-Runoff Model)** byla použita metoda Clarkova jednotkového hydrogramu. Pro výpočet je nutné stanovit hodnoty parametrů T_c (doba koncentrace) a R_c (tzv. "storage coefficient", tedy doba zdržení). Koeficient T_c byl vypočten podle metodiky SCS, která k jeho určení využívá charakteristiku T_{lag} – dobu doběhu. Koeficient R_c („storage coefficient“) byl stanoven podle metodiky USGS (U.S. Geological Survey) (Straub et al., 2000).

Pro výpočet **podzemního odtoku (Baseflow Model)** byla použita metoda exponenciálního poklesu. Ta definuje velikost podzemního odtoku v daném čase pomocí počátečního podzemního odtoku. Kromě této

hodnoty a konstanty poklesu bylo nutné zadání prahové hodnoty, vyjádřené jako hodnota průtoku nebo jako podíl tohoto průtoku vzhledem k velikosti kulminace, při kterém se začne podzemní odtok opět zvyšovat (např. inflexní bod na poklesové větvi hydrogramu). Všechny parametry byly určeny analýzou hydrogramu a na základě dostupné literatury.

Pro výpočet **postupu povodňové vlny v korytě (Channel Model)** toku byla použita metoda Muskingum. Ta vyžaduje zadání dvou parametrů – K [hod] a X [-]. K určuje dobu, za kterou v daném povodí proteče voda korytem (postupová doba) a X je váha vyjadřující vliv klínové retence v rámci daného úseku. Rychlost postupu povodňové vlny korytem byla na základě dostupných metodik odhadnuta na $0,95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (USACE, 1994). Parametr X byl odhadnut na 0,2.

Modelování změny odtokového režimu v daných časových horizontech proběhlo pro čtyři srážkové události. První z nich byla návrhová srážka s pravděpodobností překročení 0,1, tedy s dobou opakování 10 let a další s dobami opakování 20 let, 50 let a 100 let. Pro výpočet denních úhrnů srážek na povodí bylo využito korelace srážkoměrných stanic s nadmořskou výškou. Hodinové intenzity srážek byly odvozeny pro celé povodí z denních dat s využitím stanice Ktíš, kde jsou k dispozici hodinové úhrny. Tato data byla využita pro kalibraci a verifikaci modelu. Návrhové srážky s trváním jeden den byly stanoveny za předpokladu logaritmicko normálního rozdělení maximálních denních úhrnů srážek z roční řady z let 1980 – 2002. Při simulacích bylo uvažováno časové rozdělení srážky pomocí návrhového hyetogramu do 15-ti hodin vycházející z metodiky Kulasové (2004).

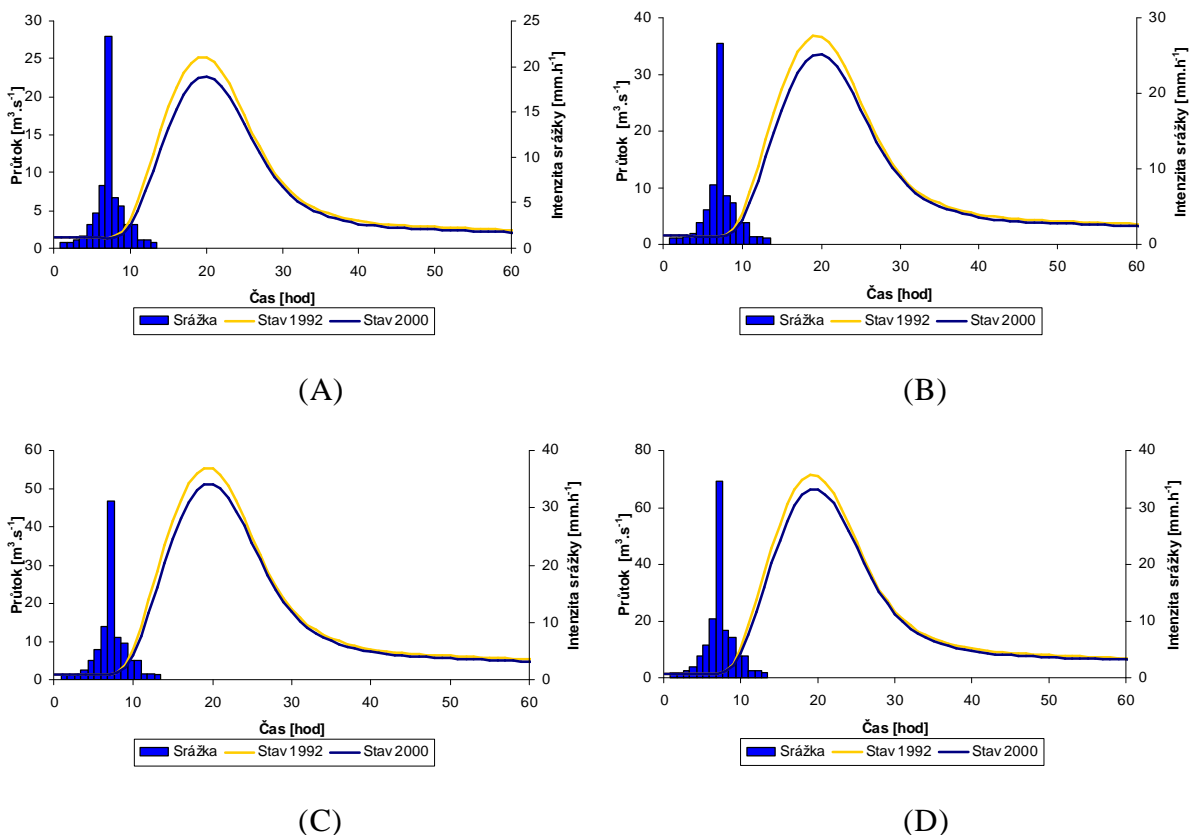
Pro vyjádření vlivu změny vegetačního pokryvu na odtokové poměry byly modelovány 4 scénáře povodně (podle jednotlivých návrhových srážek). Každý z těchto scénářů byl simulován pro stav v roce 1992 a 2000. Manuální kalibrace parametrů byla prováděna na povodni ze srpna 2002 (6.8.2002 – 16.8.2002). Jako verifikační období byla zvolena povodňová vlna ze srpna 2005 (15.8.2005 – 26.8.2005). Výpočetní krok byl ve všech případech 1 hodina. Evapotranspirace a intercepce nebyly uvažovány.

4 Výsledky

Obecnou charakteristikou většiny modelů je rozdělení povodí na několik vertikálně uspořádaných zón, které jsou počítány konceptem lineární nádrže (viz O'Connor, 1976). Při simulacích se vycházelo z předpokladu, že při extrémní události je v hlavní fázi odtokového procesu hydrogram tvořen především přímým odtokem a výraznější vliv podzemního odtoku nastává až na poklesové větvi. Evapotranspirace a intercepce, které stojí na počátku srážko-odtokového procesu, nebyly uvažovány. Jejich význam je z hlediska snížení kulminace nebo objemu vlny velmi malý, a proto je uvedené zjednodušení přijatelné. Výsledky pro závěrový profil Podedvory jsou shrnuty v tabulce 1 a na obrázku 1.

Tabulka 1. Vybrané parametry simulovaných povodňových vln v profilu Podedvory v letech 1992 a 2000 pro úhrny srážek s průměrnou dobou opakování 10, 20, 50 a 100 let.

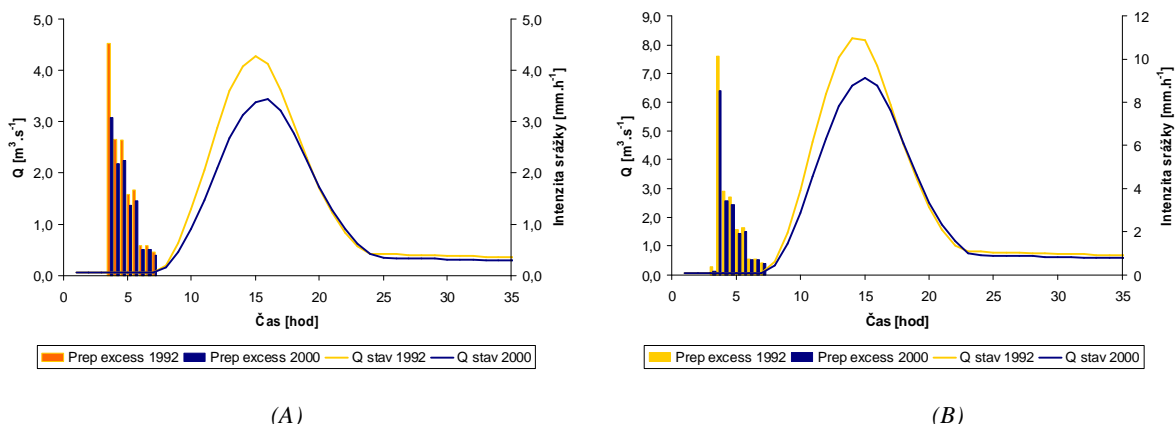
	N=10		N=20		N=50		N=100	
	Qk [m3.s-1]	V [mil m3]	Qk [m3.s-1]	V [mil m3]	Qk [m3.s-1]	V [mil m3]	Qk [m3.s-1]	V [mil m3]
1992	25,2	1,786	36,7	2,6	55,4	3,9	71,3	4,9
2000	22,7	1,6	33,6	2,3	51,2	3,5	66,3	4,6
změna [%]	9,9	10,2	8,4	9,1	7,6	8,0	7,0	7,3



Obrázek 1. Simulované křivky průtoku v profilu Podedvory v letech 1992 a 2000 při návrhové srážce s průměrnou dobou opakování 10 let (A), 20 let (B), 50 let (C) a 100 let (D)

Snížení kulminačního průtoku povodňové vlny při 10ti leté povodni dosáhlo v závěrovém profilu Podedvory $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tedy 9,9 %. O srovnatelnou hodnotu (10,2 %) se v simulovaném období snížil i celkový objem povodně. Zpoždění povodňové vlny ale nenastalo. O něco nižších hodnot bylo dosaženo při 100 leté povodni (7 %, snížení o $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Je pravděpodobné, že se zvyšující se srážkou bude vliv vegetačního pokryvu na velikost retence vody v povodí i nadále klesat.

Při simulaci odtokové vlny pro stav v letech 1992 a 2000 bylo předpokládáno, že největší změna hydrogramu nastane v dílčích povodích Tetřívčího a Zbytinského potoka, kde za uplynulých osm let došlo k nejvýznamnějším změnám krajinného pokryvu. Simulované hydrogramy pro srážku $N=100$ let z těchto dílčích povodí jsou zobrazeny na obrázku 2.



Obrázek 2. Simulované hydrogramy pro stav v roce 1992 a 2000 a srážce o $p=0,01$ na Tetřívčím (A) a Zbytinském potoce (B).

Při použití metody SCS CN dosáhlo simulované snížení odtoku z povodí Tetřívčeho potoka $0,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (16,7 %). U Zbytínského potoka byla procentní změna o něco nižší (14 %; $1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Zpoždění kulminačního průtoku bylo v obou případech 1 hodina.

Změna velikosti odtokové výšky v závislosti na vstupní srážce a velikosti počátečního nasycení je patrná z přílohy 3. Každý obrázek představuje povodí z hlediska různého počátečního nasycení vlivem předchozích srážek. Potvrdil se předpoklad, že vliv krajinného pokryvu na odtokové poměry obecně klesá ze vzrůstající extremitou povodně. Také při vyšším počátečním nasycení povodí vlivem předchozích srážek má vegetace na výslednou povodeň výrazně nižší vliv než v případě nasycení nižšího.

5 Diskuze

Obecně se problémy a nejistoty spojené s řešením daného hydrologického úkolu pomocí konkrétního srážko-odtokového modelu dají rozdělit do několika kategorií, které souvisí s jednotlivými fázemi (algoritmem) sestavování modelu.

U modelování vlivu vegetačního pokryvu na srážko-odtokový proces je základní otázkou použití vhodné metody. V této studii použitá metoda SCS CN dostupná jako modelovací technika v systému HMS je výhodná především díky svojí jednoduchosti a dostupnosti dat. Používá ale četná zjednodušení, které její využití limitují (předpokládá stejnoměrné rozložení srážky v čase i prostoru, nezohledňuje klasické teorie proudění vody v nenasyčené zóně půdního profilu, jedná se o model typu saturation-excess, případně překročení infiltrační kapacity – model typu infiltration-excess - není zohledňováno). Přesto je hojně využívána jak v Česku, tak v zahraničí. V rámci projektu je počítáno s využitím dalších vhodných modelovacích technik (Green-Amp, SMA, apod.). Aplikace těchto metod bude předmětem dalšího výzkumu.

Hodnocení časových řad (především srážkových úhrnů) proběhlo pomocí standardních metod, nejprve proběhla kontrola homogenity řad, případné výpadky v měření byly pomocí regresní analýzy doplněny. Návrhová srážka byla určena pomocí logaritmicke normálního rozdělení. Největší nejistota vzniká při převádění bodových hodnot na plochu povodí. Pro povodí Blanice bylo využito závislosti na nadmořské výšce (s koeficientem determinace 0,6). Pro celé povodí Blanice po VD Husinec byla využita jednotná N-letá srážka. Jedná se však o zjednodušení, přínosnější by bylo sestavení více časových řad úhrnů srážek zvláště pro každé dílčí povodí, čímž by se zajistilo přesnější vystižení distribuce srážek v povodí.

S problematikou dat souvisí také volba vhodného měřítka, a to jak časového, tak prostorového. Modelování procesů koloběhu vody mezi atmosférou a zemským povrchem vyžaduje znalost reakce modelu na změny časového i prostorového kroku. Četné studie např. Payraudeau et al. (2003), Finnerty et al. (1997) nebo Koren et al. (1999) dokazují, že při změně prostorového kroku dochází ke změně parametrů modelu a ten vyžaduje novou kalibraci. Použití časového kroku 1 hodina se vzhledem k dostupným datům a k velikosti povodí jeví jako optimální, přičemž je možné vycházet ze zkušeností z menšího, přesto řádově srovnatelného povodí Černé Vody nebo Chomutovky v Krušných horách (Jeníček, 2005, 2007).

Nastavení počátečních podmínek velmi výrazně ovlivňuje výsledný hydrogram. Nejdůležitější z těchto podmínek je počáteční nasycení půdy. V metodě SCS CN se zohledňuje již při určování hodnoty CN. CN křivka se podle metodiky uvedené v USACE (1994) opravuje podle 5-denní předchozí srážky, přičemž se odlišují 3 kategorie předchozího nasycení (PVPI, PVP II a PVPIII). Provedené simulace proběhly převážně pro podmínky průměrného předchozího nasycení (PVPII), byla ale také simulována varianta úplného nasycení povodí předchozí srážkou (PVPIII).

Ve srážko-odtokových modelech se obecně vyskytuje mnoho parametrů, které jsou zatíženy určitou mírou nejistoty. Některé se ponechávají v modelu tak, jak byly změřeny, jiné mohou být později

upravovány kalibrací. Pro zkoumání vlivu vegetačního pokryvu na odtok z povodí byla prováděna manuální kalibrace parametrů. Seznam kalibrovaných parametrů včetně koeficientu změny je uveden v tabulce 2.

Tabulka 2. Seznam kalibrovaných parametrů.

Parametr	Model	Název	Koeficient
Ia	Runoff-Volume Model	Initial Abstraction - počáteční ztráta (detence)	0,7
Rc	Direct-Runoff Model	Storage Coefficient - určuje dobu zdržení vody v dílčím povodí (Clark UH)	0,08
ReC	Baseflow Model	Recession Constant - míra poklesu podzemního odtoku	0,8
Ratio to Peak	Baseflow Model	Threshold Value - hodnota, kdy po poklesu podzemního odtoku nastává vzestup (poměr vzhledem ke kulminaci)	0,3

6 Shrnutí

Při využití hydrologického modelu HEC-HMS pro simulaci změn odtokové odezvy vlivem změn krajinného pokryvu byly zjištěny následující poznatky:

Modelování vlivu změny vegetačního pokryvu na odtokový proces mezi lety 1992 a 2000 proběhlo ve čtyřech scénářích – při uvážení jednodenní srážky s dobou opakování 10, 20, 50 a 100 let. V prvním scénáři došlo v roce 2000 k poklesu kulminace v profilu Podedvory oproti stavu z roku 1992 o 9,9 %. Celkový objem povodňové vlny se snížil o 10,2 %. Potvrdil se předpoklad, že vliv krajinného pokryvu na odtokové poměry v povodí klesá se vzrůstající extremitou vstupní srážky.

Použitá metoda výpočtu odtokové ztráty SCS CN je pro stanovení vlivu vegetace na odtokové poměry vhodná, vyžaduje ale pečlivé nastavení parametrů. Přesto se jeví modelované snížení odtoku poměrně výrazné a není jisté, zda odpovídá skutečnosti. Pro svoji jednoduchost má četná omezení a bylo by tedy vhodné kombinovat ji s nějakou další metodou, která popisuje fyzikální zákonitosti proudění vody v nenasycené zóně půdního profilu.

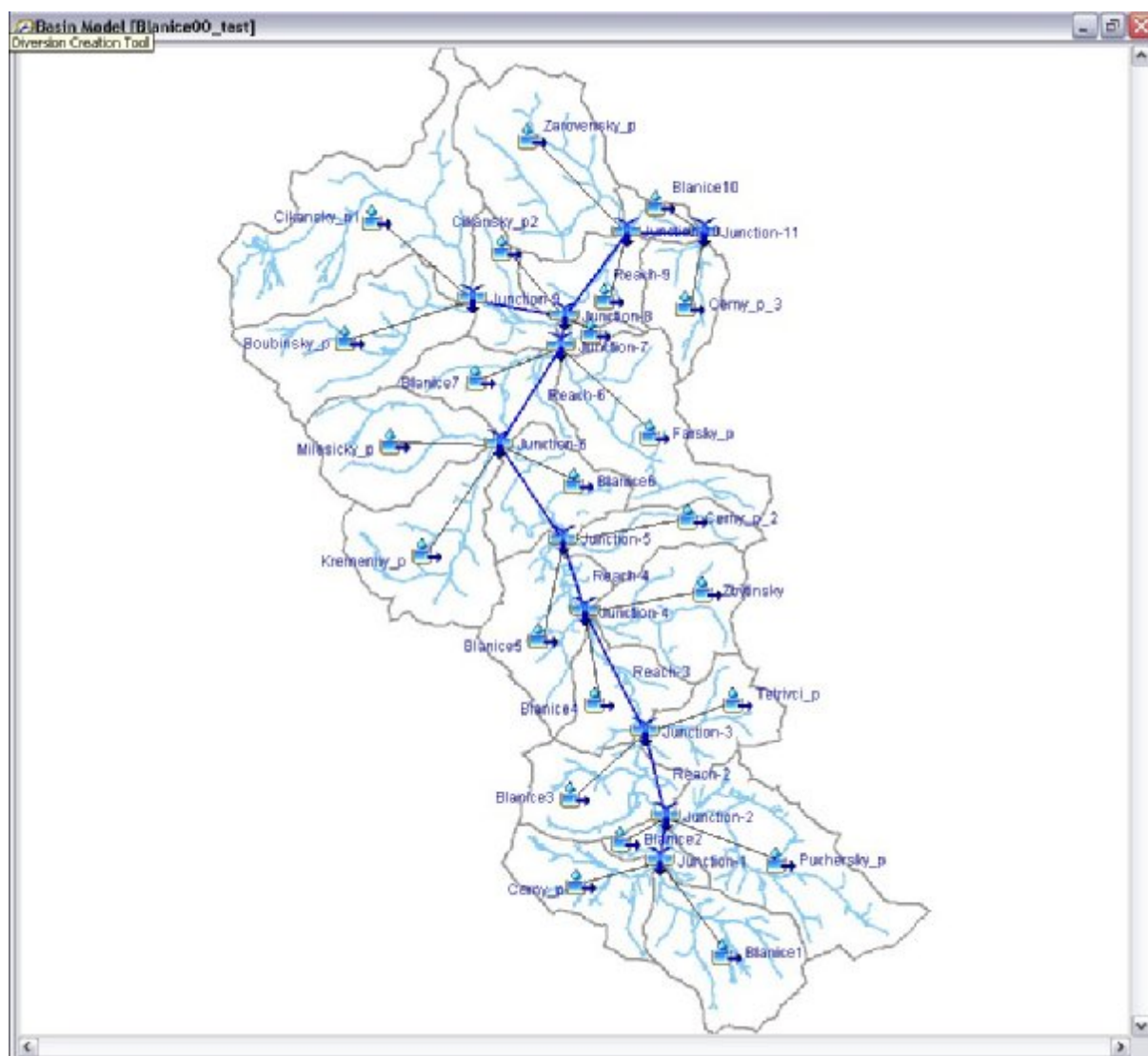
Při použití metody SCS CN se jeví nejdůležitější správné stanovení hodnot CN (s ohledem na počáteční podmínky i na prostorové měřítko). Důležité je také zpřesnění odhadu plošného rozložení srážek na povodí.

V pokračujícím výzkumu je počítáno i s využitím jiných modelovacích technik (Green-Amp, SMA, apod.), stejně jako i dalších modelovacích systémů (MIKE-SHE, NASIM).

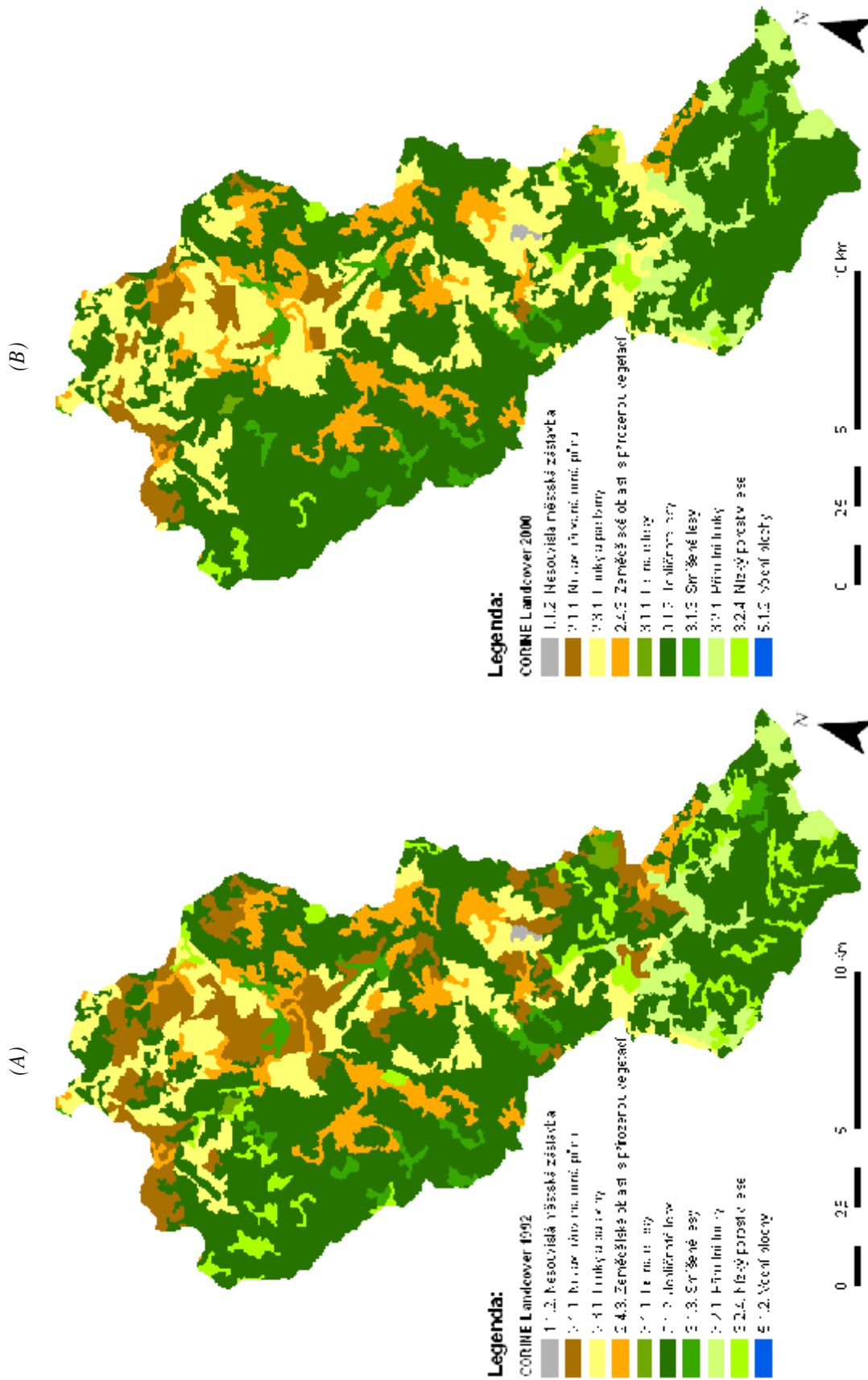
7 Použitá literatura

- BLAŽKOVÁ, S., KOLÁŘOVÁ, S. (1994): Vliv odlesnění na hydrologický režim v oblasti Jizerských hor. VÚV T.G.Masaryka, Praha, 76 str.
- BŘEZOVIC, P. (2006): Vliv změny využití půdy na srážko-odtokové poměry vybraného povodí. Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 60 str.
- DOLEŽAL, F. et al. (2004): Bilanční odhady příspěvku odvodňovacích soustav k průběhu povodní. VÚMOP, Praha.
- FELDMAN, A.D. (Ed.) (2000): Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual. USACE, Davis, 155 str.
- FINNERTY, B.D., SMITH, M.B., SEO, D.-J., KOREN, V., MOGLEN, G.E. (1997): Space-time scale sensitivity of the Sacramento model to radar-gage precipitation inputs. *Journal of Hydrology*, 203, s. 21-38.
- FOHRER, N., HAVERKAMP, S., ECKHARDT, K., FREDE, H. (2001): Hydrologic response to land use changes on the catchment scale. *Physics and Chemistry of the Earth*, 26, s. 577-582.

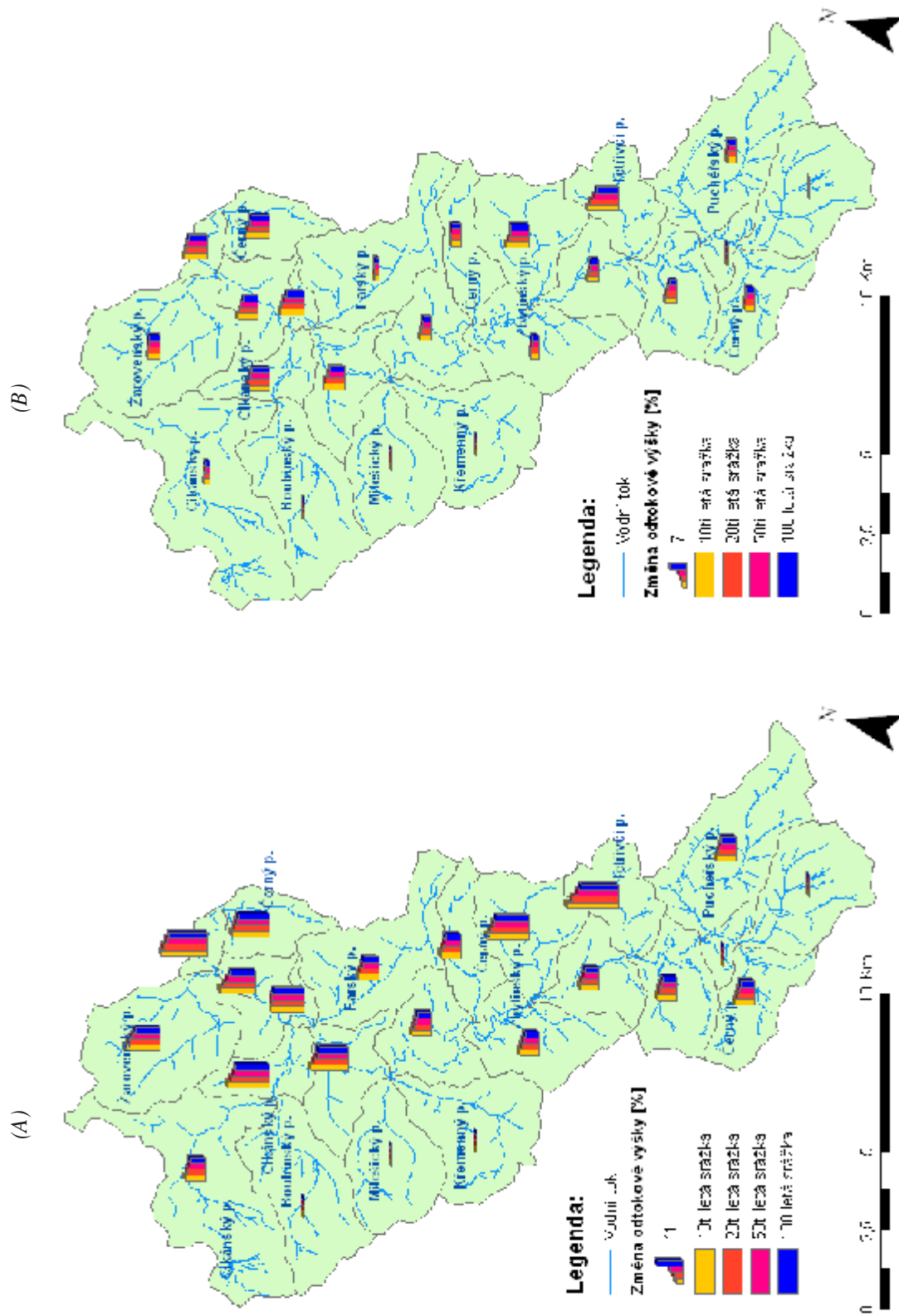
- JANEČEK, M. et al.(2002): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha, ISV, 201 str.
- JARABÁČ, M., CHLEBEK, A. (1984): Vliv lesů a lesního hospodářství na odtoky vod a erozi půdy v Beskydech. Vodní hospodářství, 4, Praha, s. 109-116.
- JENÍČEK, M. (2005): Aplikace matematického modelu NASIM pro simulaci srážko-odtokových poměrů v povodí Černé vody. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy, Praha, 104 str.
- JENÍČEK, M. (2007): Matematické modelování srážko-odtokových procesů v závislosti na změnách krajinného pokryvu. In: Jakubíková, A., Broža, V. (Eds.): Extrémní hydrologické jevy v povodích. Sborník příspěvků z Workshopu Adolfa Patery 2006, 15.11.2006, ČVÚT, Praha, s. 181-190.
- KARVONEN, T., KOIVUSALO, H., JAUHAINEN, M., PALKO, J., WEPPLING, K. (1999): A hydrological model for predicting runoff from different land use areas. Journal of Hydrology, 217, s. 253-265.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005): Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy. Geografie-Sborník ČGS, 112, č. 1, s.32-45.
- KLÖCKING, B., HABERLANDT, U. (2002): Impact of land use changes on water dynamics – a case study in temperate meso and macroscale river basins. Physics and Chemistry of the Earth 27, s. 619-629.
- KOREN, V.I., FINNERTY, B.D., SCHAAKE, J.C., SMITH, M.B., SEO, D.-J., DUAN, Q.-Y. (1999): Scale dependencies of hydrologic models to spatial variability of precipitation. Journal of Hydrology, 217, s. 285-302.
- KULASOVÁ B., ŠERCL P., BOHÁČ M. (2004): Projekt QD1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“. Závěrečná zpráva. Praha, ČHMÚ.
- MOCKUS, V. (1964): Hydrologic Soil-cover Complexes. In: National Engineering Handbook. Section IV: Hydrology, USDA, Springfield.
- NOVÁK, P. et al. (2003): Zpracování digitálních map hydropedologických charakteristik půd České republiky. Závěrečná zpráva a výstup 02 projektu QD 1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“, VÚMOP, Praha, 11 str.
- O'CONNOR, K. M. (1976): A discrete linear cascade model for hydrology. Journal of Hydrology, 29, s. 203-242.
- PAYRAUDEAU, S., TOURNOUD, M.G., CERNESSON, F. (2003): Sensitivity of effective rainfall amount to land use description using GIS tool. Case study of a small mediterranean catchment. Physics and Chemistry of the Earth 28, s. 255-262.
- ROBINSON, M., et al. (2003): Studies of the impact of forests on peak flows and baseflows: a European perspective. Forest Ecology and Management, 186, s. 85-97.
- STRAUB, T.D., MELCHING, Ch.S., KOCHER, K.E. (2000): Equations for Estimating Clark Unit-Hydrograph Parameters for Small Rural Watersheds in Illinois. USGS, Urbana (Illinois), 30 str.
- USACE (1994): Flood-Runoff Analysis. Engineering Manual No. 110-2-1417, Washington, 214 str.



Příloha 1: Schéma povodí Blanice po profil Poddevory v HEC-HMS



Příloha 2: Krajinový pokryv v povodí Blanice po Podědvory v roce 1992 (A) a 2000 (B) (Zdroj: CORINE Landcover)



Příloha 3: Změna odtokové výšky mezi roky 1992 a 2000 (v %) na dílčích povodích při různých úhrnech srážek pro průměrné vláhové podmínky (A) a pro podmínky plně nasyceného povodí (B).

MODELOVÁNÍ HYDROLOGICKÝCH EXTRÉMŮ S PODPOROU DPZ A GIS

Martin Adamec¹, Markéta Hanzlová², Jiří Horák², Jan Unucka³, Dušan Židek⁴

¹Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF Ostravské Univerzity, e-mail: martin.adamec@osu.cz

²Institut geoinformatiky, VŠB-TU Ostrava, e-mail: marketa.hanzlova@vsb.cz, jiri.horak@vsb.cz

³Institut geologického inženýrství, VŠB-TU Ostrava, e-mail: jan.unucka@vsb.cz

⁴Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava, e-mail: zidek@chmi.cz

Abstrakt

Komplexní řešení problematiky událostního hydrologického modelování vyžaduje propojení systémů pro sběr a zpracování dat pro stavbu a kalibraci modelu, samotné srážkoodtokové a hydraulické modelování a možnost kvalitní prezentace výsledků srozumitelné široké odborné i laické veřejnosti. Toto řešení umožňuje v současné době pouze integrace softwarových řešení pro GIS, DPZ a samotných hydrologických modelů. V článku se kolektiv autorů pokouší o přehled používaných softwarových řešení a na příkladu srážkové epizody demonstrovat konkrétní aspekty propojení těchto programových prostředků.

Klíčová slova: GIS, DPZ, srážkoodtokové modelování, hydraulické modelování.

1 Úvod

Numerické modelování hydrologických procesů se stává stále častějším nástrojem hydrologických analýz a své pevné místo si modely vydobily i v hydrologické předpovědní praxi na podnicích povodí i v ČHMÚ. Díky tomu, že de facto pracují s prostorovými daty, napojení na geografické informační systémy (dále jen GIS) se jeví logickým krokem. Analytický potenciál GIS se pak uplatňuje zejména v přípravě dat pro modely (preprocessing) a v následných analýzách a vizualizacích (postprocessing). V tomto ohledu můžeme data vyžadovaná hydrologickými modely rozdělit na „statická“ (relativní pojem, zejména se jedná o data o povodí a říčních úsecích) a „dynamická“ (časové řady hydrometeorologických dat). Na úrovni statických a dynamických dat nabízí GIS interpolační, geostatistické a další analytické funkce.

Trend hlavních tvůrců komerčního hydrologického software (DHI, USACE/HEC, EMS-I a další) je zřejmý – přímé napojení na GIS software (SW) (zejména platforma ESRI) nebo implementace vybraných GIS funkcí přímo na úrovni modelovacího SW (WMS, MIKE Zero). Třetí možností je implementace modelovacího SW do GIS (Topmodel/GRASS) První ucelenou publikací věnující se napojení GIS (na úrovni platformy ESRI) a hydrologických modelů (HEC) byla práce Maidmenta a Djokice (MAIDMENT ET DJOKIC EDS. 2000).

Úloha dálkového průzkumu Země (dále jen DPZ) se pohybuje rovněž na úrovni preprocessingu, analytických operací a vstupů dat. Preprocessing se může týkat jak statických dat (LIDAR, digitální model terénu, analýza krajinného pokryvu apod.), tak i hydrometeorologických (MSG/EUMETSAT, radarové odhady srážek apod.). Dnes využívaným zdrojem dat při tvorbě digitálního modelu terénu (DMT) bývá LIDAR, avšak náročnost zpracování dat a nákladnost pořízení těchto dat staví jeho využití v omezených případech či k lokálním modelovým oblastem. Typickými zdroji DMT jsou radarová družicová data (ERS-2, ERS-1, ENVISAT, RADARSAT, JERS), topografické mapy, letecké stereofotografie či družicová data s velmi vysokým rozlišením (SPOT, IKONOS). Krajinný pokryv hraje významnou roli v hydrologickém modelování a jeho potřeba aktuálnosti pak staví DPZ data do vedoucí pozice zdrojů těchto dat (LANDSAT, SPOT, ASTER). V měřítku globálního modelování jsou data DPZ využívána

k modelování globálních změn klimatu (MODIS, ALI, MERIS atd.), především poskytují zdroje dat typu – pokryv krajiny, teplota povrchu, evapotranspirace, půdní poměry apod.).

Dynamika vývoje v tomto odvětví jednoznačně rozšiřuje možnosti analýz a výstupů z hydrologických modelů a GIS, ale často také zvyšuje nároky na erudici uživatele, aby model nedegradoval na „black box“. Dalším nezanedbatelným faktem je, že sebesofistikovanější software není schopen vyprodukovat uspokojivý výsledek bez adekvátních datových vstupů - a zde se otevírá další možnost spolupráce s GIS a DPZ (sběr a interpolace hydrometeorologických dat, asimilace dat, zpracování dat o povodí apod.)

Typický scénář využití takového komplexu software je pak úvodní sběr a preprocessing dat, simulace v numerickém modelu (modelech) a následná vizualizace a analýza výsledků (vizualizace hladin a záplavových zón, tvorba animací změn hladin, apod.)

2 Typy použitých hydrologických modelů

Hydrologické modely lze z praktického hlediska rozdělit na srážkoodtokové (dále jen s-o) a hydrodynamické (dále jen HD). První skupina řeší srážkoodtokové vztahy nejčastěji v rámci jednotlivých epizod (událostní neboli event modely), kdy se z příčinné srážky produkuje hydrogram pro zvolené profily. Hydrodynamické modely pak řeší hydraulickou transformaci vody v korytech toků, inundacích a objektech vodohospodářských soustav (jezy, nádrže atd.). Samotnou klasifikací hydrologických modelů se zabývalo mnoho autorů jako Maidment (MAIDMENT ED. 1993), v rámci ČR asi nejvýznamněji Kovář (1996, 2000). Ke klasifikaci modelů dlužno dodat, že v současnosti některé modely (na úrovni konkrétního softwarového produktu) nabízejí výběr metodik pro schematizaci povodí i simulace (MIKE SHE, HEC-HMS), takže zařazení takového software k určitému typu je v podstatě neřešitelné.

Náš pracovní tým se bude snažit nastínit spolupráci GIS, DPZ a hydrologických modelů na ukázkách kombinací následujícího software:

GIS A DPZ:

ArcGIS 9.1

ArcView GIS 3.2

GRASS GIS

ERDAS 9.2

Hydrologické modely:

HEC-HMS 3.1.0, HEC-GeoHMS (s-o model)

MIKE SHE 2005 (s-o model)

HYDROG 9.0 (s-o model)

MIKE 11 2005 (HD model)

HEC-RAS 3.1.3, HEC-GeoRAS (HD model)

Představovat nejrozšířenější GIS software ArcGIS či ArcView GIS (ESRI) v rámci rozsahově omezeného článku je nepřínosnou záležitostí, proto lze odkázat na články či internetové zdroje týkající se produktů ESRI (<http://www.esri.com>) a GIS obecně (např. <http://www.gis.com>, <http://www.geocomm.com>). V kontextu využití v hydrologických modelech nabízí tento software mnoho funkcí (zejména ve skupině *Spatial Analyst Tools*) a zejména rozšíření o další extenze (HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS, MIKE BASIN, DHI Watershed Analyst, DHI Temporal Analyst) či datové modely (ArcHydro).

Nejrozšířenější open source a multiplatformní (MS Windows, UNIX/Linux) GIS GRASS v současnosti nenabízí takový uživatelský komfort jako platforma ESRI, přesto stojí za pozornost zejména k množství rastrových a hydrologických analýz i implementaci modelů samotných (TOPMODEL, CASC2D, SIMWE, AGNPS). Samotný programový balík včetně dokumentace je k dispozici na oficiálních internetových stránkách GRASS GIS (<http://grass.itc.it>). Podpora hydrologických modelů se u tohoto produktu liší podle verze, je tedy zapotřebí určité opatrnosti v použití.

Pro zpracování dat dálkového průzkumu Země existuje mnoho softwarových produktů (PCI Geomatics, ENVI, Definiens), velice schopným se jeví produkt firmy Leica Geosystems AG ERDAS Imagine zaměřený na interpretaci družicových a leteckých snímků (<http://gi.leica-geosystems.com>).

HEC-HMS, HEC-GeoHMS

V současnosti tento software představuje nejrozšířenější s-o model v USA a v rámci freeware pravděpodobně i na světě. Vyvinula jej americká ženíjná a inženýrská služba (U. S. Army Corps of Engineers) a v současnosti je samotný model k dispozici ve verzi 3.1.0, která nabízí pokročilé uživatelské rozhraní a velkou flexibilitu v parametrizaci s-o modelu. Co se týče prostorové diskretizace povodí, software umožňuje vytvoření a provoz sdruženého (lumped), semidistribuovaného i distribuovaného modelu. Z praktického hlediska, které je i potvrzeno předpovědní praxí s tímto i jinými modely, je nejrozšířenějším typem schematizace semidistribuovaný model povodí.

Jeho nativními doplňky jsou HEC-GeoHMS, což je extenze pro ArcView GIS 3.2 (nutný Spatial Analyst) sloužící k preprocesingu a schematizaci povodí z digitálního modelu terénu a software pro správu časových řad meteorologických dat a výsledků simulací HEC-DSSVue.

Projekt s-o modelu sestává z modelu povodí (vlastní schematizace), meteorologického modelu (distribuce hydrometeorologických dat na schematizovaném povodí) a kontrolních specifikací simulace.

Jak již bylo zmíněno, software nabízí široký výběr metodik pro stanovení ztráty na povodí a efektivní srážky (SCS CN, Green and Ampt, SMA), hydrologickou transformaci (jednotkové hydrogramy různých typů, kinematická vlnová aproximace 2D), pohyb v korytech (lag metoda, Muskingum-Cunge, kinematická vlnová aproximace) a základní odtok (recesní metoda, metoda lineární nádrže, sezónní konstanty). Model umožňuje zahrnutí evapotranspirace (Prestley-Taylor) a tání sněhu (nejrozšířenější metoda stupeň/den). Nespornou výhodou je možnost kombinace těchto metodik v rámci jediného schematizovaného povodí.

Pro podrobný popis metodik lze odkázat na technický manuál HEC-HMS.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/>

MIKE SHE 2005

Oproti software HEC-HMS se zde jedná o komerční software dánské firmy DHI, který patří rovněž k nejpoužívanějším ve světě. Jeho možnosti jsou v podstatě ještě větší než v případě HEC-HMS, byť na úrovni metodik se liší. Jedná se o s-o model v rámci balíku software MIKE Zero, takže komunikace s dalšími moduly (MIKE 11, MIKE SWMM, Daisy GIS) je podporována.

Dokumentace je rovněž obsáhlá, samotný software lze stáhnout z internetového odkazu v demo verzi, která má omezené možnosti stran ukládání výstupů (např. gridy) a schematizace.

Model používá vlastní datové typy (většina je ASCII), podpora ESRI shapefile (*.shp) existuje a je stabilní včetně importu atributových tabulek. Pro rastrová data používá software vlastní formát (např. *.dfs2) nebo lze importovat ASCII gridy ESRI.

Samotný projekt s-o modelu se podobně jako u HEC-HMS sestává ze samotné schematizace a datových vstupů na úrovni hydrometeorologických dat. Pro povodí s absencí hydrometeorologických dat či statických dat pro schematizaci povodí lze některé parametry (návrhová srážka, parametrizace

nenасыčené zóny) pro vykonání simulace odhadnout. Pro parametrizaci nasycené zóny lze využít vstupů z hydrogeologického modelu MODFLOW.

V rámci metod lze využít pro pohyb v korytech a hydraulickou transformaci HD modul MIKE 11, který v podstatě ještě rozšiřuje možnosti produktu na úrovni řešení hydrodynamických procesů, ale klade větší nároky na znalosti uživatele. Již zmiňovaná bohatá dokumentace a vyspělé grafické uživatelské rozhraní však toto do jisté míry usnadňuje.

Svou komplexností a širokými možnostmi parametrizace však model není prakticky využíván v předpovědní praxi v ČR. Taktéž doba simulace je ve srovnání s produkty HEC-HMS a HYDROG delší. Přesto však díky svým možnostem výstupů (rastry infiltrace apod.) je vcelku hojně používán pro hydrologické analýzy. Svým založením je spíše vhodný pro bilanční hydrologické analýzy povodí.

<http://www.dhigroup.com/Software.aspx>

HYDROG 9.0

Program HYDROG je navržen pro spojitou simulaci odtoku vody z povodí, přičemž součástí povodí mohou být vodní nádrže a poldry. Program je svým primárním zaměřením určen pro operativní provoz a je neustále rozvíjen a doplňován. Používá se na moravských pobočkách Českého Hydrometeorologického Ústavu a podnicích Povodí (UNUCKA 2006, ADAMEC ET AL. 2006).

Jedná se o typický událostní model, což není v předpovědní praxi handicapem, ale dlužno dodat, že o model velice robustní a flexibilní právě pro požadavky hydrologické prognózy.

Metodika řešení s-o vztahů je zde založena na schematizaci dílčích povodí do orientovaného síťového grafu, kde vodní toky jsou tvořeny hranami grafu, dílčí povodí (převedené na obdélníky) tvoří množinu zavěšených ploch a bodové zdroje (přítoky a odběry vody, nádrže) jsou zastoupeny uzly. Jedná se svým založením o typický semidistribovaný model, byť na úrovni schematizace vykazuje určité specifické vlastnosti (viz. výše zmiňovaný orientovaný síťový graf).

Metodiky použité v modelu však nijak nevybočují ze zavedených standardů. Pro určení ztráty na povodí a efektivní srážky je použita Hortonova metoda (křivka poklesu infiltrace), pro pohyb v korytech (1D) a na plochách povodí (2D) kinematická vlnová aproximace, pro základní odtok pak metoda lineární nádrže. Nespornou výhodou modelu je implementace řešení vodohospodářských soustav pomocí fuzzy algoritmů a metody Runge-Kutta (STARÝ 1998)

Další výhodou tohoto software je pak možnost požití tzv. přepočtených kalibračních koeficientů, které umožňují upravit chování všech dílčích povodí najednou bez nutnosti fyzického zásahu do jejich parametrů, což významnou měrou urychluje nastavení schematizace a simulace pro potřeby operativního provozu, ale zároveň klade nemalé nároky na zkušenosti uživatele, aby model nedegradoval na typ „black box“.

Nevýhodou jsou zatím chudé možnosti napojení na GIS, na kterých se nadále pracuje.

MIKE 11, MIKE 11 GIS

Tento produkt představuje asi nejrozšířenější komerční 1D hydrodynamický model ve světovém měřítku.

Doplňkovým (a opět komerčním) modelem je zde produkt MIKE 11 GIS, který umožňuje preproceing (schematizaci) a postproceing (např. vizualizaci záplavových zón).

Kromě schematizace samotných říčních úseků umožňuje i schematizaci i technických a VH objektů v toku (propustky, mosty, jezy apod.). Na úrovni metodik opět nabízí široké možnosti jak pro samotnou hydrodynamiku (kinematická vlnová aproximace, difuzní vlnová aproximace, dynamická vlnová aproximace), tak pro doplňkové moduly (modul pro kvalitu vody a advekční/disperzní procesy, pohyb

spravenin atd.). Model rovněž disponuje modulem NAM pro řešení s-o vztahů. Software je schopen řešit ustálené i neustálené proudění.

Model kromě pár výjimek (příčné profily a časové řady) pracuje s ASCII soubory. Pro automatizované spouštění lze využít knihovnu pro platformu .NET MIKE TimeObjects nebo také rozhraní Open MI.

Implicitně není výstup ze simulací v ASCII formátu, převod je však možný modulem Res11Read. Pro vizualizaci výsledků včetně např. animace změn hladin slouží program MIKE View, který je freeware. Pro vizualizaci rozlivů a záplavových zón implicitně slouží již zmiňovaný produkt MIKE 11 GIS.

Velká komplexnost modelu je výhodou v případě možností analytických operací, ale na úrovni nároků na ovládání a intuitivnosti grafického rozhraní je toto ve srovnání s produktem HEC-RAS nevýhodou.

<http://www.dhigroup.com/Software.aspx>

HEC-RAS, HEC-GeoRAS

Stejně jako v předchozím případě se jedná o hydrodynamický model. Je rovněž hojně používán a nespornou výhodou oproti MIKE 11 je fakt, že stejně jako ostatní software HEC je k dispozici zdarma jako freeware.

Pro preprocessing a postprocessing slouží produkt HEC-GeoRAS (vrze 3.x pro ArcView GIS 3.2 a verze 4.x pro ArcGIS), který je opět zdarma. Schematizace říčních úseků tedy podobně jako u MIKE 11 probíhá na úrovni GIS, byť jsou nutné další úpravy a parametrizace na úrovni samotného HEC-RAS. Ten však stejně jako MIKE 11 disponuje vyspělými grafickými editory, takže práce je snadná a do jisté míry intuitivní.

Možnosti produktu jsou opět široké. Schematizace říčních úseků je možná včetně technických a VH objektů podobně jako u MIKE 11. Příčné profily je možné importovat z MIKE 11 (raw formát), což je další výhodou, byť tento modul není ještě zcela odladěn a podporován. Drtivá většina vstupních a výstupních souborů je v ASCII formátu. Časové řady (Q apod.) lze importovat z již zmiňovaného správce dat HEC-DSSVue.

Model umožňuje rovněž simulaci ustáleného a neustáleného proudění. A to v jednoduchých i složených profilech (včetně synkritického proudění UNET). Řešení transportu sedimentů se začíná více rozvíjet od beta verze 4.0.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/>

Open source modely / GRASS GIS

Byť je GRASS GIS primárně rastrový GIS systém, zařazení tohoto open source produktu do skupiny hydrologických modelů je vcelku logické, neboť poměrně velká skupina hydrologických a dynamických erozních modelů je do tohoto GIS implementována na úrovni rastrových modulů.

Z nejrozšířenějších a nejznámějších lze jmenovat moduly r.topmodel, r.hydro.CASC2D a SIMWE, které představují asi nejzavedenější hydrologické modely. Na úrovni erozních modelů, které jsou schopny i hydrologických analýz lze zmínit r.swat, r.agnps a r.kineros. Pro schematizaci povodí a další hydrologické analýzy slouží zejména moduly r.flow, r.watershed, r.basins.fill, r.topidx a další.

Jak již bylo zmíněno, implementace jednotlivých modulů (modelů) není jednotná a liší se podle verze GIS GRASS. Stabilně je podporován model Topmodel a od verze 6.2 pak model SIMWE, což je inovovaná verze modelu r.hydro.CASC2D (obdobně jako model GSSHA na platformě WMS).

<http://grass.itc.it>

3 Možnosti propojení GIS a hydrologických modelů na konkrétních příkladech

Hlavním úkolem GIS na úrovni preprocesingu je schematizace povodí a říčních úseků. Jedná se o komplexní a obsáhlou problematiku přesahující rozsah článku, proto lze odkázat na manuály k produktům HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS, MIKE BASIN, MIKE 11 GIS, GRASS/r.watershed nebo práci Maidmenta a Djokice (MAIDMENT ET DJOKIC EDS. 2000). Obecnými hydrologickými zákonitostmi na úrovni schematizace povodí a říčních úseků se zabývá práce Maidmenta (MAIDMENT ED. 1993) a Bedienta a Hubera (2001). Z českých prací pak lze jmenovat např. práci Šercla (2004) či Unucky, Horáka a Rapantové (2005).

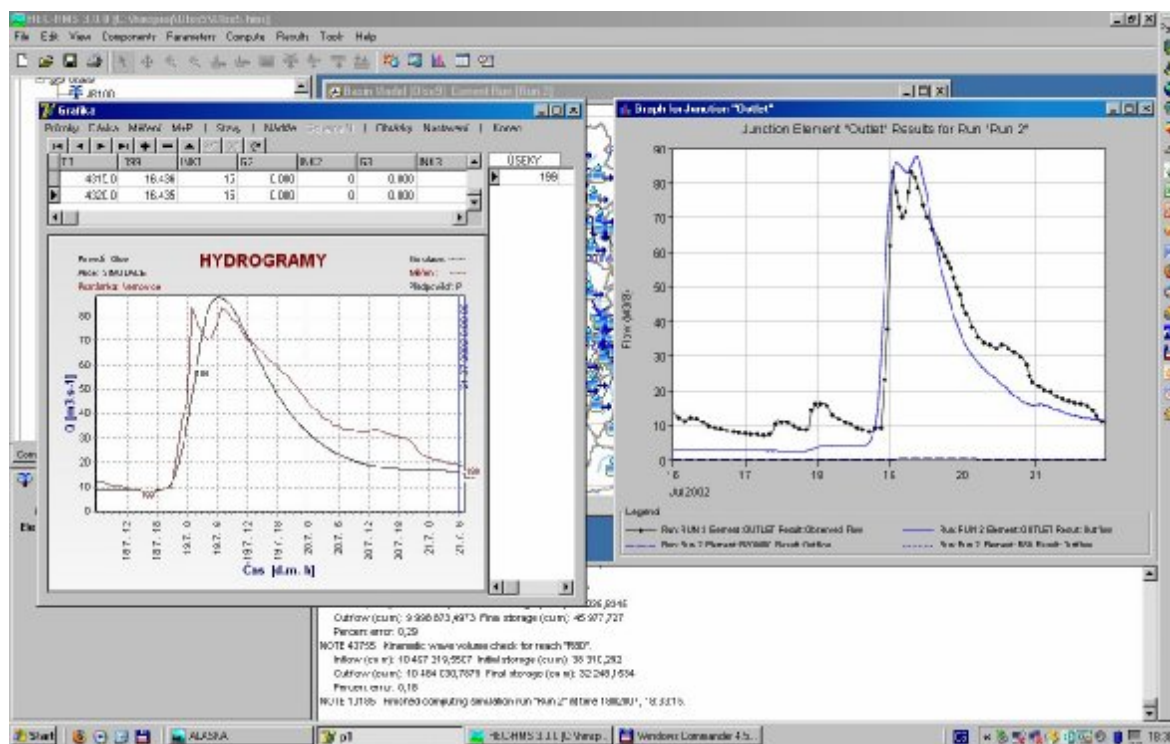
3.1 Generování záplavových zón napojením s-o, HD modelů a GIS

Pokud tento postup extrémně zjednodušíme, vygeneruje s-o model průtok (Q) pro zvolené profily. Vygenerovaný Q jako vybraná hodnota (ustálené proudění) nebo kontinuální hydrogram (neustálené proudění) pak vstupuje do HD modelu jako okrajová podmínka. V HD modelu proběhne hydraulické numerické řešení a vygenerování výšek hladin v jednotlivých příčných profilech a vyinterpolují se v rámci profilu podélného. Na úrovni GIS postprocesingu se mapovou algebrou nad DMT vygeneruje výsledný rastr nebo vektor rozlivů, pokud k vyběření dochází. Rastr rozlivů kromě samotného vymezení záplavového území předává informaci i o hloubce vody v rámci záplavy (viz. obrázek 5).

Konkrétní ukázka se vztahuje k povodí Olše (2-03-03) a Stonávky (2-03-03-0520 až 2-03-03-0640). Simulace se vztahuje k srážkoodtokové epizodě 18.-20.7.2002. Jedná se o povodeň typu *flash flood*, kdy extrémní srážkové úhrny územně omezeného rozsahu indukují rychlý povrchový odtok v postiženém povodí. S ohledem na podmínky zájmového území došlo k orograficky podmíněnému zesílení srážek v povodí Stonávky v odpoledních hodinách dne 18.7.

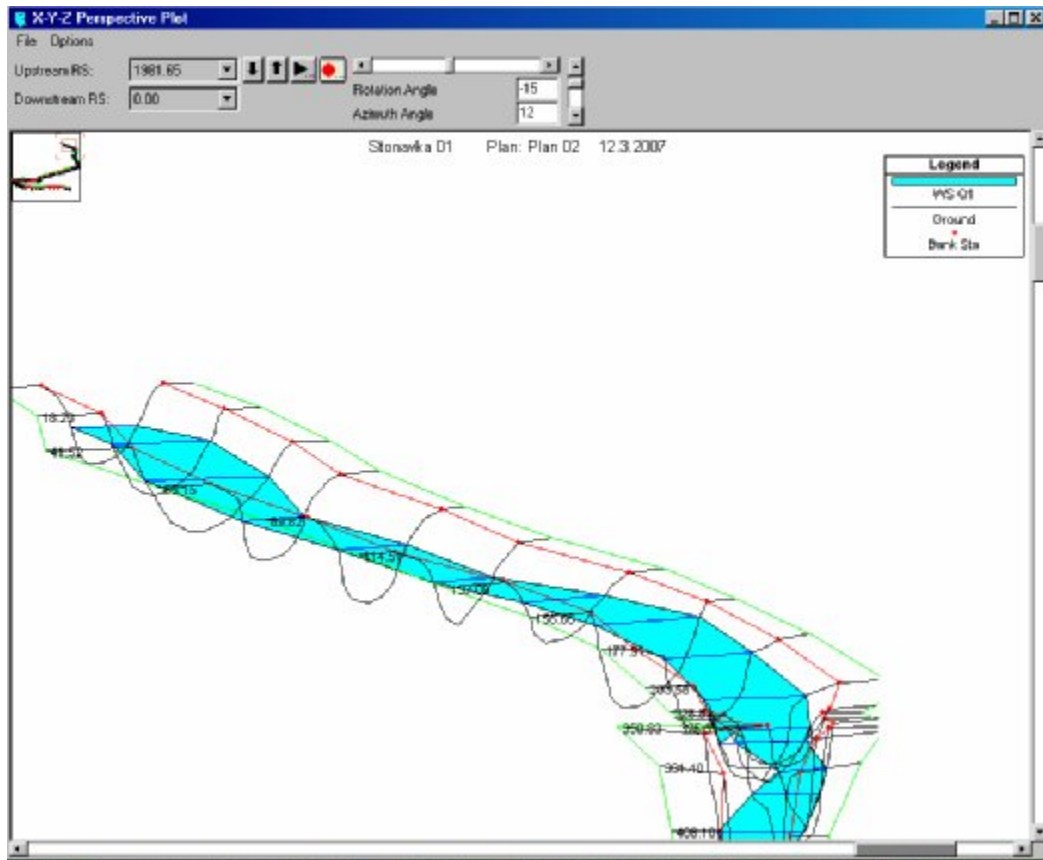
Jako s-o model byly použity HEC-HMS 3.1.0 a HYDROG 9.0. Jako HD model byly pak aplikovány modely HEC-RAS 3.1.3 a MIKE 11 2005.

Datové vstupy pro s-o modely byly radarové odhady srážek (sumace SRA_R1) vztaženy k souřadnicím staniční sítě na povodí Olše (ČHMÚ, Povodí Odry).

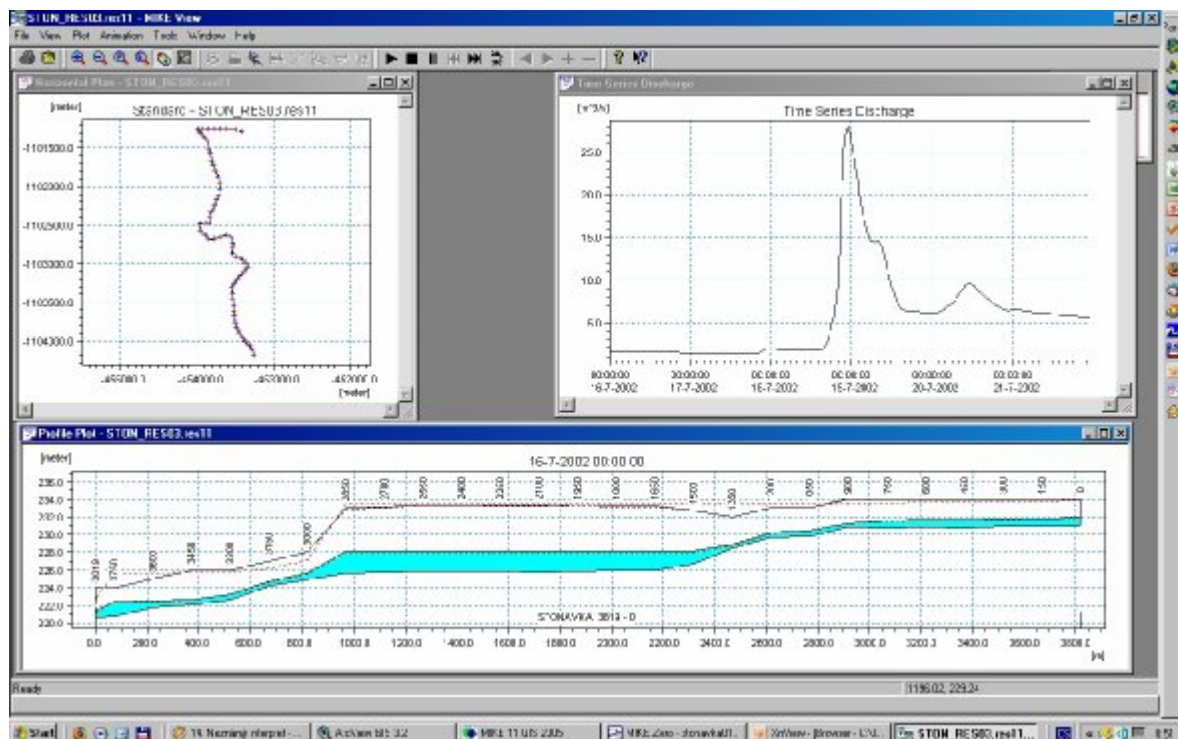


Obr. 1: Hydrogramy pro profil Věřňovice vygenerované programem HYDROG 9.0 (vpravo) a HEC-HMS (vlevo)

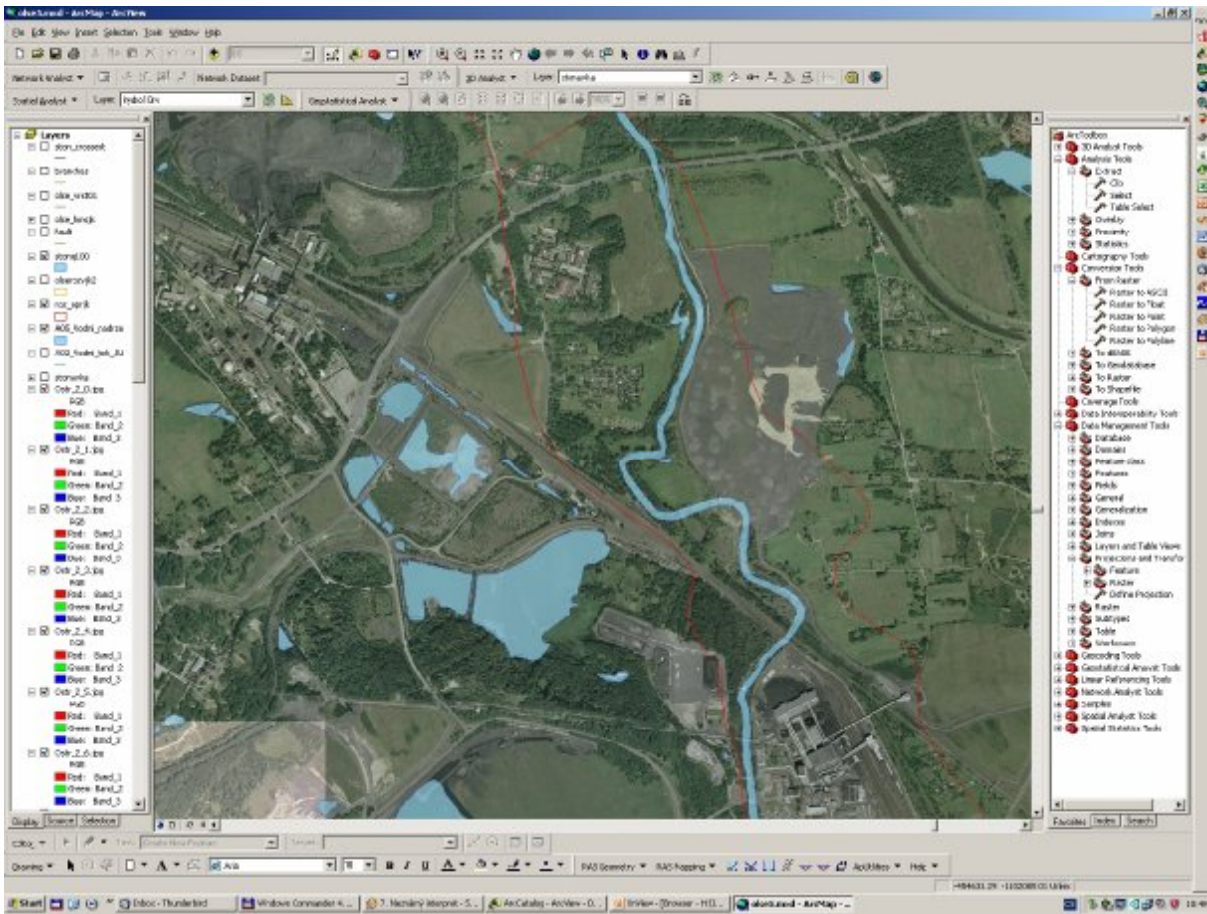
Vygenerované hydrogramy pro závěrový profil Věřňovice jsou znázorněny na obrázku 1. Tyto pak vstoupily v podobě okrajových podmínek do HD modelů HEC-RAS a MIKE 11, které vygenerovaly hladiny v jednotlivých úsecích Stonávky (obrázky 2 a 3). Vizualizace rozlivů v rámci GIS postprocesingu je pak ilustrována obrázky 4 a 5.



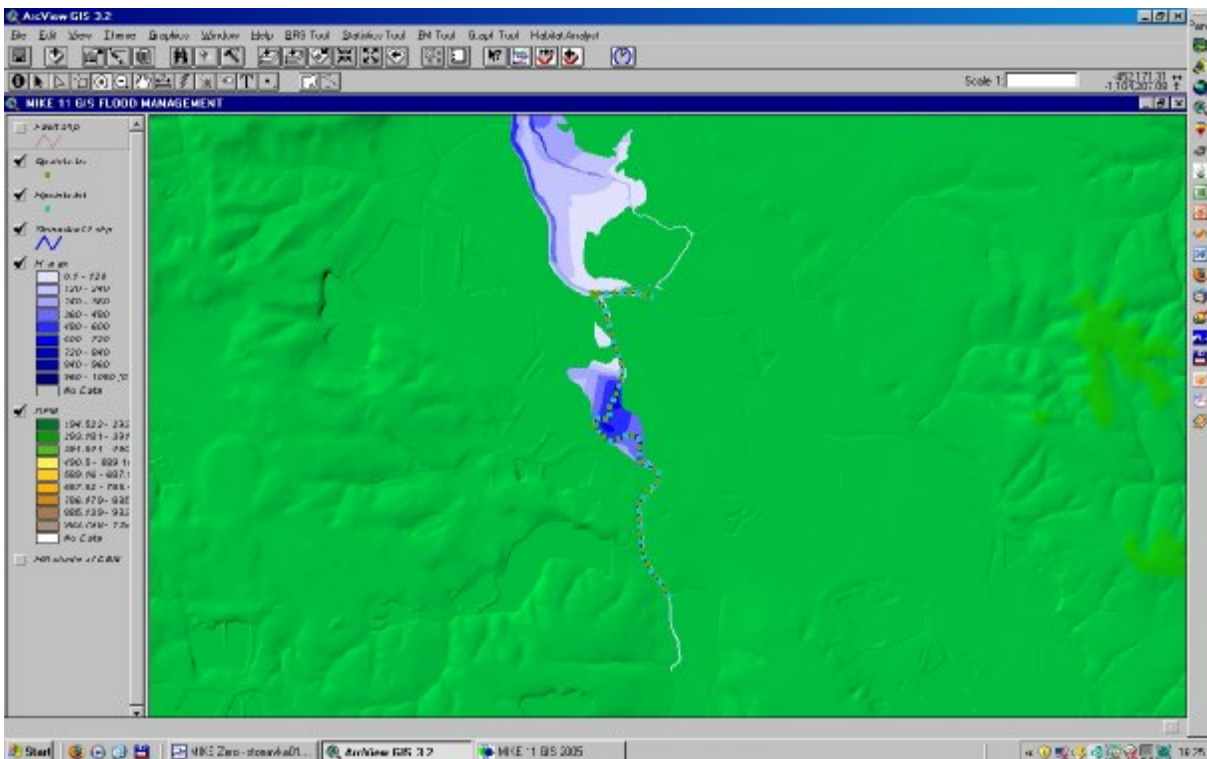
Obr. 2: Perspektivní pohled na generované hladiny v modelu HEC-RAS (Stonávka nad ústím do Olše)



Obr. 3: Podélný profil hladin v MIKE 11/MIKE View (Stonávka nad ústím do Olše)



Obr. 4: Vizualizace hladin Stonávky v HEC-GeoRAS 4.1/ArcGIS 9.1 (stav před vyběžením)



Obr. 5: Vizualizace hladin v době kulminace u soutoku Olše a Stonávky v MIKE 11 GIS / ArcView 3.2

3.2 Vizualizace rastrů kumulativní infiltrace

V období hydrologických extrémů je jedním z klíčových faktorů též míra nasycení povodí. K jejímu vyjádření se používají jak nepřímé ukazatele jako je ukazatel předchozích srážek (UPS), tak je lze s pomocí hydrologických modelů kvantifikovat přímo. To je však poplatné použité metodě. Mezi nejrozšířenější metody infiltrace v této souvislosti patří metoda Greena a Ampta (viz. např. MAIDMENT ED. 1993, BEDIENT ET HUBER 2001).

Ta našla konkrétní uplatnění v modelech jako jsou HEC-HMS, CASC2D (v aktuálních verzích SIMWE, GSSHA) a MIKE SHE. Metoda samotná má svá omezení zejména v horských povodích (vyplývající z řešení gravitačního pohybu infiltrační fronty), přesto je zejména v USA jednou z nejrozšířenějších. Hlavním faktorem zde stejně jako u Hortonovy metody je hydraulická vodivost daná parametry půdního profilu a jeho pokryvu.

Praktickým využitím může být vizualizace aktuálního nasycení povodí, jak znázorňují obrázky 6 a 7. Z toho lze odvodit informaci pro jaký úhrn deště již lze očekávat povrchový odtok a případnou povodňovou událost.

4 Závěr

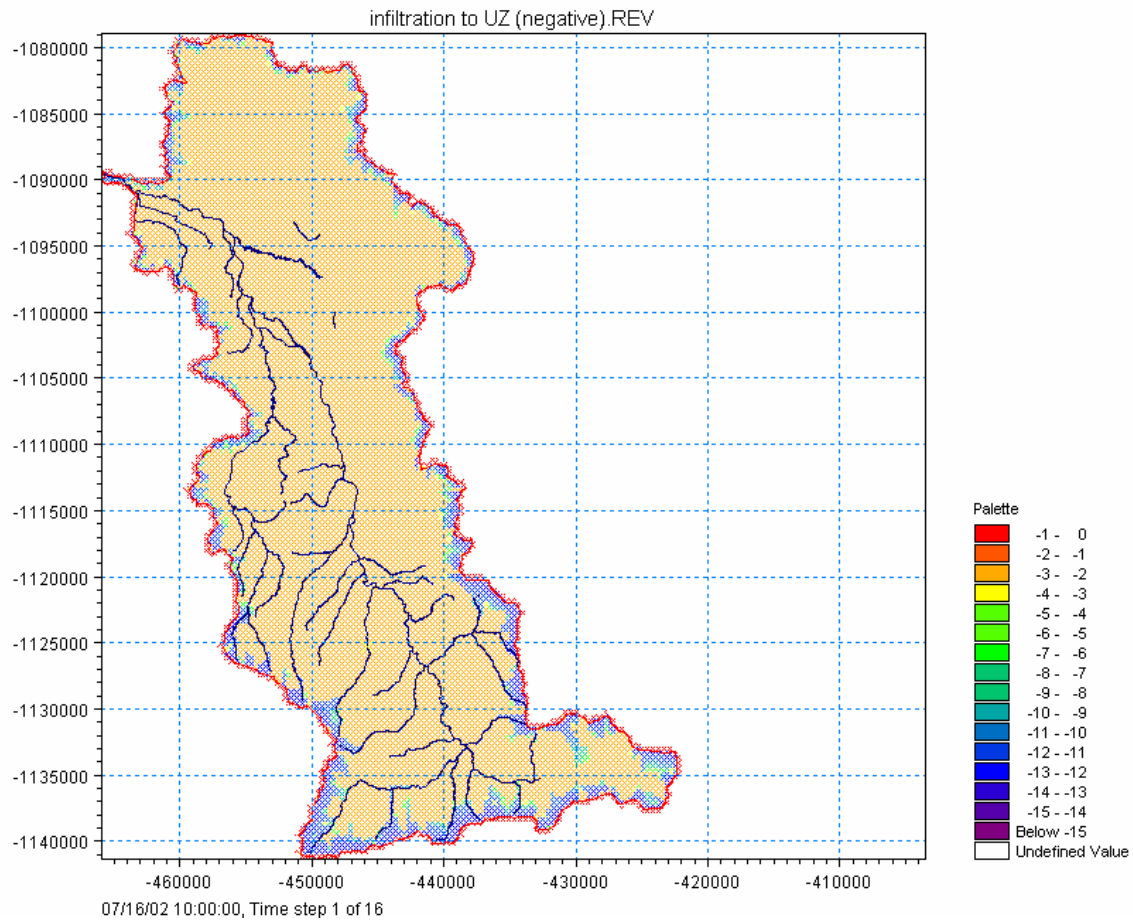
Jak bylo demonstrováno na uvedených příkladech, propojení GIS a hydrologických modelů v sobě skrývá velký potenciál a trend sílící spolupráce daných typů programových prostředků je zjevný (GRASS GIS, DHI/ESRI, USACE/ESRI apod.). GIS jako preprocesingový a postprocesingový nástroj velkou měrou ulehčuje a urychluje zejména výstavbu hydrologických modelů, kalibraci vybraných parametrů a v neposlední řadě pak analýzu a vizualizaci výsledků. To spolu s rostoucím výkonem výpočetní techniky umožňuje včasné analýzy potenciálně rizikových hydrosynoptických situací a tedy lepší ochranu před některými negativními dopady povodní.

Rovněž v případě modelování scénářů změn krajinného pokryvu apod. představuje GIS v podstatě ideální nástroj pro efektivní přípravu dat. Modelování scénářů představuje rovněž další dynamicky se rozvíjející odvětví, zejména v kontextu tolik diskutovaného problému *global change*. Zde nutně nemusí znamenat riziko povodeň jako taková, ale hydrologické extrémy obecně (nevyrovnanost odtoku, sucho).

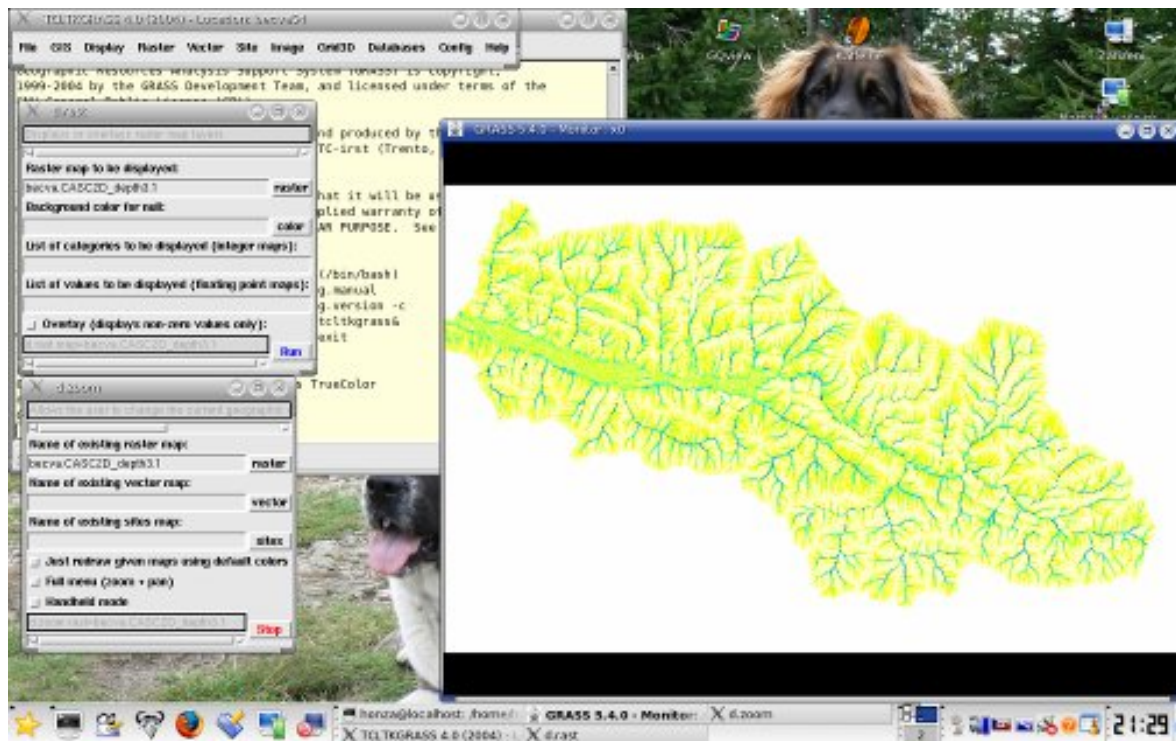
Nesporně pozitivní je fakt, že toto napojení není výsadou drahého profesionálního software, ale i open source software (např. GRASS GIS, TOPMODEL) a freeware (HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS). To sice zpřístupňuje tento potenciál prakticky každému zájemci, s sebou to však nese riziko nahlížení na hydrologické problémy jako na čistě inženýrskou záležitost.

Poděkování

Příspěvek vznikl na základě finanční podpory Grantové agentury České republiky v rámci projektu GA 205/06/1037 "Využití geoinformačních technologií pro zpřesňování srážko-odtokových vztahů". Autoři děkují ČHMÚ a s.p. Povodí Odry za poskytnutá data.



Obr. 6: Rastr kumulativní infiltrace na povodí Olše (MIKE SHE 2005)



Obr. 7: Rastr kumulativní infiltrace na povodí Rožnovské Bečvy (GRASS 5.4/r.hydro.CASC2D)

5 Literatura

- ADAMEC, M., UNUCKA, J. (2005): Vliv dostupnosti a mezinárodní výměny dat na predikci povodňových stavů příhraničních toků na příkladu povodí Olše. In Transformační procesy 1990 - 2005. 10.10.2005-11.10.2005 Ostrava. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2005. s. 232 -238.
- ADAMEC, M., BŘEZKOVÁ, L., HANZLOVÁ, M., HORÁK, J., UNUCKA, J. (2006): Modelování vlivu land use na srážkoodtokové vztahy s podporou GIS. Příspěvek na konferenci Říční krajina 4. Olomouc, PřF UPOL, s. 335-350
- Bedient, P.C., Huber W. C. (2001): Hydrology and floodplain analysis. 2nd edition. London, Prentice Hall. 763 s.
- BEVEN, K.j. (2002): Rainfall-runoff modelling. The Primer. London, John Wiley & Sons. 372 s.
- HANZLOVÁ M., UNUCKA J., VOŽENÍLEK V. (2006): Využití a pokryv krajiny (LULC) ve vazbě na hydrologické modelování. Příspěvek na XXI. Sjezdu České geografické společnosti, České Budějovice, 30.8.-2.9.2006
- HANZLOVÁ, M., HORÁK, J., UNUCKA, J. et al.(2006): Klasifikace pokryvu území v povodí Bělé pro hodnocení srážko-odtokových poměrů. In konference GIS ve státní správě, Brno, 8 s.
- HLADNÝ, J. et al. (1996): Dopady možné změny klimatu na hydrologii a vodní zdroje v České republice. Národní klimatický program, svazek č. 20. Praha, ČHMÚ, 138 s.
- MAIDMENT, D.R. ED. (1993): Handbook of Hydrology. 1st edition. London, McGraw-Hill Professional. 1424 s.
- MAIDMENT, D., DJOKIC, D. ED. (2000): Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems. Redlands, ESRI Press. 232 s.
- NACHTNEBEL, P.H., KOVÁŘ, P. EDS. (1996): Rainfall-runoff Models. Lectures from the Workshop. Lecture notes from the workshop. Praha, ČZU. 176 s.
- STARÝ, M. (1998): HYDROG-S. Popis programu. Brno, nepublikováno.
- US Army Corps Of Engineers (2002): HEC-GeoRAS. User's Manual. Davis, US Army Corps Of Engineers. 114 s.
- Unucka J., Horák J., Rapantová N. (2005): Možnosti propojení GIS s hydrologickými a hydrogeologickými modely. In Sborník konference Hydrologické dni 2005. Bratislava, Slovensko, 21-23.9.2005. s. 198- 210, 13 stran
- UNUCKA, J. (2006): Hydrologické a vodohospodářské aspekty revitalizace Bečvy. Disertační práce. PřF OU Ostrava, 178 s.
- WARD, A., TRIMBLE, S. W. (2004):. Environmental Hydrology. 2nd. Edition. CRC Press & Lewis Publishers, 504 s.
- HEC-HMS, HEC-GeoHMS. Online
[\[http://www.hec.usace.army.mil/software/software.html\]](http://www.hec.usace.army.mil/software/software.html)
- SWAT -2000, AVSWAT -2000. Online
[\[http://www.brc.tamus.edu/swat/soft_model_2000soft.html\]](http://www.brc.tamus.edu/swat/soft_model_2000soft.html)

METODIKA VYMEZOVÁNÍ ÚDOLNÍ NIVY V PROSTŘEDÍ GIS

Filip Hartvich¹ a Jan Jedlička²

¹⁾ Oddělení inženýrské geologie a geofaktorů, Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i., V Holešovičkách 41, Praha 8, 182 09

²⁾ Katedra kartografie a geoinformatiky, PřF UK, Praha

Abstrakt

Příspěvek se zabývá návrhy, aplikací a hodnocením postupů pro vymezení údolní nivy na základě digitálního modelu reliéfu (DMR) v prostředí GIS, které byly navrženy a vyzkoušeny v modelovém povodí Sázavy. Po vymezení údolní nivy byl výstup porovnán s výsledky terénního mapování a byly zhodnoceny možné zdroje nepřesnosti modelu. Kromě nepřesností vstupních dat se jedná i o objektivní překážky, většinou vyplývající z konfigurace prvků reliéfu, například nevýrazné morfologické omezení údolního dna, přítomnost nízkých mladopleistocenních teras, nebo antropogenní zásahy do terénu údolní nivy.

Keywords: floodplain delineation, GIS, DMR, morphometry, model builder

1 Úvod

Přesné vymezení údolní nivy je jedním ze základních předpokladů pro návrh funkčních protipovodňových opatření, protože rozsah údolní nivy, tvořené zejména povodňovými akumulacemi, úzce souvisí s možným rozsahem potenciální záplavy při povodňové situaci (Křížek et al. 2006).

Je zřejmé, že nejpřesnější metodou by byla kombinace podrobně vykreslené záplavové čáry (vždy pro příslušnou n-letost povodně) spolu s detailním terénním mapováním rozsahu, výšky a následků záplavy. V praxi je však využití této metody obtížné, zejména pro vysokou náročnost finanční, časovou, a také na kvalifikaci a zkušenosti terénních pracovníků (Townsend and Walsh 1998).

Tento příspěvek se zabývá návrhem a hodnocením postupů pro vymezení údolní nivy na základě digitálního modelu reliéfu (DMR). Silnou stránkou systémů GIS je možnost efektivní práce s prostorovými daty, proto se jeví jako vhodný nástroj pro vymezení oblastí určených především specifickými parametry reliéfu, případně dalších atributových dat proměnných v čase. V případě říční nivy jde o vymezení oblasti na základě morfometrických charakteristik, tedy geometrických vlastností terénu. Poměrně přesných výsledků při mapování, zejména pro účely vymezení zátopové čáry, lze dosáhnout kombinací systémů GIS se specializovaným hydrologickým SW. Nejčastěji používaným poloprofesionálním systémem je program HEC-RAS, respektive jeho upravená extenze pro ArcGIS, HEC-GeoRAS (Tate and Maidment 1999, Anderson 2000, Andrysiak and Maidment 2000, Lewin and Manton 1975, aj.).

Takto získané výstupy jsou relativně přesné. Nevýhodou těchto specializovaných programů je velká náročnost na vstupní data, je potřeba doplnit řadu příčných profilů a mnoho dalších geodetických parametrů, které nejsou vždy známy. Při mapování nivy v rozsáhlých oblastech by bylo zajištění všech požadovaných vstupních parametrů pro specializovaný hydrologický SW velmi náročné. V mnohých případech ať již z časových, finančních či jiných důvodů je zajištění všech požadovaných vstupních parametrů nemožné. Proto je snahou tohoto projektu navrhnout co nejjednodušší postup, kterým lze přibližně zjistit rozsah nivy v celém rozsáhlém povodí. Tato metoda je sice méně přesná než terénní dokumentace, nicméně je nerovnatelně rychlejší a výrazně levnější. Výsledná kvalita je samozřejmě výrazně ovlivněna kvalitou a podrobností vstupních dat.

2 Vstupní data

Před diskuzí jednotlivých výše uvedených kroků je třeba zdůraznit nejdůležitější vstupní prvek, zásadně ovlivňující konečnou přesnost celého procesu vymezení říční nivy. Tím je DMR. Na přesnosti DMR stojí celý zde uvedený proces vymezení říční nivy. Čím přesnější je DMR (a to nejen prostorovým rozlišením), tím lepší mohou být výsledky celého procesu. V protikladu však stojí vyšší výpočetní a tím i časová náročnost. Proto je třeba uvážit jaká přesnost je pro danou aplikaci dostatečná (Hartvich 2006).

V rámci revize stávajícího modelu byly navrženy určité kroky umožňující do značné míry zpřesnit DMR pro potřeby vymezení říční nivy. Asi nejčastějším zdrojem dat pro vytvoření rastrového DMR jsou vektorové vrstevnicové podklady ZABAGED. Pro vytvoření rastrového DMR se jako nejvhodnější v rámci ArcGIS ukázala funkce TopoToRaster. Tato funkce vytváří hydrologicky hladký povrch (neobsahuje žádné bezodtoké oblasti), kdy veškerá voda z tohoto povrchu odtéká do jednoho či několika málo závěrových bodů. Další výhodou této funkce je možnost zahrnout do tvorby DMR i další doplňující informace. Těmito informacemi mohou být jednak doplňující výškové body, či koryta řek či silniční síť. Tyto údaje mohou být zadány i bez znalosti jejich nadmožské výšky (jako breaklines, či streams), v rámci modelu pak tvoří zlomové linie či vhloubené oblasti. Dalším nezbytným vstupním údajem pro vymezení říční nivy je vektorová vrstva říční sítě, v našich podmínkách obvykle z databáze ZABAGED 1:10 000.

3 Návrh metodiky vymezení nivy

Postupně byly vyzkoušeny tři různé přístupy k automatizovanému vymezení nivy. Prvním z nich je "morfometrický přístup", kdy se z DMR generují následující morfometrické a topografické parametry:

- Buffer vzdáleností od vodního toku
- Relativní výška reliéfu nad hladinou vodního toku
- Svažitosť reliéfu v okolí vodního toku.
- Hledání náhlým změn výšky (sklonu), umožňující nalézt zlomové linie (Spatial Analyst -> Neighborhood ->Focal Statistic).

Reklasifikací bylo dosaženo převedení na rastry s novým rozdělením tříd, ohodnocených sestupně podle klesající hodnoty parametru, typického pro morfologii a polohu říční nivy - tj. např. u sklonu klesá nová hodnota s rostoucím sklonem, u bufferu s rostoucí vzdáleností od toku, atd. Čím vyšší hodnoty parametru, tím pravděpodobněji se v dané oblasti nachází říční niva (např. svah 0 – 1° hodnota 5, svah nad 10° hodnota 0), kombinací těchto relativních hodnot pro všechny využívané parametry lze určit pravděpodobnost výskytu říční nivy v daném území. Kombinací reklasifikovaných rastrů (součet bodových hodnot) vznikly dva výsledné rastry, které byly rozděleny do dvou tříd s hodnotami 1 (niva) a 0 (ostatní). Tyto výsledné rastry se lišily ohodnocením hodnot tříd vstupních rastrů.

Druhou možností je vymezení údolní nivy podle relativní výšky reliéfu nad vodním tokem, vypočtený jako rozdíl plochy, proložené 3D linií toku, a DMR. Jako dělicí kritérium pro rozdělení plochy na nivu a ostatní je možné v rámci objektivizace uvažovat dvojnásobnou hodnotu maximálního peaku v histogramu výšek na tokem. Tento postup je zcela objektivní a transparentní, nicméně jeho nevýhodou je jednak nepřesný výsledek v nevýrazném údolí, jednak naráží na nepřesnost datových podkladů, zejména vrstevnic.

Oba postupy je samozřejmě možné kombinovat, jako vhodná kombinace se ukazuje použití sklonů reliéfu, bufferu a relativní výšky. Tímto způsobem byla zpracována údolní niva Sázavy. K vymezení údolní nivy Sázavy byl využit rastrový digitální model reliéfu, založený na vrstevnicovém podkladu DMÚ 25 intervalem vrstevnic 10 m. Vzhledem k velikosti území a podkladovým datům byla velikost buňky rastru stanovena na 10 x 10 m.

Na základě DMR byly vytvořeny odvozené rastry. V první řadě se jednalo o rastr sklonu reliéfu. Ten byl dále zhlazen pomocí neighbourhood analysis (průměr v kruhu o poloměru 3 buňky). Zároveň byla z vrstvy vodních toků vybrána Sázava a vytvořen buffer se šířkou pásem 25 m a rozsahu 25 pásem. Dále byl vytvořen rastr sklonů založený na upraveném agreeDMR. Konečně posledním vstupem byl rastr relativní výšky nad řekou vypočtený jako rozdíl plochy, proložené 3D linií Sázavy, a DMR. Podle histogramu je peak rozložení relativních výšek 0,8 m nad hladinou řeky, jako dělicí kritérium byla uvažována dvojnásobná hodnota, tedy 1,6 m.

Při testování výše popsaných postupů v povodí Sázavy, Blanice a Losenice se ukázalo, že v případě zahloubených údolí, jaké má například Sázava nebo Losenice, funguje takto navržený postup poměrně spolehlivě. Problém nastává u méně výrazných tvarů údolí, popřípadě u nížinných toků. Další fází pokusů o co nejpřesnější vymezení údolní nivy je zavedení dalších dvou faktorů: zavedení faktorů progresivní změny nastavení algoritmu s rostoucí vzdáleností od pramene, a sice:

- plynulý růst parametru, ovlivňujícího prakticky dosažitelnou šířku nivy
- plynulý růst parametru, ovlivňujícího relativní výšku nivy nad hladinou (a tedy i výšku potenciální záplavy) v závislosti na rostoucí délce toku

Zavedení progresivity těchto parametrů je dalším krokem, který přiblíží model reálné situaci, kdy – s výjimkou geologicky, strukturně nebo silně antropogenně ovlivněných toků – se postupně zvyšuje výška i šířka údolní nivy.

4 Hodnocení vymezení nivy

Pro zhodnocení tohoto výstupu bylo využito mapování následků povodní z července 2006 týmem mapovatelů katedry fyzické geografie, kdy byla rovněž zakreslována poloha údolní nivy. Údolní niva Sázavy byla v terénu mapována pouze ve dvou úsecích, které byly využity jako kontrolní při hodnocení spolehlivosti vymezení. Automatické vymezení bylo ovšem provedeno po celé délce řeky od výtoku z Velkého Dářka až po ústí do Vltavy u Davle v délce cca 213 km.

Aby byly tyto datové podklady porovnatelné, byly výstupy automatického mapování i terénních prací oříznuty tak, aby pokrývaly stejnou část údolí Sázavy, při mapování byla totiž sledována Sázava pouze v úsecích přibližně Příbyslav - Zruč n. S. a Sázava - Medník. Poté byl kontrolní soubor převeden na srovnatelný rastr (10x10m).

Výsledkem porovnání byl výpočet spolehlivosti zařazovacího algoritmu, tj. jaká část pixelů byla zařazena správně. Porovnání s kontrolním souborem ukázalo, že většina pixelů byla identifikována správně (81, respektive 85%). V naprosté většině případů byl rozsah nivy při automatickém vymezení přeceněn oproti mapovanému rozsahu, podceněn byl pouze ve 2-3 %. Dolní úsek vychází celkově o něco lépe, zejména kvůli výrazně zahloubenému údolí, morfologicky velmi dobře patrnému.

Při porovnávání s kontrolními daty bylo zjištěno několik problematických míst, kde se výrazněji rozcházejí výstupy z modelu a z terénního mapování. Na dolním úseku je nejproblémovější oblastí okolí Poříčí nad Sázavou a Sázavy, na horním v okolí Zruče n/S., dále u Vilémovic, Okrouhlic a Havlíčkova Brodu. Tyto lokality byly proto detailně ověřeny v terénu, takže bylo možné obvykle určit příčinu neshody mapování a modelu.

5 Terénní ověření problematických lokalit

Terénní ověření bylo v případě Sázavy využito k odhalení příčin výraznějších neshod mezi vymezením nivy mapovateli a modelem (obr. 1), založeným na DMR. Zde byly vybrány typické příklady možných příčin.

Jako první je zde možno uvést oblast v okolí obce Pohled cca 3 km proti proudu od Havlíčkova Brodu (obr. 2). V této lokalitě prochází nivou železniční koridor na trase Praha - Brno. Těleso železničního náspu je u základny přibližně 5 široké, výška dosahuje cca 5 m. Při mapování není zaznamenána část nivy, zakrytá železničním náspem, přestože podle za ním ve skutečnosti pokračuje. Při automatické vymezení nivy tak byla tato oblast vymezena správně, ale po porovnání se zmapovaným rozsahem nivy bylo území vyhodnoceno jako navíc zahrnuté pixely. Terénní ověření však prokázalo, že v tomto případě model fungoval správně.

Jednou z příčin, která způsobuje problémy při vymezení nivy z DMR, založeném na 5 metrových vrstevnicích, je přítomnost nízkých říčních teras. To je případ plošiny, na které je v současné době vybudováno nádraží ve Světlé nad Sázavou (obr. 3). Stupeň, který odděluje terasu od nivy, je příliš nízký, aby byl výrazněji zachycen v DMR, takže niva z něj odvozená zde zasahuje mnohem dále, než je tomu ve skutečnosti.

Konečně posledním příkladem je známá lokalita Stvořidla u Vilémovic, můžeme ukázat vliv mírně ukloněného údolního dna, kde se jak na modelu, tak v terénu obtížně rozhoduje, kam až skutečně údolní niva zasahuje (obr. 4).

6 Implementace progresivní změny parametrů

Po výše popsaném zhodnocení výsledků modelu bylo přistoupeno k další fázi vylepšování modelu. V rámci této revize byl definován požadavek na možnost progresivní změny šířky bufferu s rostoucí vzdáleností od pramene. Pro možnost progresivní změny šířky bufferu musí být k dispozici informace o vzdálenosti bodu od počátku linie, v tomto případě od pramene. Tyto údaje však nejsou obvykle v datech popisujících říční síť zahrnuty, proto je třeba tento údaj k datům připojit, ať již manuální editací, či s využitím funkce toolboxu. V případě využití funkce toolboxu je nejprve třeba vytvořit v atributové tabulce vektorové vrstvy říční sítě jedinečný identifikátor pro každou řeku. Dále je po proběhnutí výpočtu třeba zkontrolovat, zda je dobře určena „orientace vzdálenosti“ (vzdálenost musí narůstat od pramenu k ústí a ne obráceně).

Jakmile je k dispozici informace o vzdálenosti libovolného bodu na toku od pramene, lze poměrně snadno vytvořit rozšiřující se buffer. Nejprve je rozdělena linie vodního toku na stejné díly po n metrech, následně je pro každý takto vytvořený úsek spočtena střední vzdálenost od pramene, která je uložena do atributové tabulky. Tento údaj je pak použit pro konstrukci bufferu, kdy jako předpis pro určení šířky lze zvolit jednoduchou funkci (např. rozšíření bufferu o 10 m na každých 1000m délky). Rozšiřujících se bufferů je vytvořeno několik, s pravidelně rostoucí šířkou (obr. 5). Tyto buffery jsou následně převedeny na rastr a ohodnoceny relativní hodnotou.

Výše popsaný způsob byl též využit při určování relativní výšky reliéfu nad vodní hladinou. I zde byl požadavek, aby se relativní výška nivy nad vodní hladinou s rostoucí vzdáleností od pramene zvyšovala. Opět je třeba vytvořit liniovou vrstvu, obsahující informace o vzdálenosti bodu od pramene. Následně je vytvořena vrstva bodů umístěných v pravidelných rozestupech po celé délce toku. Pro tyto body je spočtena vzdálenost od pramene a na jejím základě pak určena nadmořská výška hranice nivy. Takto určené body jsou využity k vytvoření rastru relativní výšky reliéfu nad vodní hladinou. Pro vytvoření tohoto rastru se nejvíce osvědčila metoda IDW. Relativní výška reliéfu je spočtena jako rozdíl nově vytvořeného rastru a vstupního DMR. Opět i v tomto kroku je vygenerováno několik rastrů pro rostoucí relativní výšku DMR nad hladinou nivy, které jsou následně ohodnoceny relativními hodnotami.

7 Automatizace modelu

Dalším krokem byla snaha o vytvoření plně automatizovaného modelu. Ten by na základě několika vstupních parametrů vypočítal rastry pro jednotlivé vstupní parametry a poté by vymezil říční nivu. Hlavní část tohoto modelu byla vytvořena s využitím ModelBuilderu (obr. 6). Při tvorbě modelu vyvstalo několik překážek, z nichž některé se daly odstranit s využitím možností ModelBuilderu (například určení pořadí výpočtu a priorit proměnných). Některé překážky však nebyly v rámci model builderu řešitelné a pro jejich odstranění je nutné vytvořit vlastní skript s využitím rozhraní ArcObject.

Jednou z těchto překážek bylo například automatické vygenerování bodů umístěných na toku s konstantním krokem vzdálenosti mezi body (pro určení relativní výšky reliéfu nad tokem, viz výše). Pro lokalizaci bodu v určité vzdálenosti od počátku polyline-M (viz výše) nabízí toolbox funkci „Locate feature along route“, která vyžaduje jako vstup tabulku určující na jaké řece (podle jedinečného ID) a v jaké vzdálenosti mají být jednotlivé body umístěny. Právě tato tabulka je generována v rámci vlastního skriptu.

Dalším problémem bylo automatické vygenerování polyline-M vrstvy ze vstupní liniové vrstvy. Toolbox sice nabízí funkci pro vytvoření polyline-M (či route feature), ale nelze sám o sobě využít pro určení vzdálenosti od pramen pro všechny řeky - vzhledem k charakteristice říční sítě může dojít k případům, kdy u některých toků nenarůstá vzdálenost od pramene, nýbrž od ústí.

Řešení tohoto problému se ukázalo jako komplikovanější. Zatím navržený postup využívá možnosti recalibrace již vytvoření polyline-M pomocí bodů které obsahují informace o vzdálenosti podél linie (funkce „calibrate routes“). Tento postup je však ještě třeba odzkoušet na větším objemu dat, popřípadě nalézt jiný, jednodušší algoritmus.

Vlastní model je zatím rozdělen do několika nezávislých částí. Toto rozdělení je vhodné pro odladění modelu, otázkou zůstává zda spojovat tyto dílčí modely v jeden celek, což by způsobilo velkou časovou náročnost na výpočet a horší lokalizaci případných chyb.

8 Shrnutí, závěry a budoucnost

Kombinovaný postup, založený na využití relativní výšky nad tokem a morfometrie nivy, byl dosud aplikován na povodí Sázavy. Takto jednoduchý model - založený navíc, jak bylo ukázáno, na ne zcela přesných vstupních datech - nemůže samozřejmě fungovat úplně bez omylů a nepřesností. Protože se jedná o značně zjednodušené schéma, nelze jeho výsledky co do spolehlivosti porovnávat s profesionálním specializovaným SW typu HEC-RAS. Výhodou tohoto postupu je ale naopak nenáročnost na množství vstupních dat, časová nenáročnost a nízké náklady.

Kromě nepřesností způsobených vstupními daty je ovšem možné odhalit i vnitřní ("intrinsic") zdroje chyb ve vymezení nivy a další faktory ovlivňující konečnou přesnost výstupu. Jedním z nich je částečně subjektivní určení mezí při reklasifikaci absolutních hodnot na relativní, a dále správné zvolení předpisu popisujícího progresivní nárůst šířky buffer či relativní výšky reliéfu. Vhodné určení těchto parametrů je mnohdy problematické a časově náročné. Nejlepším způsobem je zřejmě určení těchto parametrů na základě terénního geodetického zaměření určitých modelových, charakteristických částí nivy.

Výhodou je, že pro určení parametrů lze zvolit (a zaměřit) pouze malou část reprezentující typickou morfologii koryta dané řeky. Po určení vhodných parametrů nad těmito vzorky lze obstojně vymezit říční nivu po celé délce toku. Nevýhodou je nutnost kalibrace parametrů pro každou řeku odděleně.

Slabinou popsaného postupu je vymezení hranice nivy v plochých oblastech, kdy je okraj nivy velmi nevýrazný, tj. kde neexistuje zaznamenanatelná změna sklonu. Vymezení těchto nezřetelných okrajů nivy je však problematické i při terénním mapování. Dále je zde problém s neschopností modelu detekovat nízké

mladopleistocenní terasy ohraničující nivu. Tento problém však souvisí spíše s přesností vstupních dat, protože nízké terasy ve většině případů podtékají citlivost rozlišení DMR.

V článku bylo ukázáno, že existují určitá omezení a nedostatky této techniky. Na druhou stranu, je zde také mnoho výhod. Pokud budeme mít k dispozici dostatečně přesné datové podklady, je možné tímto způsobem zhruba vymezení údolní nivy téměř okamžitě pro prakticky neomezeně velké území. Tato výhoda zvláště vynikne, pokud budeme zpracovávat větší území, které je nereálné pokrýt kompletně terénním průzkumem, nicméně budou k dispozici kontrolní úsek (mapované v terénu), na kterých bude možné ověřit a porovnat výstupy z modelu. Ideální je v tomto případě provést vymezení v GISu ještě před započítáním terénních prací a zohlednit jeho výstupy při výběru mapovaných úseků.

V případě, že naopak celé území zmapované máme, je možno takto relativně rychle a bez velkých výdajů zkontrolovat provedení tohoto mapování pro velkou plochu a odhalit případně chyby nebo omyly - viz např. popisovaná lokalita u obce Pohled. Automatizované vymezení údolní nivy je zároveň buď málo nebo vůbec není ovlivněno subjektivním přístupem operátora. Další výhodou je i menší vliv umělých překážek v nivě (zástava, dopravní infrastruktura) na výsledek než v případě terénního mapování.

Dalším směrem, kam bude směřovat vylepšování vymezení nivy v GISu, je dokončení funkčnosti automatizace celého procesu. Zde je třeba odladit jednotlivé modely a vyzkoušet jejich chování při velkém objemu dat. V rámci uživatelského rozhraní je třeba přesně definovat které údaje může uživatel ovlivňovat a které budou generovány automaticky. Samostatnou kapitolou pak zůstává možnost vytvoření speciálního panelu nástrojů. Rovněž uvažujeme o možném zpřesnění vymezení nivy pomocí implementace růstu relativní výšky reliéfu nad vodní hladinou s velikostí průtoků (či výšky hladiny) měřených v určité vzdálenosti od pramene, kdy nárůst relativní výšky by měl být svázán s nárůstem průtoků.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci úkolu VaV SM/2/57/05 „Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“ a za podpory Výzkumného záměru „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“ MSM 0021620831.

9 Literatura

ANDERSON, D. J. (2000): GIS-based hydrologic and hydraulic modeling for floodplain delineation at highway river crossings. MS, University of Texas at Austin, <http://www.crrw.utexas.edu/online.shtml>

ANDRYSIAK, P. B. AND MAIDMENT, D. (2000): Visual Floodplain Modeling with Geographic Information Systems (GIS). MS, University of Texas at Austin, <http://www.crrw.utexas.edu/online.html>

ESRI (2004): Writing Geoprocessing Scripts With ArcGIS. ESRI 380 New York Street Redlands, California 92373-8100, USA, 88pp.

ESRI (2007): Virtual Campus - Getting Started with Scripting in ArcGIS 9. <http://training.esri.com>

ESRI (2007): Virtual Campus - Creating and Editing Linearly Referenced Features with ArcGIS 9. <http://training.esri.com>

HARTVICH, F. (2006): Hodnocení morfometrických parametrů nivy, vymezení nivy v GISu a využití příčných profilů In: LANGHAMMER, J. (ed.) a kol. (2006): Povodně a změny v krajině. Monografie, KFGG, PŘF UK, Praha, 2006, (v tisku)

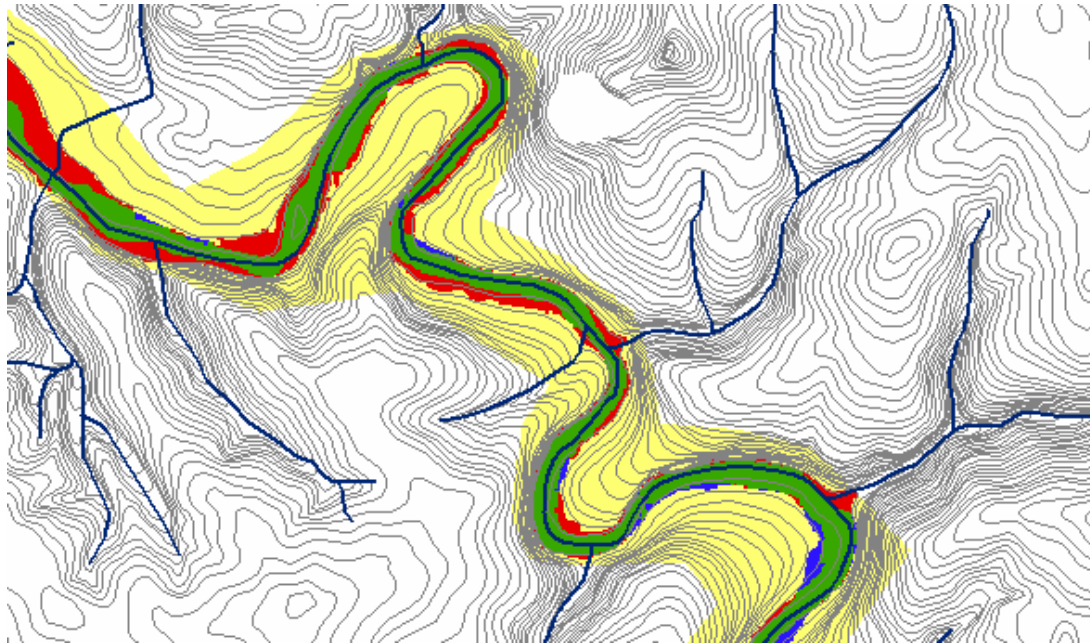
KŘÍŽEK, M., HARTVICH, F., ŠEFRNA, L., CHUMAN, T. AND ŠOBR, M. (2006 in print): Floodplain and its delimitation. Sborník ČGS (in print).

LEWIN, J. AND MANTON, M. M. M. (1975): Welsh floodplain studies: The nature of floodplain geometry. *Journal of Hydrology*, Volume 25, Issues 1-2 , April 1975, Pages 37-50.

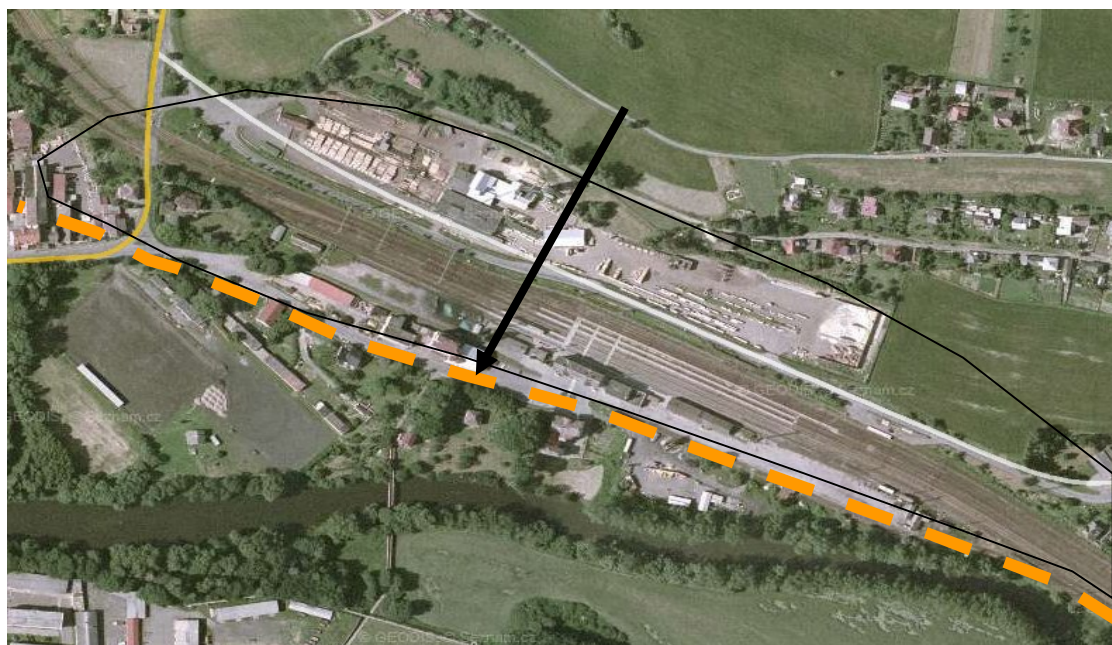
TATE, E. AND MAIDMENT, D. (1999): Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS. MS, University of Texas, Austin, <http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/online.html>

TOWNSEND, P. A. AND WALSH, S. J. (1998): Modeling floodplain inundation using an integrated GIS with radar and optical remote sensing. *Geomorphology* 21 (1998) 295-312.

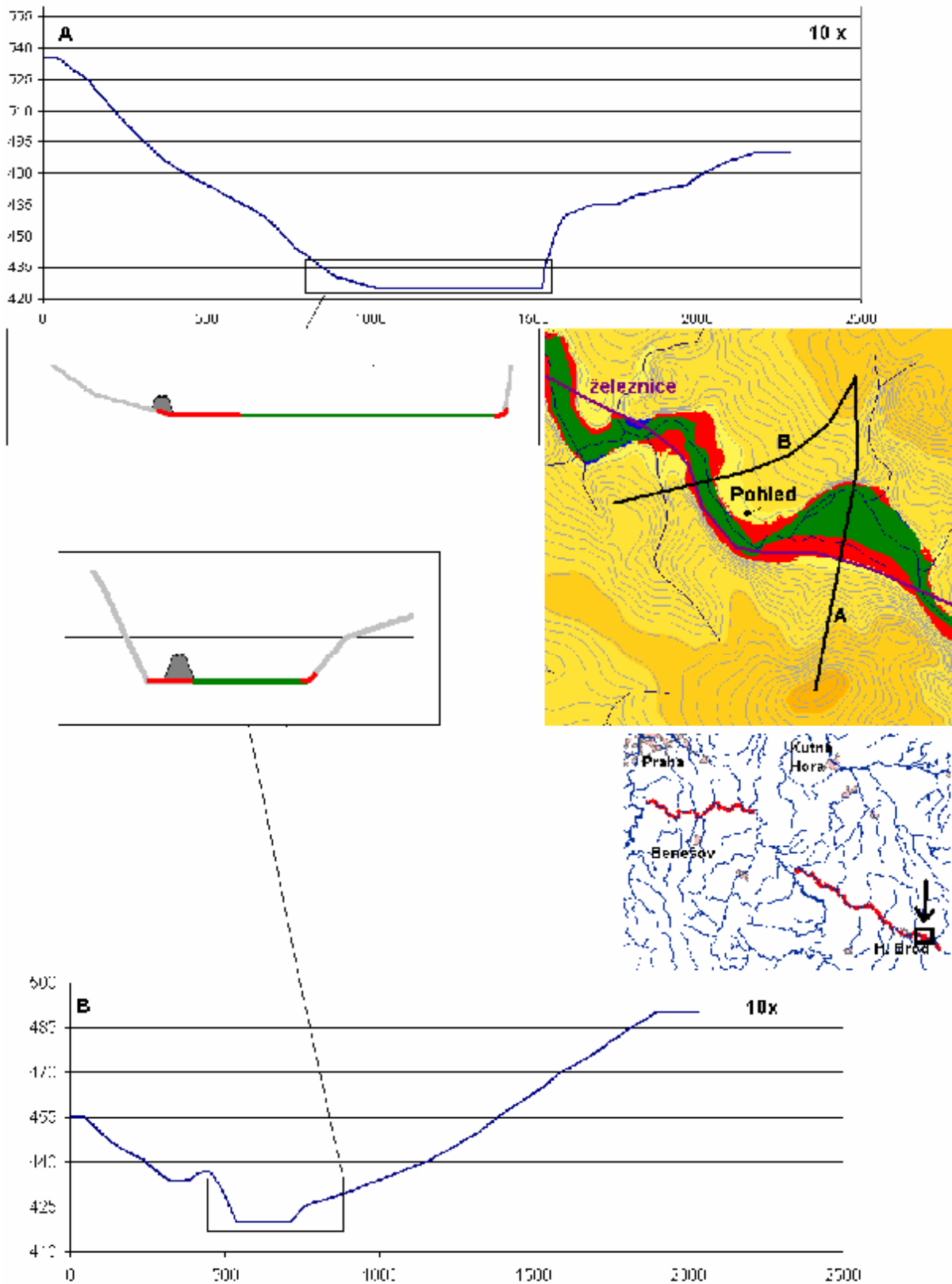
10 Grafické přílohy



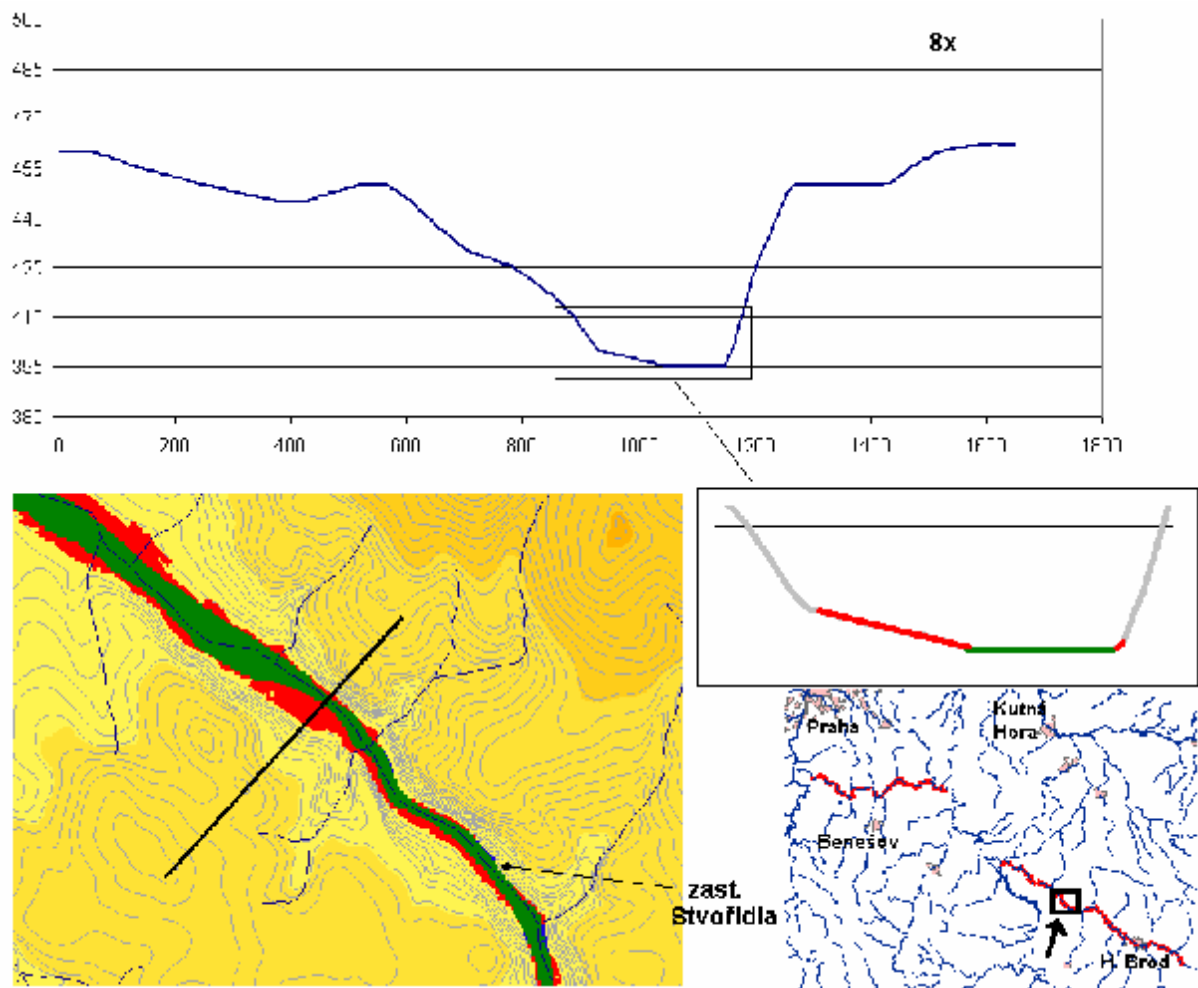
tabulka 1	mapování ano	mapování ne
model ano	niva ano	model přeceňuje
model ne	model podhodnocuje	niva ne



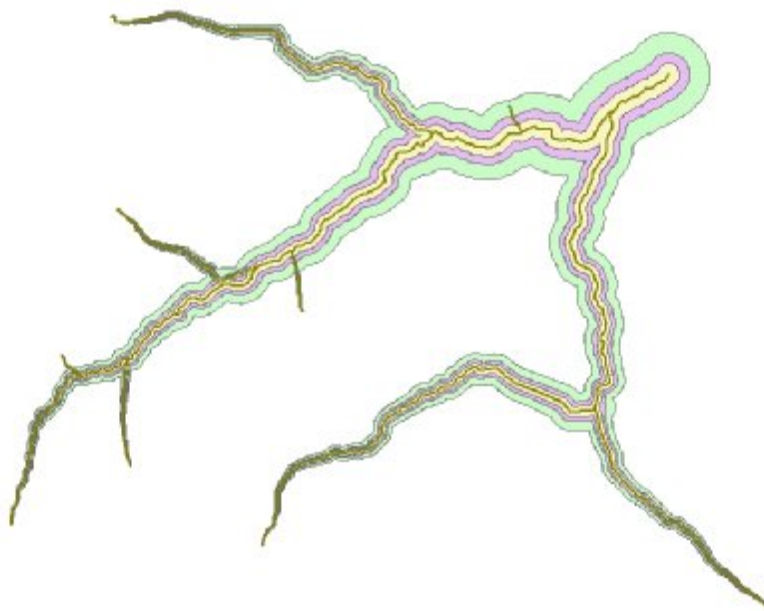
obrázek 2: Detail leteckého snímku okolí nádraží ve Světlé n./S., které leží na říční terase, oddělené od nivy nízkým stupněm (oranžová čára se šipkou, letecký snímek www.mapy.cz)



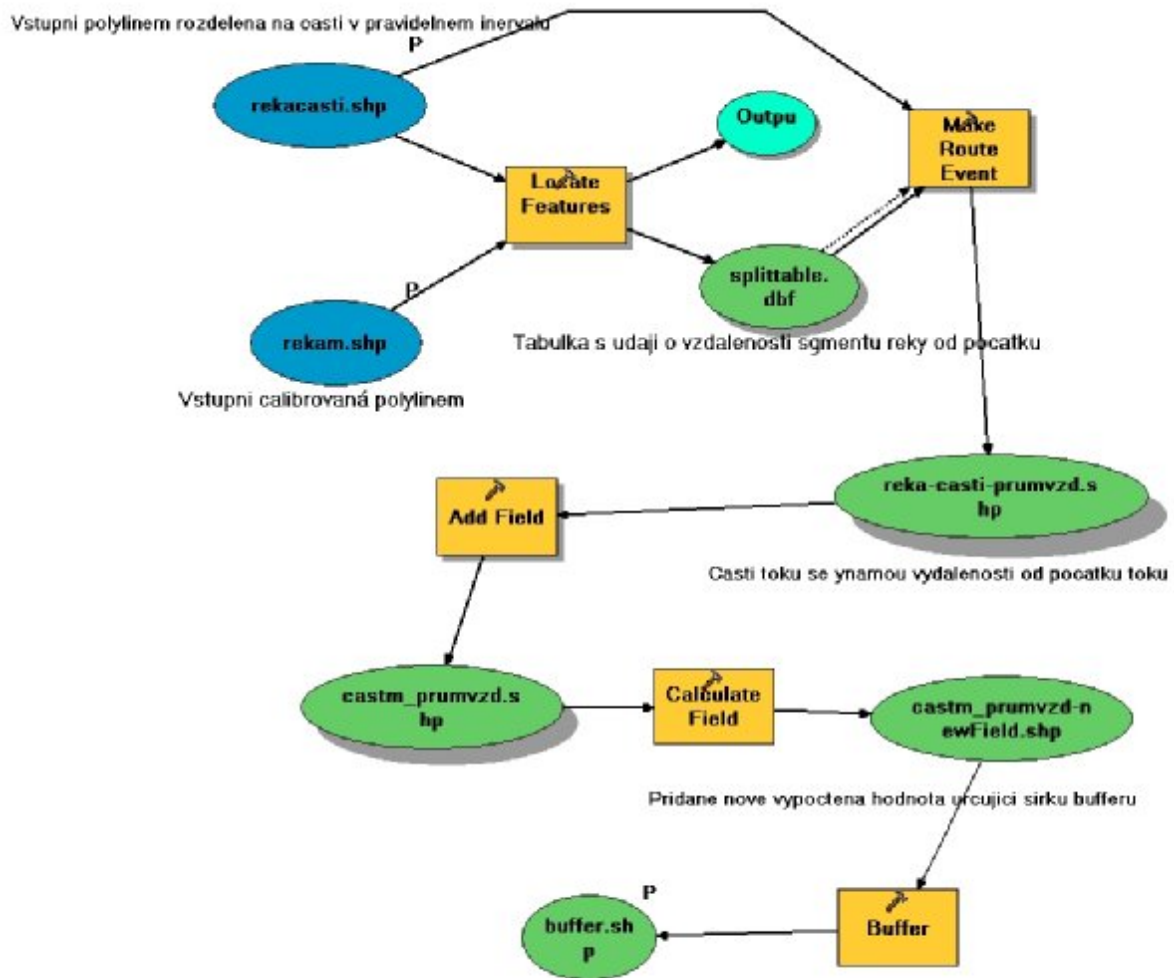
obrázek 3: Morfologie údolí v okolí obce Pohled. Profil A (10x převýšeno) zachycuje na horní úsek velice široké údolní dno, z větší části tvořené nivou. Profil B (10x převýšeno) ukazuje problematickou část údolí, kde prochází nivou násep železnice (viz výše).



obrázek 4: Morfologie údolí Sázavy pod Stvořidly u Vilémovic. Také na tomto profilu je zřetelný mírný úklon údolního dna, které je jinak morfoložicky velice dobře odlišené od svahů.



obrázek 5: Ukázka progresivního rozšiřování bufferu na vrstvě vodních toků



obrázek 6: Schéma konstrukce progresivně se rozšiřujícího bufferu v aplikaci ModelBuilder

MODELOVÁNÍ POVODŇOVÉHO RIZIKA PRO ÚČELY ZAJIŠTĚNÍ

Adam Podlaha¹, Mgr. Alexandra Králová²

¹Benfield Group, ReMetrics Natural Hazards, 55 Bishopsgate, EC2 N3BD London, United Kingdom, adam.podlaha@benfieldgroup.com

²Benfield Praha, a.s., U Prašné Brány 1, 110 00 Praha 1, alexandra.kralova@benfieldgroup.com

1 Úvod

Termíny „model“ a „povodňová škoda“ mohou být chápány v různých souvislostech různě a proto je třeba definovat jejich význam v tom smyslu, v jakém budou chápány v tomto příspěvku.

Jako povodňová škoda může být chápáno např. vše negativní, co způsobí povodňová událost. Mezi to patří především: škoda na majetku obyvatel, firem, státu, dále škody v zemědělství nebo lesnictví. Účinek povodní může být však daleko strašnější a to ve formě ztráty lidských životů. Tím však vliv povodní na lidi nekončí. Crichton (2005) uvádí, že povodně mají vliv nejen na fyzické (zdravotní komplikace všech druhů), ale také na psychické zdraví obyvatel. Na tuto stránku věci se někdy trochu pozapomíná, ale je třeba se jí v budoucnosti věnovat důkladněji. Mezi nejčastěji komplikace tohoto druhu patří například strach z deště a vody, nespavost, stres, nebo agresivní chování ke spoluobčanům, k likvidátorům škod a ostatním zaměstnancům pojišťoven.

Model se snaží popsat principy fungování určitého procesu za použití informací z událostí minulých pro předpověď událostí budoucích. Obecně lze říci, že modelovat lze téměř jakýkoli proces. V hydrologii tak můžeme mluvit o modelování srážko-odtokových vztahů přes hydrodynamické modelování rozsahů povodně až po komplexní modelování povodňových škod.

I samotné modelování povodňových škod může mít několik podob. První z nich je modelování škody individuálního rizika, např. soukromého domu, kdy nás zajímá, jaká maximální škoda může vzniknout například při 100leté záplavě. Druhým extrémem je pak modelování všech rizik určité pojišťovny (dále jen portfolio pojišťovny), kdy nás zajímá především to, jak vysoká bude škoda celé pojišťovny a jednotlivá rizika důležitá nejsou. Tato škoda může být vyjádřena také pomocí n-letosti a to ve smyslu n-leté škody. Na základě portfoliových dat pojišťovny a příslušného modelu lze říci, že konkrétní pojišťovna utrpí v průměru jednou za 100 let škodu o určité hodnotě. Tato informace je velice důležitá pro každou pojišťovnu, neboť pomáhá při nákupu pojištění pojišťoven, které se nazývá zajištění.

Je známou skutečností, že model je jen tak dobrý, jak dobrá je jeho nejslabší část. Kvalita modelu je funkcí kvality dat, která sloužili k sestrojení modelu jako takového a kvality dat, která do modelu vstupují při jeho každodenním používání. Při modelování rozsahu povodně je tedy přesnost modelu závislá na kvalitě digitálního modelu, kvalitě příčných profilů, podrobnosti tvarů v korytě a hydrologických (průtok a výška vody) charakteristik získaných buď pomocí srážko-odtokového modelu nebo z hydrologických pozorování. U modelu povodňových škod do procesu vstupuje ještě mnoho dalších komponent a proto může být opravdovou výzvou pro hydrologa toužícím po komplexním modelu plného neočekávaných komplikací.

Modelování povodňových škod se v mnohém liší od modelování ostatních přírodních hazardů a tvoří poměrně náročnou disciplínu. Hlavní rozdíl vychází z vlastní podstaty povodní a tou je fakt, že povodně jsou vždy vázány na výškové charakteristiky terénu. Dvě rizika, např. soukromé domy, sobě navzájem velmi si podobná, ležící pouhých několik set metrů od sebe, mohou mít diametrálně odlišné charakteristiky co se týče škod. Zatímco první riziko může být zaplaveno a v nejhrošším případě škoda může být totální, druhé riziko, kam povodeň nedosáhne může mít škodu nulovou. Tento propastný rozdíl je tedy způsobený tím, že ačkoliv domy leží relativně blízko u sebe, první riziko zatopeno bylo a druhé

ne. To může nastat při situaci, kdy voda k riziku horizontálně nebo vertikálně nedosáhne. U modelování škod způsobených zemětřesením, vichřicí nebo hurikánem takto malý horizontální (např. 500 metrů) ani vertikální (např. 10 metrů) rozdíl nehraje příliš velkou roli a u dvou rodinných domů se stejnou hodnotou a konstrukcí můžeme očekávat velmi podobnou škodu.

Tento případ, i když možná až příliš ideální, dobře ilustruje, že modelování škod způsobených povodněmi vyžaduje ve srovnání s modelováním škod způsobených ostatními přírodními hazardy daleko podrobnější data. Je samozřejmé, že pokud hovoříme o podrobnějších datech, platí to pro všechny části modelu. Podrobnost některých z nich můžeme ovlivnit snáze, jako např. digitální model terénu (DTM), některé hůře, jako např. data od pojišťoven. Toto je potřeba uvědomit si především v případě, pokud jsou portfoliová data pojišťoven agregovaná jen na úrovni řeckně okresů. Potom nemá cenu používat velmi detailní DTM, protože to se na konečných výsledcích stejně neprojeví. Popravdě řečeno, v tomto případě je lepší model vůbec nevytvářet. Pokud jsou však data pojišťoven kvalitativně na řádově vyšší úrovni, např. jednotlivé pojistky s více lokalitami a se zeměpisnými souřadnicemi, je potřeba velmi přesný DTM i ostatní prostorové datové vrstvy.

Také v případech, kdy je možné v několika následujících letech očekávat zlepšení portfoliových dat pojišťoven, je dobré založit model na co nejpodrobnějších datech. Tím se získá časový předstih, tak důležitý pro komerční a marketingové aspekty modelování povodňových škod. Z nich můžeme vyjmenovat např. předstih před konkurencí nebo snadnější „prodaní svých služeb“ klientovi. Může to mít však i pozitivní vliv pro další vývoj portfoliových dat pojišťoven, které vědí, že detailní model, který poskytne přesnější a důvěryhodnější výsledky, je k dispozici a jediné co brání potencionálně nižší ceně zajištění jsou jejich portfoliová data.

2 Povodně, pojištění a zajištění

V předchozí kapitole byla již naznačena souvislost mezi povodněmi a pojištěním. V dnešním světě, kde se člověk může pojistit snad proti všemu a pojistit snad cokoli, nepřekvapí, že jedním z nabízených pojištění je i pojištění proti povodni. Jeho podmínky závisí na státu, jeho minulosti, výskytu povodňových událostí v nedávné minulosti a na úrovni poznání povodňového rizika v dané zemi.

2.1 Povodně a pojištění

V některých zemích (např. Francie) je každý občan pojištěný proti účinkům povodně automaticky, případné škody pak hradí stát. Minulost státu je z tohoto hlediska velmi důležitá a je to dobře patrné např. na SRN, kde spolkové země bývalé NSR a NDR mají poněkud odlišný model pojištění povodní. Zatímco NDR byla v tomto ohledu podobná ostatním státům socialistického bloku, tzn. pojištění občanských rizik proti povodni bylo normální záležitostí a limity povodňového plnění škody neexistovaly, v NSR pojištění proti povodni samozřejmě nebylo a limity byly poměrně přísně uplatňovány.

Důležitou charakteristikou mající vliv na podobu pojištění proti povodním v dané zemi je výskyt povodňových událostí v nedávné minulosti. V zemích, kde se v posledních několika desetiletích nevyskytla velké povodňová (a škodní) událost, to však nemusí vždy znamenat, že povodňové riziko je extrémně nízké (např. Slovensko). Pojištění proti povodním je víceméně samozřejmostí a limity plnění se neuplatňují. Naopak v zemích jako je např. Česká republika, kde se v posledním desetiletí vyskytlo více velkých povodní, které způsobily značné škody, byla tato samozřejmost vystřídána selektivní výší pojistného a zaváděním limitů plnění povodňových škod. Pokud je majetek ve velmi rizikové oblasti, v nejhorším případě se může stát i to, že ho žádná z pojišťoven nepojistí. K rozhodnutí, zda je riziko pojistitelné nebo nikoliv a k výpočtu ceny pojištění (pojistného) se využívá tzv. upisovacích nástrojů. Jedním z takových nástrojů pro Českou republiku je program FRAT, který je podrobněji popsán v následující kapitole.

2.2 Povodně a zajištění

Úroveň poznání povodňového rizika jde ruku v ruce z výskytem povodní a tak není divu, že rozvoj povodňového plánování, modelování rozsahů povodní a povodňových škod celkově, se u nás po povodních v roce 1997 a 2002 posunulo o hodně dopředu.

Jedním z důvodů posunu kupředu je i tlak zajišťoven¹ na pojišťovny. Pokud by pojišťovna nebyla nebo byla nedostatečně zajištěná je velká pravděpodobnost, že po příchodu velké povodňové škody zkrachuje. Stejně tomu bylo i při srpnové povodni v roce 2002, kdy valnou většinu škod pojišťovnám zaplatily zajišťovny. Některé pojišťovny však situaci nezvládly a jednou z příčin bylo i to, že byly nedostatečně zajištěné.

Tlak zajišťoven se projevuje hlavně na ceně zajištění. Odhlédneme-li od skutečnosti, že se ceny zajištění zvýší po výskytu významné povodňové události, cena je také závislá na tom, jak dobře pojišťovna zná svoji expozici, tzn. distribuci svých pojištěných majetků (dále jen rizik) na území daného státu. Schopnost pojišťovny poskytnout data expozice na dobré úrovni je prvním krokem k úspěšnému smlouvání ceny zajištění. Důvody jsou následující, pokud pojišťovna poskytne data expozice, zajišťovna, případně zajišťovací makléř tato data analyzuje v příslušném modelu, jehož výsledkem je odhad výše očekávaných škod za určitou periodu návratnosti n , nejčastěji za 100 nebo 250 let. Zajišťovna tak ví, za jaká rizika přebírá zodpovědnost a stanovená cena lépe odpovídá danému portfoliu. Pokud však pojišťovna není schopná takováto data poskytnout, cena zajištění bude zahrnovat kromě vlastní ceny zajištění i určité navýšení právě díky tomu, že zajistitel neví přesné charakteristiky daného portfolia.

Snaha pojišťoven o nižší cenu zajištění se také projevuje selektivním výběrem rizik ve svém portfoliu. To by se mělo projevat maximalizací zisků na pojistném a minimalizací rizika v portfoliu. V praxi to může znamenat např. to, že pokud se riziko nachází v zóně 10-leté vody a hodnota pojistného je poměrně nízká, pojišťovna jej nepojistí nebo jen za cenu výrazného navýšení pojistného. K tomuto rozhodovacímu procesu slouží pojišťovnám celý zástup risk managerů a někdy také specializované počítačové programy, které po zadání přesné adresy ukáží v jaké povodňové zóně se daná lokalita nachází. Tato informace je pak jedním z vodítek při vyměřování pojistného. České pojišťovny patří mezi jedny z mála, které takovéto programy mají k dispozici. Program FRAT (Flood Risk Assessment Tool) byl vytvořen za spolupráce firem Swiss Re a Multi Media Computer (MMC) a je k dispozici všem pojišťovnám v České republice organizovaných pod Českou Asociací Pojišťoven (ČAP). Kontrola a management portfolia je navíc důležitý i pro mezinárodní hodnocení (rating) firem, který provádí např. firmy Standard and Poors (S&P) nebo Amercian Best (AM Best).

Dalším prostředkem na snížení potencionálních škod je již dříve zmíněná existence limitů plnění škody. Ty byly v České republice do nedávné minulosti jen záležitostí průmyslových rizik, nyní však dochází k jejich uplatňování už i u rizik domácností.

3 Model na odhad povodňových škod pro účely zajištění

Již byla zmíněna existence specializovaných modelů, které slouží k modelování přírodních rizik pro potřeby zajištění. Tyto modely se týkají především zemětřesení, vichřic, hurikánů a povodní a to jak

¹ Zajištění je pojištění pojišťoven. Podle zákona České republiky musí každá pojišťovna být zajištěná. Je to tedy další předávání rizika pojišťoven na zajišťovny, se stejnými principy jako u primárního pojištění, kdy pojištěná osoba zaplatí za převzetí části rizika pojišťovnou pojistné. Zajišťovny jsou často nadnárodními subjekty, které se primárně specializují na zajištění pojišťoven, které za něj platí tzv. zajistné. Jako příklad je možné jmenovat názvy firem jako Munich Re nebo Swiss Re, které jsou pro vydávání mnoha publikací a sponzorské činnosti známé i široké veřejnosti. „Re“ je zkratka anglického termínu pro zajištění – Reinsurance.

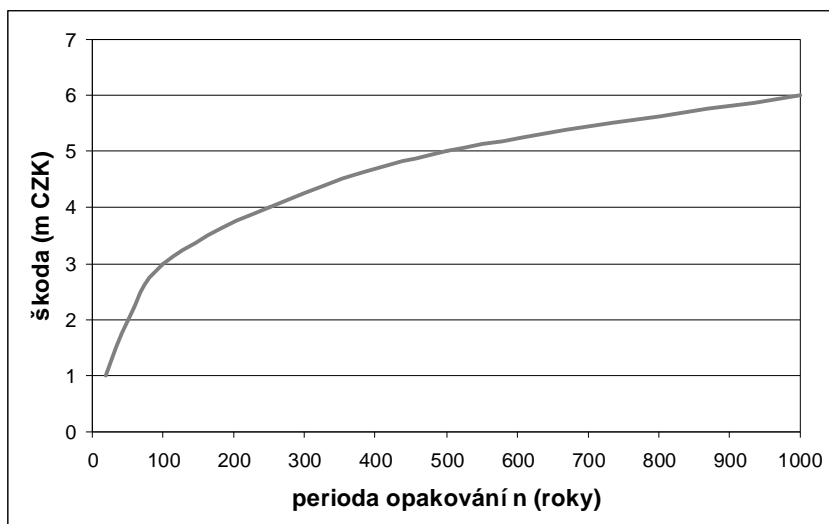
říčních, tak i povodní způsobených kombinací přílivu a silného větru. Existují tři komerční firmy², jejichž předmětem činnosti je hlavně vytváření modelů pro odhad škod, které slouží jako podpora při rozhodování o tom, na jakou hodnotu škody se má daná pojišťovna zajistit. Zjednodušeně je možné si představit tyto modely jako programy, do kterých vstupují portfoliová data pojišťoven a výstupem je křivka n-letých škod. Jsou využívány jak pojišťovnami samotnými, tak samozřejmě i zajišťovnami a zajišťovacími makléři.

Bohužel modely těchto třech firem (dále jen komerční modely) zahrnují hlavně vyspělé země a především rizika zemětřesení, vichřic a hurikánů. Oblasti střední a východní Evropy a riziko povodně je kombinace, pro kterou existuje jen velmi málo komerčních modelů. Světlou výjimkou může být model DACH (SRN, Rakousko, Švýcarsko) od firmy EQECAT a německý povodňový model od RMS, uvedeny na podzim roku 2006. Tyto modely jsou prvními vlašťovkami a je více než jisté, že s postupem času bude počet modelů v teritoriu střední a východní Evropy přibývat.

Nedostatečný počet komerčních povodňových modelů v našem teritoriu však neznamená, že se nic neděje. Spíše naopak, i české, slovenské a polské pojišťovny musí být zajištěné a proto existuje velké množství nástrojů, více i méně sofistikovaných, které slouží na odhad povodňových škod. Ty jsou vytvářeny některými zajišťovnami jako podpora při rozhodování o ceně zajištění, pojišťovnami pro dosahování lepších cen zajištění a zajišťovacími makléři, kde modely tvoří část přidané hodnoty, kterou makléř do vztahu pojišťovna – zajišťovna přináší. Jedním z nejvýznamnějších hráčů na trhu zajišťovacích makléřů je i společnost Benfield Group, pro jejíž potřeby byl vytvořen model popsany v tomto příspěvku.

3.1 Funkce modelu

Jak již bylo dříve zmíněno, model na odhad povodňových škod pro účely zajištění podává informaci o tom, jaká bude hodnota škody, která se vyskytne v průměru jednou za např. 100 nebo 250 let. Křivka spojitě vyjadřující tuto závislost se nazývá Exceeded Probability Curve (EPC), nebo také Loss Exceedance Curve (LEC). V češtině pro ni zatím nebyl zaveden jednotný název, stejně jako u n-letých průtoků se však nabízí označení křivka n-letých škod (Obr.1).



Obr. 1 – křivka n-letých škod

Křivka n-letých škod hraje důležitou roli při rozhodování, do jaké výše škody se daná pojišťovna má zajistit. V ideálním případě, kdy by se o nákupu výše zajištění rozhodovalo pouze podle namodelovaných výsledků a to navíc podle výsledku jednoho modelu, se pojišťovna rozhodne, že strukturuje své zajištění

² EQECAT, člen skupiny ABS (EarthQuakE CATastrophe), Risk Management Solutions (RMS) a AIR Worldwide (prvotně založené na modelování meteorologických hazardů).

např. do výše 250-leté škody získané z daného modelu. Na základě smlouvy mezi pojišťovnou a zajišťovnou (obyčejně mnoho zajišťoven), buď za nebo bez účasti zajišťovacího makléře, a patřičné úplaty, je pak pojišťovna v následujícím roce chráněna do výše 250-leté škody. Stejně jako u primárního pojištění si pojišťovna ponechává určitou spoluúcast, která se v tomto případě nazývá retence (Retention). Pokud v tomto roce utrpí pojišťovna škodu do výše zajištění, sama zaplatí pouze retenci, zbytek škody si mezi sebou rozdělí zajišťovny. Pokud však bude celková škoda vyšší než je výše zajištění, zajišťovny zaplatí pouze škodu do smlouvené hranice, zbytek musí uhradit pojišťovna sama. Z tohoto příkladu je vidět, jak je odhad křivky n-letých škod důležitý.

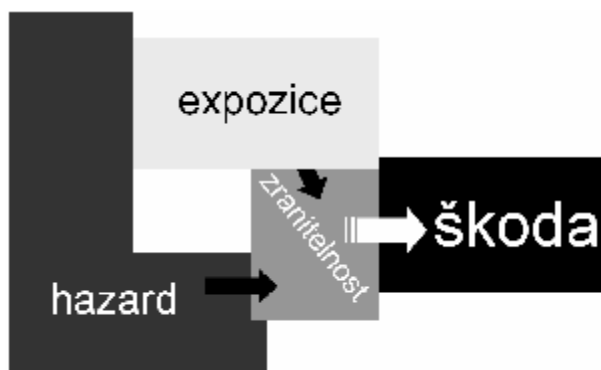
V praxi jsou používány dva druhy křivek n-letých škod:

1. OEP (Occurrence Exceedance Probability) – je vytvořena na základě souboru maximálních škod vždy za daný časový úsek, nejčastěji za rok.
2. AEP (Annual Exceedance Probability) – základem křivky je soubor škod, vzniklý sečtením všech škod v daném časovém úseku, např. za rok. Hodnoty AEP jsou tedy vyšší než hodnoty OEP.

Rozdíl mezi OEP a AEP křivkami záleží na celé řadě parametrů, např. na charakteru konkrétního hazardu v daném místě nebo vlastnostech modelovaného portfolia. Pokud existuje tendence k výskytu mnoha menších nebo dokonce několika stejně velkých událostí během roku, bude rozdíl mezi OEP a AEP křivkami poměrně značný. Naopak pokud je typický spíše výskyt menšího počtu událostí během roku (0 – 1), s tím, že jen řekněme jednou za 5 roků se vyskytne opravdu velká událost, bude rozdíl mezi OEP a AEP menší.

3.2 Struktura modelu

Struktura katastrofického modelu pro účely zajištění je vždy velmi podobná, ať už se jedná o model na odhad škod způsobených povodní, zemětřesením, vichřicí nebo hurikánem. Základem jsou vždy čtyři komponenty, které jsou znázorněny na Obr. 2.



Obr. 2 – čtyři komponenty katastrofického modelu pro účely zajištění

3.2.1 Komponenta Hazard

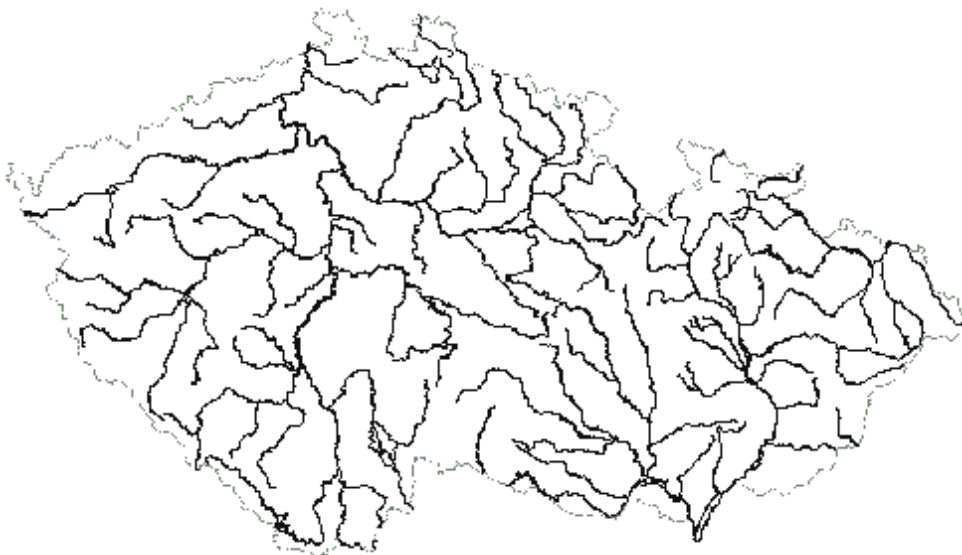
Klasický přístup ke komponentě Hazard (ohrožení), který je typický pro modelování škod pro účely zajištění, se v případě modelování povodně popsaného v tomto příspěvku poněkud odlišuje. Při modelování rizika zemětřesení, vichřice nebo hurikánu je samozřejmostí začínat od prvotních příčin, tedy u historických záznamů zemětřesení (magnitudo a hloubka vzniku) a u tras a intenzity tlakových útvarů v případě vichřic a hurikánů. Tyto charakteristiky se později i matematicky simulují. Při modelování povodně by tedy bylo přirozené také začínat u jejich prvotní příčiny, zde se však setkáváme s řadou problémů.

Prvním z nich je fakt, že povodně mohou být způsobeny různými příčinami:

- 1) postup tlakových níží, přinášejících velké množství srážek,
- 2) přílivové proudění v kombinaci se silným větrným prouděním (v anglicky psané literatuře zvané Storm Surge),
- 3) tání sněhu s možnými srážkami,
- 4) lokální vydatné srážky způsobující tzv. bleskové povodně (Flash Floods),
- 5) sesuvy půdy atd.

V zeměpisných šířkách České republiky mezi nejdůležitější příčiny povodní patří především situace popsané pod body 1) a 3), případně 4). Pokud bychom chtěli zachytit alespoň typ 1) a 3), znamenalo by to modelovat nejen tlakové, ale i teplotní pole, které by pomocí srážko-odtokových modelů bylo potřeba transformovat do hodnot průtoků, což představuje další komplikaci modelu a může zavést i určité zne přesnění.

Jelikož model zde popsán vznikl jako součást služeb zajišťovacího makléře, který nemá k dispozici takové technické zázemí a i časově by vytváření takového modelu nebylo únosné, byla po pečlivé úvaze zvolena jiná, jednodušší, metoda. Protože všechny v České republice důležité příčiny, vyjmenované výše, se nakonec projeví v hodnotě průtoku, měřeného sítí stanic ČHMÚ, byl průtok zvolen jako jediný počáteční vstupní údaj do komponenty Hazard. Všechny další postupy a výpočty jsou na něm založené. Měřené průtoky jsou navíc i výrazně přesnější než hodnoty průtoků, získané za použití srážko-odtokových modelů.



Obr. 3 – Hlavní vodní toky zahrnuté v modelu

Pro tento případ modelování povodňových škod komponenta Hazard tedy představuje soubor rozsahů n -letých povodní pro všechny modelované vodní toky, který je vytvořený v prostředí GIS. Zahrnuté jsou i rozsahy povodní způsobené menšími vodními toky, pro které nejsou k dispozici průtoková data. Druhým výstupem komponenty Hazard je soubor vygenerovaných hydrologických / škodných událostí, jejichž počet se může lišit, v tomto případě jej tvoří 120 000 událostí (10 000 za každý měsíc). Události jsou simulovány na základě korelačních matic a n -letých vod pro jednotlivé měsíce a stanice. Dále je do modelu zahrnuté i modelování škod, ke kterým dochází vně záplavové oblasti (např. kanalizací, vzestupem hladiny podzemní vody atd.), a to pomocí horizontálně a vertikálně limitovaných pásů kolem vodních toků. Povodňová ochrana našla své uplatnění až v komponentě Škoda. Na Obr. 3 jsou znázorněné hlavní modelované vodní toky.

3.2.2 Komponenta Expozice

Komponenta Expozice představuje celé portfolio pojišťovny, tzn. všechna rizika s informacemi o místě, pojistné částce a dalších pojistných parametrech rizik. Tato informace může být pojišťovnou postoupena buď agregovaná na základě určitých územních jednotek, např. poštovních směrovacích čísel (Obr. 4), obcí, okresů nebo na úrovni jednotlivých rizik (Obr. 5). K tomu mají pojišťovny České republiky k dispozici rozsáhlou (asi 2,5 milionů) databázi geo-kódů (X a Y souřadnice), které přiřazují k jednotlivým pojištěným objektům. Komponenta Expozice bývá často onou kritickou částí modelu, protože úroveň dat od jednotlivých pojišťoven se může značně odlišovat a je jen těžko ovlivnitelná. Je jasné, že výstup modelu bude tím přesnějším, čím přesnější budou data expoziční.

3.2.3 Komponenta Zranitelnost

Třetí komponentou modelu je Zranitelnost (Vulnerability), která je jakousi spojkou mezi dvěma předešlými částmi. Jedná se o vztah mezi parametrem/y hazardu a podílem škody na pojistné částce. U povodně se tím parametrem nejčastěji uvažuje hloubka vody, ale také rychlost proudění, doba trvání záplavy nebo také pojistná částka. U vichřice a hurikánů je parametrem především rychlost větru, u zemětřesení magnitudo a vzdálenost od epicentra. Pro model popsáný v tomto příspěvku byly použity křivky zranitelnosti založené na hloubce vody a pojistné částce, které byly výstupem studie FLODA vytvořené ve spolupráci Univerzity Karlovy a firmy Benfield.

3.2.4 Komponenta Škoda

Zatímco komponenta Hazard a Zranitelnost se vytvoří jen jednou při tvorbě modelu a komponenta Expozice je unikátní pro každou pojišťovnu, poslední komponenta – Škoda představuje propojení všech tří částí dohromady. V první fázi se všechna rizika portfolia pojišťovny propojí se souborem rozsahů n-letých vod (včetně pásů pro modelování škod vně rozsahu povodně) a za použití koeficientů zranitelnosti se vypočítá soubor n-letých škod pro všechna modelovaná povodí. V tomto je zahrnutá jak povodňová ochrana tak i efekt limitů plnění škod a spoluúčastí. Pro soubor vygenerovaných událostí se vypočítají škody, které se pak stanou základem křivek n-letých škod OEP a AEP.

3.3 Kalibrace modelu

Kalibrace modelu, tedy ověření zda výsledky modelu jsou reálné a odpovídají skutečnosti, představuje nejnáročnější fázi vývoje modelu. I když se vývoji jednotlivých komponent modelu věnuje patřičná pozornost a jsou podrobeny důkladnému testování, první výsledky mohou být překvapením. To platí obecně o všech modelech, u modelu na odhad povodňových škod pro účely zajištění může být situace díky širokému záběru a datové základně ještě složitější.

Odhlédneme-li od chyb v programování nebo chybných napojení jednotlivých tabulek, které jsou odhaleny v průběhu testování programu, je třeba mít jasnou představu o tom, jak citlivé jsou jednotlivé komponenty při změně jejich parametrů a jaké komponenty v modelu jsou ty nejvlivnější. S touto znalostí a pomocí citlivé a cílené úpravy těchto komponent je možné dosáhnout kýžených výsledků. Co se týče všech komponent, tou nejvíce kritickou je nejspíše komponenta Zranitelnost, neboť jedna sada křivek zranitelnosti ovlivňuje všechna rizika v portfoliu, které vstupuje do modelu.

Co se týče komponenty Hazard, vlastní rozsahy záplav nejsou onou kritickou komponentou, protože pokud systematicky nepřehodnocujeme nebo nepodhodnocujeme rozsahy povodní, nebude sice rozsah záplavy v některém místě úplně správný, ale bude tím postiženo jen malé množství rizik. Poměrně citlivým místem výpočtu rozsahu záplav je určitě implementace výšky DTM v místech protékaných řekou. Pravděpodobně nejkritičtější částí komponenty Hazard (Škoda) je dostupnost jednotných informací týkající se povodňové ochrany pro celé území České republiky. Důležitou roli hraje také modelování škod vně rozsahů záplavy. Téměř nemodelovatelným parametrem je dispečerské řízení na tocích s většími

vodními nádržemi, kdy např. včasné předpouštění nádrží může, zejména u povodní menších objemů, i dosti výrazně snížit kulminace.

4 Další vývoj

Diskuze o dalším vývoji se bude týkat hlavně komponenty Hazard a to jak v kontextu modelů na odhad škod pro účely zajištění obecně, specifík povodňových modelů, tak i modelu popsaného v tomto příspěvku, tzn. se zřetelem na prostředí České republiky.

4.1 Obecné trendy

Obecně lze tvrdit, že vývoj katastrofických modelů, které jsou určeny k modelování škod pro účely zajištění, jde kupředu stejným krokem jako vývoj ostatních vědních disciplín.

Za hlavní impulsy dnešního rychlého vývoje katastrofického modelování lze považovat následující faktory:

1. Vysokou rychlost normálně dostupné výpočetní techniky

Před několika roky by bylo časově téměř nemožné analyzovat celé území České republiky na úrovni buňky velikosti 10 x 10 metrů. Bylo zapotřebí použití výkonných serverových zařízení, fungujících většinou na operačním systému UNIX. V dnešní době, dobře zvládne stejnou úlohu průměrný stolní počítač fungující na bázi Windows.

2. Značný vývoj nástrojů GIS v ohledu na jejich použitelnost

Zatímco základy GIS sahají poměrně daleko do minulosti (jedním z mezníků může být např. založení firmy ESRI v roce 1969), jednalo se dlouho o poměrně uzavřenou komunitu uživatelů, kteří byly schopni pomocí příkazové řádky analyzovat prostorová data. Až v posledním desetiletí se nástroje GIS staly více uživatelsky přívětivé a tím i geometricky narostl počet jejich uživatelů.

3. Dobrou dostupnost prostorových dat

Třetím impulsem je dostupnost prostorových dat, která jsou mnohdy k dispozici zdarma. Obecně platí, že data DTM / DEM byla a jsou velmi drahá. S nástupem masového a komerčního využití těchto dat existují produkty, které jsou k dispozici volně nebo jen za nepatrný poplatek, který zahrnuje pouze použité médium. Jak však již bylo zmíněno dříve, to s sebou nese i řadu potenciálních nebezpečí jejichž podstatou je chybné vyhodnocení vhodnosti metody a použitých dat, přestože dopad těchto chyb může být mimořádný.

4. Aplikaci vědeckých metod i v komerční praxi katastrofického modelování

Dalším impulsem je stále širší a častější propojování vědecké a komerční sféry, kdy se metody používané pouze ve vědecké praxi aplikují i do procesu vytváření katastrofických modelů. K tomu dochází hlavně prostřednictvím odborníků, pro které se komerční podstata katastrofického modelování stala jedním z netradičních a zajímavých uplatnění.

4.2 Modelování povodní

Jak již bylo zmíněno v úvodní kapitole, modely na odhad povodňových škod pro účely zajištění jsou datově velmi náročné. Skutečnost, že konkrétní pojišťovny mají ve svém portfoliu rizika ležící po celém území daného státu a že se kvalita a rozlišení použitých dat v každém státu liší, vedla a vede k tomu, že se i povodňové modely vytvářejí hlavně na úrovni jednotlivých států.

S příchodem nadnárodních pojišťovacích firem se však situace mění. Pokud má daná firma své portfolio např. v České Republice, Polsku, Maďarsku, Rakousku a na Slovensku, může koupit zajištění pro každou z národních poboček odděleně nebo dohromady pro všechny/některé z nich. To pro jaký krok se firma

rozhodne záleží na celé řadě faktorů, jedním z nich je např. to, jak jsou rizika v daných státech korelovaná. Tak se dá bezproblémově kombinovat např. riziko zemětřesení a povodně, které téměř být korelované nemohou. Výše zajištění je pak určena rizikem, které je v dané zemi důležitější. U zemětřesení obecně přichází korelace jednotlivých zemí v úvahu jen tehdy, nachází-li se epicentrum zemětřesení blízko státní hranice nebo mají-li státy velmi malou rozlohu.

V případě povodní jsou jednotlivé země propojeny sítí vodních toků. Z poměrně čerstvé historie víme, že povodňové události se vyskytují na území více států. V roce 1997 byla postižena Česká republika současně s Polskem a Slovenskem (Odra, Morava), v roce 2002 hlavně Česká republika, Německo a Rakousko (Vltava, Labe, Dunaj). Na jaře roku 2006 bylo postiženo velké množství států Střední a Jihovýchodní Evropy, od Německa a Rakouska, přes Českou republiku, Slovensko a Polsko až po Rumunsko, Bulharsko a státy bývalé Jugoslávie.

S nástupem globálních pojišťoven a díky komplexnímu charakteru povodní je tedy potřeba modelovat povodňové škody pro účely zajištění na nadnárodní úrovni. Co se týče dat, stupeň sjednocení modelů se může lišit. U výškových dat je pravděpodobně nejlepším řešením použití dat lokálních, které budou odvozena z topografických map a ve valné většině případů budou i přesnější než celoevropské nebo celosvětové sady výškových dat pořízených metodou dálkového průzkumu (DEM GTOPO30 a DEM SRTM90). Hydrologická data je však potřeba mít navzájem kompatibilní tak, aby se dala s jejich pomocí vygenerovat jednotná sada hydrologických událostí. Výstupem takového modelu budou křivky n-letých škod, jak pro jednotlivé země, tak i pro všechny země dohromady. Na základě toho se bude moci pojišťovna rozhodnout jaká strategie nákupu zajištění je pro ní výhodnější. Současný vývoj takovýchto modelů je zatím v plenkách a to hlavně díky dostupnosti dat. Je ale jasné, že je to cesta, kterou se povodňové modelování pro účely zajištění bude ubírat v dalším desetiletí.

4.3 Trendy v České Republice

Pro prostředí České Republiky a povodňové modelování (v tomto kontextu modelování povodňových rozlivů) je charakteristická určitá institucionální roztržičnost. Na jedné straně tak existují velmi přesné modely rozlivů povodní vznikající ve státních, resp. veřejných institucích, tj. pro potřeby ministerstev, měst, obcí, podniků povodí atd., které jsou základem povodňových plánů. Na straně druhé jsou uváděny produkty, ne tak přesné, ale pro celé území České republiky, určené výhradně pro trh pojišťoven. Takovým produktem je např. již dříve zmiňovaný FRAT nebo třeba i model popsany v tomto příspěvku. Komunikace a případně i srovnání a výměna postupů a výstupů mezi těmito dvěma skupinami subjektů je zatím omezená a to je škoda.

Důvodů takového stavu je hned několik. I když se nabízí využití oficiálních hranic rozlivů povodní v rámci pojistného trhu, situace není tak jednoduchá. V první řadě, ne všechny vodní toky jsou modelované na stejné úrovni, tzn. že některé toky jsou modelované přesně, jiné méně přesně a některé vůbec. Navíc množství modelovaných period návratnosti n se liší. Pro pojišťovnu je důležité mít v systému zahrnutý co největší počet toků a zajistit aby charakter modelování měl jednotnou charakteristiku. Proto také došlo k oddělenému vývoji produktů pro trh pojišťoven.

Je možné předpokládat (a i doufat), že v budoucnosti bude vývoj směřovat nejdříve k částečnému a později i k úplnému sjednocení využívaných rozlivů povodní, které budou nejen součástí povodňových plánů, ale i jakéhokoliv jiného modelu, například upisovacího nástroje, jakým je dnes FRAT a v neposlední řadě i součástí modelů pro odhad škod pro účely zajištění, jejichž příklad je popsany v tomto příspěvku. Tak se jednak zaručí nejen jednotnost informací, ale také jejich vysoká kvalita, protože ne každý subjekt např. na zajištěním trhu má kapacity na realizaci hydrodynamického modelování a nahrazuje je přístupnými, které má k dispozici a nad kterými má plnou kontrolu. K tomu, aby k takovéto výměně informací došlo, není potřeba jen komunikovat o postoupení hotových dat, ale je

potřeba zainteresování všech subjektů v procesu odvozování rozlivů povodní (formát exportu, počet period opakování n, atd.), tak aby byly využitelné pro všechny zúčastněné strany.

5 Literatura

CRICHTON, D. (2005): Flood Risk and Insurance in England and Wales: Are there lessons to be learned from Scotland? Benfield Hazard Research Centre, London, 209 s. Dostupný na http://www.benfieldhrc.org/activities/tech_papers/tech_paper1/flood_risk_and_ins_Mar05.pdf

RMS - <http://www.rms.com/>

DACH -

http://gcportal.guycarp.com/portal/extranet/popup/pdf/PR/DACH%20Flood%20Model_061104.pdf

Air Worldwide - http://www.air-worldwide.com/_public/index.asp

6 Abstract

Flood Modelling for the Reinsurance Purposes

The most important output from any flood loss model designed for the reinsurance purpose is the loss exceedance curve (LEC), also known as the exceedance probability curve (EPC). It describes the relationship between the value of loss and the return-period in years, e.g. for example loss of 4 bn CZK will occur in average once in every 250 years. This knowledge is then used as one of many supporting information for the decision making process about how much reinsurance should an insurance company to buy. Reinsurance simply means another level in the risk distribution and it is required by the Czech law. Model and its output can contribute significantly to the level of the flood risk knowledge in the particular country and adjust (most of the time decrease) the price of reinsurance, so it then better corresponds with the real conditions and situation. Flood loss modelling for the purpose of reinsurance consist not only of the Hazard component (flood extents, simulation of events), but also of Exposition (sums insured distribution), Vulnerability (relation between loss/sums insured ratio and some parameter of flooding) and finally of the Loss component. Thanks to the wide scope, the process of flood model development is extremely data and time consuming. Model mentioned in this paper was created by Benfield Group, which acts as a reinsurance broker for the majority of large players on the Czech insurance market. It includes 126 gauge stations, 120,000 simulated events and it is capable to analyse risks geo-coded to geographical coordinates' level or aggregated on a postcode level.

Key words: flood loss, flood, model, reinsurance, insurance, exposition

**ZMĚNY V KRAJINĚ JAKO OVLIVŇUJÍCÍ ČINITEL
I PROJEV POVODNÍ**

METODY K OBJEKTIVIZACI REGIONALIZACE SEZONÁLNÍHO VÝSKYTU POVODNÍ NA ÚZEMÍ ČR

Radek Čekal, Josef Hladný

ČHMÚ Praha, Na Šabatce 17, 143 00 Praha 4, cekal@chmi.cz, hladny@chmi.cz

Abstrakt

Přesnost údajů o sezonalitě výskytu povodní ovlivňuje do značné míry použitá metoda. Regionalizace této jedné z charakteristik povodňového režimu bývá doprovázena řadou nejistot. Pro praktické využití je třeba proto volit takové postupy, které umožňují závažné neurčitosti redukovat. V příspěvku se rozebírají dva takové přístupy – metoda směrových charakteristik a metoda čar kumulativní četnosti. Pro 183 povodí na území ČR byly touto cestou získány objektivně údaje o průměrné době výskytu povodní nad zvoleným průtokovým prahem, jakož i o počátku a konci povodňového neklidu. Na základě 12 majoritních charakteristik, vybraných pomocí korelační analýzy, byla pak aplikována shluková analýza těchto hydrologických, klimatologických a fyzicko-geografických veličin s cílem identifikovat povodí s podobnou sezonalitou výskytu povodní. Zjištěné shluky dovolují poté již prostřednictvím technologií GIS jednotlivé regiony plošně vymezit.

Klíčová slova: Regionalizace, směrová charakteristika výskytu povodní, čára kumulativních četností výskytu povodní, shluková analýza.

1 Úvod

Poznatky o regionalizaci sezonality výskytu nadprůměrných průtoků jsou důležitými podklady pro povodňovou ochranu z hlediska zatížení jednotlivých povodí povodňovým nebezpečím, pro poznávání mechanismu vzniku povodňových situací, k odvozování návrhových hydrologických veličin, pro hospodaření s vodou v nádržích a vůbec k prohlubování znalostí o povodňovém režimu krajiny.

Region se v těchto souvislostech chápe jako seskupení menších povodí, která mohou být považována za podobná z hlediska zvolených charakteristik odtokové odezvy. Jeho vymezení tak vychází jednak z požadavku přibližně stejné hodnoty charakteristik v rámci jednoho regionu a jednak z požadavku vzájemných odlišností různých regionů.

Na území České republiky již v minulosti probíhaly obdobné studie, které poukázaly jak na rozdíly, tak i na určité shodné rysy některých povodí po této stránce (Brádka 1967; Hladný 1971, 2001; Buchtele 1972; Kakos 1983, 1985; Kašpárek 1999; Vavruška 1989). Každé povodí je však svým fyzicko-geografickým prostředím unikátní. Proto je jakákoliv regionalizace spojena vždy s určitou dávkou nejistot. Pro vyjádření sezonality v této studii byly použity dva doplňující se metodické přístupy – metoda směrových statistik a metoda čar kumulativních četností výskytu nadprůměrných průtoků, které by měly nejistoty spojené s regionalizací sezonality povodní v co největší míře redukovat.

Metody byly aplikovány na souborech vybraných povodí s pokud možno neovlivněným režimem odtoku. Obě pracují s průtoky separovanými metodou POT (*Peaks Over Threshold*) tzn. s kalkulací nadprůměrných průtoků nad jejich zvolenou prahovou hodnotou.

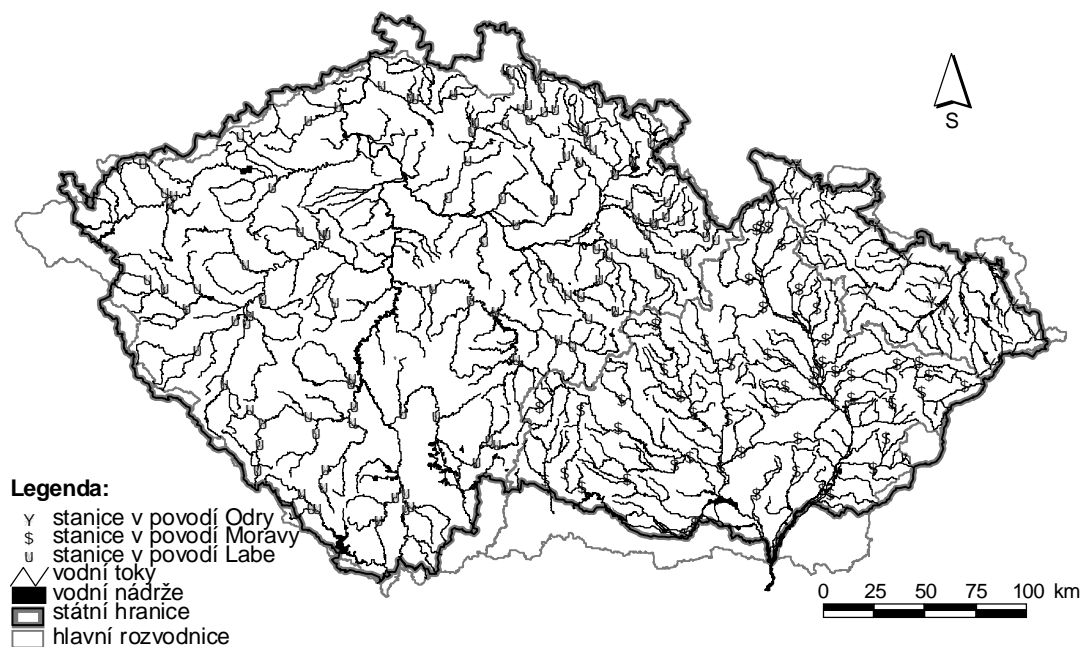
2 Příprava a výběr dat

2.1 Výběr reprezentativních vodoměrných stanic

Databáze shromážděná pro tuto studii byla sestavena z řad napozorovaných průtoků ve vodoměrných stanicích. Pro jejich selekci bylo použito několik kritérií. Šlo především o dodržení požadavku přirozeného odtokového režimu a existenci spolehlivé kvality dat. Z těch důvodů nemohly být uvažovány profily s výrazně ovlivněným odtokovým režimem. Dále nebyly zahrnuty ani stanice s přerušenu nebo neúplnou řadou měření.

Kvalita a dostupné množství dat jsou v jednotlivých oblastech České republiky dosti rozdílné. Z celkového počtu disponibilních 492 vodoměrných stanic splňovala zvolené podmínky data pouze u 183 stanic. Jejich rozložení je znárodněno na Obr. 1.

Z toho 110 stanic bylo z povodí Labe, 21 z povodí Odry a 52 z povodí Moravy a Dyje. V takto vzniklém souboru převažují stanice s poměrně menší plochou povodí příslušejícího většinou horním a středním úsekům zájmových toků.



Obrázek 1. Výběr a poloha vodoměrných stanic na území České republiky

2.2 Výběr hydrologických dat

Pro sezónní analýzu výskytu povodní posloužila dostupná hydrologická data z databáze Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) v denním kroku. Vstupními údaji byly tedy hodnoty průměrných denních průtoků. Data povodňových průtoků v hodinovém kroku, která by ještě lépe vypovídala o extrémních odtokových režimu, nebyla vždy k dispozici.

U každé ze 183 vybraných vodoměrných stanic byla analyzována řada průtoků z jednotného referenčního období 1975 - 2000.

2.3 Výběr fyzicko-geografických údajů

Pro všechna povodí odpovídající vybraným vodoměrným profilům byla vytvořena databáze následujících fyzicko-geografických charakteristik:

- plocha povodí [**PL** v km²],
- průměrný sklon svahů [**SK** v %],
- průměrná nadmořská výška [**NV** v m n. m.],
- relativní podíl plochy pokryté lesem [**LE** v %], loukami [**LO** v %], ornou půdou [**OR** v %] a městskou zástavbou [**ME** v %] na celkové ploše povodí,
- délka údolnice [**L** v km],
- index tvaru povodí [**α**],
- orientace svahů [**ORI** ve stupních azimutu] a
- půdní druh [**PU** s číslem kategorie propustnosti].

K určení plochy povodí, která je pokryta lesem, loukami, ornou půdou a městskou zástavbou byly využity údaje z databáze CORINE. Půdní druhy byly rozčleněny podle propustnosti do sedmi kategorií, při čemž 7. kategorie zahrnovala půdy s relativně největší a 1. kategorie s nejmenší propustností.

2.4 Výběr klimatologických charakteristik

Meteorologické veličiny jsou ve studii zastoupeny údaji o ročních srážkových úhrnech, průměrné roční teplotě, průměrné březnové teplotě a daty o výšce sněhové pokrývky dne 1. a 15. března každého roku (pro odhad stavu zásob sněhu v povodí před obdobím jarního tání), které byly naměřeny ve srážkoměrných a klimatologických stanicích ČHMÚ:

- průměrný roční úhrn srážek [**SR** v mm],
- průměrná roční teplota [**TER** ve °C],
- průměrná teplota měsíce březen [**TEB** ve °C],
- průměrná výška sněhové pokrývky 1. března [**SN1** v cm] a
- průměrná výška sněhové pokrývky 15. března [**SN15** v cm].

Všechny plošné průměry meteorologických charakteristik pro jednotlivá povodí byly stejně jako u fyzicko-geografických dat vypočteny v prostředí GIS.

3 Metody sezónní analýzy výskytu povodní

K vyjádření prostorových odlišností sezonality výskytu povodní na území České republiky byly zvoleny přístupy, které umožňují pracovat s daty v denním kroku, a kterými lze určit hledané období s vyšší pravděpodobností výskytu povodní s prakticky vyhovující přesností. Sezónní analýza byla pak na podkladě vybraných metod aplikovaná na průtokových řadách všech vybraných vodoměrných stanic s předpokladem, že takto získané informace budou přijatelně reprezentovat režim vzniku rozvodnění vždy na celém povodí daného toku, jakož i na sousedních povodích.

Nejprve bylo však třeba vyloučit případy lokálních rozvodnění podružného typu, které by statistiku sezonality dominantních povodní mohly zkreslit. Na základě metody POT, byly proto brány do úvahy pouze ty hodnoty průměrných denních povodňových průtoků, které přesáhly zvolenou hranici Q_B . Zvolí-li se Q_B poměrně nízko, uplatní se významně i případy průtokových vln z konvektivních dešťů, zatímco analýzy vzniku a vývoje povodňových situací jsou v této studii založeny spíše na srážkách regionálního

typu. Použije-li se prahový limit odpovídající hodnotě, kdy se již voda vylévá z koryta (stav ohrožení), je obvykle počet takto vybraných povodňových případů poměrně malý. Proto byla zvolena prakticky vyhovující mez mezi těmito krajními možnostmi, tj. hodnota 1letého průtoku.

Uvažované nadprůměrné průtoky jsou definovány následujícím výrazem (*Todorovic a Zelenhasic 1970*):

$$x_n = \begin{cases} 0 & ; Q_v \leq Q_B \\ Q_v - Q_B & ; Q_v > Q_B \end{cases} \quad (1)$$

kde Q_B je mezní průtok,

Q_n je průtok v čase $\tau(v)$,

x_n je překročení v čase $\tau(v)$.

K efektivní interpretaci sezónních informací obsažených v databázi bylo důležité zvolit co nejpřesnější charakteristiky. Ve studii bylo za tímto účelem použito dvou metod užívaných při znázornění sezónního rozložení výskytu povodňových případů v roce, které obě ve společné kombinaci tuto podmínku splňují. Jsou to metoda směrových charakteristik a metoda čar kumulativních četností výskytu povodní.

3.1 Metoda směrových statistik

V uvažované řadě napozorovaných průtoků se datum výskytu povodně převádí prostřednictvím polárního souřadnicového systému do příslušné polohy na jednotkové kružnici. Podle matematické konvence je počátek roku (den 1.1.) umístěn do nejvýchodnějšího bodu kružnice a jednotlivá roční období následují po kvadrantech v kružnici proti směru hodinových ručiček (*Mardia 1972; Fisher 1993*). *Bayliss and Jones (1993)* Juliánské datum výskytu povodňové události i převádějí na

$$f_i = JD_i \left(\frac{2p}{365} \right) \quad (2)$$

kde f_i je úhlová hodnota (v radiánech) pro datum výskytu povodňové události i , JD_i je datum podle Juliánského kalendáře.

Každé datum výskytu kulminace tak může být interpretováno jako směrový vektor (viz Obr. 2) daný úhlem f_i a velikostí m (pro kterou je v jednotkové kružnici $m = 1$). Jestliže existuje soubor n povodní, pak lze určit souřadnice \bar{x} a \bar{y} průměrného data výskytu povodní MD (*Mean Day*) v daném profilu jako

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(f_i) \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(f_i) \quad (3)$$

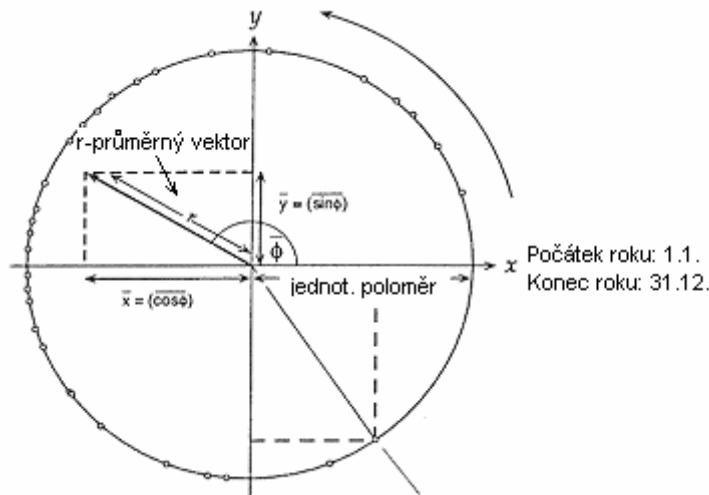
kde \bar{x} a \bar{y} reprezentují x -ovou a y -ovou souřadnici průměrného data výskytu povodní v určitém povodí.

Jako doplněk k MD je možno určit míru rozptylu povodňových případů definovanou jako

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (4)$$

kde \bar{r} slouží jako míra variability výskytu povodní.

Hodnoty \bar{r} blízké jedné ukazují na povodí se silnou sezónní povodňovou odezvou (hodnota rovná jedné by ukazovala, že se všechny povodně v daném profilu vyskytly ve stejném dni roku). Hodnota blízká nule naopak ukazuje na velký rozptyl výskytu povodňových případů během celého roku.



Obrázek 2. Schéma určení průměrného dne výskytu povodní **MD** jako průměrného vektoru metodou směrových charakteristik podle (Black and Werritty, 1997)

Použití metody směrových statistik má dvě hlavní výhody. Za prvé umožňuje vyjádřit informaci o sezonalitě průtoků v daném referenčním období objektivně jednou číselnou hodnotou a za druhé dovoluje rozlišovat sezonalitu mezi různými lokalitami s přesností na den.

3.2 Metoda čar kumulativních četností výskytu povodní

Metoda je založena na znázornění součtové čáry výskytů nadprůměrných průtoků $L(t)$, které v čase t překročily zvolenou prahovou hodnotu Q_B v daném referenčním období. Proměnná t probíhá v časovém intervalu $(0, T)$, který odpovídá řadě dnů v roce (Quarda 1993).

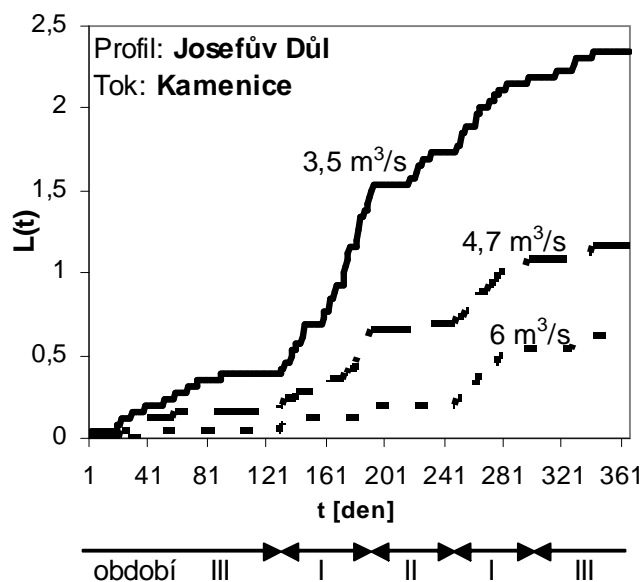
Problémem při tomto přístupu je volba prahového průtoku. Proto byly předem jako experiment zvoleny ve vybraných vodoměrných profilech tři průtokové prahy s různými pravděpodobnostmi překročení Q_B , příklad viz Obr. 3. Zvolená pravděpodobnost překročení prahových hodnot průtoků byla v jednotlivých profilech vždy stejná. Srovnání prokázalo, že

- všechny tři čáry odpovídající různým pravděpodobnostem překročení mění sklon přibližně ve stejném dni,
- průběh roku je rozdělen třemi různými typy období vzájemně odlišnými svou vodností, tj. období zvýšené pravděpodobnosti výskytu nadprůměrných průtoků, tzv. povodňovým neklidem (I), období povodňového klidu (II) a období přechodovým (III),
- v rámci vymezených období mají čáry kumulativních četností výskytu nadprůměrných průtoků s různou pravděpodobností překročení Q_B přibližně lineární průběh.

Získané poznatky posloužily při sezónní analýze výskytu povodní na území ČR především tím, že mohlo být použito u dat všech 183 vybraných stanic jedné vhodně zvolené hodnoty Q_B , aniž by narůstala nejistota v datu počátku a konci povodňového neklidu.

Pro každou stanicí a pro zvolený průtokový práh ($Q_B = 1$ letý průtok) byla odvozena čára kumulativní četnosti výskytu nadprůměrných průtoků. Průběh čáry (změny sklonu a jejich časový počátek i konec, dílčí ustálená tendence a její trvání) pak vymezuje datově signifikantní období se zvýšenou či sníženou pravděpodobností rozvodnění neboli období zvětšené či menší vodnosti pro každé povodí.

Výhodou výše popsané metody je, že se dá na dny určit období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní. Určitou nevýhodou je zvýšená pracnost při zjišťování těchto sezónálních charakteristik.



Obrázek 3. Příklad aplikace metody čar kumulativních četností výskytu povodní na základě různých prahových hodnot průtoků v profilu Josefův Důl na Kamenici za období 1975-2000

4 Výsledky

Prostorem, v němž dochází k výskytu povodňových epizod je fyzicko-geografické prostředí příslušného povodí. Po této stránce se povodí mezi sebou více či méně liší, při čemž žádné z nich není absolutně stejné. Z toho lze teoreticky usuzovat, že rozdílná bude i míra působení jednotlivých faktorů přírodního prostředí na prostorový a časový výskyt povodní v dané oblasti. Předem bylo třeba však, před uplatněním metody shlukové analýzy, zvolené pro posouzení podobnosti jednotlivých povodí z hlediska sezonality povodní, ověřit významnost jednotlivých vybraných faktorů a jejich vzájemnou závislost. Sledovala se tak redukce jejich výchozího, poměrně značného počtu, a to eliminací těch z nich, které jsou méně významné či implicitně zastupitelné jinými uvažovanými faktory.

4.1 Korelační analýza příčinných faktorů a jejich signifikantnost

V souladu s obvyklými statistickými postupy byla vytvořena zdrojová matice, která obsahuje ve sloupcích kromě MD, počátku a konce povodňového neklidu a rozptylu výskytu povodní, hydrologické, klimatologické a fyzicko-geografické faktory (proměnné M) a v řádcích objekty (N vybraných povodí). V našem případě je $M = 20$ a $N = 183$.

Z odvozené korelační matice (viz Tab. 1) vyplývá, že MD vykazuje vyšší korelaci ve vztahu ke konci povodňového neklidu než ve vztahu k jeho počátku. Je to dáno větší podobností poklesových větví průtokových vln, které se řídí stejným hydraulickým zákonem pro vyčerpávání zásob vody v povodí. U vzestupných větví se odráží větší rozdíly mezi vznikem a průběhem letních a zimních průtokových vln. Rozhoduje také zda a jak často jsou rozvodnění zimního typu doprovázena výskyty dešťových epizod nebo zda v povodí existuje a v jakém poměru se uplatňuje dvojí povodňový režim, tj. letní a zimní.

Úzká vazba byla zjištěna i mezi výškou sněhové pokrývky k 1. březnu a výškou k 15. březnu, obdobně také mezi průměrnou březnovou a roční teplotou. Proto byl uvažován vždy pouze jeden z těchto dvojic parametrů a to SN15 a TER.

Na základě analýzy vzájemných vztahů parametrů byly použity jako majoritní pro shlukovou analýzu následující veličiny: MD, počátek a konec sezónního období povodňového neklidu, průměrná roční výška srážek, průměrná roční teplota, výška sněhové pokrývky ke dni 15. 3., nadmořská výška, sklonitost i orientace svahů, půdní druh, lesnatost a podíl luk v povodí. Vliv ostatních veličin byl buď implicitně již zastoupen některým z majoritních parametrů anebo byl méně významný.

FAKTOR	MD	r	PO	KO	SR	NV	SK	PL	PU	SN1	SN15	TER	TEB	L	α	ME	OR	LO	LE	ORI
MD	1,00	0,19	-0,28	0,67	0,35	0,31	0,39	-0,09	0,21	0,28	0,26	-0,28	-0,32	-0,18	0,36	0,01	-0,40	0,09	0,35	0,06
r	0,19	1,00	-0,36	0,03	-0,03	-0,23	0,17	-0,09	-0,24	-0,16	-0,20	0,11	0,06	-0,15	0,17	0,28	0,00	-0,19	-0,09	0,10
PO	-0,28	-0,36	1,00	-0,27	0,01	0,05	-0,22	-0,07	0,10	-0,01	-0,01	0,04	0,12	0,06	-0,15	-0,03	0,06	0,21	-0,09	0,03
KO	0,67	0,03	-0,27	1,00	0,18	0,16	0,31	0,03	0,09	0,08	0,07	-0,13	-0,16	-0,05	0,24	0,03	-0,23	0,04	0,25	0,07
SR	0,35	-0,03	0,01	0,18	1,00	0,69	0,73	-0,19	0,51	0,89	0,86	-0,61	-0,76	-0,26	0,21	-0,22	-0,69	0,21	0,55	0,14
NV	0,31	-0,23	0,05	0,16	0,69	1,00	0,50	-0,16	0,78	0,78	0,77	-0,86	-0,83	-0,19	0,22	-0,52	-0,70	0,56	0,61	-0,10
SK	0,39	0,17	-0,22	0,31	0,73	0,50	1,00	-0,17	0,30	0,62	0,56	-0,52	-0,63	-0,28	0,28	-0,12	-0,68	0,15	0,58	0,25
PL	-0,09	-0,09	-0,07	0,03	-0,19	-0,16	-0,17	1,00	-0,06	-0,16	-0,15	0,15	0,19	0,83	-0,15	0,13	0,17	-0,05	-0,21	-0,09
PU	0,21	-0,24	0,10	0,09	0,51	0,78	0,30	-0,06	1,00	0,55	0,55	-0,69	-0,66	-0,06	0,20	-0,39	-0,50	0,38	0,44	-0,11
SN1	0,28	-0,16	-0,01	0,08	0,89	0,78	0,62	-0,16	0,55	1,00	0,99	-0,68	-0,78	-0,23	0,23	-0,33	-0,64	0,26	0,56	0,01
SN15	0,26	-0,20	-0,01	0,07	0,86	0,77	0,56	-0,15	0,55	0,99	1,00	-0,64	-0,74	-0,21	0,21	-0,33	-0,60	0,26	0,53	-0,01
TER	-0,28	0,11	0,04	-0,13	-0,61	-0,86	-0,52	0,15	-0,69	-0,68	-0,64	1,00	0,93	0,21	-0,26	0,40	0,61	-0,38	-0,55	0,06
TEB	-0,32	0,06	0,12	-0,16	-0,76	-0,83	-0,63	0,19	-0,66	-0,78	-0,74	0,93	1,00	0,25	-0,29	0,35	0,67	-0,26	-0,59	0,01
L	-0,18	-0,15	0,06	-0,05	-0,26	-0,19	-0,28	0,83	-0,06	-0,23	-0,21	0,21	0,25	1,00	-0,43	0,12	0,27	-0,04	-0,33	-0,15
α	0,36	0,17	-0,15	0,24	0,21	0,22	0,28	-0,15	0,20	0,23	0,21	-0,26	-0,29	-0,43	1,00	-0,10	-0,29	0,02	0,40	0,07
ME	0,01	0,28	-0,03	0,03	-0,22	-0,52	-0,12	0,13	-0,39	-0,33	-0,33	0,40	0,35	0,12	-0,10	1,00	0,19	-0,31	-0,35	0,08
OR	-0,40	0,00	0,06	-0,23	-0,69	-0,70	-0,68	0,17	-0,50	-0,64	-0,60	0,61	0,67	0,27	-0,29	0,19	1,00	-0,46	-0,86	-0,10
LO	0,09	-0,19	0,21	0,04	0,21	0,56	0,15	-0,05	0,38	0,26	0,26	-0,38	-0,26	-0,04	0,02	-0,31	-0,46	1,00	0,32	-0,14
LE	0,35	-0,09	-0,09	0,25	0,55	0,61	0,58	-0,21	0,44	0,56	0,53	-0,55	-0,59	-0,33	0,40	-0,35	-0,86	0,32	1,00	0,08
ORI	0,06	0,10	0,03	0,07	0,14	-0,10	0,25	-0,09	-0,11	0,01	-0,01	0,06	0,01	-0,15	0,07	0,08	-0,10	-0,14	0,08	1,00

Tabulka 1. Korelační matice hydrologických, klimatologických a fyzicko-geografických charakteristik z území České republiky

4.2 Vytvoření regionálních typů povodí podle sezónního výskytu povodní pomoci shlukové analýzy

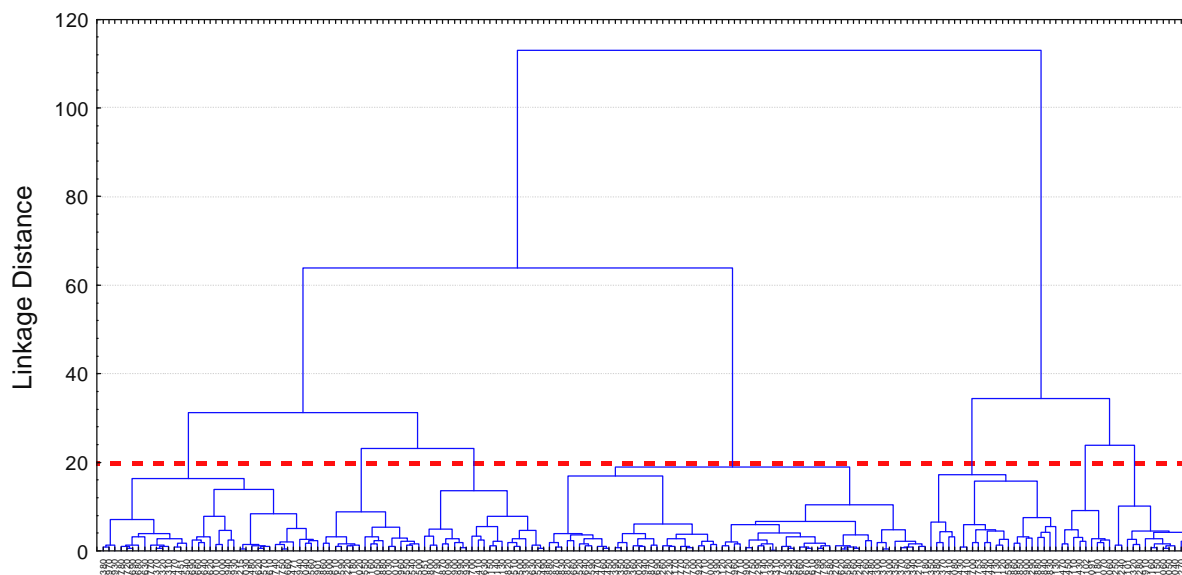
Podobnost povodí podle sezónního výskytu povodní byla zjišťována metodou shlukové analýzy (Hebák, Hustopecský 1987, Meloun, Militký 2002). Jako vstupní veličiny byl použit soubor majoritních charakteristik odvozených pro povodí všech 183 uvažovaných vodoměrných stanic na území ČR.

Analýza shluků (*Cluster Analysis*) patří mezi metody, které se zabývají vyšetřováním podobnosti vícerozměrných objektů (v našem případě podobností povodí podle sezónního výskytu povodní), které třídí do shluků. Výsledkem analýzy je dendrogram podobnosti objektů.

Různými metodami shlukování (Meloun, Militký 2002) bylo vytvořeno několik dendrogramů pro stejný výběr M . U všech použitých technik byly výsledné dendrogramy značně podobné, avšak jako nejvhodnější technika pro dané cíle se ukázala *Metoda nejvzdálenějšího souseda*. Čím menší je vazebná vzdálenost d v dendrogramu ve svislém směru tím více blízké jsou si přidružené veličiny.

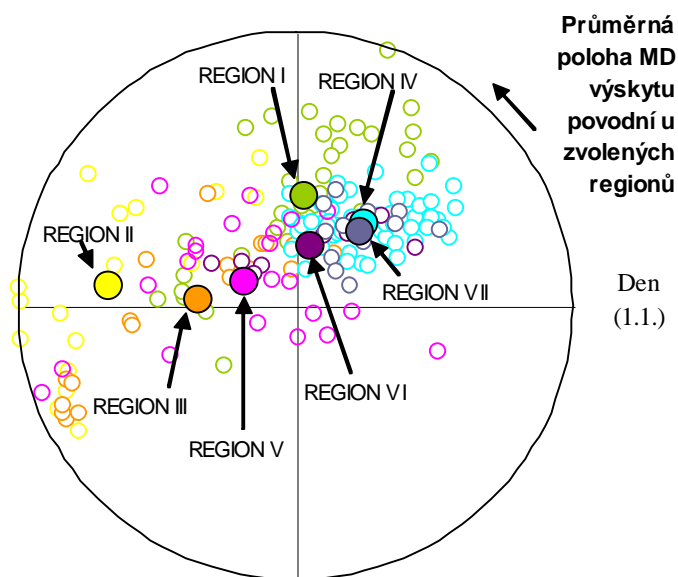
Shlukovou analýzou objektů, neboli podobností povodí podle sezónního výskytu povodní, byla na podkladě stanovených majoritních veličin, identifikována na různé úrovni podrobností databanková čísla stanic s podobnými podmínkami vzniku povodní, (viz Obr. 4). Volba vazební vzdálenosti rozhoduje o podrobnosti regionalizace sezonality povodní. Nižší úroveň vede k poměrně již rozsáhlému počtu regionů, vyšší pak k nedostatečnému rozlišení sezonality povodňových výskytů. V našem případě byla zvolena pro ilustraci vazební vzdálenost ($d = 20$), které odpovídalo rozdělení shluků do sedmi regionů (R-I až R-VII).

Zjištěna databanková čísla vodoměrných stanic, náležejících do daného regionu s typickým výskytem povodní, lze promítnout do digitálního mapového zobrazení reliéfu a říční sítě v prostředí GIS. Pomocí programu *Arc View Spatial Analyst* a krigovacích postupů lze pak již mapově vymezit oblasti s podobnou sezonalitou povodní.



Obrázek 4. Dendrogram podobností 183 povodí podle sezonality výskytu povodní odvozeny Wardovou metodou shlukové analýzy

Typické rozdíly v sezonalitě výskytu povodní mezi jednotlivými regiony charakterizuje Obr. 5. Znázorňuje jednotkovou kružnici, do které byly vyneseny metodou směrových charakteristik zjištěné MD u všech 183 povodí. Pak byl z hodnot MD příslušejících do daného regionu stejným metodickým postupem vypočten jejich reprezentační průměr. Z grafu vyplývá, že poměrně největší množství povodňových případů se vyskytuje v prvním čtvrtletí, v pořadí četnosti výskytu následují pak 2. a 3. čtvrtletí, nejméně povodňových případů na území ČR se odehrává ve 4. čtvrtletí. Nejmenší rozptyl v datech sezónního výskytu povodní vykazuje v průměru R-II a největší rozptyl lze očekávat u rozvodnění v R-V a R-VI. Povodně v podhůří R-IV a v horských polohách R-VII mají tendenci se vyskytovat v přibližně blízkých termínech.



Obrázek 5. Zobrazení směrových charakteristik MD zjištěné u všech 183 povodí, s vyznačením příslušnosti k vymezeným regionům

5 Závěr

Za vhodnou charakteristiku odlišnosti povodňových režimů u jednotlivých povodí lze považovat objektivně identifikované sezónní období tzv. povodňového neklidu, kdy se mohou vyskytovat nadprůměrné průtoky v dané oblasti se zvýšenou pravděpodobností.

Přesnost údajů o sezonalitě výskytu povodní ovlivňuje do značné míry použitá metoda. Zpravidla bývá regionalizace této charakteristiky doprovázena řadou nejistot. Měly by být proto aplikovány postupy, které umožňují tyto neurčitosti redukovat na únosnou míru.

Jako prakticky vyhovující po této stránce se ukázala kombinace metody směrových statistik a metody čar kumulativní četnosti výskytu povodní. Obě metody byly aplikovány na souborech hydrologických, klimatologických a fyzicko-geografických a dat pro 183 povodí na území ČR. Pro každé povodí tak byly získány objektivně údaje o průměrné době výskytu povodní, počátku a konci povodňového neklidu.

Korelační a shluková analýza potenciálně příčinných faktorů prokázaly, že počátek a konec povodňového neklidu se oblastně liší. Počátek je ponejvíce závislý na teplotních podmínkách a na orientaci svahů, zatímco konec se datově více blíží průměrné době výskytu povodní (MD). U dalších shluků se projevovala výrazněji závislost uvažovaných fyzicko-geografických faktorů (půda, les, louky, sklonitost a orientace svahů) na nadmořské výšce a na průměrné roční výšce srážek.

Shlukovou analýzou podobnosti povodí podle sezonality výskytu povodní bylo předběžně na základě majoritních veličin u všech 183 uvažovaných povodí odvozeno na území ČR celkem 7 regionů, které lze prostřednictvím technologií GIS již plošně vymezit v mapě říční sítě.

6 Literatura

- BAYLISS, A.C. AND JONES, R.C. (1993): Peaks over threshold flood database - Summary statistics and seasonality. Report No. 121, Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- BRÁDKA, J. (1967): Meteorologické příčiny povodní ve Slezku. Meteorologické zprávy 20, ČHMÚ, Praha.
- BUCHTELE, J. (1972): Kategorizace povodňového režimu na tocích Vltavské kaskády. Sborník prací HMÚ, sv.18, Praha.
- FISHER, N.I. (1993): Statistical Analysis of Circular Data. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- HLADNÝ, J. (1971): K rajonizaci povodňových situací na území ČSR pro potřeby povodňové služby. Sborník referátů z hydrologické konference v Brně, Studia Geographica 22, GÚ ČSAV, Brno.
- HLADNÝ, J., CHALUŠOVÁ, J. A VLASÁK, T. (2001): Hydrosynoptické přístupy k identifikaci povodňového mechanismu. Acta Universitates Carolinae Geographica, 2, Přírodovědecká fakulta UK, Praha.
- KAKOS, V. (1983): Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873-1982. Meteorol.Zpr. 36 (6), ČHMÚ, Praha.
- KAKOS, V. (1985): Hydrometeorologická analýza povodňových situací v povodí Labe. Meteorol.Zpr. 38 (5), ČHMÚ, Praha.
- KAŠPÁREK, L. A KOL. (1999): Hodnocení modelování srážko-odtokových vlastností povodí. VÚV T.G.M., Praha.
- MARDIA, K.V. (1972): Statistics of Directional Data. Academia Press, London.
- OUARDA, T.B.M.J., ASHKAR, F. AND EL-JABI, N. (1993): Peaks Over Threshold Model for Seasonal Flood Variations. Engineering Hydrology, USA.
- TODOROVIC, P., AND ZELENHASIC, E. (1970): A stochastic model for flood analysis. Water Resources Research, 6 (6), 1641-1648.

VAVRUŠKA, F. (1989): Meteorologické příčiny povodní na Otavě a Lužnici. Meteorologické zprávy, 42. ČHMÚ, Praha, 111-115.

ZMĚNY VE VÝVOJI ODTOKU V PRAMENNÝCH OBLASTECH OTAVY V KONTEXTU VLIVU ČLOVĚKA A ZMĚNY KLIMATU

Zdeněk Kliment, Milada Matoušková

Katedra fyzické geografie a geokologie, Přírodovědecká fakulta UK Praha, Albertov 6, 128 43
Praha 2, e-mail: kliment@natur.cuni.cz, matouskova@natur.cuni.cz

Abstrakt:

Cílem studie bylo objasnění příčin změn ve vývoji srážko-odtokových poměrů v kontextu vlivu člověka a změny klimatu ve třech modelových povodích v pramenných oblastech Otavy. Vedle průměrných průtokových a srážkových charakteristik byly sledovány změny v rozložení odtoku během roku, v četnosti a časovém rozložení N-letých vod, v trvání a průměrné výšce sněhové pokrývky a ve vývoji průměrné teploty vzduchu. Současně byl analyzován vývoj krajinného pokryvu, antropogenní ovlivnění říční sítě a plošná odvodnění. Prováděn je vlastní kontinuální monitoring chodu srážek a odtoku v třech maloplošných experimentálních povodí s rozdílným využitím krajiny v povodí horní Blanice.

Klíčová slova: srážko-odtokový proces, úpravy toků, plošné odvodnění, změny krajinného pokryvu, Otava

1 Úvod

Extrémní hydrologické jevy: sucho a povodně nabývají v posledních desetiletích na intenzitě. Povodňové události 1997 a 2002 v Česku vyvolaly četné diskuse o možném vlivu změn přírodního prostředí na srážko-odtokový proces. Problematika detekce změn v dlouhodobých hydrologických řadách je velice důležitá nejen z pohledu protipovodňové ochrany ale i z pohledu udržitelného rozvoje vodních zdrojů. Konstatování, že minulost je klíčem do budoucna platí v podmínkách globálních klimatických změn pouze omezeně. Teplota povrchu Země v průměru stoupla o 0.6 ± 0.2 °C od preindustriální éry (Kundzewicz & Robson 2004), což má nepochybně vliv i na formování odtoku. Odtokový proces je však pozměně i z důvodu aktivit člověka v krajině. Příkladem je modifikace hydrografické sítě, změny ve struktuře a charakteru krajinného pokryvu, rostoucí urbanizace krajiny, výstavba přehrad. Vliv přímé a nepřímé činnosti člověka na odtokový režim prokázala řada experimentálních studií z různých oblastí světa. Příkladem může být dlouholetý výzkum v experimentálních povodích v České republice sledující vliv lesa a odlesnění (Válek, 1953; Netopil, 1955; Kříž, 1981; Křeček, 1980, Jařabáč, Chlebek, 1984; Šeborová, 1994; Blažková, 1994) Na nejednoznačnost výsledků vlivu lesa upozornily studie Kulhavého (1999) a Krečmera (2003). Celkově vyšší a méně vyrovnaný odtok byl pozorován ze zemědělsky obhospodařovaných ploch (Föhrer a kol.; Klöcking, Haberlandt 2002; Robinson a kol. 2003). Samostatným problémem je odvodnění, které v Česku postihuje v průměru až 25,5 % zemědělského půdního fondu a řadí jej na čelní místo v Evropě.

2 Modelová povodí, metody a zdroje dat

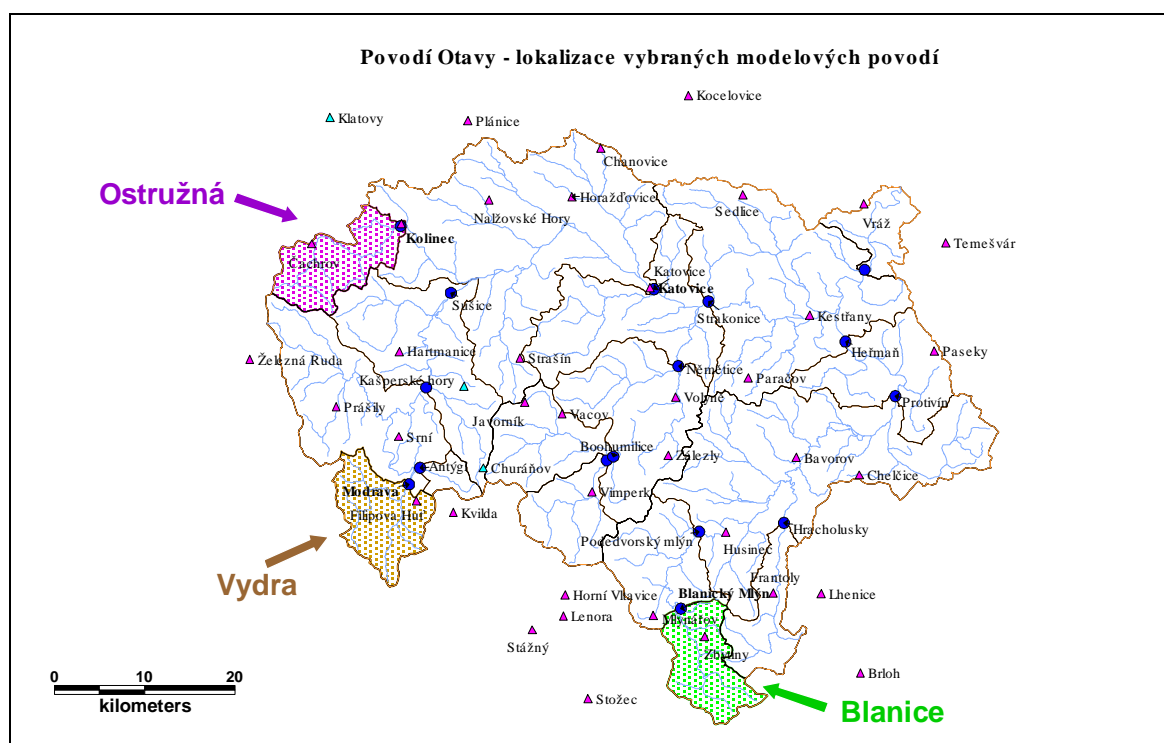
Hlavním cílem výzkumu bylo sledovat a pokusit se objasnit změny ve vývoji srážko-odtokových vztahů ve třech modelových povodích situovaných v pramenné oblasti řeky Otavy: povodí Vydry, povodí Ostružné a horní část povodí Blanice (tab.1, obr. 1). Studie navazuje na práci Klimenta, Matouškové (2005), ve které bylo analyzováno celé povodí Otavy. Vybraná povodí reprezentují rozdílně využívaná území s různou mírou antropogenních zásahů do odtokového režimu. Všechna tři modelová povodí se nacházejí v jaderné oblasti velkých povodní a sehrála významnou roli při počátečním formování odtoku při katastrofální povodni v srpnu 2002. Změny v odtokovém režimu byly hodnoceny pomocí metody

jednoduchých a podvojných součtových čar za období hydrologického pozorování, tj. cca za posledních 50 let. Dále byly aplikovány standardní statistické analýzy datových řad: jednovýběrový i párový neparametrický Wilcoxonův test a Mann-Kendallův neparametrický test. Sledovány byly rovněž změny v rozložení odtoku během roku, v četnosti a časovém rozložení N-letých vod, v trvání a průměrné výšce sněhové pokrývky, ve vývoji průměrné teploty vzduchu. Dále byl analyzován vývoj krajinného pokryvu, antropogenní ovlivnění říční sítě a míra plošného odvodnění. Při zpracování bylo použito dat ČHMÚ, dat o vývoji land use (Bičík a kol., 2003), databáze CORINE Land cover (1992, 2000). Antropogenní transformace říční sítě a plošné odvodnění pozemků bylo hodnoceno na základě materiálů ZVHS a terénního průzkumu. V pramenné oblasti Blanice v lokalitě Zbytiny byl zahájen v květnu 2006 vlastní kontinuální monitoring odtoku a srážek ve 3 malých experimentálních povodích.

Tab.1 Základní srážko-odtokové charakteristiky modelových povodí.

DBČ	název	řeka	ČHP	měří od	P (km ²)	H * (mm)	Q _a (m ³ /s)	q _a (l/s/km ²)	φ*
1350	Modrava	Vydra	10801013	1931	93,41	1327	3,37	36,0	0,85
1390	Kolinec	Ostružná	10801073	1949	92,42	965	1,25	13,5	0,44
1450	Blanický Mlýn	Blanice	10803011	1953	85,21	861	0,92	10,8	0,39

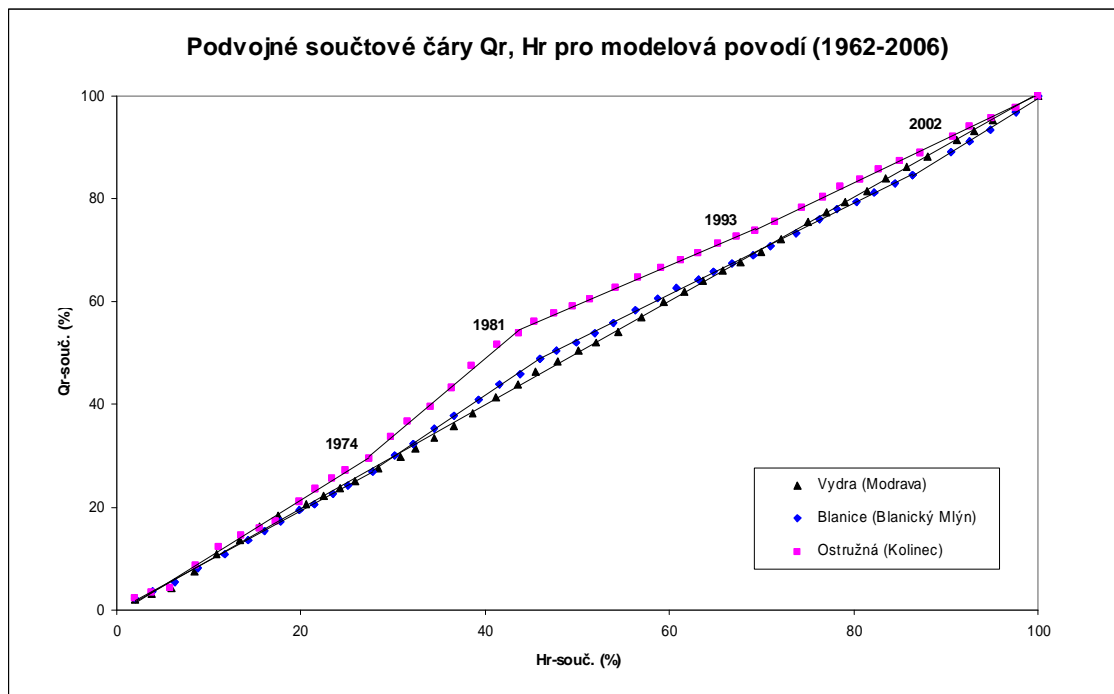
*Dané údaje jsou vztaženy k hydrologickému období 1962-2006, ostatní k počátku průtokového měření.



Obr. 1 Lokalizace vybraných modelových povodí, poloha srážkoměrných stanic (▲) a poloha limnigrafických stanic (●) v povodí Otavy

3 Změny srážko-odtokového režimu, vývoj teplotních a sněhových poměrů

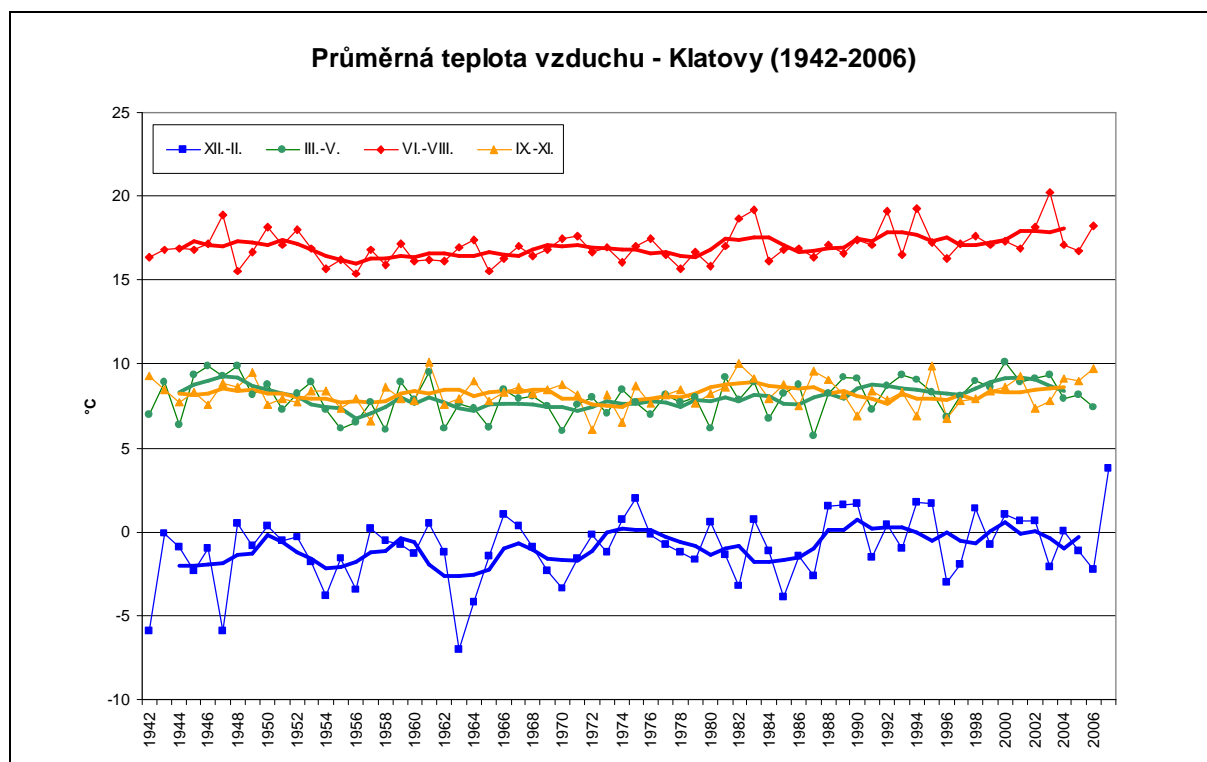
Pomocí metody jednoduchých a podvojných součtových čar byly identifikovány odchylky v trendu odtoku. Nejvýraznější změny byly rozpoznány na Ostružné, kde byl zaznamenán zvýšený nárůst odtoku v období 1975-80, podobně, avšak méně výrazněji na horní Blanici. Na Vydře v profilu Modrava nebyly identifikovány žádné změny v odtokovém režimu. Pozorovaný trend období zvýšeného nárůstu odtoku korespondoval s jedním ze srážkově bohatších období a byl typický právě pro 70. a 80. léta. Před tímto obdobím, podobně blíže do současnosti, nebyly odchylky pozorovány, součtové řady průtoků vody a srážkových úhrnů řady měly podobný průběh i ve vodních obdobích. Pro zpřehlednění situace byly pro všechny sledované profily sestrojeny podvojně součtové čáry ročních průtoků vody a ročních úhrnů srážek (obr.2). V daném období nárůstu odtoku, ale i mimo toto období, byl zaznamenán u všech povodí i koncentrovaný výskyt 5-letých a vyšších vod. Ukázalo se, že jejich výskyt může být průvodním jevem změny trendu, ale není určujícím faktorem změn ve vývoji odtoku.



Obr.2 Podvojně součtové čáry pro modelová povodí (1962-2006)

Pro ověření rozdílů mezi dvěma nezávislými soubory pro časově vymezené skupiny ročních hodnot průtoků a návazně ročních hodnot srážkových úhrnů byl použit Wilcoxonův jednovýběrový i párový neparametrický test. Skupiny byly vymezeny na základě zjištěných náhlých změn ve vývoji časových řad průtoků pro studovaná povodí, získaných metodou součtových řad a zahrnovaly tři období : 1967-1974, 1975-1982 a 1983-1990. Zatímco v povodí Vydry nebyly prokázány rozdíly v hodnocených souborech průtoků, určité rozdíly se prokázaly v dalších povodích, kde testové kritérium pro období 1975-1982 bylo menší nebo rovno kritické hodnotě pro Wilcoxonův test pro $\alpha = 0,05$, čímž byla na této hladině zamítnuta nulová hypotéza, že se soubory neliší. Významné statisticky prokázané rozdíly se projevíly jak oproti předchozímu období, tak i následnému období. Pro úhrny srážek nebyly prokázány rozdíly mezi obdobími u žádného z povodí. Při použití párového Wilcoxonova testu již nebyly rozdíly tak markantní a byly prokázány pouze u průtoků Vydra x Ostružná (1975-82 : 1983-1990, $W_{0,05}(8)=2$), Ostružná x Blanice (1975-82 : 1983-90, $W_{0,05}(8)=0$). Výsledky potvrdily výjimečnost vývoje průtoků v povodí Ostružné. Ve vztahu k dalším porovnávaným povodím a hodnoceným obdobím se statisticky projevil zejména pokles hodnot průtoků po období 1975-82.

Pro detekci trendů byl použit rovněž Mann-Kendallův neparametrický test. Nejprve byly testovány celé datové řady Q_r , H_r v časovém období 1962-2002. Na základě výpočtu Kendallova korelačního koeficientu byl identifikován závislostní trend chodu srážek a průtoků v povodí Vydry ($\tau=0,726$) a v povodí Blanice ($\tau=0,667$). Podobě jako u Wilcoxonova testu byly dále studovány vymezené časové úseky: 1967-1974, 1975-1982 a 1983-1990. V případě povodí Vydry byl identifikován významný trend ve všech třech sledovaných časových obdobích. V případě povodí Blanice byl identifikován závislostní trend pouze v období 1962-1974 a 1975-1982. V povodí Ostružné byl nalezen významný korelační trend v období 1983-1990 ($\tau=0,969$) a v období 1962-1974 ($\tau=0,603$). V období 1975-1982, kdy došlo k zásadní změně v průběhu jednoduchých a podvojných součtových čar, naopak nebyl identifikován žádný trend. Modelové povodí Ostružné bylo dále podrobena analýze pomocí tzv. Mann-Kendalova testu sezonality. Korelace byla opět nalezena v obdobích 1962-1974 a 1983-2002, naopak nebyla identifikována v období 1975-1982. Analýza pomocí Mann-Kendalova testu tedy rovněž potvrdila odlišný vývoj průtoků a srážek v povodí Ostružné v období 1975-1982.



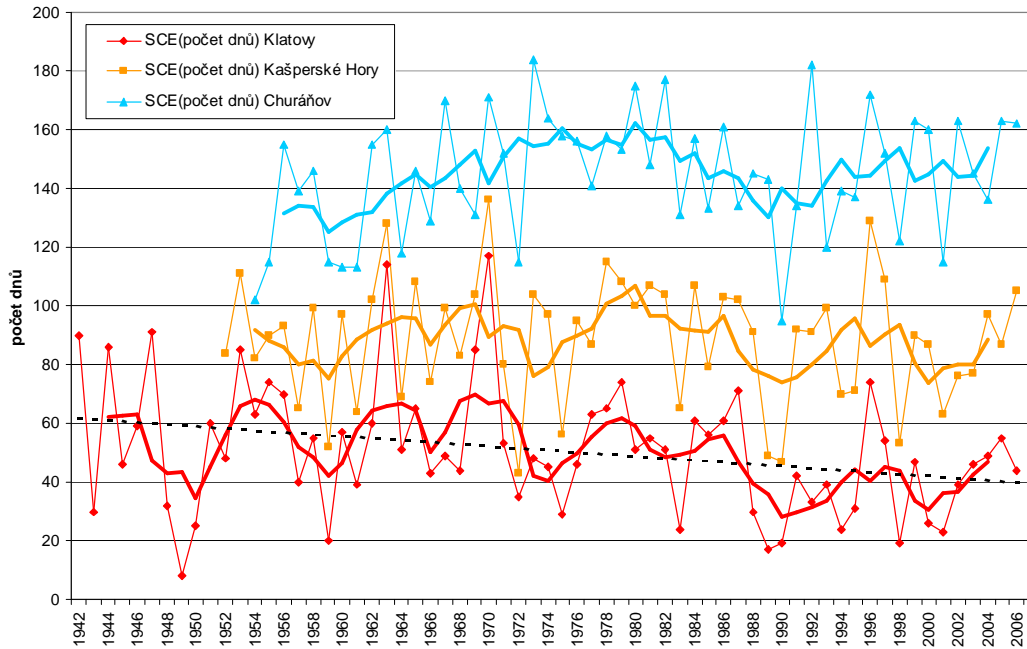
Obr. 3 Chod průměrných teplot vzduchu v jednotlivých ročních obdobích (1942-2006), zdroj: ČHMÚ

Změny v rozložení odtoku během roku byly posuzovány na základě vývoje procentuálního zastoupení odečtené vody v jednotlivých měsících a pro jednotlivé roční sezóny. Pro odtokový režim za poslední půlstoletí je charakteristické zřetelné navýšení podílu odtoku v zimních měsících zejména od druhé poloviny 70. let (až o více než 5 %). Na druhé straně můžeme pozorovat ve stejném období až na výjimky (srpen 2002) postupný úbytek odtoku v letních měsících. Za jednu z přirozených příčin změn odtokového režimu můžeme považovat zjištěné odchylky ve vývoji teplotních poměrů, které ovlivňují sněhové charakteristiky a celkovou hydrologickou bilanci. Sněhové a teplotní charakteristiky byly zpracovány pro tři v současnosti měřící klimatické stanice, které reprezentují zastoupením různé nadmořské výšky horskou a podhorskou část Šumavy (Churáňov 1118 m n.m., Kašperské Hory 737 m n.m. a Klatovy 430 m n.m.). Porovnáním průměrů za období 1901-1950 (viz. Tabulky podnebí ČSSR, 1960) a 1951-2003 byl zjištěn nárůst teploty vzduchu ze 7,6°C na 8,1°C.

Více jak 50. leté řady pozorování prokázaly výraznější nárůst teploty vzduchu v 80. letech a hlavně od začátku 90. let (obr.3). Určité náznaky je možné, zejména pro zimní období, vysledovat již v 70. letech.

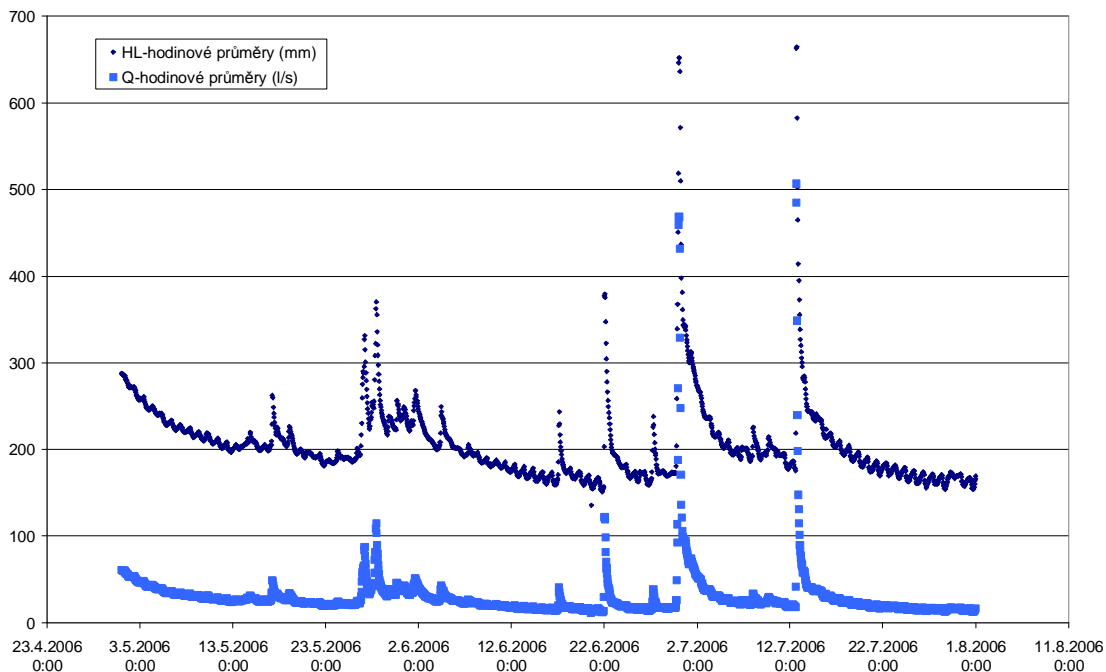
Velmi podobný trend se projevil u všech třech sledovaných stanic. Podobně můžeme sledovat úbytek počtu dní se sněhovou pokrývkou především v nižších polohách (obr. 4).

Počet dnů se sněhovou pokrývkou (1942-2006)



Obr. 4 Vývoj počtu dní se sněhovou pokrývkou (1942-2006), zdroj: ČHMÚ

S cílem sledování odezev odtoku na srážkové úhrny v rozdílně využitých územích v jaderné zóně povodní byl v květnu 2006 založen vlastní synchronní monitoring srážek a odtoku ve 3 maloplošných povodích v pramenné oblasti horní Blanice (obr.5). V současné době probíhá zpracování prvních měření a technické doladování instalace měřících zařízení. Prováděno je nezbytné hydrometrování za účelem vynesení konsumpčních křivek. Již první výsledky monitoringu prokázaly velice rychlou odezvu odtoku na spadlé přívalové srážky.



Obr. 5 Chod vodních stavů a průtoků (hodinové průměry) v povodí Tetřívčího potoka

4 Změny ve vývoji krajinného pokryvu, v upravenosti říční sítě a plošném odvodnění

Dlouhodobé tendence ve vývoji horské a podhorské krajiny Šumavy můžeme v modelových povodích sledovat na základě statistických dat z evidence katastru nemovitostí. V nižších polohách Šumavského podhůří v období 1948-1990 zůstala až na výjimky plocha orné půdy na přibližně stejné úrovni jako v předchozích letech, značně se však mění struktura krajiny vlivem scelování pozemků. Po r. 1994 dochází v Šumavském podhůří vlivem státních dotací k rozsáhlému zatravňování dříve obdělávaných pozemků a jejich přeměně na louky, pastviny a les (viz tab.2).

Tab.2 Vývoj krajinného pokryvu (CORINE, 1992,2000)

Třída	CORINE Land cover	Ostružná (Kolínec)		Blanice (Blanický Mlýn)		Vydra (Modrava)	
		1992 (%)	2000 (%)	1992 (%)	2000 (%)	1992 (%)	2000 (%)
112	Městská nesouvislá zástavba	0,9	1,3	0,3	0,3	0,0	0,0
211	Orná půda	45,7	17,2	5,7	0,3	0,0	0,0
222	Ovocné sady a keře	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
231	Louky	4,7	30,2	22,3	16,9	4,2	5,7
243	Území převážně zemědělské	11,1	10,1	6,7	3,9	0,0	0,0
311	Listnaté lesy	0,0	0,5	0,2	0,8	0,0	0,0
312	Jehličnaté lesy	32,5	37,9	41,9	61,2	65,2	58,1
313	Smíšené lesy	1,7	1,2	7,2	2,3	0,3	1,0
321	Trávníky a přirozené pastviny	0,0	0,0	3,0	10,8	1,1	1,1
324	Střídající se lesy a křoviny	3,0	1,7	12,6	3,4	29,2	34,2
Celkem		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

K významnějším zásahům do hydrografické sítě docházelo v souvislosti s hydromelioračními opatřeními. V modelových povodích na horních tocích Ostružné a Blanice se jednalo především o úpravy toků související s plošným odvodněním zemědělské půdy, které byly realizované v období 1960-1987. Nejvyšší stupeň upravenosti toků vykazuje povodí Ostružné (21%). Koryta toků byla napřímena, zahloubena a zpevněna betonovými prefabrikáty. V souvislosti s intenzifikací výroby docházelo rovněž v období 1975-1982 k intenzivnímu nárůstu odvodněných ploch. Celkový rozsah realizovaných odvodnění v povodí Ostružné činí 829 ha, tj. 8,3 % plochy povodí. V současné době dochází k postupné revitalizaci upravených úseků vodních toků.

5 Diskuze

Sledujeme-li průtokové charakteristiky, je zřejmé výrazné souvislé období vyššího odtoku v období 1975-1980, širěji vymezené 1974-1982. Výrazně zvýšený odtok se přitom projevuje ve vegetačním i chladném období.

Období vyšších průtoků 1974-1982 souvisí se srážkově bohatším obdobím, v porovnání s obdobnými situacemi (1954-58, 1965-68, 1986-88, 1995-96, 2000-02 aj.) je však možné hodnotit uvedené období z hlediska velikosti průtoků jako nepříliš adekvátní vzhledem k velikosti spadlých srážek. Od konce 70. let je zřetelný úbytek a větší rozkolísanost srážek ve vegetačním období a nárůst srážek v chladném období, zejména ve vyšších polohách.

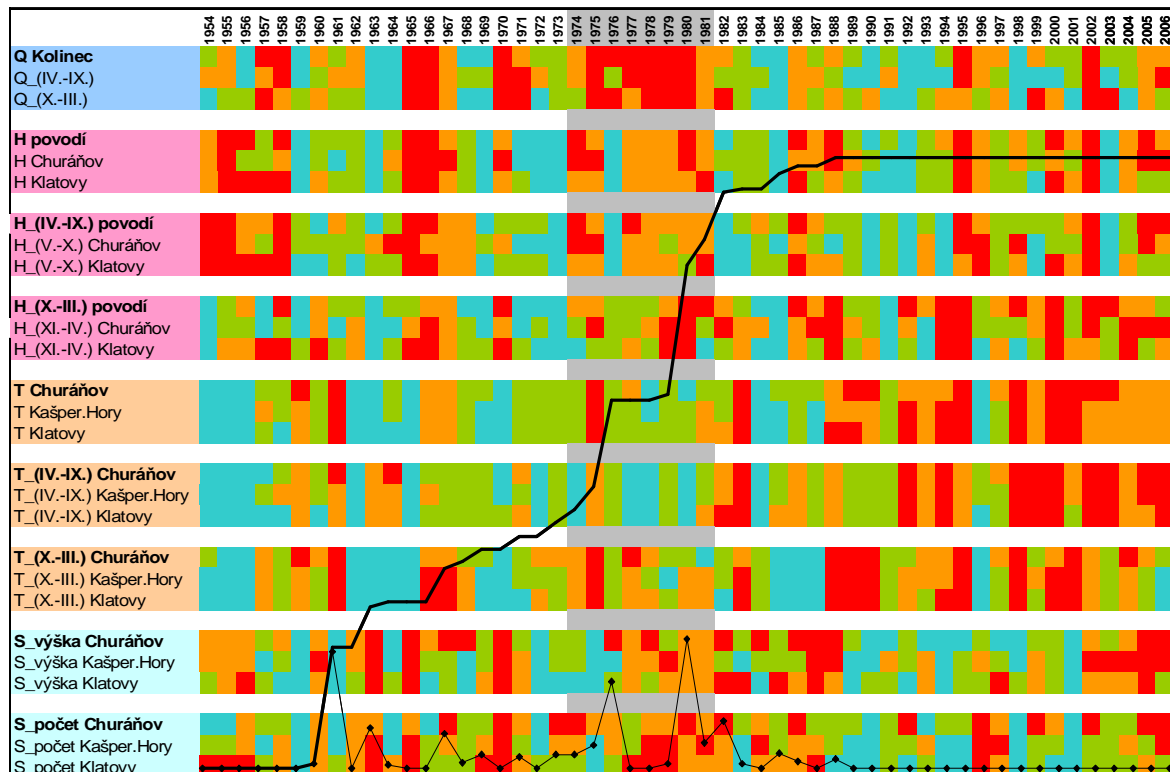
Období 1974-1982 náleží mezi období teplotně podprůměrné až velmi chladné. Nízké průměrné teploty připadají zejména na vegetační období, v chladném půlroce je dosahováno průměrné až mírně nadprůměrné teploty. Z hlediska 50-leté řady je zřetelný výrazný nárůst teplot od začátku 80. let a zejména v 90. letech, jak v letních, tak zimních měsících.

Období 1974-1982 se vyznačuje jako celek nadprůměrnou výškou sněhové pokrývky a nadprůměrným počtem dní se sněhovou pokrývkou. Od konce 80. let se zřetelně projevuje v souvislosti s nárůstem teplot snižování výšky sněhové pokrývky (Churáňov) a pokles počtu dní se sněhovou pokrývkou (hlavně

Klatovy). Jedním z důsledků je i změna rozložení odtoku během roku ve prospěch zimních měsíců (od pol. 70. let).

V krajinného pokryvu nebyly v časovém horizontu 1845-1990 identifikovány významné změny z pohledu využití ploch v jednotlivých povodích, nicméně došlo k významné změně ve struktuře krajiny vlivem scelování pozemků, což se pravděpodobně odrazilo i v trendech odtoku. V období 1992-2002 dochází k významnému poklesu výměry orné půdy (zejména povodí Ostružné), který je kompenzován nárůstem luk a lesa. Tyto změny je možno hodnotit pozitivně z pohledu zvýšení retence vody v krajině a procesu evapotranspirace.

V povodí Ostružné a Blanice došlo ve 2. polovině 20. století k rozsáhlým hydromelioračním opatřením. Byly provedeny rozsáhlá odvodnění zemědělských ploch a s nimi související úpravy koryt drobných vodních toků. K nejintenzivnějšímu nárůstu odvodněných ploch došlo v letech 1975-1982, což koresponduje se zjištěným trendem nárůstu odtoku v daném období (obr.6).



Obr. 6 Vývoj klimatu a nárůst plošného odvodnění v povodí Ostružné v období 1954-2006, zdroj: ČHMÚ, ZVHS

Vysvětlivky : Q-průměrný průtok, H-úhrn srážek, T-průměrná teplota vzduchu, S_výška – průměrná výška sněhové pokrývky, S_počet – počet dnů se sněhovou pokrývkou. Červeně: hodnoty > horní kvartil, žlutě: <horní kvartil, medián>, zeleně: <medián, dolní kvartil>, modře: <dolní kvartil. Graf, tenká čára: vývoj odvodněných ploch v jednotlivých letech, silná čára: vývoj odvodněných ploch (kumulovaně).

6 Závěry

Sledováním změn ve srážkoodtokovém procesu s použitím metod součtových čar byly prokázány odchylky ve vývoji odtoku. Ze třech vybraných modelových povodí se odchylky nejvíce projevíly v zemědělsky využívaném povodí Ostružné, méně výrazně v povodí horní Blanice a nebyly naopak zjištěny v přírodním zalesněném povodí Vydry. Změny se projevíly zřetelným nárůstem odtoku v 70. a 80. letech minulého století a postupným úbytkem odtoku v následném období. Odchylku chodu srážek a průtoků v období 1975-1982 potvrdily rovněž Wilcoxonův a Mann-Kendallův neparametrický test. Teplotně chladné, relativně souvislé období bylo charakteristické výskytem srážkově průměrných až nadprůměrných let bez výrazných výkyvů s nadprůměrnou výškou sněhové pokrývky a nadprůměrným

počtem dní se sněhovou pokrývkou. Vzhledem ke specifčnosti a neopakovatelnosti zjištěného trendu odtoku za více jak 50-leté období můžeme předpokládat, že se vedle přírodních faktorů na něm podílely antropogenně podmíněné zásahy. V tomto smyslu se jedná zejména o rozsáhlá hydromeliorační opatření, provázaná úpravami hydrografické sítě a výstavbou povrchových i podpovrchových odvodňovacích systémů. Významný pokles výměry orné půdy kompenzovaný nárůstem zatravněných a zalesněných ploch v posledním desetiletí mohl naopak přispět spolu se zjištěnými klimatickými trendy ke zvýšení podílu evapotranspirace a tím i k celkovému snížení odtoku. Stanovení váhy a vlivu faktorů ovlivňujících odtok vody z území je předmětem synchronního monitoringu odtoku na různě využitých dílčích experimentálních plochách v povodí horní Blanice.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu VaV MŽP ČR SM/2/57/05 „Dlouhodobé změny pořičních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“ a výzkumného záměru geografické sekce PřF UK v Praze MSM 0021620831“Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“ a projektu.“

7 Literatura

- BLAŽKOVÁ, Š., KOLÁŘOVÁ, S. (1994): Vliv odlesnění na hydrologický režim v oblasti Jizerských hor. VÚV T.G.Masaryka. Praha, 76 s.
- BIČÍK, I. a kol. (2003): Vývoj struktury ploch v povodí Otavy. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Sborník výstupů z dílčích úkolů grantu GAČR, PřF UK, Praha, s. 113-121.
- DOLEŽAL, F. a kol. (2004): Bilanční odhady příspěvku odvodňovacích soustav k průběhu povodní. VÚMOP, Praha.
- FÖHRER, N. a kol. (2001): Hydrological response to land use changes on the catchment scale. In: Physics and Chemistry of the Earth, 26, s.577-582.
- GOUDIE, A. (1992): The Human Impact on the Natural Environment. Blackwell Publisher. Oxford. 388 s.
- JAŘABÁČ, M., CHLEBEK, A. (1984): Vliv lesů a lesního hospodářství na odtoky vod a erozi půdy v Beskydech. Vodní hospodářství, č. 4, Praha, s. 109-116.
- KAŇOK, J. (1999): Antropogenní ovlivnění velikosti průtoků řek povodí Odry po profil Kozle. Spisy prací Přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity, č. 10, Ostravská univerzita, Ostrava.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005): Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy. Geografie-Sborník ČGS, r. 112, č. 1.
- KLÖCKING, B., HABERLANDT, U.(2002): Impact of landuse changes on water dynamics – a case study in teperate meso and macroscale river basin. In: Physics and Chemistry of the Earth, 27, s. 619-629.
- KREČMER, V. (2003): Lesy a povodně (souhrnná studie). MŽP, Praha, 121 s.
- KŘEČEK, J. (1980): Prognóza vlivu lesní těžby na změnu vodnosti malého povodí. Práce VÚLHM, 56, Praha.
- KŘÍŽ, V. (1981): Nástin prognózy potenciálních změn hydrického režimu Moravskoslezských Beskyd. Sborník ČSG, 86, č.1, Academia Praha, s.19-27.
- KŘÍŽ, V. (2003): Změny a zvláštnosti vodního režimu řeky Ostravice. Geografie, 2003, r.108, č. 1, s. 36-48.
- KUNDZEWICZ, Z., ROBSON, A. (2004) Change detection in hydrological records – a review of the methodology. Hydrological Sciences-Journal, 49(1), 7-20.

- KULHAVÝ, Z. (1999): Hodnocení vlivu zemědělského hospodaření na odtokové poměry malých povodí aplikací metod matematického modelování. ZPZ EP 7062, VÚMOP, Praha.
- MEYER, W.B. (2001): Human impact on the Earth. Cambridge University Press, Cambridge, 253 s.
- NETOPIL, R. (1955): Výzkum vlivu lesa na odtok. Sborník ČSZ, 60, č.1, Academia Praha, s.65-66.
- Robinson, M. a kol. (2003): Studie of the impact of forest on peak flows and baseflows: a European perspective, in: Forest ecology and management, 186, s.85-97.
- ŠVIHLA, V.a kol. (1992): Výzkumný objekt Ovesná Lhota. Monografie. VÚMOP Praha, 92 s.
- VÁLEK, Z. (1953): Výzkum vlivu lesa na odtok v povodí Kychové a Zděchovky. Vodní hospodářství, č. 10-11, Praha.

POVODŇOVÉ REŽIMY OTAVY A LUŽNICE

Tomáš Vlasák

ČHMÚ České Budějovice

e-mail: vlasak@chmi.cz

1 Úvod

Během jednotlivých etap řešení projektu VaV-SM/2/57/05 „Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“ byly v povodí Otavy a Lužnice analyzovány příčiny a průběhy povodní od konce 19. století, jejichž kulminace překročila ve vybraných vodoměrných profilech hodnotu desetileté vody, Vlasák [2004,2006]. Stejná metodika zpracování umožnila porovnat obě povodí z hlediska jejich povodňového režimu a popsat míru jeho ovlivňování jejich fyzickogeografickým prostředím.

Základní symptomy hydrologického režimu vzniku povodní v povodí Otavy a Lužnice publikoval už Buchtele [1972]. Souvislostí mezi výskytem povodní a příčinnou povětrnostní situací také na těchto povodích se zabýval Vavruška [1989]. Na potřebu zkoumat komplexně příčinnou cirkulační situaci, vyvolané srážkové pole a odtokovou odezvu jako tzv. hydrosynoptické kontinuum, upozornil ve svém příspěvku Hladný [1995]. Rovněž Chaloušová [2004] zveřejnila v rámci řešení projektu VaV-SM/2/57/05 práci o vlivu roční sezóny na výskyt povodní zahrnující obě povodí. Následující text potvrzuje závěry z uvedených prací a rozšiřuje je o další poznatky získané díky rozsáhlejšímu souboru zpracovaných povodňových epizod a především díky detailnějšímu přístupu, který neřeší pouze výskyt povodní, ale jejich charakter z hlediska prostorového rozložení srážek a tvaru povodňové vlny.

2 Stručná fyzickogeografická charakteristika obou povodí

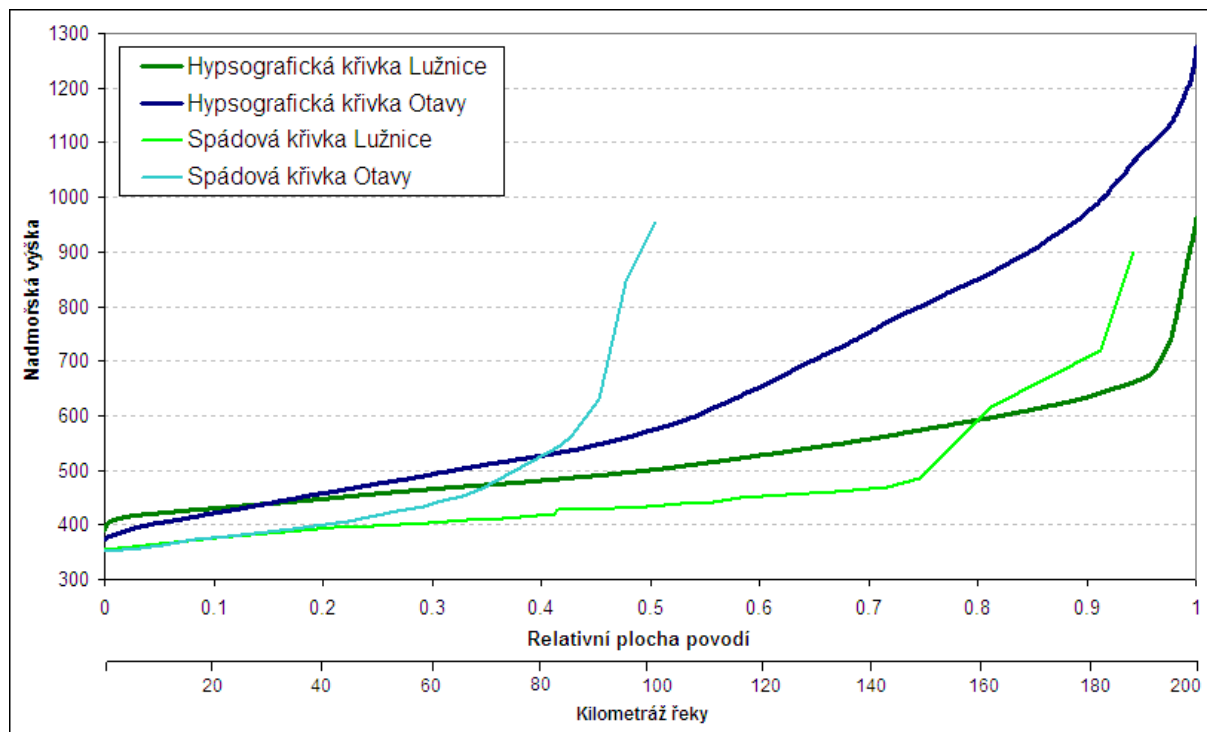
Z praktických důvodů byla hodnocena obě povodí po závěrové vodoměrné profily – tedy Otava po Píseku a Lužnice po Bechyni. V dalším textu je povodím Otavy a Lužnice míněno vždy takto vymezené území.

Základní fyzickogeografické charakteristiky obou povodí jsou obsahem tabulky č. 1. Tvar povodí a asymetrie říční sítě je zřejmá z mapy v příložené tabulce. Pro odtokové poměry jsou podstatné především různé sklonitostní poměry (viz obrázek č.1). Otava a její nejvýznamnější přítoky pramení v horské oblasti Šumavy a v dolní trati teče pouze mírně zvlněnou krajinou, délka Otavy je téměř poloviční než délka Lužnice. Pramenná oblast Lužnice leží v Novohradských horách, ale významnou zdrojovou oblastí je i Českomoravská vysočina. Většinu svého toku vede Lužnice a její hlavní přítok Nežárka po mírně zvlněné Třeboňské pánvi, kde obě řeky silně meandrují, u Tábora se Lužnice zahlubuje do morfologicky členitější Tábořské pahorkatiny.

Charakteristiky	jednotky	Lužnice po Bechyni	Otava po Píseku
plocha povodí	[km ²]	4046.3	2912.8
průměrný sklon povodí	[%]	0.034	0.090
průměrný roční průtok	[m ³ .s ⁻¹]	21.80	23.64
průměrný specifický průtok	[m ³ .s ⁻¹ .km ⁻²]	5.39	8.12
průměrná roční výška odtoku	[mm]	170	256
Q100	[m ³ .s ⁻¹]	577	837
Q10	[m ³ .s ⁻¹]	308	395
Q5	[m ³ .s ⁻¹]	241	301



Tabulka č.1 Základní fyzickogeografické charakteristiky povodí Lužnice a Otavy



Obrázek č.1 Hypsografické a spádové křivky povodí Otavy po Písek a Lužnice po Bechyni

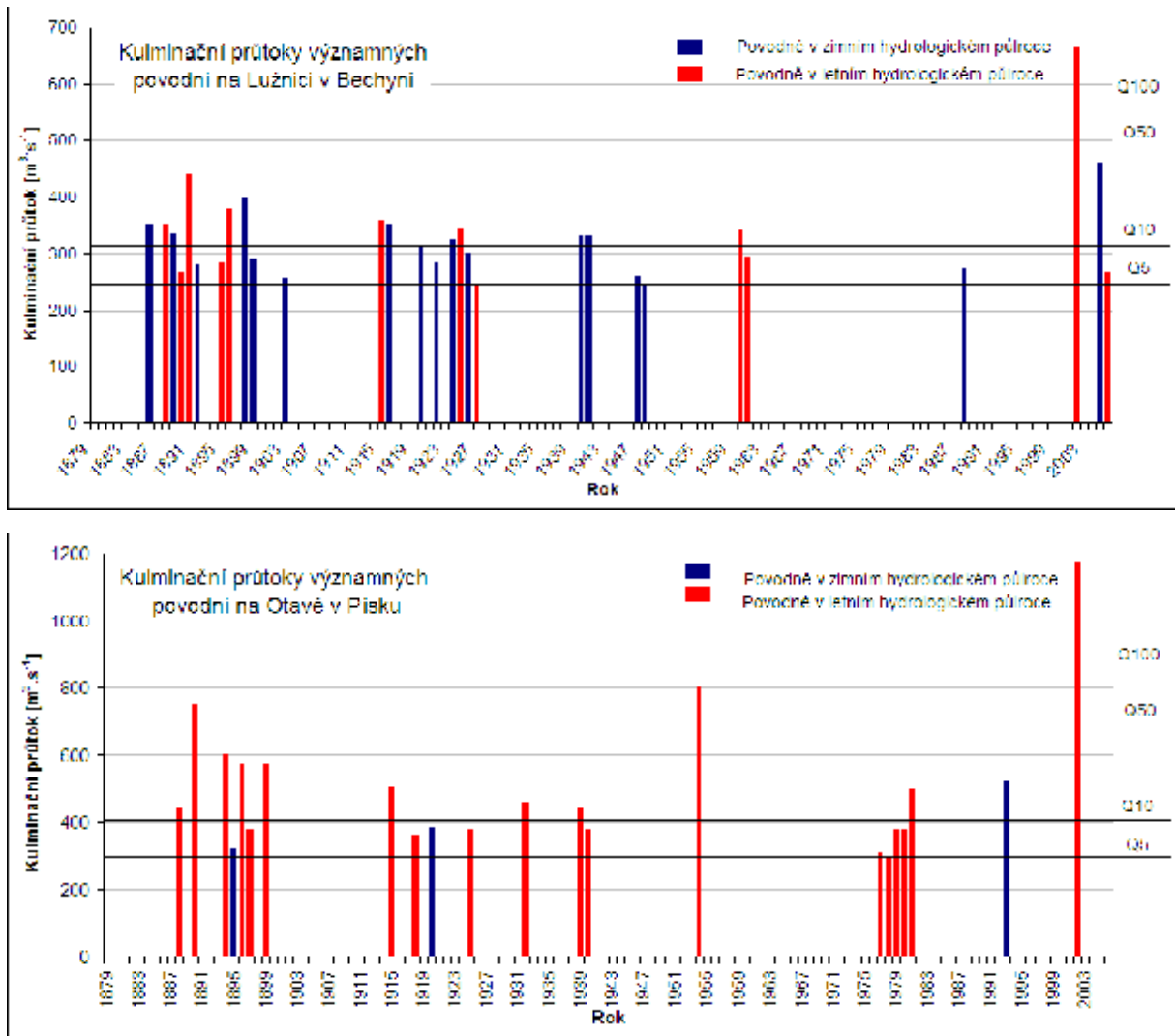
3 Výskyt povodní a jejich sezónní režim

Pro katalog povodňových událostí bylo kritériem výběru stanoveno překročení ve vybraných vodoměrných profilech prahové hodnoty desetiletého průtoku. Protože u starších povodní z konce 19. století a první poloviny 20. století nejsou však dostupné všechny zpracovávané faktory (například typ povětrnostní situace nebo některé hydrogramy), byl u dílčích analýz použitých pro tento text rozsah zpracovávaných povodní různý a je zmiňován u každé kapitoly zvlášť.

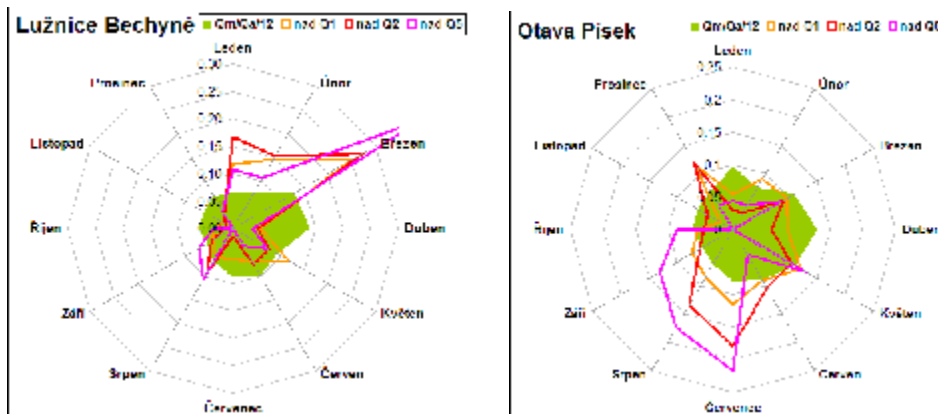
Výskyt povodní s kulminací větší než pětiletý průtok na Otavě v Písku a Lužnici v Bechyni od roku 1888 je znázorněn na obrázku č.2. U obou povodí je zřetelný častější výskyt povodní na konci 19. století a naopak menší četnost v druhé polovině 20. století. Přesto z tohoto počtu 29 povodí v Bechyni a 22 povodní v Písku se pouze 9 z nich vyskytlo současně na obou povodích jako následek jedné příčinné povětrnostní situace. Z grafu je také zřetelná výrazná převaha letních povodní na Otavě oproti vyrovnanému počtu zimních a letních povodní na Lužnici. Obě tyto skutečnosti už naznačují rozdílnost povodňových mechanismů obou povodí.

Pro analýzu sezónního režimu byl použit seznam kulminačních průtoků povodní z archivu ČHMÚ (záznam povodňových průtoků od roku 1888). Byla vyhodnocena četnost výskytu povodní podle jednotlivých měsíců v roce a podle extremity jejich kulminace. Výsledky v podobě paprskových grafů jsou znázorněny na obrázku č.2.

Na Otavě v Písku se povodně vyskytují nejčastěji v letních měsících, a to i přesto že největší objemy odtoku připadají na jarní měsíce. Sezónní růžice není v případě Otavy v Písku až tak asymetrická jako u Lužnice, protože se zde kombinuje několik odlišných sezónních režimů, které dominují různým částem povodí Otavy. Vrcholová část Šumavy je nejvíce citlivá na srážkové povodně v zimním období (především v prosinci), toky odvodňující podhůří Šumavy bývají nejčastěji zasaženy letními povodněmi a v Písku se vlivem nárůstu plochy povodí navíc projevují i jarní povodně z tání sněhu.



Obrázek č. 2. Výskyt povodní s kulminací větší než je pětiletý průtok na Otavě v Písku a Lužnici v Bechyni v průběhu posledních 115 roků



Obrázek č.3. Relativní četnost výskytu (0-1) kulminačních průtoků přesahující daný průtokový práh (viz graf) podle kalendářních měsíců a poměr průměrného měsíčního průtoku k průměrnému ročnímu průtoku

Na Lužnici v Bechyni dominují sněhové a smíšené povodně, které v klimatu České republiky mohou nastat kdykoliv během zimy, nejčastěji ale v jarních měsících. Orientace na jarní povodně je výrazná i na dílčích povodích Lužnice, nejvýraznější pak v profilu Klenovice, kde se nejvíce projevuje vliv Třeboňské pánve, která na jedné straně díky svým retenčním schopnostem (písčité půdy, rybníční soustava) účinně transformuje letní dešťové přívaly zasahující zpravidla jen část povodí, na druhé straně malé výškové rozdíly a omezená infiltrace v zimních a jarních měsících způsobuje častější výskyt povodní z tání sněhu.

Zvýšený výskyt letních povodní v Bechyni je vázán ve většině případů na dešťové srážky, které zasáhnou mezipovodí Klenovice-Bechyně (viz dále).

4 Příčinné povětrnostní situace

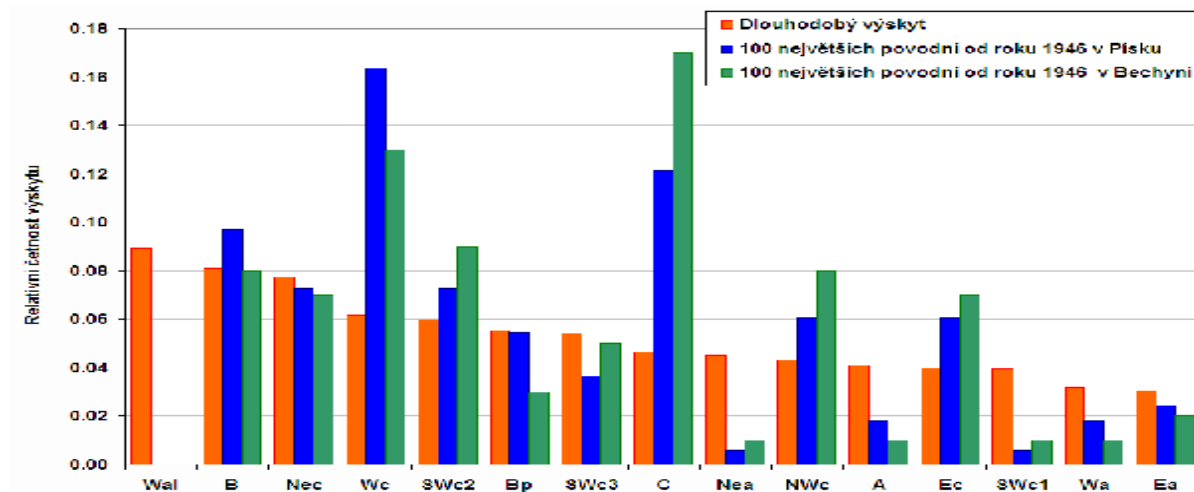
Použije-li se jednoduché rozdělení povětrnostních příčin, které definoval *Kakos [1983]* na příkladu 36 velkých historických povodní v Praze mezi lety 1876 – 1982:

a) zimní typ povodní spojený s postupem frontálních systémů z Atlantiku do střední Evropy,

b) letní typ spojený s cyklogenezí v jižní a střední Evropě,

pak na Otavě dominuje letní typ, který u povodní nad Q10 bývá vždy spojen s přechodem tlakové níže na jihovýchod od území ČR, [*Vlasák 2004*] a na Lužnici se vyskytují oba typy.

Pro podrobnější analýzu příčinných povětrnostních situací se používá nejčastěji Brádkova klasifikace s dostupnými denními typy od roku 1946 [*Brádka 1961*]. Protože většina povodní se v obou povodích vyskytla před tímto datem, byl tomu přizpůsoben i výběr povodní. Pro umožnění hydrosynoptické analýzy bylo použito 100 největších povodní od roku 1946. Při interpretaci výsledků je proto nutné si uvědomit, že takto vybraný soubor má jiné vlastnosti než soubor povodní s kulminací nad Q10.

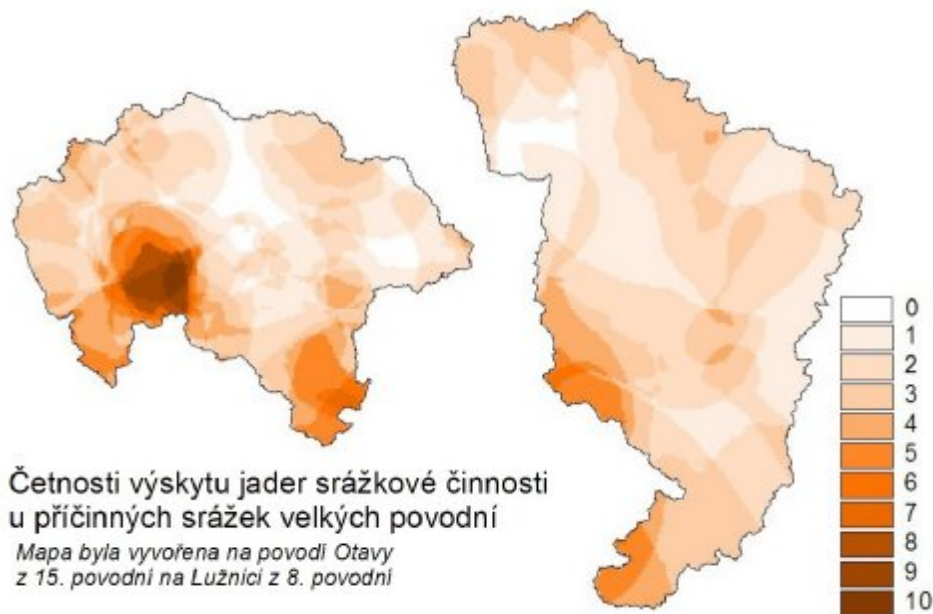


Obrázek č. 4. Relativní četnost výskytu příčinných povětrnostních situací u 100 největších povodní na Otavě v Písku a na Lužnici v Bechyni od roku 1946.

Z takto definovaného souboru byl sestaven histogram četností výskytu příčinných synoptických situací při povodních (viz obrázek č.3). Graf ukazuje, že zvýšená četnost západních cyklonálních situací Wc, NWc, SWc₂, SWc₃, je patrná v obou povodích, ale podrobná analýza příčin povodní ukázala, že mechanismus jejich působení je odlišný. Na Otavě jsou tyto situace spojeny především se silnými srážkami, které zejména na podzim a v zimě při málo labilním zvrstvení a silnému proudění jsou orograficky výrazně zesilovány na Šumavském hřebeni. Na Lužnici jsou povodně spojené s těmito situacemi častěji v jarních měsících a důležitější je oteplení, které s nimi bývá spojeno a má vliv na tání sněhu. Proto také se zde více uplatňují situace SWc₂, SWc₃ mající jižní složku proudění. Cyklonální typy (C, Ec, NEc a B) jsou spojeny na obou povodích s letním typem povodní, čtenější výskyt na Lužnici lze vysvětlit tak, že poloha povodí Lužnice směrem na východ je blíže nejčastějším drahám tlakových níží postupujících na východ od našeho území a kritérium výběru (100 povodní od roku 1946) již znamená i na Lužnici převahu letních povodní nad zimními.

5 Srážkové pole

Analýzou srážkově bohatých povětrnostních situací dokázal Brázdil a Štekl [1986], že rozložení extrémní srážek je výsledkem spolupůsobení terénu a charakteristického proudění a nemusí být shodné s prostorovou distribucí dlouhodobých úhrnů srážek. Proto byla u povodní s kulminací nad Q10 a rozhodujícím vlivem srážek provedena prostorová analýza srážkových jader. K tomuto účelu byl z hypsografické křivky srážkového pole určen horní objemový kvartil, tedy izohyeta rozdělující srážkové pole na 25% a 75% jeho objemu. Tato linie definuje pro účely analýzy jádro srážkové činnosti. Mapovým překryvem jader srážkových polí u obou povodí vznikla mapa zobrazená na obrázku č. 4.



Obrázek č. 5. Četnost výskytu jader srážkové činnosti u příčných srážek povodní na Otavě v Písku a Lužnici v Bechyni

Nejzřetelnějším prvkem mapy je vysoká pravděpodobnost výskytu (až 66%) srážkových jader pro otavské povodně v oblasti mezi Kašperskými Horami a Vimperkem. Tato oblast má sice dlouhodobě menší úhrny srážek než hlavní (hraniční) hřeben Šumavy, ale při atmosférickém proudění u severovýchodních situací (letní typ povodně – viz kap. 4) tvoří návětrí, které se projevuje zesilováním právě na úpatí vedlejšího šumavského hřebene na linii Libín – Boubín – Popelná hora. V oblasti kolem Kašperských Hor navíc masív Šumavy vybíhá výrazněji do vnitrozemí, což způsobuje orografické zesilování srážek při proudění z více směrů.

V povodí Lužnice podobně výrazné jádro z takto vytvořené mapy není patrné, což je pravděpodobně způsobeno více různými typy mechanismu vzniku povodní (viz kap. 6). Četnější výskyt srážkového jádra v jižní části povodní souvisí s okrajem nálevkovitého efektu, které při severovýchodních situacích tvoří klín Novohradských hor a Šumavy.

6 Odtoková odezva

Pro povodí Otavy je charakteristická rychlá odtoková odezva a výrazně větší maximální specifické odtoky u Q100 v Písku je specifický průtok dvojnásobný než u Q100 v Bechyni). Povodňové vlny zde mají většinou jednoduchý tvar s rychlým nástupem průtoků a poklesem pod úroveň stavu ohrožení (obr. č.5). Důvodem je

- morfologie povodí - sklonitost, krátké toky s větším spádem (viz obrázek č.1)
- menší retence povodí, která je ovlivněna i jinými vlastnostmi půd.

- větší podíl srážkových povodní, při kterých jsou produkovány větší odtokové výšky.
- větší pravděpodobnost střetávání průtokových maxim z rychle odvodňované oblasti horní Otavy s relativně pomalým odtokem z dolních částí povodí a především z hlavního přítoku Blanice.

Povodňové vlny v Bechyni jsou proti Otavě v Písku tvarem plošší, mající často více podružných vrcholů. Povodně, které mají zdrojovou oblast ve střední a horní části Lužnice bez ohledu na to, jestli byl způsobené srážkami nebo táním sněhu mají pomalý vzestup a ještě pomalejší pokles. (Při povodni v roce 2002 trval 2. stupeň povodňové aktivity v Bechyni dokonce o více jak den déle než na Labi v Děčíně!) Důvody tohoto chování jsou protipólem uvedených faktorů u Otavy:

- menší sklonitost, meandrující tok Lužnice s malým sklonem.
- vyšší retenční kapacita půdy a vliv rybníční soustavy.
- vyšší podíl sněhových povodní.
- předbíhání kulminačních odtoků z dolní části povodí před dobíhajícím odtokem ze střední a horní části povodí.

Povodně vznikající přítokem z rychle odvodňovaného mezipovodí Klenovice – Bechyně, jsou svým charakterem (malý objem - velká kulminace) podobné Otavským povodním. U povodní s kulminací převyšující Q5 byla kulminace od roku 1915 v Bechyni u 75% případů způsobena přítokem z tohoto mezipovodí, proto pro dolní úsek Lužnice představuje tato část povodí významnější ohrožení než plochou větší povodí nad Klenovicemi.

7 Kategorizace povodní

Analýza příčin a průběhu jednotlivých povodní prokázala, že je u nich možné indentifikovat charakteristické prvky procesu formování průtokových vln. Na základě těchto vlastností byly provedena jednoduchá kategorizace povodní. Velké povodně, které na Otavě v Písku a na Lužnici v Bechyni překročily prahový průtok Q10 je možné kategorizovat do těchto skupin (viz obrázek č.5 a 6) :

1) Otava letní typ:

U povodní nad Q10 výrazně převažuje. Příčinou jsou frontální srážky spojené s přechodem front při cyklonálním typu počasí na střední Evropou. Srážkové jádro bývá nejčastěji v oblasti mezi Kašperskými Horami a Vimperkem. V odtokové odezvě je vyšší pravděpodobnost střetávání povodňových vln Otavy a Blanice.

2) Otava zimní typ:

Způsoben výrazně orograficky zesílenými srážkami na Šumavě v zimním období (částečně ovlivněn táním sněhu). Srážky se vyskytují na rychle postupujících frontách při západním nebo severozápadním proudění. Dolní část povodí a Blanice je v závětrí Šumavy na vývoj povodně nemá určující vliv.

3) Lužnice zimní typ:

3a) s průtokovým maximem ze střední a horní povodí

Způsoben táním sněhu z velké plochy povodí Lužnice. Přichází nejčastěji v jarních měsících při povětrnostních situacích s teplým a vlhkým jihozápadním prouděním. Tání může být doprovázeno srážkami, ale pro vznik povodně nejsou podmínkou. Povodňová vlna má pozvolný nástup i pokles.

3b) s průtokovým maximem z dolní části povodí

Příčinou bývají srážky, které se vyskytují v dolní části povodí v době, kdy do Bechyně dobíhá voda z tání z horní a střední části povodí.

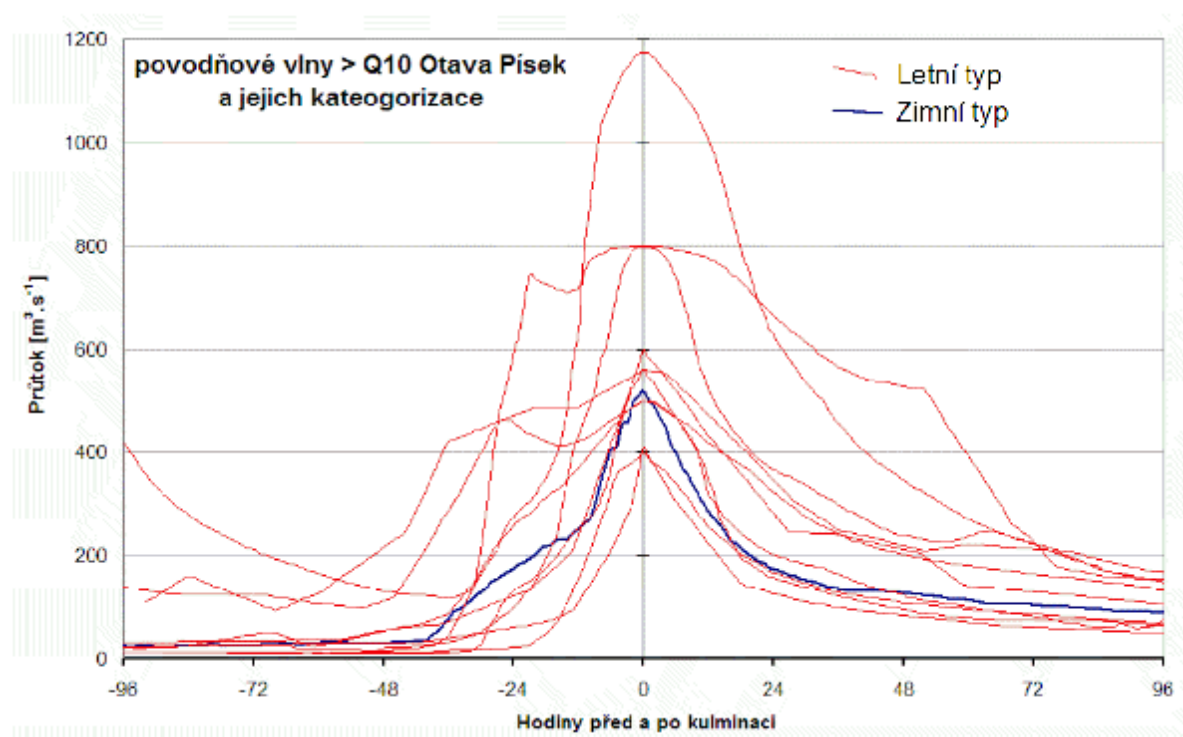
4) Lužnice letní typ:

4b) s průtokovým maximem ze střední a horní povodí

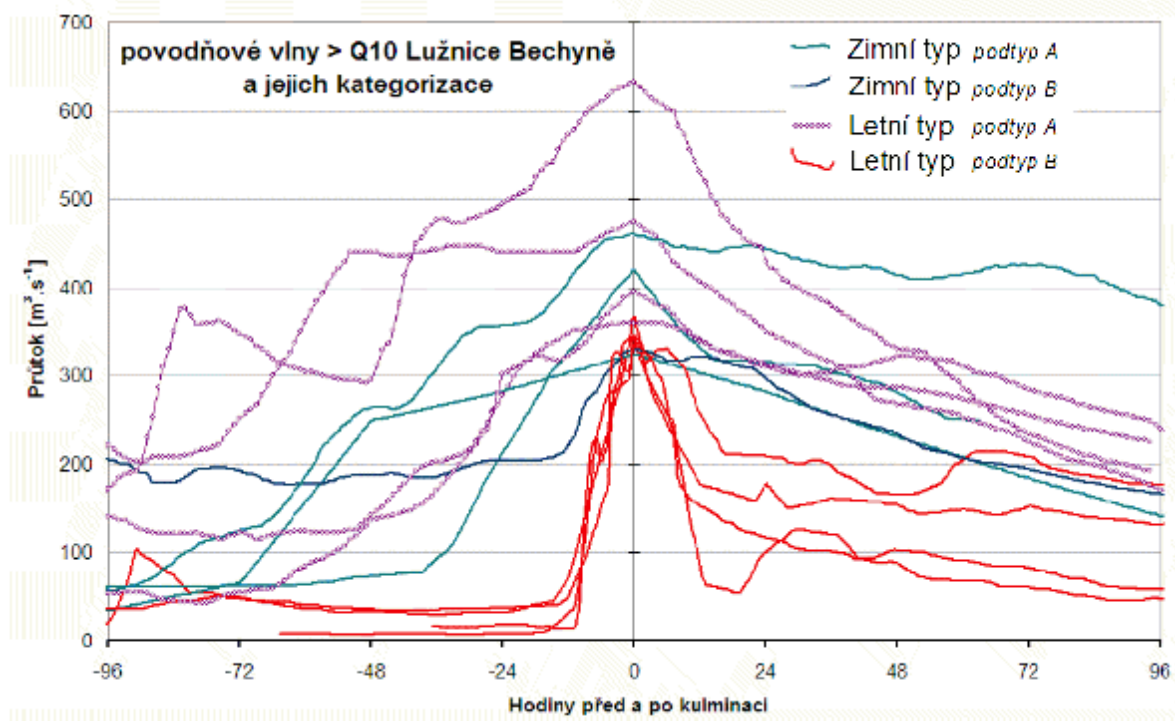
Povodním v této kategorii předchází významné dlouhotrvající plošné srážky, které zasáhly většinu povodí Lužnice. Všechny povodně v této kategorii se zároveň vyskytly i na Otavě. Na rozdíl od Otavy je na Lužnici důležitým faktorem zvýšená nasycenost povodí před příčinnou srážkou. Do této skupiny patří největší povodně ze sledovaného období.

4a) s průtokovým maximem z dolní části povodí

Povodně se formují převážně nebo dokonce pouze na dolní části povodí pod vodoměrným profilem Klenovice. Jsou způsobeny intenzivními srážkami. Povodňové průtoky se v Bechyni objevují náhle a po kulminaci se opět relativně rychle vracejí k normálu. Nasycenost povodí u tohoto druhu povodní není tak důležitá jako u předchozího letního typu.



Obrázek č. 6. Povodňové vlny a jejich kategorizace na Otavě v Písku



Obrázek č. 7 Povodňové vlny a jejich kategorizace na Lužnici v Bechyni

8 Závěr

Velké povodně v povodí Otavy a Lužnice mají ve vzájemném porovnání výrazně odlišný režim jak z hlediska jejich výskytu tak i z hlediska příčin a průběhu. Důvodem jsou rozdílné fyzikogeografické podmínky především morfologie povodí, tvar říční sítě a jejich retenční schopnosti. Ty ovlivňují nejen srážko-odtokové poměry, ale i samotné formování srážkového pole. Součinnost přírodních podmínek sledovaných povodí s vlivem povětrnostních typů, na které jsou vázány příčinné atmosférické podmínky vytváří charakteristické prvky v odtokové odezvě. Na základě těchto vlastností příčiny průběhu povodní lze povodně na kategorizovat do několika skupin. Některé charakteristiky povodňového mechanismu (srážkové jádro na Otavě, typické střetávání vln na Otavě s Blanicí, ohrožení dolní Lužnice přítokem z dolní části povodí) jsou natolik signifikantní, že by mohly být teoreticky použity v případě preventivních protipovodňových opatření.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu VaV MŽP ČR SM/2/57/05 „Dlouhodobé změny pořičních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“ a výzkumného záměru geografické sekce PŘF UK v Praze MSM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“ a projektu.“

9 Literatura:

- BRÁDKA, J. et al (1961): Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. ČHMÚ, Praha s. 126
- BRÁZDIL, R., ŠTEKL, J. [1986]: Cirkulační poměry a atmosférické srážky. Universita J. E. Purkyně, Přírodovědecká fakulta, Brno s. 297
- BUCHTELE, J. (1972): Kategorizace povodňového režimu na tocích Vltavské kaskády, Sborník prací hydrometeorologického ústavu v Praze, svazek 18, HMÚ v Praze, s. 64 – 139

- HLADNÝ, J. (1995): Odhad vývoje povodňových situací analýzou historických případů. in: Povodňová ochrana na Labi. MZP, ČHMÚ, s.p. Povodí Labe, Ústí nad Labem, s. 161-183.
- CHALUŠOVÁ J. (2004): Regionalizace sezónního výskytu povodní v povodí Labe (s.46-58), Sborník příspěvků závěrečného semináře projektu GAČR 205/03/Z046, PřF UK
- KAKOS (1983): Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873 až 1982, Meteorologické zprávy 36, ČHMÚ, Praha s. 171 – 181
- VAVRUŠKA, F. (1989): Meteorologické příčiny povodní na Otavě a Lužnici. Meteorologické zprávy, 42, ČHMÚ, Praha s. 111 – 115
- VLASÁK T. (2004) : Přehled a klasifikace historických povodní na Otavě. Sborník příspěvků závěrečného semináře projektu GAČR 205/03/Z046, PřF UK, (s.227 – 238)
- VLASÁK T. (2006): Přehled a klasifikace povodní na Lužnici In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, (eds. Vlasák T.), PřF UK, Praha.

NÁSLEDKY EXTRÉMNÍCH ZÁPLAV NA VEGETACI A PŮDNÍ KRYT NA PŘÍKLADU NIVY SÁZAVY

Tomáš Chuman, Luděk Šefrna, Tereza Zádorová

Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta UK Praha, Albertov 6, 128 43 Praha 2

Abstrakt:

Pravidelné záplavy přispívají k dynamice údolních niv a ovlivňují charakter vegetace a pedogenetické procesy. Na příkladu jarní povodně na Sázavě v roce 2006 bylo možné identifikovat následky povodní jak na půdy tak na vegetaci. Vliv povodně na půdy se projevil zejména v rozsáhlé sedimentaci a diferenciaci tří subtypů fluvizemí. Vliv na vegetaci byl sledován na následné regeneraci původní vegetace, která dosahovala již 8 měsíců od povodně shodnou pokryvnost s nedisturbovanými plochami, pouze byla navíc dosycena některými druhy. Sukcese vegetace na erodovaných plochách či mocných sedimentech probíhala z diaspor přinesených povodní a již během 4 měsíců po povodni dosahovala pokryvnost vegetace 75-100 %. Záplavy výrazně napomohly rozšíření invazní netýkavky žlaznaté (*Impatiens glandulifera*).

Abstract:

Regular floods represent natural disturbance of the floodplain that drive the pattern of vegetation and influence the pedogenesis. The impact of extreme flood on soil and vegetation was well evident in Sázava river floodplain after the spring flood in 2006. The impact on soil resulted mainly in vast sedimentation and in differentiation of three fluvisol subtypes according to the sediment coarseness. The impact on vegetation resulted in regeneration of vegetation, succession of vegetation in eroded sites and on new sediments as well. The regeneration of vegetation reached the same level as undisturbed sites expressed by vegetation cover after 8 months however sites were enriched of several flood species. The succession of vegetation resulted in 75-100 % vegetation cover in eroded sites and on new sediments after 4 month. The species composition consists mainly from *Impatiens glandulifera* together with species from the class *Bidentetea tripartiti* or *Chenopodietea*.

Klíčová slova: údolní niva, sukcese vegetace, rostlinné invaze, povodně, pedogeneze

Key words: floodplain, succession of vegetation, invasive plant species, floods, pedogenesis

1 Úvod:

Pravidelné záplavy jsou přirozenou součástí údolních niv spoluutvářející tento nejdynamičtější krajinný prvek, jehož stav je odrazem historických přírodních disturbancí (záplavy, eroze, sedimentace, biotické vlivy), klimatických faktorů a způsobu využívání. Frekvence, načasování, trvání a intenzita záplav představují jedny z hlavních mechanismů ovlivňující charakter vegetace, což dokládá celá řada výzkumů (Marston et al., 1995; Salo et al., 1986; Hupp & Osterkamp, 1996; Townsend, 2001; Schnitzler et al., 2005; Meyer, 2001; Blažková, 1996, 2003; Kovář, 1998; Ložek 2003), a současně pedogeneze. Vegetace je dále závislá na dostupnosti diaspor druhů, ekologických nárocích, populační dynamice a konkurenčních schopnostech jednotlivých druhů.

Vzájemnou podmíněnost záplav a charakteru niv vodních toků připomněl rychlý sled extrémních povodňových situací na našem území v uplynulém desetiletí, naposledy při jarní povodni na Sázavě v roce 2006, který byl impulzem celé řady vědeckých výzkumů.

2 Metodika:

V povodí Sázavy mezi Sázavou n. Sázavou a Týncem n. Sázavou bylo provedeno terénní mapování následků jarní povodňové situace a jejího vlivu na vegetaci a půdní kryt. Byly mapovány plochy (do Základní mapy 1:10 000), kde došlo k projevům eroze či sedimentace. V nivě střední části toku mezi Čtyřkoly a Týncem n. Sázavou, kde byly projevy povodně nejmarkantnější, byly vytyčeny monitorovací plochy 5x5 m. Tři plochy byly vymezeny na původní kosené louce s vrstvou hlinitopísčitého sedimentu mocnou do 10 cm, tři plochy v erodované části nivy a tři plochy na 10-30 cm mocných písčivých sedimentech. Jedna plocha byla vytyčena na 5-10 cm mocném kamenitém náplavu. Kamenitý náplav byl v prostoru nivy identifikován pouze na jediném místě. Na plochách byla každé dva měsíce sledována rychlost sukcese vegetace odhadem pokryvnosti bylinného patra a dále byly odhadem pokryvnosti jednotlivých druhů zaznamenávány dominantní a subdominantní druhy.

3 Výsledky a diskuse:

3.1 Vlivy na půdu:

V mapovaném úseku Sázavy, od města Sázava po Poříčí nad Sázavou v délce přibližně 25 km, zanechala povodeň výrazné následky. Povodňová voda zaplnila celou údolní nivu a téměř v celém mapovaném úseku došlo k sedimentaci. Místy dosahují fluvialní sedimenty mocnosti i 50 cm. Pouze na jednom místě, mezi Městečkem a Poříčím nad Sázavou, kde vysoký průtok levostranného přítoku (Benešovský potok) způsobil částečné vybřežení Sázavy, došlo na 49 000 m² k plošné erozi v nivě a následné sedimentaci transportovaného písčitého materiálu na břehových valech. V tomto prostoru došlo zcela k erozi orníčního (Ap) horizontu a vypreparování technogenně ztuhlého podorničí. Podorniční vrstva byla zasažena do hloubky 5-10 cm v podobě podélných rýh a evorzních tvarů (viz obr. 1.).



Obr. 1: Evorzní tvary v technogenně ztuhlé podorniční vrstvě.

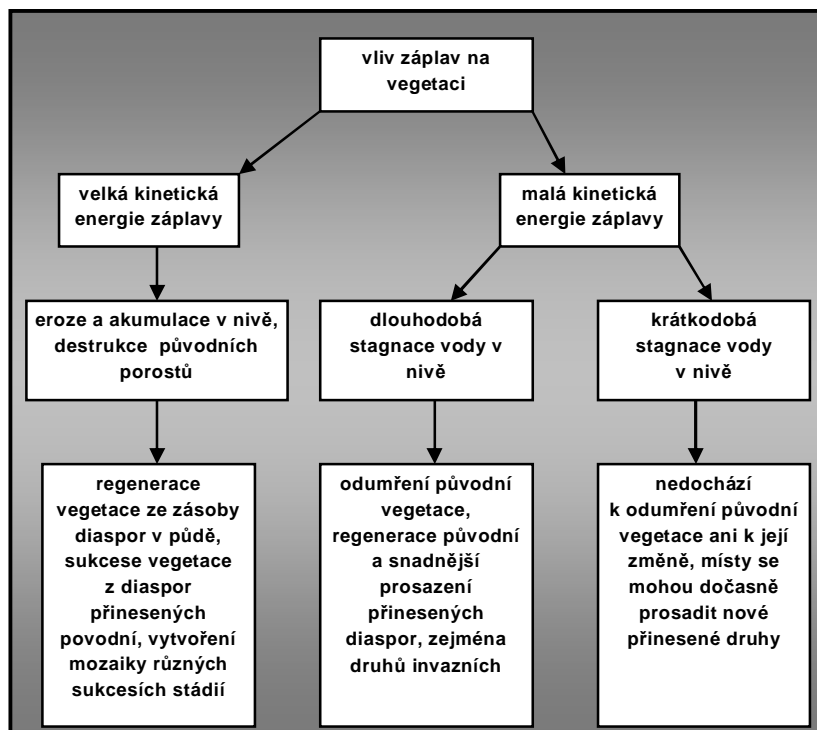
V důsledku selektivní hloubkové eroze vznikly v údolní nivě dvě laguny oválného tvaru o rozloze 540 m² a 930 m² o hloubce 1,5 a 2 m. Celkový odhadnutý objem hmoty odnesené z výše uvedené erodované plochy činil 17 000 m³. Primární příčinou takto rozsáhlé plošné eroze byl nevhodný způsob využívání prostoru údolní nivy. Niva zde byla využívána jako orná půda, která v době jarní povodně nebyla chráněna vegetací. Využívání fluvizemí jako orné půdy navíc vede ke změně fyzikálních a mechanických vlastností zejména v Ap horizontu (objemová hmotnost, pórovitost a soudržnost), dále k snadné erozi přispělo také dlouhodobé technogenní ztuhňování podorničí a vytvoření utužené vrstvy zcela odlišných

fyzikálních parametrů, jež při erozi působila jako odlučná plocha. V případě hloubkové eroze a vzniku lagun sehrál důležitou roli také přirozený pobřežní agradační val, který neumožnil návrat vyběžené vody zpět do koryta a podmínil vznik turbulentního proudění.

Z pedologického pohledu přispěla povodeň zejména v prostoru u Poříčí nad Sázavou k diferenciaci půdních subtypů. Kromě původní jednotné fluvizemě modální lze na základně zrnitosti pestrosti sedimentovaného materiálu nadále rozlišovat fluvizem pefitickou, arenickou a pelickou. Diferenciace sedimentovaného materiálu v podélném profilu vodního toku souvisí s jeho charakterem a charakterem přiléhajícího úseku údolní nivy (Křížek a kol. 2006).

3.2 Vlivy na vegetaci:

Záplavy ovlivňují vegetaci celou řadou faktorů. Vegetace údolní nivy je v různé míře překrývána naplavenými sedimenty, které způsobují její mechanické poškozování a stres z nedostatku kyslíku. Načasování záplav v průběhu roku je spolu s mohutností záplav (energie proudu vody, výška vodního sloupce) a délkou zaplavení velmi důležitým ekologickým faktorem. Pokud se záplavy vyskytnou mimo vegetační sezónu, mají na vegetaci menší dopad než záplavy během vegetační sezóny. Eliminují výskyt druhů, které na ně nejsou přizpůsobeny, podporují druhy na záplavy přizpůsobené a umožňují existenci také konkurenčně slabým druhům. Záplavy v průběhu vegetační sezóny navíc přinášejí značné množství diaspor a tím ovlivňují šíření druhů podél vodního toku. Extrémní povodňové stavy však mohou výrazně ovlivnit i porosty na každoroční záplavy adaptované. Obecně shrnutí vlivu záplav na vegetaci ukazuje schéma na obrázku 2.



Obr. 2: Vliv záplav na vegetaci údolních niv

Jarní povodeň na Sázavě byla sice intenzivní, ale krátká, a tak nedošlo v mapovaném úseku k výraznější stagnaci vody, která by způsobila odumření původní vegetace. Povodeň ovlivnila vegetaci třemi způsoby: vedla k regeneraci původní vegetace pohřbené pod různě mocné vrstvy sedimentu, sukcesi vegetace na erodované ploše a k sukcesi vegetace na sedimentech usazených v erodované části nivy.

Studium monitorovacích ploch ukázalo, že regenerace původní vegetace je rychlá. Dva měsíce po povodni byla pokryvnost ploch pohřbených pod vrstvou hlinitopísčitého sedimentu (do 10 cm) cca 20% ve srovnání s téměř 100% pokryvností sedimenty nezasažených částí nivy. Vedle autochtonních druhů

(*Aegopodium podagraria*, *Alopecurus pratensis*, *Geranium pratense*, *Phleum pratense*, *Sanguisorba officinalis*) prorůstajících málo mocným náplavem se zde uplatňovaly také druhy, jejichž semena byla přinesena s náplavem (*Artemisia vulgaris*, *Bidens tripartita*, *Calystegia sepium*, *Chenopodium* sp., *Galinsoga parviflora*, *Impatiens glandulifera*, *Melilotus officinalis*, *Ranunculus repens*, *R. pratensis*, *Sisymbrium officinale*, *Stellaria media*, *Urtica dioica*). Za následující dva měsíce již vegetace na studovaných plochách dosahovala pokryvnosti 75 – 100 %. K rychlé regeneraci napomohla také obnova managementu (kosení). Pojezdy mechanizace narušily a rozptýlily vrstvu sedimentu. Dalším pozitivním přínosem obnovení hospodaření na loukách byla výrazná eliminace náplavových druhů, zejména netýkavky žláznaté. Při kontrole po 8 měsících od povodně byla pokryvnost shodná s nezasaženým okolím. Rychlost regenerace koresponduje se závěry Kouteckého (2003) zjištěnými v nivě Moravy po povodni v roce 1997.



Obr.3: Část údolní nivy u Poříčí nad Sázavou nejvíce postižená povodní, kde plošná eroze a následná sedimentace ovlivnila druhové složení sukcesních stádií.

Sukcese vegetace jejíž druhové složení bylo závislé zejména na diasporách přinesených povodní, byla na několik decimetrů mocných písčitých náplavech a erodované ploše překvapivě rychlá a kvalitativně odlišná. Zatímco začátkem května dosahovala pokryvnost klíčících rostlin na erodované ploše a náplavech minimální pokryvnosti, o dva měsíce později již dosahovala pokryvnost v obou případech téměř sta procent. Dominantním druhem náplavů byla netýkavka žláznatá (*Impatiens glandulifera*), která se po jarní povodni výrazně rozšířila i do částí, kde před povodní nebyla. Na erodované ploše dominovaly druhy bahnitých říčních náplavů třídy *Bidentetea tripartiti* a jednoleté polní plevely třídy *Chenopodietea* (viz. obr.3). Shodné výsledky zjistila například Blažková (2003) na náplavech v nivě Berounky.

Sukcese vegetace na kamenitém náplavu byla pomalejší a ani na konci vegetační sezóny nebyla pokryvnost srovnatelná s písčitymi náplavy i přestože druhové složení bylo shodné. Celková pokryvnost vegetace dosahovala hodnot kolem 50%. Ke shodným zjištěním dospěla i Janoušková (2001) na náplavech v nivě Tiché Orlice. Hlavní příčinu rozdílné rychlosti sukcese lze spatřovat v rozdílných

trofických a hydrických podmínkách těchto typů substrátů neboť podle Kováře (2002) se množství diaspor v písčitém a kamenitém náplavu neliší.

Vedle bylin se již v prvním roce po povodni v erodované části nivy ponechané spontánnímu vývoji objevily dřeviny – z kořenových výmladků břehových porostů zmlazující *Populus x canadensis* a povodní přinesené *Salix purpurea* a *S. viminalis*.

4 Závěr

Jarní povodeň na Sázavě opět potvrdila, že nesprávný způsob využívání údolních niv zvyšuje následky povodní. Projevem byla jak značná změna abiotické složky nivy (půdy, reliéf) tak překvapivá rychlost sukcese vegetace. Vysoká rychlost sukcese zcela jistě souvisí se snadno dostupnou bohatou zásobou živin fluvizemí a vhodným vlhkostním režimem. Povodeň také výrazně napomohla rozšíření invazní netýkavky žláznaté, která se předtím na středním toku nevyskytovala.

5 Literatura:

- BLAŽKOVÁ, D. (1996): Aluviální louky řeky Berounky. In: Příroda, 4, AOPK, Praha, s. 125 – 129.
- BLAŽKOVÁ, D. (2003): Pobřežní vegetace řeky Berounky dva měsíce po povodni v srpnu 2002. *Bohemia centralis*, 26, Praha, s. 35-44.
- HUPP, C.R., OSTRKAMP, W.R. (1996): Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology*, 14, s. 277-295.
- JANOUSKOVÁ, P. (2001): Ekologický význam náplavů v říční nivě. Diplom. práce depon. in knih. kat. bot. PřF UK, Praha.
- 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*, 84, 5, s. 203-204.
- KOVÁŘ, P. a kol. (2002): Ekologický význam vegetační sukcese v říční nivě po extrémních záplavách. Souhrn dosažených výsledků, Projekt GAUK126/2000/B/BIO, PřF UK, Praha
- KŘÍŽEK, M., HARTVICH, F., CHUMAN, T., ŠEFRNA, L., ŠOBR, M., ZÁDOROVÁ, T. (2006): Floodplain and its delimitation. *Geografie – Sborník ČGS*, roč. 111, č.3., s. 260-273
- LOŽEK, V. (2003): Povodně a život nivy. *Bohemia centralis*, 26, Praha, s. 9-24.
- MARSTON, R.A. et al. (1995): Channel metamorphosis, floodplain disturbance and vegetation development: Ain River, France. *Geomorphology*, 13, s. 121-131.
- MAYER, G. (2001): Recent large-magnitude floods and their impact on valley floor environments of northeastern Yellowstone. *Geomorphology*, 40, s. 271-290.
- SALO, J. et al. (1986): River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest. *Nature*, 332, s. 254-258.
- SCHNITZLER, A., HALE, B.W., ALSUM, E. (2005): Biodiversity of floodplain forests in Europe and eastern North America: a comparative study of the Rhine and Mississippi Valleys. *Biodiversity and Conservation*, 14, s. 97-117 .
- TOWNSEND, P.A. (2001): Relationship between vegetation patterns and hydroperiod on the Roanoke River floodplain, North Carolina. *Plant Ecology*, 156, s. 43-58.

SLEDOVÁNÍ VÝSKYTU INVAZNÍCH DRUHŮ ROSTLIN V ŘÍČNÍCH NIVÁCH

Tomáš Matějček

PřF UK v Praze

1 Úvod, metodika

Šíření invazních druhů rostlin v krajině patří v současnosti k velmi aktuálním problémům – blíže viz např. Míchal (1994), Vačkář (2005), Lipský, Matějček (2004), Matějček (2005) aj. Podrobný přehled invazních druhů rostlin, které se šíří na území České republiky uvádí Pyšek et. al. (2002).

Cílem tohoto příspěvku je kvantifikovat postižení břehové vegetace vybraných vodních toků invazními druhy rostlin tak, aby bylo možné provést vzájemné srovnání. Pro otestování metodiky bylo vybráno 355 úseků břehové vegetace o celkové délce téměř 180 km, na 12 vodních tocích.

V srpnu a září roku 2006 bylo provedeno terénní mapování výskytu invazních druhů rostlin v nivách vybraných vodních toků, a to pomocí metodiky, která byla navržena pro komplexní mapování upravenosti vodních toků a údolních niv (dále jen MUTON).

Při tvorbě této metodiky byly stanoveny následující požadavky:

- Jednoduchost
- Vzájemná srovnatelnost dat z jednotlivých úseků
- Srovnatelnost výsledků s ostatními mapovanými parametry, které jsou sledovány v rámci mapování MUTON (zejména využití území, úpravy koryta apod.)
- Možnost dalšího statistického zpracování

Břehová vegetace sledovaných vodních toků byla pro účely mapování rozdělena do úseků o délce 500 m (s tolerancí ± 100 m). Za břehovou vegetaci byl považován pás vegetace podél vodního toku, jehož šířka činí přibližně 5–15 m, a který bývá nejméně 1 x za rok zaplavován. V jednotlivých říčních úsecích byl pak sledován pouze počet jedinců vybraných invazních druhů rostlin. Ten byl vyjadřován pomocí nelineárně stanovených intervalů: 1 až 9 jedinců (označeno číslicí 1), 10 až 99 jedinců (označeno číslicí 2), 100 až 999 (označeno číslicí 3) jedinců atd. Do předem připravených formulářů byl pak zaznamenáván desítkový exponent nejnižší hodnoty daného intervalu zvýšený o jednu (číslice 1, 2, 3, atd.) – viz tab. č. 1. Výhodou nelineární stupnice je snadnější představitelnost získaných hodnot a také snížení statistické nepřesnosti v případě nestejně délkou sledovaných úseků.

Tab. č. 1 – ukázka mapovacího formuláře pro sledování výskytu invazních druhů rostlin v říčních nivách

Zlatobyl kanadský, z. obrovský	2
Vlčí bob mnoholistý	
Turan kanadská	
Turan roční	
Trapatka dřipatá	
Trnovník akát	
Slunečnice hlíznatá	
Pětour malokvětý	
Pajasan žláznatý	
Netýkavka žláznatá	4
Netýkavka malokvětá	2
Loubinec pětিলистý	1
Kustovnice cizí	
Křídlatka (všechny tři taxony)	3
Javor jasanolistý	
Dub červený	
Borovice vějnulovka	
Boševník velkolistý	

Poznámka k tabulce č. 1: Z uvedených hodnot vyplývá, že ve sledovaném úseku byly sledovány stovky jedinců křídlatek, několik jedinců loubince pětिलистého (v intervalu 1–9 ks), desítky jedinců netýkavky malokvěté, tisíce jedinců netýkavky žláznaté a desítky jedinců nepůvodních druhů zlatobýlů.

2 Vlastní výsledky mapování

V roce 2006 byly mapovány tyto úseky břehové vegetace:

- Bečva (Přerov, město)
- Berounka (Křivoklát → Praha)*
- Jizera (Bakov n. J. → Mladá Boleslav)
- Labe (Poděbrady → Lysá n. L.; Obříství → Mělník)
- Lužnice (Majdalena; Vlkov n. L. → Veselí n. L.)
- Morava (nad Litovlí)
- Mrlina (Kopidlo → Havransko)
- Odra (Ostrava → Bohumín)
- Ohře (Libochovice → Břežany n. O.):**
- Opava (Opava → Hlučín)
- Sázava (Rataje n. S. → Sázava)
- Tichá Orlice (Choceň → Újezd u Chocně)

mapovatelé:

* Etela Boháčková (Boháčková, 2006); ** Petra Pánková (Pánková, 2006); v ostatních případech: Tomáš Matějček

Celkem byl sledován výskyt 18 invazních druhů rostlin (viz legenda tab. č. 1), tři z nich však nebyly nalezeny v žádném ze sledovaných úseků (konkrétně se jedná o borovici vejmutovku, dub červený a vlčí bob mnoholistý). Získané údaje byly zpracovány pro jednotlivé druhy za jednotlivé vodní toky (viz tab. č. 2), takže bylo možné vyjádřit průměrné zatížení daného toku jednotlivými sledovanými druhy.

Ze získaných dat vyplývá, že relativně nejčetnějším druhem je ve sledovaných úsecích netýkavka žláznatá s četností 1,42. Následují zlatobýly – zlatobýl kanadský a z. obrovský (s četností 0,72), netýkavka malokvětá (s četností 0,58) a turanka kanadská (s četností 0,51).

Z tabulky je dále patrná značná rozdílnost jednotlivých vodních toků z hlediska jejich zatížení invazními druhy rostlin. Prakticky na každém ze sledovaných toků dosáhl některý z druhů nadprůměrné hodnoty, a to i v případě vodních toků, jejichž celkové zatížení invazními druhy (viz dále) je podprůměrné.

Uvedené hodnoty byly získány jako průměr z hodnot pro jednotlivé úseky daného vodního toku. Nadprůměrné hodnoty jsou vyznačeny tučně.

Ze získaných dat bylo dále možné pro jednotlivé sledované úseky stanovit počet invazních druhů, které se zde vyskytují a také četnost jedinců těchto druhů. Tyto údaje posloužily jako základ pro výpočet indexu zatížení invazními druhy, který byl vypočítán podle vzorce:

$$I = PD + \log PJ$$

kde I = index zatížení invazními druhy, PD = počet druhů ve sledovaném úseku a PJ = počet jedinců, vypočítaný jako součet středních hodnot zaznamenaných intervalů (pro interval označovaný číslicí 1, tzn. 1 až 9 jedinců byla použita hodnota 5, pro interval označovaný číslicí 2, tzn. 10 až 99 jedinců byla použita hodnota 50, pro interval označovaný číslicí 3, tzn. 100 až 999 jedinců byla použita hodnota 500 atd.).

Celkový počet zaznamenaných druhů (CPD) a průměrné hodnoty počtu druhů (PD), počtu jedinců (PJ) a indexu (I) pro jednotlivé vodní toky jsou uvedeny v tabulce č. 3. Vzájemnou závislost průměrného počtu

druhů v jednom úseku (PD) a průměrného počtu jedinců (PJ) převedeného do logaritmické hodnoty ($\log PJ$) ukazuje graf č. 1. Z grafu vyplývá relativně značná závislost hodnot PD a $\log PJ$. Od této závislosti se odchyľují pouze řeky s velkým počtem jedinců stejného druhu. Konkrétně se jedná o řeky Sázava a Tichá Orlice s mimořádně vysokým počtem jedinců netýkavky žláznaté, případně i dalších druhů (zejména křídlatky na Tiché Orlici).

Tabulka č. 2: Průměrné zatížení jednotlivých vodních toků sledovanými invazními druhy rostlin.

Vodní tok	Bolševnik velkolepý	Javor jasanolistý	Křídlatka (Kj, Ks, Kž)	Kustovnice cizí	Loubinec pětistý	Netýkavka malokvětá	Netýkavka žláznatá	Pajasan žláznatý	Pětour malokvětý	Slunečnice hlíznatá	Timovník akát	Třpákka dřipatá	Turan roční	Turan kanadská	Zlatobyl (Zk, Zo)
Bečva	0,42	0,83	1,17	0,00	0,25	0,00	0,67	0,42	0,17	1,75	0,75	0,00	2,00	1,25	0,33
Berounka	0,00	0,00	0,24	0,00	0,36	0,80	1,60	0,04	0,49	0,18	0,47	0,00	0,34	0,51	0,51
Jizera	0,00	0,26	0,16	0,00	0,00	0,58	2,58	0,00	0,05	0,11	0,16	0,00	0,11	0,16	1,11
Labe	0,01	0,00	0,04	0,00	0,11	0,08	0,96	0,00	0,06	0,02	0,51	0,00	0,18	0,76	1,39
Lužnice	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,20	0,67	0,00	0,00	0,20	0,27	0,80	0,00	0,00	0,13
Morava	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
Mrlina	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,94	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00
Odra	0,00	0,00	2,40	0,00	0,00	0,13	2,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	1,27	0,73	2,33
Ohře	0,00	0,00	0,11	0,22	0,00	1,83	0,67	0,00	0,00	0,33	0,39	0,00	0,00	0,44	0,33
Opava	0,00	0,00	1,24	0,00	0,00	0,41	0,53	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	1,00	0,00
Sázava	0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	1,35	3,55	0,00	1,50	0,00	0,10	0,00	0,05	0,10	0,90
Tichá Orlice	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,22	3,61	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,22
průměr	0,02	0,04	0,40	0,01	0,13	0,58	1,42	0,02	0,26	0,14	0,33	0,01	0,26	0,51	0,72

Nejvíce druhů (12 z 18 sledovaných) však bylo zaznamenáno na řece Bečvě, kde byl zaznamenán také nejvyšší průměrný počet druhů v jednom úseku (4,75). Vysoký průměrný počet druhů v jednom úseku byl zaznamenán rovněž na řece Odře (4,13). Nejvyšší průměrný počet jedinců v jednom úseku (PJ) vykazují výše zmíněné toky Sázava a Tichá Orlice, kde průměrný počet jedinců invazních druhů rostlin v obou případech přesáhl 12 000 ks.

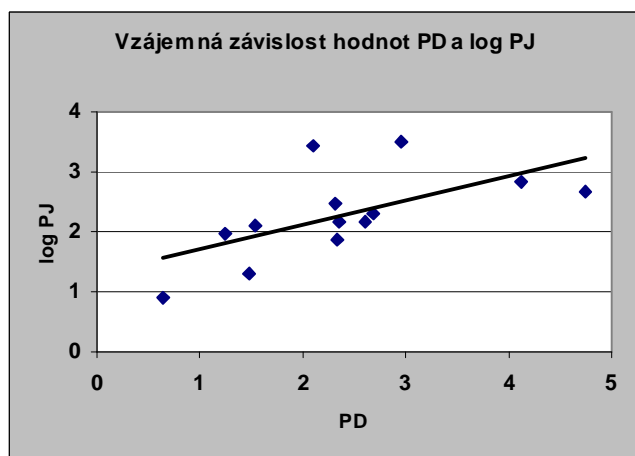
Naopak nejméně druhů (3 z 18) bylo nalezeno v břehové vegetaci sledovaného úseku řeky Moravy, nejnižší průměrný počet druhů v jednom úseku však byl zaznamenán na řece Mrlině (PD = 0,65), kde byl zaznamenán také nejnižší průměrný počet jedinců (PJ = 89). Zhruba ve 47 % sledovaných úseků na řece Mrlině nebyl zaznamenán žádný invazní druh (podíl úseků bez invazních druhů na celkovém počtu sledovaných úseků podle jednotlivých toků ukazuje graf č. 2).

Oba tyto základní faktory, které se podílejí na celkovém zatížení břehové vegetace invazními druhy rostlin (tedy počet druhů a počet jedinců), byly zohledněny při konstrukci indexu zatížení invazními druhy. Použitím logaritmické hodnoty počtu jedinců byl posílen vliv počtu druhů a oslaben vliv počtu jedinců, což do značné míry vystihuje reálnou situaci, neboť větší počet invazních druhů představuje do budoucna riziko jejich dalšího šíření. Nejvyšších hodnot indexu zatížení invazními druhy bylo dosaženo na řece Bečvě (7,43) a také na Odře (6,95) a Sázavě (6,95). Na řece Bečvě bylo také zaznamenáno pět z deseti úseků s nejvyšší hodnotou indexu zatížení invazními druhy (I). V první desítce se nacházejí také tři úseky na řece Odře a po jednom úseku na Tiché Orlici a na Berounce (viz tabulka č. 4).

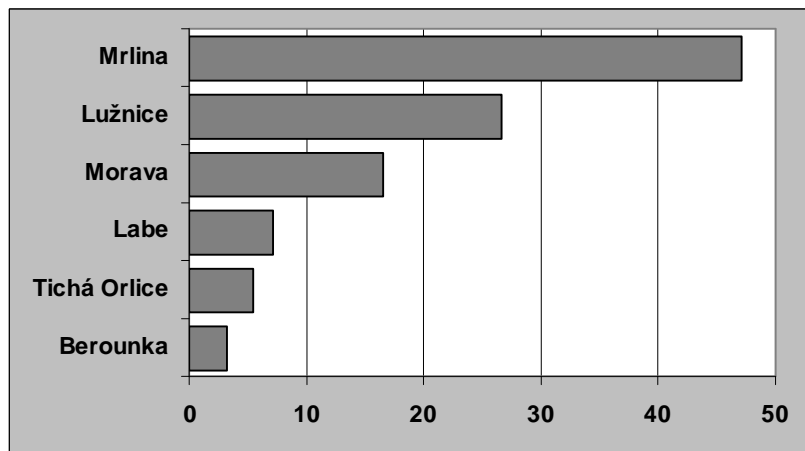
Nejnižší hodnota indexu zatížení invazními druhy byla naopak vypočítána pro řeku Mrlinu (I = 1,54).

Tabulka č. 3: Srovnání jednotlivých vodních toků podle zatížení invazních druhů rostlin

Vodní tok	Počet sledovaných úseků	Celkový počet zaznamenaných druhů (CPD)	Průměrný počet druhů v jednom úseku (PD)	Průměrný počet jedinců v jednom úseku (PJ)	log PJ	Index zatížení invazními druhy (I)
Bečva	12	12	4,75	9743,75	2,68	7,43
Berounka	90	11	2,68	569,89	2,31	4,99
Jizera	19	10	2,32	485,27	2,47	4,79
Labe	85	11	2,34	248,88	1,86	4,20
Lužnice	15	7	1,47	106,33	1,30	2,77
Morava	12	3	1,25	688,75	1,97	3,22
Mrlina	34	5	0,65	85,29	0,89	1,54
Odra	15	7	4,13	8858,67	2,82	6,95
Ohře	18	8	2,61	295,83	2,16	4,77
Opava	17	5	1,53	317,19	2,10	3,63
Sázava	20	9	2,95	12036,50	3,49	6,44
Tichá Orlice	18	6	2,11	12923,06	3,45	5,56
průměr	355	7,83	2,35	2332,30	2,16	4,51



Graf č. 1: Vzájemná závislost hodnot PD a log PJ



Graf č. 2 – Podíl úseků bez invazních druhů na celkovém počtu sledovaných úseků (v %) (u ostatních toků je tento podíl nulový, tzn. že v každém úseku byl nalezen alespoň jeden invazní druh)

Tabulka č. 4 – úseky s nejvyšším zatížením invazními druhy

pořadí	vodní tok	$I = PD + \log PJ$	PD	log PJ
1.	Bečva	14,05	10	4,05
2.	Bečva	11,23	8	3,23
3.	Bečva	10,85	8	2,85
4.	Odra	10,75	6	4,75
5.	Odra	10,75	6	4,75
6.	Bečva	10,06	7	3,06
7.	Bečva	10,00	5	5,00
8.	Odra	9,75	6	3,75
9.	Tichá Orlice	9,74	5	4,74
10.	Berounka	9,32	6	3,32

Rozložení hodnot indexu celkového zatížení invazními druhy (I) ukazuje tabulka č. 5, ze které vyplývá, že více než třetina úseků (33,8 %) byla klasifikována jako úseky se středním zatížením ($I = 3,00 - 4,99$), do kategorie s vysokým zatížením ($I = 5,00 - 56,99$) byla zařazena necelá třetina úseků (30,1 %). Na 9,3 % sledovaných úseků (tj. 33 úseků) nebyl zaznamenán žádný ze sledovaných invazních druhů rostlin.

Tab. č. 5 – Celkové zatížení sledovaných úseků invazními druhy rostlin

	rozsah	počet úseků	podíl úseků (v %)
Bez zatížení	0	33	9,3
Nízké zatížení	1,00–2,99	55	15,5
Střední zatížení	3,00–4,99	120	33,8
Vysoké zatížení	5,00–6,99	107	30,1
Velmi vysoké zatížení	nad 7,00	40	11,3
celkem	–	355	100,0

3 Závěr

Z výsledků mapování vyplývají následující skutečnosti:

- Nejrozšířenějším invazním druhem je netýkavka žláznatá (mimo Mrliny byla zjištěna na všech tocích; na Tiché Orlici a Sázavě dosahuje extrémních hodnot: 3,61 resp. 3,55) a křídlatka (na všech tocích mimo Moravy; max. na Odře: 2,4).
- Na více než 75 % toků byla zaznamenána také netýkavka malokvětá, trnovník akát, turanka kanadská a zlatobýly.
- Nejvíce druhů (12 z 18) bylo zaznamenáno na řece Bečvě, nejméně (3 z 18) na řece Moravě.
- Průměrný počet druhů v jednom úseku (PD) se pohyboval od 0,65 na řece Mrlině do 4,75 na řece Bečvě. Průměrná hodnota tohoto ukazatele je 2,35 druhů v jednom úseku.
- Nejvyšší průměrný počet jedinců invazních druhů rostlin (PJ) byl zaznamenán na řekách Sázava a Tichá Orlice, kde se pohyboval mezi 12 000 – 13 000 jedinci v jednom úseku. Nejnižší hodnota byla zaznamenána na řece Mrlině (zhruba 85 jedinců v jednom úseku). Průměrně bylo v jednom úseku zaznamenáno více než 2300 jedinců.

- Součtem počtu druhů (PD) a logaritmické hodnoty počtu jedinců (PJ) v jednotlivých úsecích byla stanovena hodnota indexu zatížení invazními druhy (I). Tato hodnota kolísá v rozmezí od 0 do 14,05 a závisí zřejmě na mnoha faktorech, jejichž vliv bude předmětem dalšího výzkumu.
- Průměrná hodnota indexu celkového zatížení břehových porostů invazními druhy je 4,51. Nejnižší hodnota byla zaznamenána na řece Mrlině ($I = 1,54$; $I_{\min} = 0$; $I_{\max} = 4,70$), nejvyšší na řece Bečvě ($I = 7,43$; $I_{\min} = 1,70$; $I_{\max} = 14,05$).

4 Literatura:

- BOHÁČKOVÁ, E. (2006): Výsledky terénního mapování invazních druhů rostlin v nivě řeky Berounky. Písemné sdělení.
- LIPSKÝ, Z., MATĚJČEK, T. (2004): Rostlinné invaze v naší krajině. In: Geografické rozhledy, 13, č. 4, s. 108–109
- MATĚJČEK, T. (2005): Invazní druhy jako příčina změn v krajině. In: Listy českého zeměpisného sdružení, č. 2
- MÍCHAL, I. (1994): Ekologická stabilita. Veronica, Brno, 276 s.
- PÁNKOVÁ, P. (2006): Metody mapování invazních druhů rostlin v říčních nivách a jejich aplikace na oblast dolního Poohří. Bakalářská práce, katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK Praha, 74 s
- PYŠEK et al. (2002): Catalogue of alien plants of the Czech republic. In: Preslia, 74, č. 2, s. 97–186
- VAČKÁŘ, D. (2005): Ukazatele změn biodiverzity. Academia, Praha, 298 s.

RETENCE VODY V KRAJINĚ A PROTIPOVODŇOVÁ OCHRANA

UPRAVENOST TOKŮ A ÚDOLNÍ NIVY JAKO FAKTOR OVLIVŇUJÍCÍ PRŮBĚH A NÁSLEDKY POVODNÍ

Jakub Langhammer

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Katedra fyzické geografie a geoekologie
langhamr@natur.cuni.cz

Úvod

Upravenost říční sítě a údolní nivy představuje významný faktor, ovlivňující odtokový proces při povodních. Vliv antropogenních zásahů do říční sítě a prostoru údolní nivy spočívá zejména v ovlivnění průběhu povodňové vlny, transformačního účinku údolní nivy a efektivity využití retenčního potenciálu území. Příspěvek prezentuje výsledky hodnocení aktuálního stavu antropogenní upravenosti toků a údolní nivy a souvislost s následky povodně v povodí Sázavy, zasaženém jarní povodní 2006.

Analýza upravenosti toků a následků povodní ukázala na silnou prostorovou diverzifikaci jednotlivých forem upravenosti mezi jednotlivými částmi povodí i mezi toky odlišných velikostních kategorií. Významná je rovněž silná diverzifikace geomorfologických projevů povodně v jednotlivých částech toku.

Výsledky ukázaly na kritická místa, která z hlediska protipovodňové ochrany zaslouží zvýšenou pozornost, na druhé straně specifický charakter morfologie území, zejména kaňonu Sázavy poskytuje pouze omezené možnosti pro realizaci opatření na posílení retenční a transformační funkce nivy.

1 Materiál a metody

1.1 Metodika hodnocení upravenosti toků a nivy

Pro potřeby terénního mapování byla použita metodika MUTON, částečně modifikována podle zkušeností s terénním mapováním na povodí Blanice v roce 2005 (Langhammer a kol, 2005).

Základní změny pro rok 2006 spočívaly v rozšíření hodnocených parametrů o ukazatele, umožňující popsat charakter toku a údolní nivy a přímý popis převládajícího charakteru geomorfologických projevů a následků povodně v mapovaných úsecích.

Princip mapování vychází z rozdělení hodnoceného toku na dílčí úseky s proměnlivou délkou. Hranice úseků jsou voleny tak, aby vzniklý úsek byl homogenní alespoň v jednom z klíčových parametrů, kterými jsou: průběh trasy koryta, upravenost koryta, využití příbřežní zóny. Typická délka úseku je 100-500 metrů, podle charakteru reliéfu a využití území se však může významně měnit. Hranice úseků jsou spolu s kódem úseku vyznačeny v mapě a následně jsou zdigitalizovány, aby umožnily propojení s kvalitativními informacemi o upravenosti, zaznamenávaných do formulářů.

Kódy jsou voleny tak, aby byly unikátní a umožňovaly popsat i složité struktury, jako např. větvení toku, přítomnost náhonů atp. Každý tok má svůj třípísmenný kód, úseky jsou postupně číslovány třímístnou číslicí směrem od ústí k prameni. V případě větvení koryta je každé rameno hodnoceno i označováno odděleně.

Intenzita upravenosti v jednotlivých parametrech se zaznamenává do formuláře. Mapovatel vybere jednu z nabízených možností a připojí případné poznámky. Formulář je následně převeden do digitální podoby a prostřednictvím identifikátoru úseku je v GIS propojen s vrstvou úseků toků, čímž umožňuje vyhodnocení prostorových aspektů upravenosti i vyhodnocení společně s dalšími hydrologickými, geomorfologickými či socioekonomickými charakteristikami území.

Mapováno je celkem 13 ukazatelů, které popisují rozdílné charakteristiky prostředí toku, jeho upravenosti a identifikovaných následků povodně (Langhammer a kol., 2005). Jednotlivé ukazatele popisují:

- Charakter koryta toku a údolní nivy
- Upravenost toku a údolní nivy
- Charakter následků povodně
- Charakter rozlivu při povodni
- Retenční potenciál údolní nivy a charakter protipovodňových opatření

Výsledky mapování jsou následně rekódována a klasifikovány tak, aby z nich bylo možné odvodit syntetické ukazatele.

1.2 Analytické ukazatele

Mezi mapovanými ukazateli můžeme rozlišit tři základní skupiny ukazatelů, které mají rozdílnou informační hodnotu a rozdílné využití při hodnocení, jejichž zpracování vyžaduje odlišný přístup. Jde o ukazatele intenzitní, identifikační a informační, které tvoří základ následné klasifikace a vyhodnocení.

1.2.1 Ukazatele intenzitní

Intenzitní ukazatele představují, u kterých je možné jednotlivé dílčí parametry hodnotit podle intenzity jejich potenciálního vlivu na proudění při povodni. Jednotlivé hodnocené ukazatele jsou z pohledu systému povodňového rizika (Langhammer, 2006) významné z hlediska možnosti ovlivnění proudění při povodni a z hlediska ovlivnění transformace povodňové vlny při průchodu povodím.

Pro vyhodnocení těchto ukazatelů jsou jednotlivým parametrům přiřazeny body v jednotné škále, které jsou dále využity pro výpočet odvozených indexů upravenosti toku. Mezi intenzitní ukazatele jsou zařazeny:

- Upravenost trasy toku
- Upravenost podélného profilu
- Upravenost koryta toku
- Upravenost příbřežní zóny

Parametry zvolených ukazatelů a jejich bodové hodnocení shrnuje Tabulka 1.

Tabulka 1 Ukazatele intenzity upravenosti

Upravenost trasy toku (Tt)		Upravenost podél. profilu (Tl)		Upravenost koryta toku (Tk)		Využití příbřežní zóny (Tn)	
parametr	body	parametr	body	parametr	body	parametr	body
Divočící, rozvětvený	1	Úsek bez vertikálních překážek	1	Přírodní koryto bez známky úprav	1	Les	1
Přirozeně meandrující	2	Přirozené nízké stupně v korytě	2	Vegetační opevnění, dřevěná kulatina	2	Louka	2
Zákruty přirozeného původu	3	Přirozené vysoké stupně v korytě	3	Břeh zpevněný kamenným pohozem	3	Orná půda	3
Přirozeně přímý úsek	4	Nízký jez (do 1 m)	3	Břeh nebo dno zpevněné trávobetonovou dlažbou	3	Opuštěná orná půda	2
Zákruty se známkami napřímení	4	Stupňovitý jez, skluz	3	Břeh nebo dno zpevněné vyzdívkou či betonem	4	Zahrady	3
Napřímený úsek	5	Vysoký jez (přes 1 m)	4	Souvislé betonové zpevnění břehu i dna	4	Roztroušená zástavba	4
Revitalizovaný úsek	2	Hráz	5	Zatrubnění	5	Intravilán	5
						Průmysl, těžba	5

Parametry hodnotící upravenost trasy toku, podélného profilu koryta toku jsou významné zejména z hlediska ovlivnění rychlosti proudění v korytě toku. Charakter a intenzita využití příbřežní zóny představuje naopak důležitý ukazatel z hlediska efektivního využití transformačního a retenčního potenciálu, který údolní niva nabízí.

1.2.2 Ukazatele identifikační

Identifikační ukazatele představují ty prvky, u kterých není hodnocena intenzita působení nebo projevu, ale jejich výskyt z hlediska polohy, struktury a četnosti. Společně s intenzitními ukazateli představují identifikační ukazatele základní stavební kameny následného hodnocení (Tabulka 2).

Mezi identifikační ukazatele patří:

- Potenciální překážky proudění při povodni
- Geomorfologické projevy povodně
- Povodňové škody

Identifikace potenciálních překážek proudění při povodni představuje mimořádně důležitý ukazatel, jehož význam prudce roste zejména u povodní s vysokou extremitou (Langhammer, 2004). Jednotlivé typy potenciálních překážek byly odvozeny ze zkušeností s terénním mapováním následků povodní (Křížek, Engel, 2003).

Tabulka 2 Ukazatele charakteru rozlivu a následků povodně

Potenciální překážky proudění	Geomorfologické projevy povodně	Povodňové škody
1. Most	1. Bez následků na korytě a příbřežní zóně	1. Poškození nebo destrukce budov v nivě
2. Propustek	2. Drobné břehové nátrže (do 5 m délky břehu)	2. Poškození nebo destrukce mostů
3. Vysoký jez	3. Rozsáhlé břehové nátrže (přes 5 m délky břehu)	3. Poškození nebo destrukce jezů
4. Překážka v korytě	4. Sesuvy vyvolané povodní	4. Poškození nebo destrukce komunikací v nivě
5. Budovy v nivě	5. Drobné fluvialní akumulace (do 100 m ²)	
6. Násep silnice / trati napříč nivou	6. Rozsáhlé fluvialní akumulace (přes 100 m ²)	
7. Jiná překážka	7. Přemístění balvanů nebo velkého objemu hmoty	
	8. Vytvoření nového koryta	

Charakter geomorfologických projevů povodně a škod na majetku a infrastruktuře představuje ukazatel, umožňující na základě zjevných projevů a následků poslední povodňové události určit charakter škod v hodnoceném úseku toku a převládající charakter geomorfologických procesů působících při povodni v prostoru údolní nivy. Pro možnost hodnocení těchto parametrů je limitujícím předpokladem možnost identifikace projevů povodně v terénu. Ta je závislá na časovém odstupu mapování od povodně, přičemž zkušenosti z terénního mapování ukazují, že stopy po povodňových událostech z krajiny mizí velice rychle a že maximální časový odstup pro zachycení většiny projevů povodně představuje přibližně 3 roky.

1.2.3 Ukazatele informační

Informační ukazatele přinášejí do hodnocení doplňující informace, které jsou využity při analýze a typologii upravenosti prostředí toků a nivy a následků povodní. Tyto informace jsou zároveň důležité pro podrobné hodnocení, prováděné u vybraných úseků, zejména při klasifikaci kritických úseků a při identifikaci úseků potenciálně vhodných pro rozliv v nivě. Do této skupiny byly zařazeny následující ukazatele:

- Šířka údolní nivy
- Šířka koryta
- Zahloubení koryta
- Charakter břehové vegetace
- Retenční potenciál údolní nivy
- Charakter rozlivu při povodni

Při hodnocení charakteru nivy a koryta toku v hodnoceném úseku jsou ukazatele koncipovány tak, aby umožňovaly zhodnotit základní velikostní parametry toku a nivy bez nutnosti podrobného zaměřování. Tyto ukazatele jsou využívány při vyhodnocení typologie geomorfologických projevů povodně i upravenosti toků jako faktor, umožňující analyzovat hodnocené parametry ve vztahu k velikostním kategoriím toku a nivy.

1.3 Syntetické ukazatele

Výsledky hodnocení mapování upravenosti a následků jsou následně klasifikovány a hodnoceny tak, aby umožnily poskytnout syntetický pohled na intenzitu a strukturu upravenosti říční sítě a následků povodní v hodnocených tocích a povodích.

Syntetické ukazatele vycházejí z následujících skupin vyhodnocení:

- Analýza upravenosti toků a nivy
- Typologie projevů a následků povodně
- Identifikace kritických úseků

1.3.1 Index upravenosti toku a nivy

Analytické vyhodnocení je prováděno různými metodami na rozdílných prostorových úrovních:

- Analýza prostorové distribuce upravenosti podle jednotlivých ukazatelů
- Výpočet kumulativního indexu upravenosti a analýza jeho prostorové distribuce
- Výpočet průměrných hodnot indexu upravenosti pro jednotlivé toky a dílčí povodí
- Výpočet kumulativních hodnot indexu upravenosti pro jednotlivé toky a dílčí povodí

Základní nástroj pro analýzu upravenosti toků a nivy představuje *Index upravenosti*, odvozený na základě bodového hodnocení intenzity upravenosti v jednotlivých parametrech.

Výpočet indexu upravenosti (T_I) je založen na postupném vyhodnocení v následujících krocích:

1. Určení hodnot upravenosti pro hlavní intenzitní ukazatele v rámci jednoho úseku.

Mezi hlavní intenzitní ukazatele jsou řazeny upravenost trasy toku (T_T), upravenost podélného profilu toku (T_L), upravenost koryta (T_K) a upravenost příbřežní zóny (T_N). Hodnoty všech hodnocených intenzitních parametrů se pohybují ve stejné škále o rozpětí 0-5 bodů.

2. Výpočet indexu upravenosti úseku.

V rámci jednoho úseku je odvozena hodnota indexu upravenosti úseku I_{TE} jako aritmetický průměr hodnot upravenosti hlavních intenzitních ukazatelů (1).

Alternativním vyjádřením je vyjádření kumulativní hodnoty upravenosti v rámci jednoho úseku I_{TEC} (2)

$$I_{TE} = \frac{T_T + T_L + T_B + T_F}{4} \quad (1)$$

$$I_{TEC} = T_T + T_L + T_B + T_F \quad (2)$$

kde je:	I_{TE}	index upravenosti úseku
	I_{TEC}	index kumulované upravenosti úseku
	T_T	upravenost trasy toku
	T_L	upravenost podélného profilu
	T_B	upravenost koryta toku
	T_F	upravenost příbřežní zóny

3. Výpočet indexu upravenosti toku.

Na základě vypočtených hodnot indexu upravenosti úseku je odvozen celkový index upravenosti I_T , resp. index kumulativní upravenosti I_{TC} pro hodnocení tok, resp. povodí.

Hodnota indexu upravenosti I_T je vypočtena jako poměr mezi sumou hodnot indexu upravenosti úseku I_{TE} (3).

Hodnota indexu kumulativní upravenosti I_{TC} je vypočtena jako suma hodnot indexu kumulované upravenosti úseku I_{TEC} (4)

$$I_T = \frac{\sum_{i=1}^n I_{TE}}{n} \quad (3)$$

,

$$I_{TC} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{TEC}}{n} \quad (4)$$

kde je:	I_T	index upravenosti toku
	I_{TC}	index kumulované upravenosti toku
	I_{TE}	index upravenosti úseku
	I_{TEC}	index kumulované upravenosti úseku

1.3.2 Typologie projevů a následků povodně

Klíčovou informací, odvozenou z mapování, je z hlediska typologie projevů povodně určení převládajících geomorfologických projevů povodně v údolní nivě, které umožňuje odlišit oblasti toku a povodí podle odlišného charakteru působení povodně na prostor údolní nivy.

Podle nalezených projevů povodně jsou v jednotlivých úsecích identifikovány následující kategorie:

- bez následků
- erozní projevy (břehové nátrže)
- akumulární projevy (fluviální akumulace)
- destrukční projevy (destrukce budov, objektů a infrastruktury)

Typologie projevů povodně je prováděna pomocí klasifikace na základě výsledků mapování v ukazatelích geomorfologické projevy povodně a povodňové škody.

Analýza projevů povodně je prováděna na různých prostorových úrovních – od hodnocení na úrovni konkrétních úseků, přes hodnocení na úrovni toků až po souhrnné vyhodnocení na úrovni díčlích nebo komplexních povodí.

1.3.3 Identifikace kritických úseků

Identifikace kritických úseků představuje syntetický typ hodnocení, založený na multikriteriálním vyhodnocení více ukazatelů.

Jako kritéria pro identifikaci potenciálně kritických úseků byly na základě zkušeností s vyhodnocováním následků povodní zvoleny následující omezující podmínky:

Výskyt kritických typů překážek proudění.

Na základě vyhodnocení extrémních povodňových událostí se ukazuje, že objekty jako vysoké jezy, propustky, mosty a násypy tratí představují prvky, lokálně výrazně zhoršující průběh a následky povodní a jejich výskyt v údolní nivě je tedy považován za potenciální riziko ve vztahu.

Kritická intenzita upravenosti toku

Mírné formy antropogenních úprav toku zpravidla nepředstavují samy o sobě významný prvek rizika a průběh povodně ovlivňují zpravidla v omezené míře (Langhammer, 2004). Souběh intenzivních forem upravenosti ve více parametrech v jednom úseku však již představuje faktor, který se při vhodných podmínkách může výrazně negativně projevit na urychlení průběhu povodně, snížení transformačního účinku a akceleraci geomorfologických procesů doprovázejících povodeň v údolní nivě. Jako parametr kritické intenzity upravenosti je volen index kumulované upravenosti úseku toku I_{TEC} , přesahující hodnotu 16.

Nevhodná struktura upravenosti trasy toku

Lokality, ve kterých dochází ke střídání upravených a neupravených úseků toku, resp. místa, kde upravený a napřímený tok je zaústěn do přirozeně meandrujícího či zvlněného úseku představují místa se zvýšenou koncentrací erozních, akumulacních i destruktivních projevů povodně. Tyto lokality jsou proto v rámci hodnocení považovány za potenciálně kritické.

Intravilány obcí a průmyslové provozy

Intravilány obcí a průmyslové závody představují zpravidla místa s mimořádnou kulturní a ekonomickou hodnotou a zároveň místa přímého ohrožení obyvatelstva při průchodu povodně.

Výběr kritických úseků je prováděn na základě klasifikace geodatabáze výsledků mapování v prostředí GIS, kde jsou následně výsledky ověřeny srovnáním s výsledky terénního průzkumu, leteckými snímky či dalšími podpůrnými materiály.

1.4 Zájmové území

Mapování upravenosti toků a údolní nivy a následků povodně bylo provedeno na povodí Sázavy, jmenovitě na horním povodí Sázavy, Šlapanky, Sázavky a dalších přítocích Sázavy po Zruč nad Sázavou, dále na povodí Sázavské Blanice a na dolním toku Sázavy od Čerčan po ústí do Vltavy.

Mapováno bylo území, zasažené povodní, která se zde vyskytla na přelomu března a dubna 2006. Jednalo se o nejrozsáhlejší povodeň z tání sněhu v povodí Labe za posledních 60 let. Kulminační průtoky na hodnoceném území dosáhly doby opakování 20-50 let. Průtoky této úrovně extremity se zde však nevyskytly po celé dvacáté století, dokonce ani při povodni v srpnu 2002.

V rámci mapovací kampaně bylo v létě 2006 zmapováno na 312 km délky toků a údolní nivy. Mapování bylo provedeno na základě metodiky MUTON, upravené na základě vyhodnocení výsledků a zkušeností z terénního mapování v roce 2005 na povodí Blanice a pilotního mapování v povodí Sázavy v roce 2006.

2 Výsledky

2.1 Ukazatele upravenosti říční sítě

Upravenost trasy toku odráží nejvýraznější antropogenní zásahy do struktury toků – zásahy do geometrie říční sítě. Úseky toků, ve kterých jsou identifikovány stopy modifikace trasy toku zpravidla vykazují i

další známky upravenosti, které úpravu trasy toku doprovázejí. Jde zejména o úpravy geometrie příčného profilu korytem i o umělé stupně v korytě, které kompenzují vyšší spád toku způsobený napřímením koryta.

V hodnocené části povodí Sázavy se s úpravami trasy toku setkáváme zejména na horní části toku a na drobných přítocích. S ohledem na specifické morfologické poměry jsou na dolní části toku zjevné úpravy trasy koryta minimální. Z hodnocených dílčích povodí je intenzita úprav toků nejvyšší na povodí Šlapanky, nejnižší naopak na středním a dolním úseku Sázavy a střední a dolní Blanici (obrázek 1).



Obrázek 1 Meandry Sázavy v horní části povodí. Foto M. Raudenský, 2006

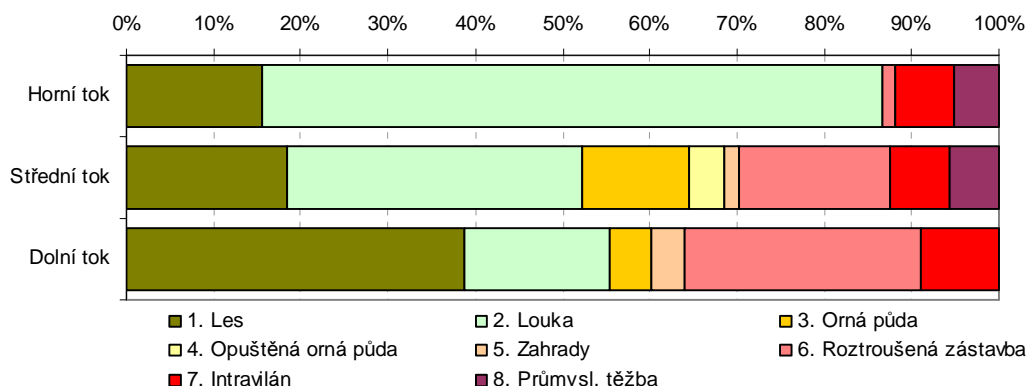
Významným činitelem, ovlivňujícím průběh a následky povodně jsou *překážky proudění* a úpravy podélného profilu toku. Jako potenciální překážky byly při mapování uvažovány mosty a propustky v údolní nivě, překážky v korytě toku, objekty v údolní nivě a hráze procházející napříč údolní nivou. Přítomnost uvedených překážek stejně jako jezů na toku se odráží ve zvýšené četnosti výskytu morfologických projevů povodně, zejména na středním a dolním toku - na horní části toku překážky doprovází výskyt erozních, akumulacních či destrukčních projevů v 53,3 % úseků, na středním toku v 87 % a na dolním úseku ve 100 % úseků.

Inenzita upravenosti podélného profilu toků v povodí Sázavy klesá směrem od pramenných oblastí k dolnímu toku. Naproti tomu počet stupňů v korytě je nevyšší právě na dolním úseku Sázavy, kde na 96 hodnocených úsecích nacházíme na 84 stupňů. Řada z nich je přirozeného původu, vyskytují se zde však i vysoké jezy, které představují zvýšené riziko při extrémních povodních. Nejvyšší počet stupňů v korytě je zaznamenán v povodí Šlapanky a Sázavky, které ve většině parametrů patří k nejintenzivněji upraveným částem povodí.

Úpravy koryta toku jsou soustředěny především na intravilány obcí a místa roztroušené zástavby, přičemž intenzita upravenosti se zvyšuje na níže položených úsecích toku. Téměř 70% hodnocené délky toku nevykazuje známky upravenosti, intenzivní formy úpravy koryta – částečné nebo úplné zpevnění betonem nebo vyzdívkou se vyskytuje pouze na 7,5 % délky toku.

Ve struktuře *využití příbřežní zóny* na horním, středním i dolním úseku Sázavy převládá přírodě blízký charakter – les (13,7 %) a louky (42,2 %). Orná půda se vyskytuje na 7,5 % délky hodnocených úseků, nejvýraznějším antropogenním prvkem je roztroušená zástavba (16,5 %), vyskytující se zejména na

středním a dolním toku. Intravilán, průmysl a těžba zaujímají 11,5% délky hodnocené příbřežní zóny. Celková intenzita využití prostoru údolní nivy se zvyšuje směrem od horního toku k ústí, kde však zároveň výrazně roste lesnatost.



Obrázek 2 Struktura využití příbřežní zóny Sázavy a Sázavky.

2.2 Index upravenosti toku

Index upravenosti toku byl hodnocen pro jednotlivá dílčí povodí Sázavy podle metodiky MUTON. Z parametrů, mapovaných v rámci hlavních intenzitních ukazatelů byly odvozeny základní indexy upravenosti jednotlivých aspektů upravenosti říční sítě – index upravenosti trasy toku T_T , index upravenosti podélného profilu T_L , index upravenosti koryta toku T_K a index upravenosti příbřežní zóny T_N . Z nich byl následně odvozen index upravenosti toku I_T a kumulovaný index upravenosti toku I_{TC} . Hodnoty indexů byly následně vyhodnoceny pro pět dílčích povodí:

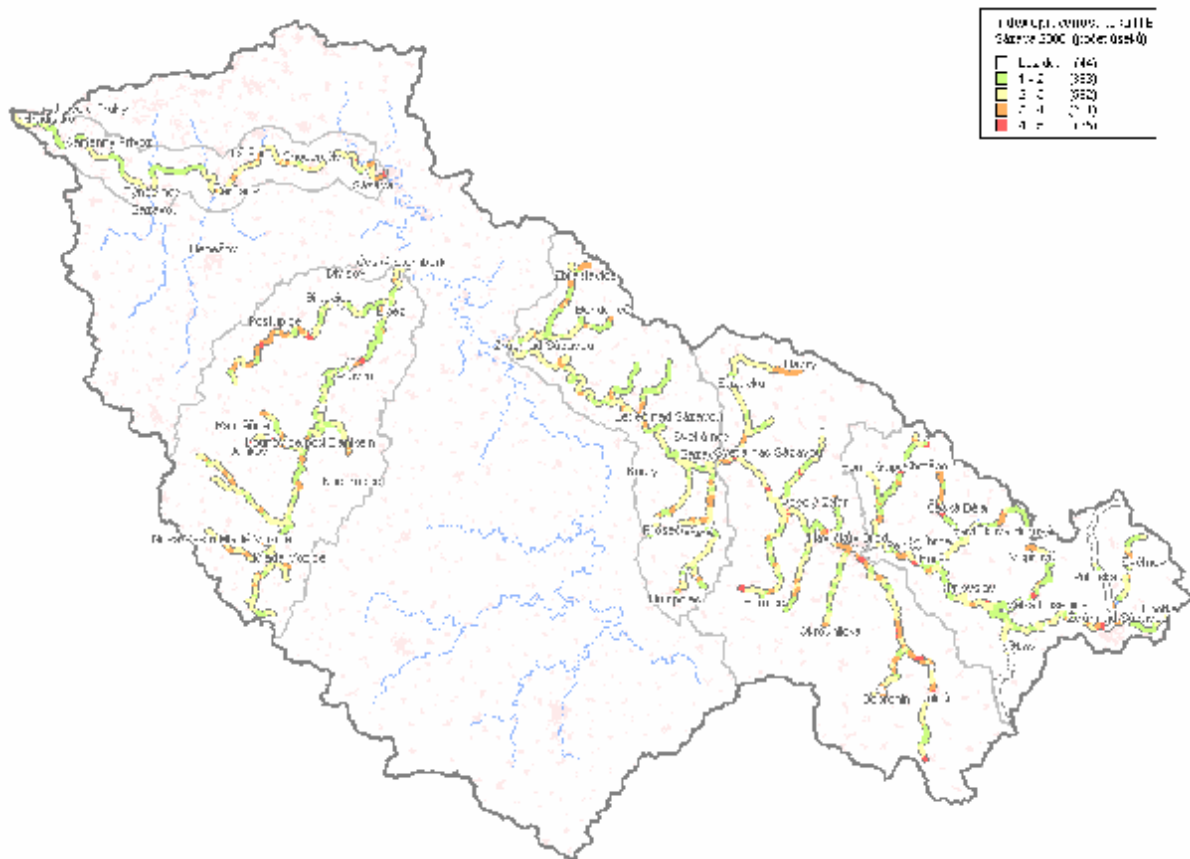
- pramennou oblast Sázavy, představující povodí od pramene po Havlíčkův Brod,
- povodí horní Sázavy, Šlapanky a Sázavky,
- povodí střední Sázavy v oblasti mezi Světlou nad Sázavou a Zručí nad Sázavou,
- povodí Blanice
- dolní tok Sázavy od města Sázava po ústí do Vltavy.

Výsledky analýzy pro jednotlivé dílčí ukazatele a odvozený index upravenosti toku pro jednotlivá dílčí povodí shrnuje Tabulka 3.

Tabulka 3 Upravenost toků a příbřežní zóny v jednotlivých dílčích povodích. Data: PřF UK, mapování 2006

povodí	Sázava – pram. oblast	Šlapanka hor. Sázava	Střední Sázava	Blanice	Dolní Sázava
Počet úseků	246	297	317	306	96
Délka toku	161,9	146,7	124,0	139,7	54,8
T_T - upravenost trasy	3,1	3,7	3,0	3,1	4,1
T_L - upravenost podélného profilu	1,6	1,5	1,4	1,6	1,3
Počet stupňů celkem	46	116	68	23	84
T_K - upravenost koryta toku	1,6	1,7	1,9	1,4	1,5
T_N - upravenost příbřežní zóny	2,3	2,5	2,6	2,6	3,2
I_T - Index upravenosti toku	2,14	2,35	2,22	2,17	2,51
I_{TC} - Kumulovaný index upravenosti	8,59	9,42	8,92	8,69	10,15

Mezi jednotlivými povodími jsou výrazné rozdíly jak v celkové intenzitě upravenosti, tak v její vnitřní struktuře. Celkově nejméně intenzivně transformovaný je pramenná oblast Sázavy, nejvíce naopak dolní úsek toku Sázavy, což odpovídá obvyklým schémátům rozložení intenzity antropogenních zásahů v rámci povodí (Obrázek 3).



Obrázek 3 Rozložení hodnot Indexu upravenosti toků ITE v povodí Sázavy. Data: PŘF UK, mapování 2006

Dolní tok Sázavy, který ve vyhodnocení celkových hodnot indexu upravenosti I_T vychází jako neintenzivněji transformovaný je ve srovnání s ostatními hodnocenými povodími v řadě aspektů netypický. Předně je zde hodnocen samotný hlavní tok bez přítoků, které jsou v této oblasti málo dotčené výraznými úpravami, což působí relativní zvýšení celkové hodnoty indexu upravenosti toku. Samotný tok Sázavy v tomto úseku vykazuje nejnižší zaznamenané hodnoty intenzity upravenosti podélného profilu a koryta toku, naopak nejvyšší hodnoty intenzity upravenosti příbřežní zóny. Vzhledem k tomu, že tok Sázavy v této oblasti je veden v hlubokém údolí, jehož značná část je navíc v přírodě blízkém stavu, stávající antropogenní zásahy do toku v této oblasti nemohou významně ovlivňovat průběh povodně a nepředstavují tak zdroj zvýšeného rizika.

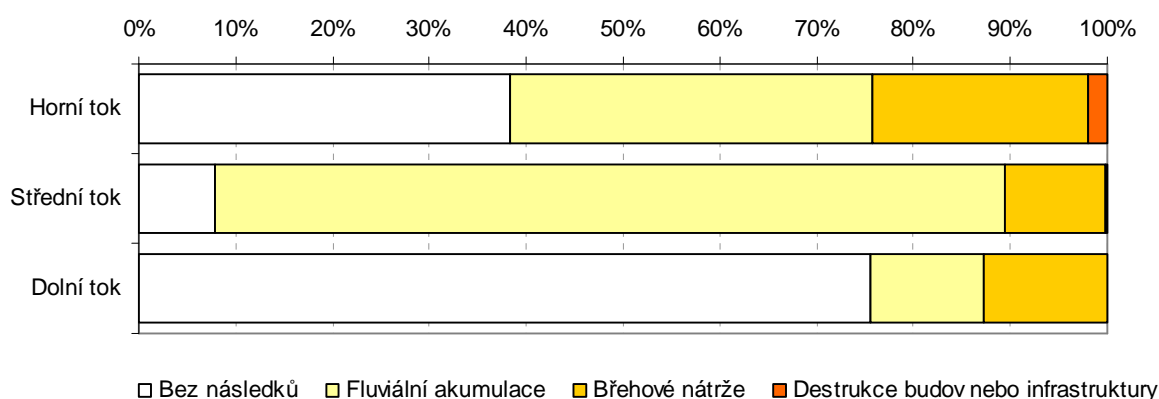
Jako potenciálně kritickou z pohledu možného ovlivnění odtokového procesu je třeba naopak hodnotit intenzitu i strukturu transformace toků v oblasti horní a střední části povodí Sázavy včetně povodí Šlapanky, přítoku Sázavy v oblasti Havlíčkova Brodu. Tato oblast představuje území, ve kterém dochází k formování a transformaci odtokové vlny před tím, než je svedena do údolní dolní Sázavy. Jde o zemědělskou krajinu s mimořádně intenzivními projevy transformace říční sítě ve většině hodnocených ukazatelů. Analýza historických změn využití území (Langhammer, 2006a) ukázala, že právě v této oblasti došlo v posledních 160 letech k nejvýraznějšímu zintenzivnění tlaku na krajinu ve formě přeměny luk a trvalých travních porostů na ornou půdu. Četná jsou zde napřímení trasy toku, intenzivní formy upravenosti koryt toků i výskyt jezů a stupňů v korytě.

Nejnižší intenzita transformace říční sítě je zaznamenána v povodí Blanice a v pramenné oblasti Sázavy. Zejména v povodí sázavské Blanice, které leží, obdobně jako předchozí povodí, v zemědělsky využívané krajině, je celkově nízká intenzita upravenosti toků pozitivním prvkem. Je zde pozorována absolutně nejnižší intenzita upravenosti koryt toků, druhá nejnižší intenzita upravenosti trasy toku a nejnižší četnost výskytu jezů a stupňů v korytě.

2.3 Typologie geomorfologických projevů povodně

Typologie geomorfologických projevů a následků povodně byla hodnocena na úrovni jednotlivých úseků, vodních toků a v celkovém bilančním pohledu na úrovni dílčích povodí na toku Sázavy a Sázavky. Výsledky analýzy ukázaly na výrazné rozdíly v celkové intenzitě výskytu i struktuře geomorfologických projevů povodně mezi jednotlivými povodími (Obrázek 4).

Erozní, akumulární a destrukční projevy povodně byly pozorovány na 67,6 % délky toků, přičemž výrazně převládají fluviální akumulace (51,2 %) nad erozními (15,5%) a destrukčními projevy (0,9 % délky toků, viz obr. 5.4). Struktura geomorfologických následků a destrukčních projevů povodně je odlišná na horní, střední a dolní části toku. Na horní části toku Sázavy a Sázavce nacházíme projevy povodně na 62 % délky hodnoceného úseku, přičemž převažují akumulární projevy (37,4 %) nad erozními (22,6 %); na středním úseku projevy povodně nacházíme na 92,2 % délky toku, přičemž dominují akumulární tvary (81,6 %); na dolním toku je naopak 75,6 % délky toku bez morfologických projevů, přičemž erozní tvary zde mírně převažují nad akumulárními. K destrukci budov a infrastruktury došlo především na horním a středním toku.



Obrázek 4 Struktura následků povodně 2006 v dílčích povodích Sázavy. Data: PŘF UK, mapování 2006

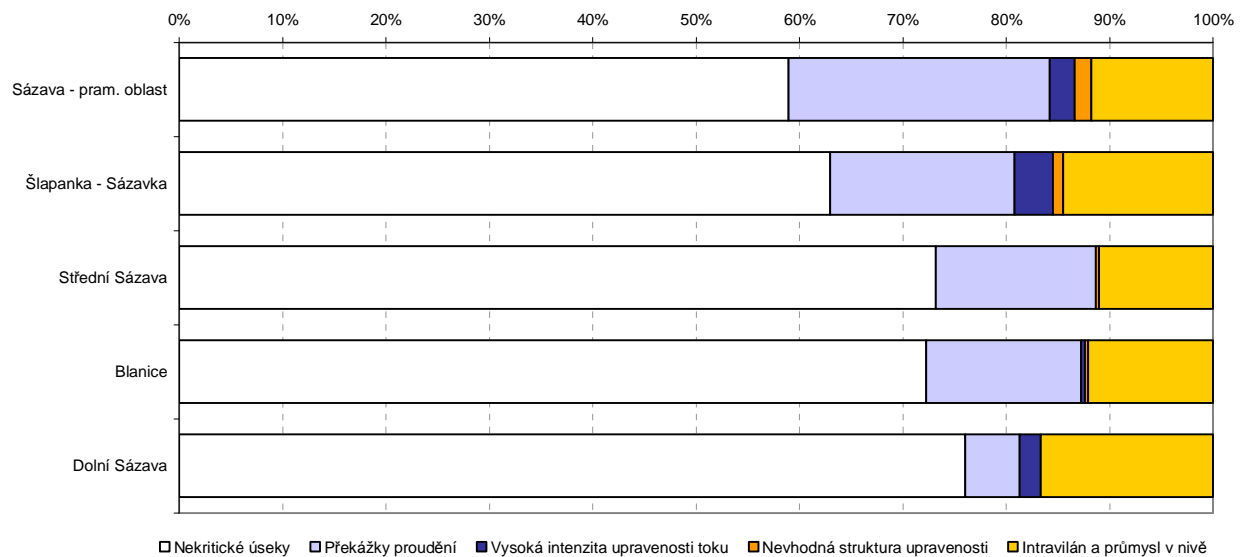
Ve struktuře následků jsou zřejmé výrazné rozdíly mezi jednotlivými oblastmi toku. Zatímco na horní části povodí převažují akumulární procesy v podobě fluviálních akumulací, na středním a zejména dolním toku Sázavy je četnější výskyt erozních projevů nejčastěji ve formě břehových nátrží. Destrukční projevy povodně jsou zastoupeny okrajově, nejčastěji se vyskytují v oblasti horní a střední části povodí, kde Sázava protéká intravilány měst a kde zároveň dochází k soutokům s významnými přítoky – Šlapankou, Sázavkou aj.

2.4 Identifikace kritických úseků

Pro identifikaci kritických úseků toků byla použita čtyři hlavní kritéria – výskyt vybraných typů překážek proudění (propustek, most, val napříč údolní nivou), vysoká intenzita upravenosti toku současně ve více ukazaelích, nevhodná struktura upravenosti, resp. zaústění napřímených úseků do přirozeně meandrujících či zvlněných úseků a konečně průchod toku intravilánem či průmyslovou zónou, kde je vyžadována zvýšená úroveň protipovodňové ochrany. Takto vybrané úseky představují elementy toku, které jsou potenciálním zdrojem ohrožení a vzniku materiálních škod při povodni a kterým je třeba z hlediska ochrany třeba věnovat prioritní pozornost.

Jednotlivé kritické faktory byly odvozeny analýzou geodatabáze výsledků mapování v GIS a vyjádřeny pro jednotlivá hlavní povodí.

Výsledky ukazují snižující se četnost výskytu kritických elementů v říční síti směrem od pramene k ústí, zároveň však dokumentují měnící se strukturu zdroje potenciálního ohrožení (obrázek 5).



Obrázek 5 Výskyt a struktura kritických úseků v dílčích povodích hodnocených toků. Data: PŘF UK, mapování 2006

Nejvyšší četnost výskytu kritických úseků, zejména daných přítomností překážek proudění je pozorovaná v oblasti horního toku, přičemž jako nejkritičtější oblast je možno vidět hydrologický uzel v okolí Havlíčkova Brodu. Zde se setkáváme s řadou lokalit, ve kterých se v jednom úseku toku kumuluje více zdrojů potenciálního ohrožení. Tyto úseky, ve kterých dochází k souběhu více potenciálně kritických parametrů je nutno z hlediska povodňového ohrožení považovat za rizikové. Přestože z hlediska celkového podílu na délce říční sítě tvoří výraznou menšinu, zkušenosti s následky extrémních událostí ukazují, že povodňové škody jsou rozloženy v prostoru velmi nepravidelně a že právě v lokalitách, kde jsou uměle zhoršeny podmínky pro průchod povodňové vlny či přirozený rozliv a kde je akumulovaný majetek dochází ke vzniku nejrozsáhlejších škod na majetku a infrastruktuře.

3 Diskuse

Navržená a aplikovaná metodika pro hodnocení upravenosti toků a následků povodní vychází z mapování hlavních ukazatelů upravenosti říční sítě a projevů činnosti povodně v údolní nivě. Hodnocení inenzity upravenosti je založeno na výpočtu indexu upravenosti toku I_T , sestaveného na základě dílčích indexů upravenosti v jednotlivých ukazatelích má za cíl kvantifikaci a objektivizaci mnohdy heterogenních parametrů jednotlivých forem upravenosti toku a příbřežní zóny. Celkové hodnoty celkového indexu upravenosti I_T i dílčích indexů T_T , T_K , T_L a T_N umožňují přímé porovnání bilančních povodí či toků v jednotlivých parametrech i podklad pro návazné prostorové analýzy v GIS či geostatistických nástrojích.

Obdobně jako u např. metodik hodnocení ekomorfologických parametrů toků (např. Barbour et al. 1999, Vlček a Šindlar 2002, Havlík, 1997) je i u navrženého systému základní otázkou převod heterogenních forem upravenosti toků na bodový systém, umožňující následné kvantitativní hodnocení. Zvolený přístup vychází z několikaleté zkušenosti s mapováním pomocí uvedené metodiky v povodích zasažených extrémními povodněmi, které vedly ke generalizaci počtu použitých ukazatelů i jejich hodnocených parametrů. Navržená metodika se nesnaží o postizení a kvantifikaci co největšího počtu aspektů stavu a upravenosti toků, ale naopak o výběr těch parametrů, které jsou klíčové z hlediska možného ovlivnění odtoku při povodni. Bodovací a klasifikační systém je úmyslně navržen jednoduše a transparentně tak, aby umožnil odlišit nejzjevnější formy intenzity antropogenních zásahů do prostředí toků a údolní nivy. Systém je navržen a testován na drobných a středně velkých tocích, pro rutinní použití je třeba jeho další testování, ověření obecné platnosti a případná modifikace.

Z hlediska vyhodnocení a typologie následků povodně se jako velmi důležitá ukazuje verifikace výsledků pomocí terénního průzkumu a kombinace s výsledky podrobného geomorfologického mapování (Křížek, 2006). Mapování vztahené k úsekům umožňuje relativně rychle s dostatečnou přesností vyhodnotit převládající charakter geomorfologických procesů a identifikovat kritické lokality, kde dochází ke kumulaci projevů povodní. Geomorfologické mapování naproti tomu umožňuje prostorově přesné vyhodnocení a lokalizaci jednotlivých tvarů reliéfu a jejich změn a tím i přesnější vyhodnocení příčin jejich vzniku. Tato metoda je však podstatně náročnější z hlediska času, potřebného na mapování a zpracování, tak i z hlediska nároků na odbornost mapovatele. Oba aplikované přístupy proto považují za vhodné vzájemně kombinovat tak, aby byly využity výhody, které daná metodika poskytuje. Úsekové mapování je optimální pro pokrytí rozsáhlých oblastí a úseků toků a geomorfologické mapování pro detailní analýzu kritických oblastí, identifikovaných úsekovým mapováním.

Poděkování

Príspevek byl zpracován v rámci projektu VaV MŽP ČR SM/2/57/05 „Dlouhodobé změny pořičních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“ a výzkumného záměru geografické sekce PřF UK v Praze MSM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“

4 Závěr

Mapování upravenosti toků a následků povodně bylo realizováno na povodí Sázavy, zasažené jarní povodní v roce 2006. Terénní mapování zachytilo projevy povodně v bezprostředním časovém odstupu od příčinné události a umožnilo tak přesně vyhodnotit hlavní projevy a následky povodně na jednotlivých částech toku. Extremita povodně na jaře 2006 se v jednotlivých částech povodí pohybovala na úrovni 20-50 leté povodně, přičemž v rámci povodí jde o nejrozsáhlejší povodňovou událost za posledních více než 100 let. Údolní niva Sázavy byla při jarní povodni 2006 zpravidla celá zatopena.

Analýza antropogenní upravenosti toků a následků povodně v povodí Sázavy, provedená pomocí metodiky MUTON, ukázala na vysokou prostorovou proměnlivost celkové intenzity i struktury zásahů do říční sítě. Celková intenzita upravenosti je však při porovnání se srovnatelnými toky relativně nízká, což je dáno zejména specifickou morfologií terénu. Řada úprav trasy a koryt toků, provedených na počátku 20. století či dříve je navíc dnes v terénu obtížně identifikovatelná.

Výsledky dále ukázaly, že vlastní tok Sázavy není v současné době modifikován v míře, která by mohla významně ovlivnit průběh a následky rozsáhlé povodně. Velice intenzivně transformovaná je naopak oblast horní části povodí Sázavy, povodí Šlapanky a dalších přítoků v oblasti okolí Havlíčkova Brodu. Analýza výskytu kritických úseků právě v této části povodí identifikovala největší četnost výskytu úseků, které vzhledem k nevhodnému typu a struktuře úpravy představují potenciální riziko pro zvýšení škod při povodni. Tato část povodí představuje zároveň zónu formování odtoku v rámci povodí a vysoká intenzita upravenosti říční sítě a nivy zde neumožňuje plně využít transformačního a retenčního potenciálu, které toto území nabízí. V této oblasti je proto možné doporučit realizaci opatření na posílení retenčního a transformačního účinku povodí, odstranění potenciálních překážek proudění a zpomalení odtoku vody z krajiny.

5 Literatura

BARBOUR, T. et al. (1999): Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers. USEPA, Washington.

- BIČÍK, I., KUPKOVÁ, L. (2003): Vývoj struktury ploch v povodí Otavy v letech 1845-1948-1990-2000. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, (ed. Langhammer, J), s. 113-121, PřF UK, Praha.
- HARTVICH, F. (2006) Automatické vymezení údolní nivy Sázavy na základě DMR v prostředí GIS. Dílčí zpráva úkolu Vyhodnocení povodně 2006. PřF UK, Praha.
- HAVLÍK, A., JUST, T., SLAVÍK, O. (1997): Ekologická studie povodí Bíliny, VÚV TGM, Praha
- HAVLÍK, A., KALVODA, J., SKLENÁŘ, P., VILÍMEK, V. (1998): Studie extrémních morfologických změn vodních toků (příloha 1). Výzkumný ústav vodohospodářský, 160 s., Praha.
- HLADNÝ, J. a kol., ed. (1998): Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. MŽP ČR, 163 s., Praha.
- KŘÍŽEK, M. - ENGEL, Z. (2004) Geomorfologické projevy povodně 2002 v povodí Otavy, In Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Sborník příspěvků závěrečného semináře grantu GAČR 205/03/Z046, Langhammer, J., Engel, Z. (eds.), PřF UK, Praha, s. 86-103.
- KŘÍŽEK, M. (2005) Geomorfologická charakteristika údolní nivy Blanice v rámci údolního systému. In: Langhammer, J. a kol.: Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové rizik, PřF UK, Praha, s. 189-196.
- KŘÍŽEK, M. (2006) Geomorfologické projevy jarní povodně 2006 na Sázavě. Dílčí zpráva úkolu Vyhodnocení povodně 2006. PřF UK, Praha, 4 s.
- KŘÍŽEK, M., HARTVICH F., ŠEFRNA L., CHUMAN T., ŠOBR M. (2006) Interdisciplinary Approach to the Delimitation of the Floodplain. Geografie – Sborník ČGS, 111,4, In press,.
- LANGHAMMER, J. (2004), Analýza vlivu antropogenních změn v krajině na průběh a následky extrémních povodní, Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitas Ostraviensis, Geographia-Geologia, 216, s. 97-116.
- LANGHAMMER, J. (2006a) Analýza historických změn landuse v povodí Sázavy. Dílčí zpráva úkolu Vyhodnocení povodně 2006. PřF UK, Praha, 4 s..
- LANGHAMMER, J. (2006b) Mapování a analýza upravenosti toku a údolní nivy Sázavy. Dílčí zpráva úkolu Vyhodnocení povodně 2006. PřF UK, Praha, 5s.
- LANGHAMMER, J. a kol. (2005): Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. Dílčí zpráva projektu VaV SM/2/57/05, PřF UK, Praha, 205 s.
- LANGHAMMER, J., Křížek, M., Matějček, M. (2006): MUTON - metodika mapování upravenosti toků, údolní nivy a následků povodně. PřF UK, Praha, 29 s.
- VAJSKEBR, V. (2006) Analýza zkrácení toku Sázavy. Dílčí zpráva úkolu Vyhodnocení povodně 2006. PřF UK, Praha, 3 s.
- VILÍMEK, V., LANGHAMMER, J., ŠEFRNA, L., LIPSKÝ, Z., KŘÍŽEK, M., STEHLÍK, J. (2003) Posouzení efektivity změn ve využívání krajiny pro retenci a retardaci vody jako preventivní opatření před povodněmi. Závěrečná zpráva k vládnímu projektu – Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002, PřF UK, Praha, 83 s.
- VILÍMEK, V., ŠEFRNA, L. (2006) Některé extrémní jevy v nivě Sázavy za povodně 2006. Dílčí zpráva úkolu Vyhodnocení povodně 2006. PřF UK, Praha, 4 s.
- VLČEK, L., ŠINDLAR, M. (2002): Geomorfologické typy vodních toků a jejich využití pro revitalizaci. Vodní hospodářství, 6, p. 172-176.

VLIV ANTROPOGENNÍCH ZMĚN NA STABILITU FLUVIÁLNÍCH SYSTÉMŮ

Jan Kopp

Katedra geografie, Západočeská univerzita v Plzni, Veleslavínova 42, 306 19, kopp@kge.zcu.cz, 377636575

Abstrakt

V příspěvku je provedeno vymezení pojmů stabilita a rovnováha fluviálních systémů. Na konkrétních dvou případech malého a velkého toku jsou diskutovány vlivy antropogenních změn na stabilitu fluviálních systémů. Testem stability byly jednotlivé extrémní odtokové situace z roku 2002 v České republice. Rozbor problému slouží jako příspěvek k interdisciplinární diskusi o vazbě změn v krajině na povodně. Zároveň jsou prezentovány příklady aplikovaného výzkumu.

Klíčová slova: fluviální systém, stabilita systému, koncept rovnováhy, povodně

1 Úvod

Povodně jako extrémní odtokové procesy přinášejí významné změny parametrů a vlastností koryt. Interpretace povodňových změn koryt však vyvolává diskusi o charakteru zjištěných změn. Jedná se o změny trvalé nebo dočasné? Má smysl koryta navracet do původní polohy a tvaru, když popovodňový stav komplikuje vlastnické vztahy nebo využití nivy? Co je příčinou změn? Lze změnám předcházet? Jakou odezvu vyvolají změny polohy nebo vlastností koryta po revitalizační úpravě nebo po provedené prohrábce dna?

Zodpovědět uvedené otázky nebývá v praxi většinou jednoduché, protože se snažíme interpretovat změny omezené (často i územně) dílčí části fluviálního systému, jehož chování odráží stav a případné změny celé řady vnějších (nezávislých) i vnitřních (závislých) faktorů. Fluviální systém přitom podléhá změnám s různou délkou trvání (od minut po tisíce let). Povodeň jako relativně krátkodobý proces přináší změny velmi rychlé, které však mohou být součástí dlouhodobého procesu. Povodňová změna koryta směrem k jinému říčnímu vzoru tak může být například reakcí fluviálního systému na klimatickou změnu nebo změnu erozní báze apod. Většinou se tak kombinuje působení pulzní disturbance (povodně) s dalšími permanentními disturbancemi (např. změna land use v povodí apod.) nebo chronickými disturbancemi (opakované prohrábky koryt apod.).

Cílem příspěvku je jednak diskutovat vztah antropogenních vlivů a stability fluviálního systému a dále dokumentovat obecné teorie zpracováním konkrétních případů změn fluviálních systémů v důsledku povodní v roce 2002.

2 Obecný rozbor

2.1 Vymezení pojmů stabilita a rovnováha fluviálních systémů

Z důvodů, které byly naznačeny v úvodu, je třeba vždy diskutovat, v jakém stavu se nachází fluviální systém z hlediska konceptu rovnováhy. V literatuře bývá rozlišováno několik typů rovnováhy, resp. stability (Knighton 1998, Schumm 2005). Toky mohou být ve stavu statické rovnováhy (parametry se téměř nemění), stabilní rovnováhy (oscilace kolem konstantní úrovně parametrů), dynamické rovnováhy (časté oscilace sledují celkový trend nebo cyklické změny) nebo dynamické metastabilní rovnováhy (rychlá změna po překročení prahových podmínek). Zároveň jsou vymezovány i typy nerovnovážných

stavů, například nerovnováha s chaotickým projevem, nerovnováha s častým překračováním prahových hodnot apod. (Knighton 1998). Koncept rovnováhy fluvialního systému lze v souvislosti s obecným pohledem teorie systémů dát do analogie s teorií stability ekosystémů, která je v českém prostředí více rozpracována (Míchal 1994), než teoretické přístupy k fluvialním systémům. Podobně jako v ekologii tak můžeme vymezit stabilitu jako schopnost fluvialního systému uchovat a reprodukovat své podstatné charakteristiky pomocí autoregulačních procesů. Je to schopnost vyrovnávat změny způsobené vnějšími a vnitřními činiteli (změnou proměnných fluvialního systému) a zachovávat své přirozené vlastnosti a funkce. Rozlišujeme stabilitu vnitřní (endogenní) nebo vnější (exogenní) a dvě základní formy stability: odolnost (resistenci) a pružnost (resilienci). Teorii se podrobně zabývá monografie *Ekologická stabilita* (Míchal 1994). Z uvedeného pohledu se například jeví uměle vytvořené, betonovými prvky zpevněné, napřímené koryto toku ve stavu resistantní stability, ovšem jen do doby překročení prahové hodnoty průtoku při extrémní povodni (dynamická metastabilní rovnováha). Pak může docházet k destrukci umělého koryta a velmi rychlým a zásadním změnám. Stabilita zajištěná umělým korytem je tedy jen relativní (to je ostatně vždy) a celkově se tok nachází ve stavu nerovnováhy, resp. metastabilní dynamické rovnováhy, s možností překročení prahové hodnoty a skokové změny.

V souvislosti s diskusí o vlivu antropogenních změn na průběh povodní lze vidět dva aspekty ve vztahu ke stabilitě fluvialních systémů. Za prvé vytvářejí antropogenní zásahy jako změny land use, úpravy koryta, výstavba přehrad apod. permanentní disturbance a je tady možné v delším časovém horizontu desetiletí až století sledovat reakci fluvialního systému, jako např. změnu chodu splavenin, změnu úrovně dna, změnu šířky koryta, resp. šířky meandrového pásu nebo změnu fluvialního typu. Ke změnám fluvialního systému přitom dochází s největší intenzitou právě při extrémním odtoku, tedy nepravidelně. Druhým aspektem je, že antropogenní změny mění úroveň stability jako schopnosti reagovat na pulzní disturbance, tedy povodně samotné. Tento aspekt je většinou popisován jako zranitelnost (vulnerability) nebo citlivost (sensitivity) povodí, resp. fluvialního systému (Langhammer 2006, Gilvear 1999).

2.2 Posouzení stability fluvialních systémů

K posouzení stability fluvialního systému se doporučuje sledování kontinuity transportu sedimentů, ohodnocení efektivity tvaru koryta nebo posouzení vztahů mezi charakteristikami fluvialního systému. Taková a další hodnocení fluvialních systémů jsou poměrně častá (Kliment 2000, Kopp, Kliment 1997, Surinan, Rinaldi 2003, Voženílek, Demek 2000, Auzet, Boiffin, Ludwig 1995, Štěrbá aj. 2000). Velmi průkazně byly zjištěny odezvy fluvialních systémů italských toků na antropogenní změny v práci Suriana a Rinaldiho (2003). V důsledku změn využití půdy v povodí jsou dokumentovány mírnější změny koryt v první historické etapě vývoje, následované v druhé etapě intenzivnějšími změnami (zahlučováním toků, změnou geomorfologického typu) jako odezvou na těžbu dnových sedimentů a výstavbu přehrad. Výsledky jsou srovnatelné s výzkumy v jiných částech světa (Surian a Rinaldi 2003).

Největší dynamika fluvialních procesů v povodí je vázána na extrémní odtokové situace v povodí. Výzkum těchto procesů, podmíněný extrémními odtokovými situacemi v poslední době (Kopp 2005, Bornschein, Aigner, Pohl 2002, Langhammer 2004, Křížek, Engel 2004, Langhammer, Vajskebr 2004 a další), lze většinou aplikovat na posouzení stavu fluvialních systémů.

Postižení změn ve fluvialních systémech a tedy posouzení rovnováhy, resp. stability přitom umožňuje nejen posoudit povodňovou zranitelnost, ale též navrhnout vhodný směr revitalizace. Revitalizace je přitom třeba chápat též jako jednorázové disturbance, často s očekávanými rychlými odezvami, ovšem směřujícími od metastabilní rovnováhy ke skutečné rovnováze stabilní či rovnováze dynamické, pokud působí další permanentní stresor, např. změna klimatu. Příklady takového vývoje jsou u nás dokumentované na revitalizovaných tocích jak z hlediska rychlé odezvy na revitalizaci, tak z hlediska schopnosti odolávat povodňovým průtokům (Kliment aj. 2006, Matoušek 2002).

V původní oficiální metodice revitalizací (Ehrlich 1996, s.7) najdeme doporučení upravovat koryta poškozená povodňovými průtoky. Tento v praxi běžný postup je často aplikován bezprostředně po povodních bez důkladného geomorfologického výzkumu. Nejenže okamžitě ztrácíme neocenitelné informace o vlastnostech fluvialního systému, ale zároveň riskujeme, že vynaložené prostředky budou investovány zbytečně. Pokud nemůžeme ovlivnit příčinný faktor povodní, tedy extrémní srážky, nelze ani počítat s tím, že se změní erozní schopnost toku v extrémních situacích. Zde je třeba velmi citlivě rozlišit úseky s nutnou stabilizací koryta (např. v intravilánu) a úseky ponechané přírodnímu vývoji. Radikální přístupy k revitalizacím, většinou propagované v zahraničí (Hansen 1996, Kern 1994), které přinášejí názor, že revitalizace znamená nebránit toku v přírodním vývoji, klasifikují povodňové škody na upravených tocích jako dobrý počátek revitalizačního procesu. Obecně lze předpokládat, že vývoj koryta ponechaný přírodním procesům směřuje do nějakého stavu rovnováhy. Komplikací takového přístupu jsou ovšem majetkové vztahy a ohrožení objektů umístěných v nivě a také nejistota dalšího vývoje, protože většinou zůstává větší část fluvialního systému změněná člověkem (land use, horní úseky toků, propustky komunikací apod.) Přesto jsou tyto přístupy k povodňovému vývoji koryt u nás stále více podporovány i v novějších metodikách revitalizací (Just 2003, 2005).

3 Případové studie

3.1 Povodňové změny na horním toku Lučního potoka

Na příkladu povodňových změn koryta Lučního potoka budeme ilustrovat příklad vlivu antropogenních úprav povodí na stabilitu fluvialního systému, reprezentovaného erozně-akumulačními procesy v korytě (závislá proměnná systému). Luční potok je levostranný přítok řeky Radbuzy, zaústěný na okraji města Plzně do nádrže České údolí. Tento malý vodní tok, délky 16,7 km, odvodňuje území o rozloze 68,9 km². Průměrný průtok u ústí Lučního potoka do Radbuzy je 0,148 m³.s⁻¹ (podrobně Kopp 2004).

Příčné profily v dolní části toku Lučního potoka byly nejprve použity k posouzení geomorfologického typu, podle metodiky oficiálně doporučené před revitalizací (Vlček a Šindlar 2002). Úsek dolního toku byl vybrán, protože podle uvedené metodiky splňuje podmínky zařazení mezi velké potoky ($0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} < Q_a < 1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Stanovení geomorfologického typu dolního úseku Lučního potoka bylo provedeno zařazením zjištěných parametrů analyzovaných příčných profilů do nomogramu (Vlček a Šindlar 2002).

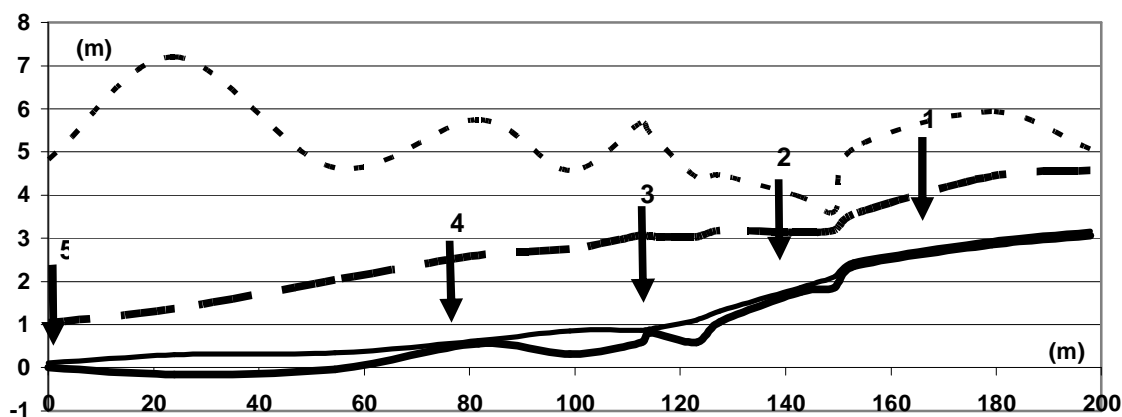
Z výsledku vyplývá, že tok se nachází v kategorii H2 (hloubková a boční eroze s vytvářením brodů a výmolů v úzké údolní nivě) na přechodu do kategorií M6 až M5 (nerozvinuté meandrování v často zaplavované úzké údolní nivě s nízkým pohybem splavenin a s posunem nerozvinutých meandrů ve směru údolnice, Vlček a Šindlar 2002). Uvedené zařazení orientačně odpovídá typu F5 a F6 v americké klasifikaci podle Rosgena (1994, 2001). U těchto toků upozorňuje Rosgen na nutnost zvýšené péče, protože jsou velmi citlivé na narušení rovnováhy. Vyznačují se vysokým rizikem břehové eroze a s tím spojené produkce splavenin. V povodí Lučního potoka se s projevy břehové eroze setkáme především v neupravených korytech, v místech nezpevněných břehovými dřevinami. Vznik extrémních erozních jevů v korytě může souviset s narušením celkové stability fluvialního systému v důsledku změny odtokových poměrů v povodí.

Nehledě na provedené orientační zařazení do geomorfologické klasifikace se lze domnívat, že geomorfologický typ Lučního potoka je v našich podmínkách poměrně nezvyklý. Plochý reliéf předurčuje rozliv do nivy, což obecně odpovídá dolním úsekům podélného profilu. V případě Lučního potoka však převažuje plochý reliéf a mírný podélný sklon i v pramenné části. Celkově nízké hodnoty průtoků obecně sice snižují intenzitu erozně-akumulačních procesů, ale rozhodující jsou extrémní průtoky. Jejich vliv omezují retenční prostory v povodí. Charakter korytotvorných procesů je v povodí Lučního potoka zásadně ovlivňován antropogenními úpravami jak vlastního koryta, tak odtokových podmínek v nivě a

v povodí. Určení původního geomorfologického typu lze proto spíše dedukovat z dalších charakteristik fluvialního systému, než z měření morfometrických parametrů koryta.

Změny koryta Lučního potoka byly analyzovány jako následek povodní vyvolaných extrémními srážkami v roce 2002 a na počátku roku 2003. Největší extremitu odtoku (vzhledem k extremitě srážek) předpokládáme u povodně 22. 8. v pramenné části Lučního potoka. Profil na horním toku, ve kterém byly později zaměřeny stopy polohy hladiny při povodni, uzavírá povodí o rozloze 3 km². Identifikace profilu je na obr. 1 pod číslem 1. Vyhodnocení průtoků bylo provedeno výpočtem podle Chézyho rovnice (Jůva aj. 1984). Vypočtený kulminační průtok $Q = 3,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (22. 8. 2002, čas 00-06 hodin) ve sledovaném profilu byl o něco nižší než hodnota Q_{100} odvozená teoreticky. Extremitu odtoku lze tedy uvažovat na úrovni 50 – 100 leté vody. Plochy v povodí tvoří orná půda bez významnějších protierozních prvků (minimum keřových pásů, mezí, velkoplošné pozemky, sklonitost i v kategorii 2 - 4°). Odtok vody z části malého povodí se koncentruje v plochém území intravilánu obce Přehýšov. Během srpna 2002 byla tato obec opakovaně postižena zaplavením (z povodí o ploše 1,35 km²), v důsledku nefunkčního odvodnění v obci. Místní podpovrchově vedený systém kanalizace se brzy zanesl a voda se akumulovala v prostoru návsi. Voda se dostala do třinácti rodinných domů. Odtoku vody bránil především násep silnice ve směru k Lučnímu potoku. Tok vlastně vytéká z dešťového kanalizačního systému na okraji vsi. Zaplavení Přehýšova určitě snížilo extremitu odtoku pod obcí. Odtok vody pod Přehýšovem je ovšem naopak urychlen, vzhledem k parametrům umělého koryta. Zkušenosti z povodně z přívalového deště v nedalekém Sytně 21. 8. ukazují na podobné negativní charakteristiky struktury zemědělské krajiny (Hysková 2003).

Erozně-akumulační procesy v korytě se významně projeví v úseku 13,5-14,5 ř. km Lučního potoka. Tok zde přechází z uměle vytvořeného koryta do přírodního koryta. Významné erozní procesy byly podmíněny třemi faktory: (a) extrémními srážkami v pramenné části povodí, (b) vyšší sklonitostí podélného profilu v tomto úseku a (c) koncentrací odtoku v umělém korytě. Tok se zde zahlubil přes hlinito-jílovité deluviofluvialní uloženiny až do podloží tvořeného karbonskými arkózami kladenského souvrství.



umístění příčných profilů

Obr. 1: Podélný profil koryta Lučního potoka
úsek 200 m, počátek profilu [0,0]: 14,25 ř.km, 352 m n.m.,
stav 25. 11. 2002

Zdroj: vlastní zpracování na základě geodetických měření
(spolupráce P. Červený a P. Denk)

- Podélný profil dna
- - - Podélný profil hladiny
- Podélný profil břehové hrany
- - - Průběh šířky koryta

Bylo provedeno přesné geodetické zaměření postiženého úseku (Kopp 2003). Na podélném profilu (obr. 1) a příčných profilech (Kopp 2003) je možno dokumentovat jednotlivé části sledovaného úseku: (1) umělé koryto, (2) vyerodované umělé koryto s evorzními tvary na dně, (3) úsek intenzivně zahloubený (relativně nejméně o 0,5 m) s břehovými nátržemi, (4) úsek s boční i hloubkovou erozí, (5) úsek s převládající boční erozí a akumulacemi v mírných zákrutech. Zbytky betonového materiálu erodovaného v druhém úseku sedimentovaly na dně v úzkých jeseptních akumulacích v úsecích 4 a 5.

Uvedený příklad potvrzuje, že nevhodné antropogenní změny fluviaálních systémů (umělá „stabilní“ koryta apod.) vytvářejí stav, který se při extrémních odtokových situacích projevuje jako značně nestabilní. Stabilitu fluviaálních systémů může zvýšit vhodná revitalizace (Kopp 2003, 2004). V uvedeném úseku byla ovšem na počátku roku 2003 provedena oprava umělého koryta, které slouží k odvodnění hydromelioračních kanálů. Úsek, kde bylo upravené koryto povodňovou erozí zničeno v délce 17,5 metru, byl obnoven v původním provedení. Výmoly ve dně byly zasypány štěrkem, aby se zvýšila odolnost proti erozi. Vzhledem ke zjištěné erozní účinnosti vody však lze předpokládat, že tato úprava má pouze omezený stabilizační význam. Již na jaře 2003 se začaly na svahu opraveného umělého koryta objevovat první známky nestability. Vzhledem k tomu, že fluviaální systém zde pracuje ve směru zahloubení koryta, odtéká voda při běžných průtocích (5-10 l.s⁻¹) pod betonovými tvárnicemi. Vlastní koryto opraveného úseku tak zůstalo bezvodé.

3.2 Změny koryta Labe v úseku Děčín – státní hranice

Labe v úseku pod Děčínem ke státní hranici u Hřenska protéká hlubokým kaňonem a vytváří poměrně úzkou nivu. Z hlediska u nás používané klasifikace fluviaálně-geomorfologických typů říčních toků (Vlček, Šindlar 2002, Mana 2006), vycházející z klasifikačního systému Rosgena (1994, 2001), lze zájmový úsek Labe zařadit jako úsek hloubkové eroze v úzké údolní nivě s vytvářením brodů a výmolů (typ označovaný F/H2, Vlček, Šindlar 2002). Tento typ se obecně vyznačuje nízkým až středním rizikem narušení v porovnání s ostatními typy (též Rosgen 2001). Uvedená charakteristika úseku se projevuje obecně nízkým pohybem dnových splavenin a relativní stabilitou podélného profilu. Výraznější erozně-akumulační procesy probíhají v korytě jen za vyšších povodňových průtoků, kdy dochází k lokálním morfologickým změnám, tj. tvoří se výmoly a akumulace, přičemž celková bilance materiálu celého úseku je vyrovnaná.

Tento stav dynamické rovnováhy bude testován, pokud bude realizována výstavba plavebního stupně Děčín a především pod plavebním stupněm prohrábkou změněna konfigurace příčných profilů, protože dojde ke změnám v proudění vody a zrnitosti dna. Pokud je tok ve stavu dynamické rovnováhy, měl by mít schopnost se s narušením dna prohrábkou vyrovnat, tj. erozně-akumulačními procesy obnovit rovnovážný stav.

Tvrzení o stabilitě dna s prohrábkou kynety je ve výzkumech VÚV Praha (Broža aj. 2002) podloženo simulováním situace na modelu při středních průtocích $Q_{90} = 384 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{30} = 633 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a při maximálním plavebním průtoku $Q_{\text{pl max}} = 1220 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Podélný profil byl ve zprávě (Broža aj. 2002) vyhodnocen jako stabilní i při extrémní povodňové situaci v srpnu 2002, kdy byl průtok později ohodnocen jako 100–200 letý ($4770 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pro hydrologickou stanici v Děčíně).

Je ovšem žádoucí závěr o stabilitě zpřesnit jednak podrobnějším rozbozem dat a zejména porovnáním batymetrie koryta před a po povodni v celé šířce plavební dráhy. Pro uvedené posouzení je možné použít výsledky měření konfigurace dna, provedené Povodím Labe vyměřovací lodí Valentýnou. Z podrobnějších měření batymetrie (Hydroprojekt 2005a, 2005b) lze zjistit, že v úseku pod plánovaným plavebním stupněm Děčín došlo vlivem extrémní povodně k erozně-akumulačním změnám řádově v desítkách centimetrů (viz. tab. 1). Z grafického zobrazení a zjištění rozdílových hodnot je patrné, že při povodni došlo k určitému vesměs decimetrovému zanášení nejhlubších míst v toku a zároveň v některých

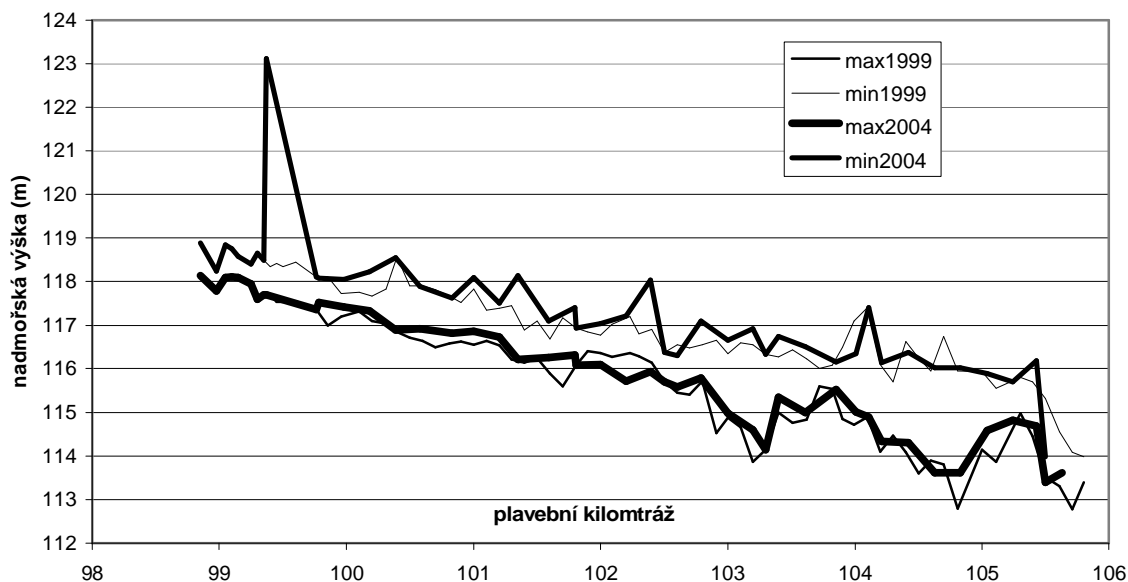
úsecích k tvorbě výmolů. Postupem času zřejmě tok rozložení výmolů a akumulací dokonfiguruje do trvalejšího stavu, s tím, že při další povodňové situaci bude stav změněn. Do tohoto stavu zasáhne prohrábka jako faktor lokálně ovlivňující výše popsané erozně-akumulační procesy.

Tab. 1 Změny dna v příčných profilech mezi měřením 1999 a 2004

pl. km	rozdíl max	rozdíl min
101	0,3	0,26
101,2	0,19	0,11
101,81	0	0
102	-0,26	0,27
102,5	0	0
102,6	0,14	-0,24
103	0,11	0,31
103,2	0,72	0,36
103,3	0	0
103,4	0,35	0,47

Poznámka: rozdíl max je stanoven jako rozdíl v úrovni nejhlubších míst, rozdíl min jako rozdíl v úrovni nejmělkých míst plavební dráhy, záporné znaménko vyjadřuje prohloubení

Zdroj: vlastní zpracování na základě dokumentace Hydroprojektu (2005a, 2005 b).



Obr. 2 Vývoj podélného profilu dna v plavební dráze

Zdroj: Vlastní zpracování, data: Hydroprojekt (2005a, 2005 b)

Dynamická rovnováha je též dokumentovaná historickými daty o vývoji podélného profilu. Historické informace zajisté nemají dokonalou vypovídací schopnost (otázka původu dat a metodiky měření), ale pokud mají sloužit jako podklad k argumentaci, tak vesměs ukazují v období 1870–1960 změny překračující v amplitudě 1 metr. Pokud lze na základě těchto podkladů usuzovat, převládal spíše trend zahlubování dna. To může být vysvětleno jak změnami v povodí Labe (změny odtoku, změny chodu splavenin), tak reakcí na historické úpravy Labe ve sledovaném úseku (regulace výhony).

Z uvedeného rozboru dat zjištěných modelováním i měřením batymetrie koryta vyplývá, že se dynamická stabilita toku Labe ve sledovaném úseku projevuje schopností reagovat na disturbance (resp. povodně) erozně-akumulačními procesy ovlivňujícími změny morfologie dna o velikosti řádově decimetrů. Rozložení intenzity procesů je nerovnoměrné v podélném profilu (částečně v závislosti na zakřivení trasy koryta) i nerovnoměrné v příčných profilech.

Předpokládaná prohrábka plavební kynety (podle některých variant záměru) může být podnětem k lokálnímu zvýšení intenzity erozně-akumulačních procesů, vedoucích v případě dynamické rovnováhy současného koryta ke dvěma možným situacím: buď 1) k „zahlazování“ umělého zásahu, tedy převážně zanášení prohrábkou nebo 2) k vytvoření nové úrovně dynamické stability vytvořené jako podnět prohrábkou. Vzhledem k tomu, že bude prohrábkou a úpravou v místě výstavby plavebního stupně odstraněno z toku množství sedimentů o objemu cca 218 500 m³, je pravděpodobnější druhá varianta. V obou případech je však třeba počítat s erozně-akumulačními procesy jako odezvou na prohrábkou. Předpokládané změny morfologie dna (řádově v cm) v úseku s prohrábkou budou v místě akumulací podnětem k údržbě plavební kynety. Údržba plavební dráhy (odstranění akumulací) se provádí i za současného stavu plavebních podmínek a to v závislosti na četnosti a intenzitě povodňových situací na toku. Protože budou vlivem prohrábkou probíhat v toku intenzivnější erozně-akumulační procesy, bude nutná i častější a intenzivnější (z hlediska objemu sedimentů) údržba toku. Opakovanou údržbou koryta na úroveň prohrábkou bude tok chronicky udržován v nerovnovážném stavu, takže nebude plně uplatněna stabilizační schopnost erozně-akumulačních procesů.

4 Závěr

Celou řadu nových empiricky získaných poznatků z povodňových událostí i revitalizačních úprav posledního období v České republice je žádoucí uvést do kontextu obecných souvislostí a teorií fluvialních systémů. V tomto směru byly již u nás publikované některé práce (Langhammer 2004, Vilímek 2004, Kolečka 2001, Štěrbá 2000). K dokonalému poznání vlastností fluvialních systémů je však potřeba dlouhodobého monitoringu jejich parametrů, zejména splaveninového režimu a změn morfologie koryta v souvislosti se změnami nezávislých proměnných, především parametrů srážko-odtokových procesů. V tomto směru je možné využít historické dokumentace, ale také provádět stálý nebo opakovaný monitoring, tak jak u nás probíhá například u odtoku, srážek a od 80. let 20. století též u odtoku plavenin.

5 Literatura

- Auzet, A. V., Boiffin, J., Ludwig, B. (1995): Concentrated Flow Erosion in Cultivated Catchments : Influence of Soil Surface State. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20, 759–767.
- Bornschein, A., Aigner, D., Pohl, R. (2002): Der Bruch von Glashütte. *Wasserwirtschaft Wassertechnik*. Berlin : Verlag Bauwesen, 7/ 2002, 6 – 8.
- Demek, J. (1987): *Obecná geomorfologie*. 1. vyd. Praha : Academia. 480 s.
- Ehrich, P. aj. (1996): Metodické pokyny pro revitalizaci potoků. *Metodika* 20/1996. Praha : VÚMOP, 72 s.
- Gabriel, P. (2006): Plavební stupeň Děčín – odpovědi na připomínky z NSR. Elektronické dokumentace odpovědí.
- Gilvear, D., J. (1999): Fluvial geomorphology and river engineering: future roles utilizing a fluvial hydrosystems framework. *Geomorphology*, 31, 229–245.
- Hansen, H. D. (1996): *River Restoration - Danish Experience and Examples*, Ministry of Environment and Energy, Danish Environmental Protection Agency, European Centre for River Restoration, Danmark .

- Hydroprojekt (2005a): Plavební stupeň Děčín. B – 1. Výkresy. Příloha: Příčné profily úpravy plavební kynety pod plavebním stupněm. Praha : Hydroprojekt, březen 2005.
- Hydroprojekt (2005b): Plavební stupeň Děčín. B – 1. Aktualizace návrhu prohrábky plavební kynety v říčním úseku pod plavebním stupněm. Praha : Hydroprojekt, prosinec 2005.
- Hysková B. 2003. Povodeň z přívalového deště v Sytně 21. 8. In *Obnova území po povodních. Příloha časopisu Urbanismus a územní rozvoj*. Praha : Agora, 30-34.
- Just, T. (2003): Revitalizace a povodně. In *Praga 2003 - Landscape and water : abstracts and proceedings of the conference*, 62-68.
- Just, T. aj. (2005): Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. Praha : AOPK ČR.
- Kern, K. (1994): *Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung*. Heidelberg, Berlin : Springer Verlag, 256 s.
- Kliment, Z. (2000): Bilance, režim a chemismus plavenin říčky Blšanky. *Geografie - sborník ČGS*, 105, č. 2, 255-265.
- Kliment, Z., Kopp, J. (1997): Hodnocení plaveninového režimu na zdrojnicích Berounky. *Geografie – sborník ČGS*, 102, 2, 130-138.
- Kliment, Z. aj. (2006): Sledování dynamiky revitalizovaného koryta Sviňovického potoka. In: Langhammer, J. aj. *Změny krajiny jako ovlivňující faktor průběhu a projevů extrémních povodní*, 166-172.
- Knighton, D. (1998): *Fluvial Forms and Processes. A New Perspective*. London : Arnold, 383 s.
- Kolejka, J. (2001): Geoekologické aspekty vzniku a důsledků povodní. *Geografie - sborník ČGS*, 106, č. 2, s. 65-73.
- Kopp, J. (2003): Hodnocení fluvialních systémů jako součást revitalizační studie povodí. *Geomorfologický sborník*, 2, Plzeň : Katedra geografie, Česká asociace geomorfologů, 107-114.
- Kopp, J. (2004): Ekohydrologické hodnocení povodí v příměstské krajině - případová studie povodí Lučňého potoka : disertační práce. Praha: Univerzita Kralova v Praze. 266 s.
- Kopp, J. (2005): Hydrologická hodnocení ve vztahu k regionálnímu rozvoji. In Dokoupil, J., Matušková, A. (eds.) *Rozvojový potenciál Plzeňského kraje*. 1. vyd. Plzeň : Západočeská univerzita, 57-80.
- Králová, H. (2002): Příklady různých přístupů k revitalizaci krajiny. In *Sborník konference Trvale udržitelný rozvoj*. Pardubice : Česká společnost krajinných inženýrů. 150 – 153.
- Křížek, M. a Engel, Z. (2004): Geomorfologické projevy povodně 2002. In *Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní [CD ROM]*. Praha : PřF UK Praha, 89-103.
- Langhammer, J. (2004): Analýza vlivu antropogenních změn v krajině na průběh a následky extrémních povodní. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitas Ostraviensis, Geographia-Geologia*, 216 , 9, p. 97-116.
- Langhammer, J., Vajskebr, V. (2005): Historical Shortening of River Network in the Otava River Basin. *Acta Universitatis Carolinae - Geographica*, 2003 , 2, 107-122.
- Mana, V. (2006): Sledování hydromorfologických procesů v České republice. 12. Magdeburský seminář o ochraně vod. Český Krumlov : Povodí Vltavy, 33–35.
- Matoušek, V. (2002): Stoletá povodeň na revitalizovaném potoce Borová. *Vodní hospodářství* 2/2002, 5–11.
- Míchal, I. aj. (1994): *Ekologická stabilita*. 2. rozšířené vyd. Brno : Veronica. 276 s.
- Rosgen, D., L. (1994): A classification of natural rivers. *Catena* 22, 169– 199.
- Rosgen, D., L. (2001): A stream channel stability assessment methodology. In *Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference*, Vol. 2, 18-26.
- Schumm, S. A. (2005): *River Variability and Complexity*. Cambridge : Cambridge University Press, 220 s.

- Surian, N., Rinaldi, M. (2003): Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, 50, 307–326.
- Šindlar, M. aj. (1995): Revitalizace říčních systémů : metodické pokyny. MŽP, Praha, 25.
- Štěřba, O. aj. (2000): Obnova ekologického kontinua krajiny řeky Moravy. *Vodní hospodářství*, 7, 141–144.
- Vilímek, V. (2004): Zhodnocení průběhu a následků povodně z hlediska geomorfologie. In *Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní [CD ROM]*. Praha : PřF UK Praha, 213-226.

PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ POPOVODŇOVÝCH KORYTOVÝCH AKUMULACÍ SÁZAVY

Marek Křížek

Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie
krizekma@natur.cuni.cz

Abstrakt

Předložený článek pojednává o korytových akumulacích jako jednom z geomorfologických projevů jarní povodně na Sázavě v roce 2006, zvláště pak si všímá jejich rozmístění vzhledem k ostatním fluvialním akumulacím. Je zkoumán vztah mezi základními sedimentologickými charakteristikami těchto korytových akumulací, jejich rozmístěním a polohou vzhledem k jezům, jako nejvýraznějším antropogenním zásahům do prostoru koryta.

Klíčová slova: údolní niva, povodňové sedimenty, korytové akumulace, Sázava

1 Úvod

Během jarního období 2006 došlo k náhlému tání sněhu na velkých plochách středních výškových poloh, což vedlo ve svém důsledku k rozvodnění velkého množství řek a následným povodním. Typickým povodím, jehož převážná část patří ke středním výškovým polohám a jež bylo postiženo jarními povodněmi, je Sázava. Tyto jarní povodně způsobily na Sázavě a jejích přítocích vybřežení toků doprovázené specifickými geomorfologickými projevy v údolních nivách i korytech vodních toků. Cílem tohoto článku je specifikovat souvislosti mezi ději v údolní nivě Sázavy a korytovými sedimenty.

2 Studované území a použité metody

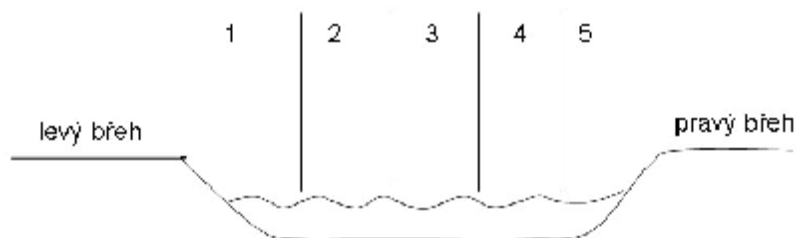
Studované území, kde byla zpracována analýza geomorfologických následků jarní povodně 2006, tvoří prostor údolní nivy Sázavy od dolního toku po horní úsek. Po odečtení pramenné oblasti s nedokonalou vyvinutou nivou a dolní části toku Sázavy pod Píkovicemi, kde se již projevuje nadržovaná hladina vltavské kaskády, bylo zpracováno 100% celkové délky údolní nivy Sázavy, avšak aby bylo zaručeno hodnocení ekvivalentních úseků údolní nivy z hlediska její šířky i šířky koryta, byla do analýz zahrnuta jen část Sázavy od soutoku s Losenickým potokem po Píkovice, tedy úsek o délce cca 156 km.

Z geologického hlediska je většina okolí údolí Sázavy vyvinuta na podloží tvořeném granity a granodiority střeodočeského plutonu, které jsou lokálně protnuty žilami paleovulkanitů a metamorfovaných hornin. Litologická situace se odráží do charakteru Sázavou transportovaných sedimentů v podobě písků, které jsou produktem zvětrávání žul. Z hlediska geomorfologického členění se celé údolí Sázavy nachází v Česko-moravské soustavě (Demek, 1987). Dolní část středního toku od Zruče n. Sázavou a celý dolní tok pak náleží k do oblasti Střeodočeské pahorkatiny (ústí – Sázava: Benešovská pahorkatina; Sázava – Zruč nad Sázavou: Vlašimská pahorkatina). Střední tok od Zruče nad Sázavou a celý horní tok Sázavy náleží geomorfologické podsoustavě - Českomoravské vrchovině. Úseky mezi Zručí nad Sázavou a Ledčí nad Sázavou náleží geomorfologickému celku Křemešnické vrchovině, od Světlé nad Sázavou po Přibyslav Hornosázavské pahorkatině, od Přibyslavi po pramenné oblasti Křížanovské vrchovině a pramenné oblasti Hornosvratecké vrchovině. Údolí Sázavy je charakteristické svým hlubokým zaříznutím, kde výškový rozdíl mezi dnem údolí a jeho hranou dosahuje až 200 m. Dle různých autorů (in Balatka, Sládek, 1962) zde existují cca 4 terasové úrovně, které jsou konvergentní směrem proti toku. Nejnížší a nejmladší terasový stupeň se nachází 2-10 m nad údolním dnem a nejvyšší a nejstarší terasový stupeň je situován ve výškách 72-126 m (Balatka, Sládek, 1962).

Geomorfologické mapování projevů jarní povodně proběhlo v období od 7.5. - 4.7. 2006 a zaměřilo se na prostor údolní nivy, resp. údolního dna, a geomorfologických tvarů, které zasahují do jejího prostoru z okolních svahů. Jako podklad pro terénní mapování posloužily listy Základní mapy ČR v měřítku 1:10 000 (ČÚZAK). Terénní mapování provádělo podle jednotné legendy vypracované M. Křížkem (Křížek, 2006) na příslušných úsecích Sázavy 8 pracovníků (Marek Křížek, Dušan Romportl, Jan Kavan, Tomáš Chuman, Klára Vočadlová, Václav Treml, Hana Baláková, Václav Vajskebr).

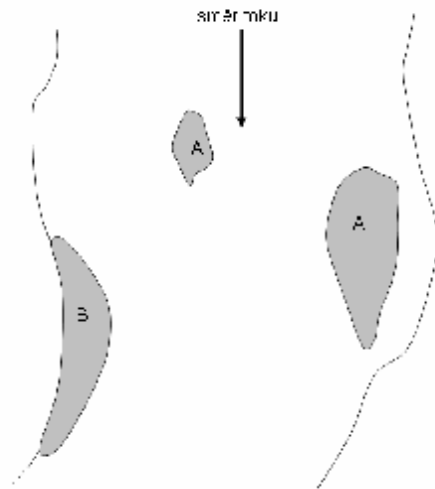
Údolní niva byla vymezena v souladu s geomorfologickou definicí, jakožto plochá akumulární rovina podél vodního toku tvořená fluviálním materiálem, přičemž při povodních bývá zpravidla částečně či celá zaplavována (Křížek a kol., v tisku). Její hranice byly určeny na základě odlišné morfologie (sklonu) od údolních svahů a ostatních forem reliéfu. Kromě údolní nivy byly klasifikovány tyto tvary: sesuvy, dejekční kužely, akumulární terasy, fluviální akumulace v údolní nivě, opuštěná koryta, fluviálně výrazně poškozené břehy, skalní stupně v korytě, jezy, protipovodňové valy, antropogenní valy, mosty, bezodtoké deprese, říční koryta a akumulace v říčních korytech (Křížek, 2006; Křížek, v tisku).

Korytové akumulace představují fluviální uloženiny v prostoru koryta protékaného vodním tokem, jsou typické pro místa, kde dochází ke zpomalení toku a tedy unášecí schopnosti vodního toku. U každé korytové akumulace byla zjišťována hodnota šířky koryta v daném místě, kde se akumulace nachází. Dále byla zaznamenána její pozice v rámci koryta. Koryto v příčném profilu bylo rozděleno na pět dílů (viz obr. 1), přičemž orientace profilu je taková, že 1 označuje úsek u levého břehu a 5 úsek u pravého břehu. U korytových akumulací byly zjišťovány jejich maximální rozměry, tj. délka a šířka, přičemž délkou se rozumí rozměr rovnoběžný se směrem toku (proudnicí) a šířka je na ni kolmá. Další z vlastností určovaných u korytových akumulací bylo spojení se břehem (obr. 2) a informace o charakteru materiálu, zda-li je štěrkovito-kamenitý, hlinito-písčité či kombinovaný.



Obr. 1: Poloha v korytě

Gradací se rozumí způsob uspořádání sedimentů a jejich případné vytřídění dle velikosti. Normální gradace značí, že se směrem po proudu fluviální materiál tvořící akumulaci zjemňuje; opačná gradace znamená, že je nejdříve uložena jemná složka a pak následovala hrubá složka. Uložení akumulace bez gradace značí, že vytřídění není patrné. Posledním zjišťovaným znakem bylo pokrytí korytové akumulace vegetací, zda je bez vegetace, zda je alespoň částečně porostlá travou, či na ni rostou keře nebo stromy. Tato charakteristika vyjadřuje stabilitu, resp. délku existence dané akumulace.



Obr. 2: Spojení se břehem koryta, ostrovy (A) nejsou spojeny, akumulace (B) je spojena s pravým břehem.

Prostorové informace o jednotlivých tvarech a jejich dalších charakteristikách byly zpracovány v ArcGIS 9.0 (ESRI 2003) a dále statisticky analyzovány v programu STATISTICA 6.1 (StatSoft 2003). Hustota korytových akumulací byla stanovena v GISu pro velikost buňky 100 m a rádius 1000 m. Při určování vzdálenostních vztahů mezi jednotlivými tvary bylo použito bufferování s volbou 10 metrového kroku a převodu do gridu o velikosti buňky 10 m. Při zjišťování vzájemného polohového vztahu mezi korytovými a povodňovými akumulacemi v údolní nivě, byly plochy povodňových akumulací nahrazeny centroidy. Bylo tak učiněno proto, aby byla omezena chyba vícenásobného přiřazení plošně rozsáhlejších povodňových akumulací k několika korytovým akumulacím.

Pearsonova korelace mezi základními charakteristikami korytových akumulací (uvedených výše) byla určována a testována t-testem signifikance korelačních koeficientů při hladině významnosti 0,05.

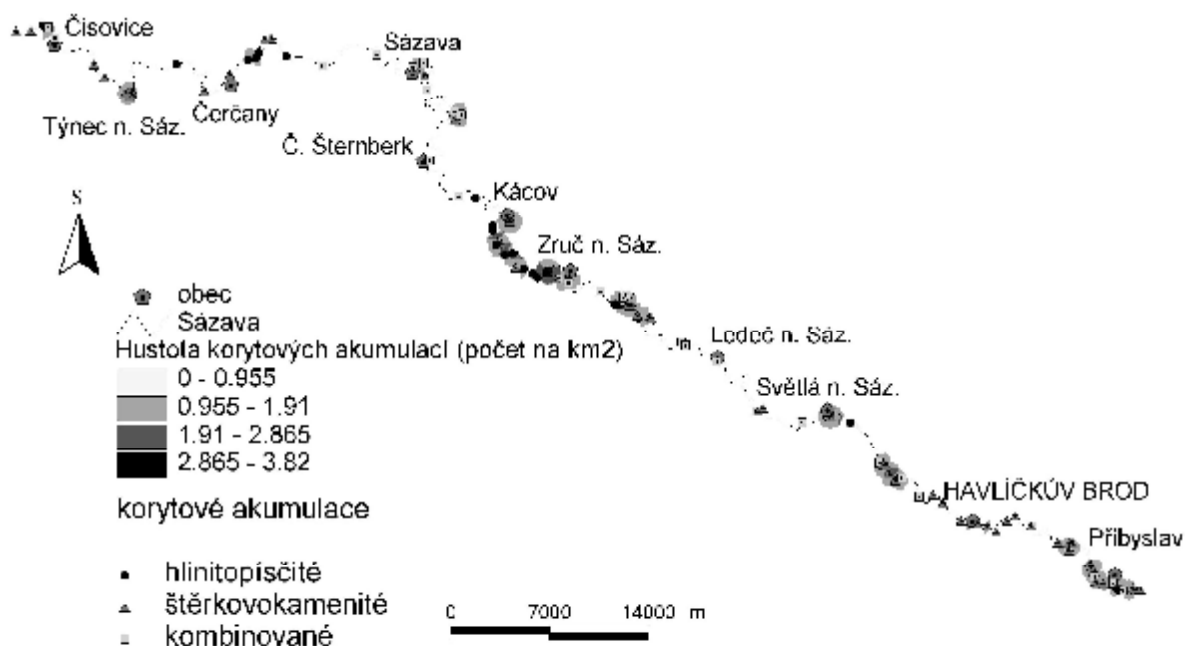
3 Výsledky

Během povodňové události na jaře 2006 došlo k úplnému zaplavení údolní nivy, v několika lokalitách došlo k rozlivu i vně údolní nivy. Svědčí o tom povodňové sedimenty nalezené na patách dejekčních kuželů či nižších terasových stupních ležících mimo údolní nivu.

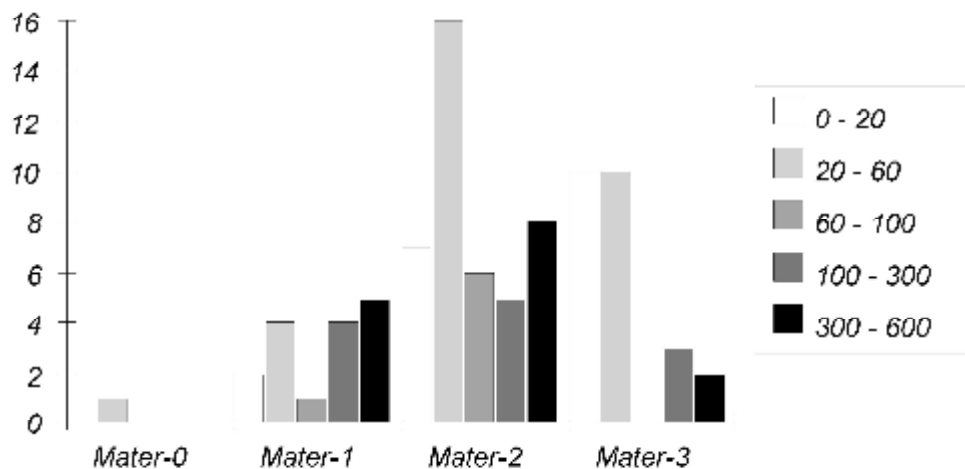
Studovaná část údolní nivy Sázavy zaujímá 2056 ha, z toho 40% tvoří její akumuláční část, 55% transportní, resp. 5% erozní úsek. Říční koryto Sázavy tvoří na celém jeho úseku (156 km) z 80% transportní část po 10% akumuláční a erozní část. Na vodním toku bylo zmapováno 56 jezů, z nichž 14% bylo vysokých do 1 metru, 50% mělo výšku mezi 1-2 metry a 30% bylo vyšších než 2 metry. Zbytek (6%) je neklasifikovaných. Břehy koryta Sázavy byly na 176 místech poškozeny břehovými nátržemi o celkové délce 3,7 km.

Celkem bylo na studovaném úseku nalezeno 147 korytových akumulací (obr. 3), z nichž 27 (18%) bylo hlinitopísčitých, 81 (55%) šterkovokamenitých a 39 (27%) kombinovaných. Z hlediska gradace bylo identifikováno 119 (81%) korytových akumulací bez známek gradace, 26 (18%) s normální gradací a 2 (1%) s opačnou gradací. 82 (56%) korytových akumulací nemělo spojení se břehem, tedy tvořilo ostrovy, zatímco 65 (44%) mělo charakter přibřežních akumulací. Vegetací nebylo pokryto 64 (44%) akumulací, travní porost se nacházel na 55 (37%) a na 28 (19%) korytových akumulacích rostly keře či stromy. Největší hustoty korytových akumulací bylo dosaženo v okolí Přibyslavi, Okrouhlic, Světlé nad Sázavou, Vlastějovic, dále pak v úseku mezi Zručí nad Sázavou a Kácovem, Ratají, Sázavy, Čerčan, Týnce nad Sázavou a Čísovic (obr. 3). Korytové akumulace jsou lokalizovány především do blízkosti jezů (obr. 4),

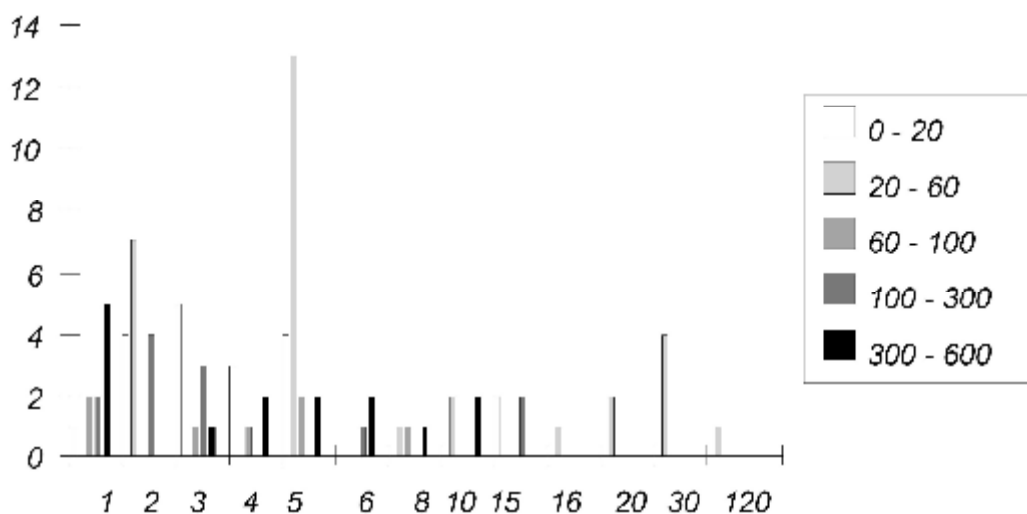
většina se jich nachází do 60 m od jezů, pak jejich množství rapidně klesá. Korytové akumulace s normální gradací se nejvíce vyskytují v bezprostřední blízkosti jezů, tj. ve vzdálenostech do 20 m, pak jejich množství plynule se vzdálenostmi od jezů klesá. Naopak korytové akumulace bez gradace jsou převážně soustředěny do vzdáleností 20-60 m od jezů, přičemž jejich minimální množství se nachází ve vzdálenostech 60-100 m, pak jejich četnost narůstá. Korytové akumulace s opačnou gradací byly zaznamenány pouze ve vzdálenostech 60-100 m od jezů. Z hlediska polohy korytových akumulací absentují v bezprostředních blízkostech jezů (tj. do 20 m) krajní polohy 1 a 5, jež mají maxima výskytů ve vzdálenostech větších jak 100 m od jezů, naopak střední polohy 2, 3, 4, 23, 34, 234 se většinou vyskytují do 60 m od jezů. Toto doplňuje fakt, že většina korytových akumulací spojených se břehem je lokalizována ve vzdálenostech od jezů větších jak 100 m. Většina rozsáhlých korytových akumulací s šířkou přesahující 5 m se nachází ve vzdálenostech 20-60 m od jezů (obr. 5), naopak malé akumulace s šířkou do 3 metrů jsou rozloženy rovnoměrněji, s maximálním výskytem ve vzdálenostech nad 100 m. Korytové akumulace s pokryvem travní či keřovo-stromové vegetace nebo akumulace bez vegetace mají maxima svého výskytu do 60 m od jezů, pouze u akumulací s keřovo-stromovou vegetací je výrazně nižší výskyt v bezprostřední blízkosti jezů (tj. do 20 m). Hlinitopísčité i šterkovokamenité korytové akumulace se nejvíce vyskytují ve vzdálenostech 0-30 m od břehových nátrží.



Obr. 3: Rozmístění typů a hustota korytových akumulací po povodni 2006 na Sázavě

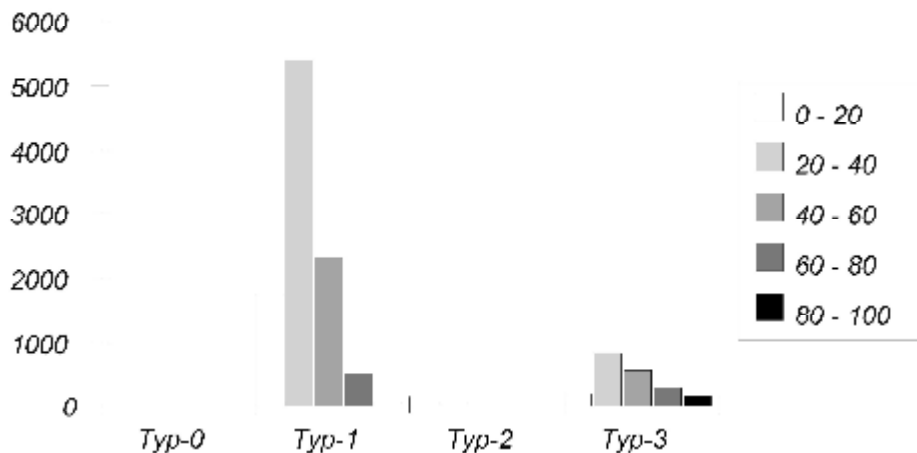


Obr. 4: Rozmístění korytových akumulací vzhledem ke vzdálenosti od jezů (v metrech). Mater-0 ... nespecifikované korytové akumulace; Korytové akumulace: Mater-1 ... hlinitopísčité; Mater-2 ... štěrkovokamenité; Mater-3 ... kombinované.



Obr. 5: Šířka korytových akumulací (osa x, v metrech), jako reprezentant jejich velikosti, vzhledem ke vzdálenosti od jezu (v metrech).

Ve studovaném úseku údolní nivy Sázavy bylo nalezeno 262 hlinitopísčitých povodňových akumulací (86% z celkového počtu), o ploše 102 ha (79,4% z celkové plochy všech povodňových akumulací v údolní nivě), 8 štěrkovokamenitých povodňových akumulací (3%), o ploše 1 ha (0,7% z celkové plochy všech povodňových akumulací v údolní nivě) a 28 kombinovaných povodňových akumulací (9%), o ploše 25 ha (19,4% z celkové plochy všech povodňových akumulací v údolní nivě) a 5 nerozlišených povodňových akumulací (2%), o ploše 0,7 ha (0,5% z celkové plochy všech povodňových akumulací v údolní nivě). Mocnost těchto akumulací dosahuje hodnot 3-30 cm. Největší koncentrace povodňových sedimentů je v bezprostřední blízkosti koryta Sázavy (obr. 6), přičemž převládají vzdálenosti do 40 m od střednice koryta, přičemž ve vzdálenosti nad 60 m od střednice koryta se vyskytují akcesorně.



Obr. 6: Rozmístění povodňových akumulací v údolní nivě vzhledem ke vzdálenosti od střednice vodního toku (v metrech). Povodňové akumulace: Typ-0 ... nespecifikované; Typ-1 ... hlinitopísčité; Typ-2 ... šterkovokamenité; Typ-3 ... kombinovaná. Osa y značí rozlohu povodňových akumulací v arech.

4 Diskuse

Ze vzájemného zhodnocení zjišťovaných atributů korytových akumulací vyplývá, že existuje silná pozitivní korelace (tab. 1) mezi délkou korytové akumulace a gradací v tom smyslu, že čím je korytová akumulace kratší, tím je pravděpodobnější, že nebude mít vyvinutou gradační stavbu. Z ostatních, kde korelační vztahy jsou podstatně slabší, stojí vzhledem k průkaznosti za zmínku ještě pozitivní korelace mezi šířkou koryta a šířkou korytových akumulací a pozitivní korelace mezi šířkou a délkou korytových akumulací. Možnou příčinou některých ostatních slabých korelací je jednak proměnlivá šířka koryta Sázavy, která byla do výpočtů dosazována v absolutních hodnotách, a dále podmíněnost daných atributů dalšími morfologickými charakteristikami (resp. jejich celkovou složitostí a provázaností), např. křivolakostí toku, vzdáleností od lokálních erozních bází atd., které při výpočtu korelací nebyly vzhledem k charakteru datové základny uvažovány, nicméně se s nimi počítalo při dalších prostorových analýzách. Naopak se ukazuje, že neexistuje korelace mezi délkou akumulace a šířkou toku, polohou korytových akumulací a jejich vegetačním pokryvem a šířkou koryta, spojením se břehem a šířkou koryta a vegetačním pokryvem.

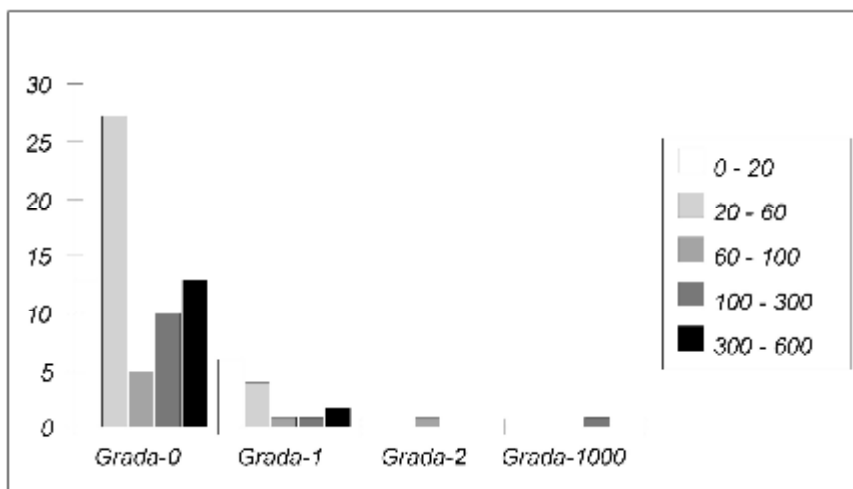
Tab. 1: Korelační matice zjišťovaných atributů korytových akumulací. Tučně jsou vyznačeny korelační koeficienty, jež jsou na základě t-testu statisticky průkazné pro hladinu významnosti 0,05.

	šířka toku	poloha	délka akumulace	šířka akumulace	spojení	materiál	gradace	vegetace
šířka toku	1,00	0,23	0,16	0,55	-0,26	0,33	0,00	0,14
poloha	0,23	1,00	0,13	0,38	-0,10	0,15	-0,01	0,18
délka akumulace	0,16	0,13	1,00	0,43	0,02	0,16	0,89	0,25
šířka akumulace	0,55	0,38	0,43	1,00	-0,15	0,23	0,07	0,32
spojení	-0,26	-0,10	0,02	-0,15	1,00	-0,06	0,09	-0,20
materiál	0,33	0,15	0,16	0,23	-0,06	1,00	0,11	0,10
gradace	0,00	-0,01	0,89	0,07	0,09	0,11	1,00	0,03
vegetace	0,14	0,18	0,25	0,32	-0,20	0,10	0,03	1,00

Z analýzy výskytu korytových akumulací plyne, že tyto jsou soustředěny do míst s nižší unášecí schopností vody, takovými místy jsou ostré změny směru vodního toku (zákruty), prostory pod jezy a místa při vyústění vedlejších údolí. Ke vzniku korytových akumulací dochází při povodňových událostech, resp. jejich závěru a vymezují místa zvýšené akumulace v prostoru koryta, kde představují

potenciální překážku proudění. To ve svém důsledku vede ke zvýšené erozní aktivitě a vzniku břehových nátrží, tedy korytové akumulace jsou i indikátorem zón vyšší erozní účinnosti vodního toku. Na druhou stranu se v tomto výsledku odráží přítomnost jezů, na něž jsou korytové akumulace vázány. Dlouhodobější stav v procesu ukládání sedimentů v dané lokalitě dokládá vzrostlá vegetace na těchto korytových akumulacích, včetně náletu keřů a stromů. Ta je jak ukazují výsledky víceméně rezistentní vzhledem k přítomnosti jezů a vyvinuta rovnoměrně po celé délce toku, jak ukazují výsledky, bez závislosti na vzdálenosti od jezů.

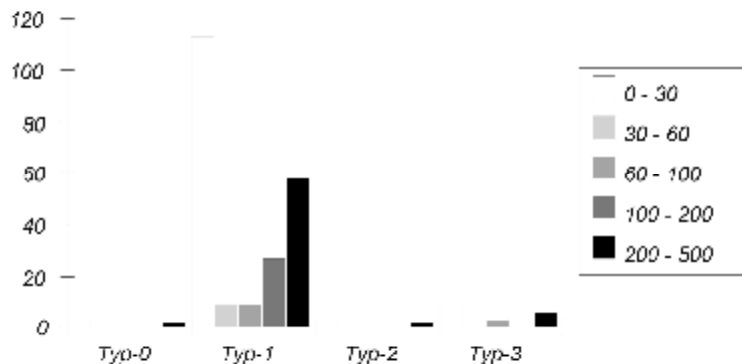
Z hlediska lokalizace korytových akumulací, zejména šterkovokamenitých a kombinovaných vzhledem k jezům, lze říci, že se tyto stavby projevují z hlediska sedimentace na změně chování Sázavy na vzdálenost cca 60 metrů (obr. 4). Rychlý úbytek energie vodního toku dokládá výskyt korytových akumulací s normální gradací, jejichž výskyt mimo zóny ovlivnění jezy je velmi malý. Naopak korytové akumulace bez gradace jsou charakteristické pro úseky Sázavy neovlivněné bezprostředně jezy, tj. ve vzdálenostech větších než 100 m (obr. 7). Častější výskyt korytových akumulací uložených pod jezy vzhledem k pozici v korytě ve středních polohách souvisí s tím, že tok je zde širší, což umožňuje vzniku rozsáhlejších ostrovů korytových akumulací. Z toho plyne, že menší korytové akumulace spojené se břehy jsou charakteristické pro ty části toku Sázavy, jež jsou nepostižené přímým vlivem stupně jezu.



Obr. 7: Závislost gradace korytových akumulací na vzdálenosti od jezu (v metrech). Grada-0 ... bez gradace; Grada-1 ... normální gradace; Grada-2 ... opačná gradace; Grada-1000 ... gradace nezjištěna.

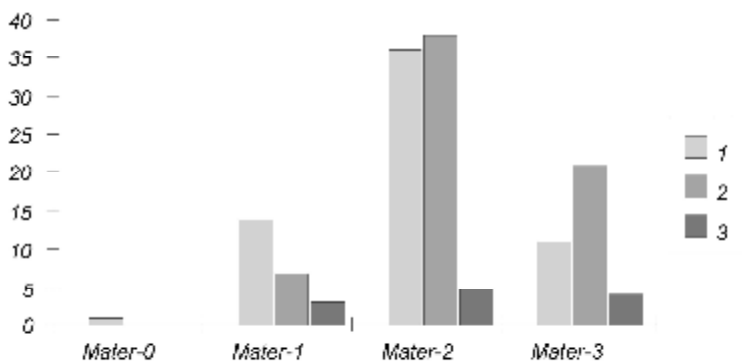
Poměrově vyšší zastoupení kombinovaných fluvialních akumulací ve větších vzdálenostech od koryta lze vysvětlit tím, že tyto akumulace vznikají v místech vyšších rychlostí proudu vybřeženého toku, což dokládá přítomnost primárně hrubozrnějšího materiálu, a tedy dochází k následné sedimentaci jemnozrnějšího materiálu ve větších vzdálenostech. Tomu napovídá i rozložení kombinovaných akumulací v prostorech zúžení údolní nivy nebo při vyústění významnějšího přítoku a tedy vhodným podmínkám pro zrychlení proudu vybřeženého vodního toku. Tedy tyto části údolní nivy s kombinovanými akumulacemi lze považovat za potenciální areály výraznějších projevů fluvialních procesů souvisejících s vybřežením vodního toku a následnými akcelerovanými geomorfologickými následky jako je například vytvoření erozních rýh a větvení vybřeženého vodního toku.

Vzájemnou komunikaci mezi akumulacími procesy v korytě a údolní nivě Sázavy dokládá závislost v prostorovém rozšíření fluvialních sedimentů v prostoru koryta Sázavy a její údolní nivy (obr.8), kde v zóně 100 metrů se korytové a povodňové sedimenty kryjí z 62%. Tedy na základě rozmístění korytových akumulací, které jsou snadněji vymezené, lze odhadovat i rozmístění povodňových akumulací v jednotlivých částech nivy.

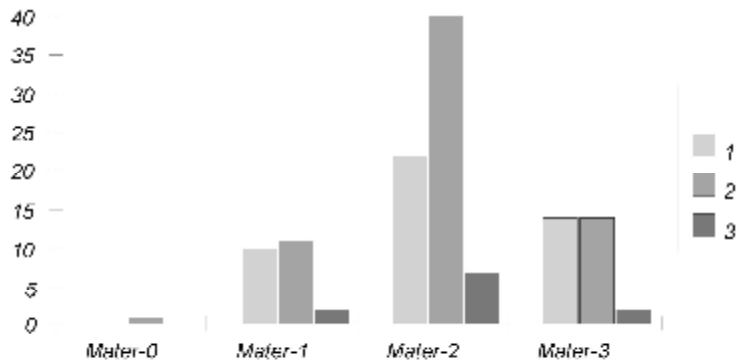


Obr. 8: Polohový vztah mezi povodňovými akumulacemi v údolní nivě a v korytě. Vzdálenosti jsou uvedeny v metrech. Povodňové akumulace v údolní nivě: Typ-0 ... nerozlišené; Typ-1 ... hlinitopísčité; Typ-2 ... štěrkovokamenité; Typ-3 ... kombinované.

Zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí korytových akumulací má svůj odraz v členění koryta Sázavy. Pro akumulační úsek koryta je typický 2x častější výskyt hlinitopísčitých akumulací než v transportní zóně koryta (obr. 9), kde jsou naopak dvojnásobně častější kombinované akumulace. To dokládá větší dynamiku a střídání unášecí schopnosti Sázavy v těchto úsecích. Erozní části koryta mají zhruba rovnoměrné zastoupení všech zrnitostních frakcí akumulací. Vztah mezi korytovými sedimenty a částmi údolní nivy není již tak jednoznačný (obr. 10) jako je tomu u korytových akumulací a typu koryta. Hlinitopísčité a kombinované akumulace jsou poměrově rovnoměrně zastoupeny jak u akumulačního, tak u transportního typu údolní nivy. Pouze štěrkovokamenité akumulace jsou u transportní části nivy 2x častější než u akumulační.



Obr. 9: Vztah mezi typem korytové akumulace (Mater-0 ... nespecifikované, Mater-1 ... hlinitopísčité, Mater-2 ... štěrkovokamenité, Mater-3 ... kombinované) a typem koryta (1 - akumulační, 2 - transportní, 3 - erozní).



Obr. 10: Vztah mezi typem korytové akumulace (Mater-0 ... nespécifikované, Mater-1 ... hlinitopísčité, Mater-2 ... štěrkovokamenité, Mater-3 ... kombinované) a typem úseku údolní nivy (1 – akumuláční; 2 – transportní; 3 – erozní).

5 Závěr

Korytové akumulace jsou dobrým charakteristickým znakem sedimentační činnosti vodního toku. Gradace korytových akumulací přímo koreluje s jejich délkou, podobně je tomu s šířkou toku a šířkou korytových akumulací. Korytové akumulace jsou vázány na jezy, jejichž bezprostřední efektivní sedimentační působnost zasahuje na Sázavě do vzdálenosti 60 metrů. Menší korytové akumulace spojené se břehy jsou typické pro části toku, které nejsou ovlivněné jezy. Stejně tak mají korytové akumulace souvislost s ukládáním povodňových akumulací v rámci údolní nivy a s rozmístěním břehových nátrží. Kombinované povodňové akumulace v nivě jsou soustředěny do míst s vícenásobnou povodňovou sedimentací a dokumentují ta místa nivy, která jsou více ohrožena geomorfologickými projevy povodní.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu VaV MŽP ČR SM/2/57/05 „Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“ a výzkumného záměru geografické sekce PřF UK v Praze MSM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“

6 Literatura

- BALATKA, B. SLÁDEK, J. (1962): Říční terasy v českých zemích. ČSAV, Praha, 578 s.
- DEMEK, J. /ED./ (1987): Hory a nížiny. Academia, Praha, 584 s.
- KŘÍŽEK, M. (2006): Geomorfologické projevy jarní povodně 2006 na Sázavě. - In: Langhammer, J. (ed.): Dílčí zpráva projektu VaV-SM/2/57/05 „Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“
- KŘÍŽEK, M. (v tisku): Údolní niva jako geomorfologický fenomén. – In: Langhammer, J. (ed.): Povodně a změny v krajině. Karolinum, Praha.
- KŘÍŽEK, M., HARTVICH, F., CHUMAN, T., ŠEFRNA, L., ŠOBR M., ZÁDOROVÁ, T. (v tisku): Floodplain and its delimitation. Geografie. ČGS, roč. 111., č. 3.

LOKÁLNÍ BLESKOVÉ POVODNĚ V ČR – MOŽNOSTI ŘEŠENÍ Z POZICE SAMOSPRÁVNÝCH OBCÍ

Lenka Čamrová, Pavel Hromádka

IEEP, Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku NF VŠE v Praze
Nám W. Churchilla 4, Praha 3, camrova@ieep.cz

Abstrakt:

Cílem článku je představit fenomén lokálních bleskových povodní a přiblížit průběh a následky těchto povodňových událostí v obcích ČR, které jsou jimi nejvíce postihovány. Článek obsahuje vyhodnocení výsledků dvouletého výzkumu GA ČR, během něhož byly provedeny rozhovory s představiteli 33 obcí, které pravidelně postihují lokální bleskové povodně. Vyhodnocení si klade za cíl pojednat o hlavních příčinách, důsledcích a možnostech řešení bleskových povodní na lokální úrovni, formou konkrétních příkladů představit úspěšná řešení a objasnit příčiny neúspěchů. Lokální bleskové povodně vyžadují maximální míru aktivace samospráv, a proto mohou sloužit jako příklad dobré praxe pro zmírňování následků povodní katastrofického rozsahu.

Klíčová slova: lokální bleskové povodně – kvalitativní analýza – obce – ochrana před povodněmi.

1 Úvod

Od konce 90. let jsou v České republice významným vodohospodářským problémem povodně. Kromě rozsáhlých povodní z let 1997, 2002 a 2006 postihují však řadu obcí České republiky pravidelně také **lokální bleskové povodně**. Jedná se o povodňové události probíhající v území do 100 ha v povodích do 10 km², které v důsledku svého malého rozsahu a lokálního významu unikají pozornosti široké veřejnosti i centrálních orgánů veřejné správy.³ Každoročně tak na území ČR dochází k 60 – 100 lokálním bleskovým povodním, které poškozují obce zejména na horních částech toků a v podhorských či horských oblastech.

Řešení následků a prevence lokálních bleskových povodní představuje analogii velkých povodňových událostí, především s ohledem na nezbytnost aktivace orgánů nejmenších samosprávných celků i samotného obyvatelstva, které se v dané situaci nemohou spoléhat na pomoc státu. V takových podmínkách je možné vysledovat různé více či méně úspěšné varianty koordinace, komunikace a spolupráce, jež mohou být využity jako modelové příklady při řešení rozsáhlejších katastrof.

2 Datové podklady

Jako nejvhodnější a nejkomplexnější soubor dat pro identifikaci pravidelně postihovaných oblastí byla použita data od ZVHS obsahující „**Přehled postižení katastrálních území České republiky povodněmi a erozí za období 1881 – 2004**“. Data obsahují četnosti a frekvence jednotlivých stupňů poškození za posledních 123 let. Příslušné tabulky tak určují, kolikrát v uvedeném časovém období bylo katastrální území zasaženo patřičným stupněm poškození. Časová řada je tak více než dostatečná, aby byly vyloučeny krátkodobé trendy, což umožňuje vybrat lokality, které jsou povodněmi pravidelně postihovány. Dostupné jsou samozřejmě i údaje pro libovolný časový úsek v rámci tohoto období.

³ S těmito kritérii pracují statistiky ZVHS (viz dále).

3 Zvolené lokality a metoda výzkumu

Jako primární kritérium výběru lokalit byla zvolena frekvence zasažení katastrálních území jevy vysoké, značně vysoké a extrémní intenzity (tedy součet stupňů IV^o, V^o a VI^o ze statistik ZVHS). Dalším kritériem výběru byl počet obyvatel obce. Pro účely tohoto projektu bylo ke zvýšení vypovídací hodnoty průzkumu rozhodnuto rozdělit obce a města podle počtu obyvatel do tří různých kategorií (1501 – 2500 obyvatel, 2501 – 5000 obyvatel a 5001 – 10 000 obyvatel). Celkem bylo navštíveno 33 obcí ČR.⁴

Metody využití v rámci výzkumu (zejména pořizování řízených rozhovorů a jejich následná analýza) jsou plně kompatibilní s využívanými sociologickými a v poslední době i socio-ekonomickými metodami, které jsou aplikovány v situaci, kdy nelze sledovaný společenský jev v dostatečné míře kvantifikovat. Jednalo se o kvalitativní analýzu a metodu „analytic narrativ“.⁵

4 Příčiny lokálních bleskových povodní

Bezprostřední příčinou lokálních povodní jsou přívalové deště (v 73 % obcí), jarní tání (44 %) a v některých obcích i dlouhodobé deště nebo kombinace dvou z uvedených faktorů. Lokální bleskové povodně zasahující obce v důsledku meteorologických vlivů bývají často podpořeny změnami hospodaření v krajině a dalšími antropogenními (lidskými) zásahy. Příčinnou souvislost mezi přetvářením krajiny a výskytem povodní si silně uvědomují i sami starostové.

Antropogenní příčiny lokálních bleskových povodní tak, jak byly respondenty uvedeny, můžeme rozdělit do tří skupin:

- a) zásahy do plochy povodí přímo v katastru obce,
- b) nevhodné stavby v intravilánu obce,
- c) zásahy do povodí mimo katastr obce (nejčastěji proti proudu).

4.1 Zásahy do plochy povodí

Na základě vyhodnocení získaných dat nezbyvá než potvrdit často uváděnou hypotézu⁶, že řada povodní na lokální úrovni je významně umocněna současným nevyhovujícím stavem české krajiny. Z přiložené tabulky vyplývá, že v téměř polovině obcí jsou povodně způsobeny nebo podpořeny zemědělskou činností a provázeny splachy ornice z polí na svazích – tzn. v 16 z 33 dotazovaných obcí byly splachy ornice z polí uvedeny jako závažný problém. Kromě zeminy přináší voda i další splaveniny (úroda z polí – zejména kukuřice, splachy v důsledku eroze lesních cest), které ucpávají propustky a kanalizační vtoky. Snížení povodňových průtoků a zabránění splachů ornice či jiného splávků do obce v takových případech přímo závisí na úspěchu komunikace představitelů obce se zemědělskými výrobci.

Tabulka 1: Příčiny povodní a problémy spojené s povodněmi v důsledku lidských zásahů do krajiny

Příčina povodní/problémy spojené s povodněmi	Četnost odpovědí*
Splachy bahna z polí	16
Jiné splaveniny než bahno (z lesů, plodiny z polí)	11
Půdní eroze (v důsledku nevhodných lesních cest, nezalesněných svahů apod.)	10
Odlesnění	5
Nevhodná regulace toků	1

* Výsledky získány vyhodnocením řízených rozhovorů v 33 obcích ČR, pro jednu obec je obvykle relevantní více faktorů

⁴ Jejich přehled a rozdělení podle velikostních kategorií viz. <http://www.ieep.cz/projekty/ppo/vyhodnoceni.php>.

⁵ Více viz plný rozsah článků publikovaný v Čamrová, Jílková, 2006.

⁶ Viz např. Němec, Hladný (2006): Voda v České republice. MZE ČR, Praha, Kender (2004): Voda v krajině. MŽP ČR a AOPK, Praha.

Zdroj: vlastní

Kromě negativních lidských zásahů do krajiny vnímá řada starostů jako příčinu povodně nedostatek lidských zásahů (zpravidla do koryt vodních toků). Jako zásadní problém byla uvedena nedostatečná péče (čištění, udržování průtokového profilu aj.) o koryta vodních toků a melioračních kanálů, v důsledku čehož dochází k uvolňování dalších splavenin a k vylévání toků z koryt. Tento stav je způsoben jednak řadou kompetenčních sporů mezi správci vodních toků nebo mezi správci toků a obcí (drobné toky, které „nikomu nepatří“) a jednak nedostatkem finančních prostředků alokovaných na správu drobných vodních toků.

Tabulka 2: Nedostatek zásahů do sítě vodních toků jako příčina povodní⁷

Příčina povodní	Četnost odpovědi
Zanesená koryta v důsledku sporů mezi správci o správu toku (tj. komu tok „patří“)	11
Neregulované toky	9
Zanesená koryta v důsledku nedostatečné péče	9
Neudržované meliorační kanály	4
Staré nevyhovující regulace toků	2

Zdroj: vlastní

4.2 Stavby v intravilánu obce

Druhou kategorií příčin vzniku povodňových škod jsou nevhodné zásahy či stavby v intravilánu (zastavěném území) obce. Nejvýznamnějším faktorem jsou poddimenzované propustky a mostky, které se ucpávají nebo nepostačují k odvedení odpovídajícího množství vody a tím působí škody ve svém bezprostředním okolí (33% případů). Řada těchto staveb je v průběhu povodní zničena a jejich následná obnova probíhá se zohledněním nových parametrů.

Samostatnou kapitolou v řadě obcí je kanalizace, do které jsou sváděny dešťové vody – dochází buď k jejímu ucpání splaveninami (18% obcí) nebo k překročení její kapacity (12% obcí) v důsledku silných přívalových dešťů a stále se zvyšujícího podílu zpevněných ploch v intravilánu obce. Obdobou tohoto problému jsou i zatrubněné potoky. V některých obcích je tento problém umocněn tím, že do obecní kanalizace jsou soustředěny dešťové vody ze silnic a dálnic.

Tabulka 3: Nevhodné stavby v intravilánu obce jako příčiny zvětšení rozsahu povodňových škod

Příčina povodní	Četnost odpovědi
Poddimenzované propustky a mostky	11
Ucpání kanalizace splaveninami	6
Nedostatečná kapacita kanalizace	4
Zatrubněný tok v intravilánu obce	3
Zpevněné plochy v intravilánu obce	2

Zdroj: vlastní

4.3 Zásahy mimo katastr obce

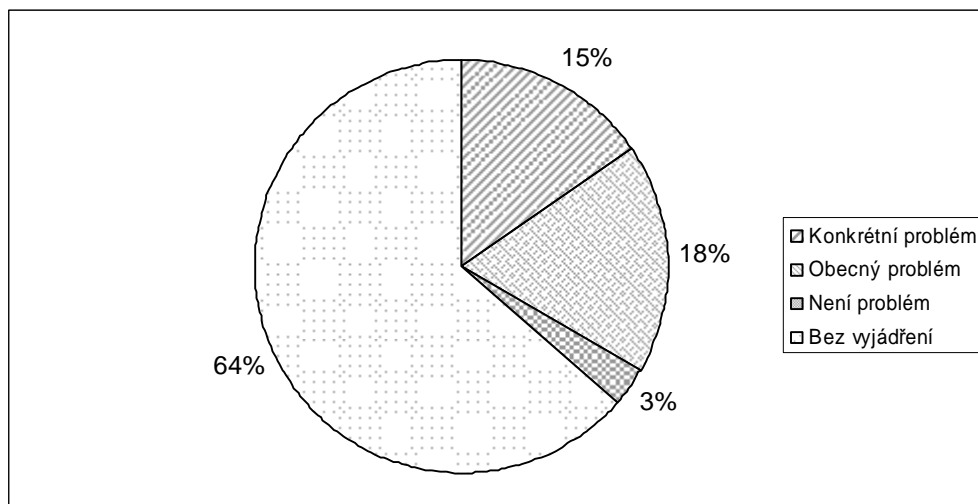
V řadě případů je obec zasahována lokálními povodněmi v důsledku úprav vodních toků v krajině realizovaných mimo katastr obce. S tímto jevem v českých podmínkách souvisí zejména všeobecně tolerované „posílání povodně“ po proudu, kdy preferované a hromadně prováděné prohlubování vodních

⁷ I toku, který je "přírodě blízký" musí být věnována odpovídající péče, musí se odstraňovat nátrže břehů a vyklízet koryto, musí se opravit břehy a jejich vegetace. Pokud tomu tak není, pak příčinou škod není "přírodní" stav toku, ale spíše nedostatek péče.

toků a ohrázování sídel na horních tocích (viz dále) bez doprovodných kompenzačních opatření povodně neřeší, ale pouze přesouvá do níže položených obcí. Jedná se tedy o nekomplexně řešenou ochranu před povodněmi v rámci povodí.

Tento faktor je pro průběh lokálních povodní méně zjevný než např. splachy hlíny z polí a pro starosty orientované prioritně na samotný katastr obce je obtížnější jej zohlednit. Kromě toho prokázat negativní povodňový efekt v důsledku protipovodňových opatření realizovaných na vyšších úsecích toků je obtížné a koordinaci opatření formálně zajišťují podniky Povodí. Přesto více než 30% z celkového počtu představitelů obcí se domnívá, že posílání povodně po proudu je obecným problémem ochrany před povodněmi v ČR, nebo má konkrétní zkušenosti s jeho negativními dopady.

Obrázek 1: Postoje starostů vůči posílání povodně po proudu



Zdroj: vlastní

Konkrétním případem negativních dopadů zásahů na vyšších úsecích toku na povodňovou situaci obce po proudu je obec Višňová v severních Čechách, která je pravidelně postihována povodněmi přicházejícími z polských hald povrchového dolu Turow – v tomto případě je situace komplikována tím, že jde o přeshraniční konflikt. Dále se jedná o protipovodňovou ochranu města Olomouce, jejíž jednotlivé projektované fáze jsou realizovány v takovém pořadí, že se obce po proudu Moravy obávají zrychleného povodňového průtoku. Obec Slatinice má problémy s přesměrováním odtoku vody, které provedla sousední obec na svém území, aby tak sama odlehčila svým vodním tokům.

V obecné rovině starostové uvádějí, že posílání povodně po proudu je problém, kterému se nevěnuje dostatečná pozornost – tzn., že není systematicky řešen, ale oni ze své pozice nejsou schopni ho vyřešit. Koordinovat opatření tak, aby nedocházelo k vedlejším negativním efektům po proudu, je podle nich úkolem krajů, méně pak podniků Povodí.

5 Důsledky lokálních bleskových povodní – povodňové škody

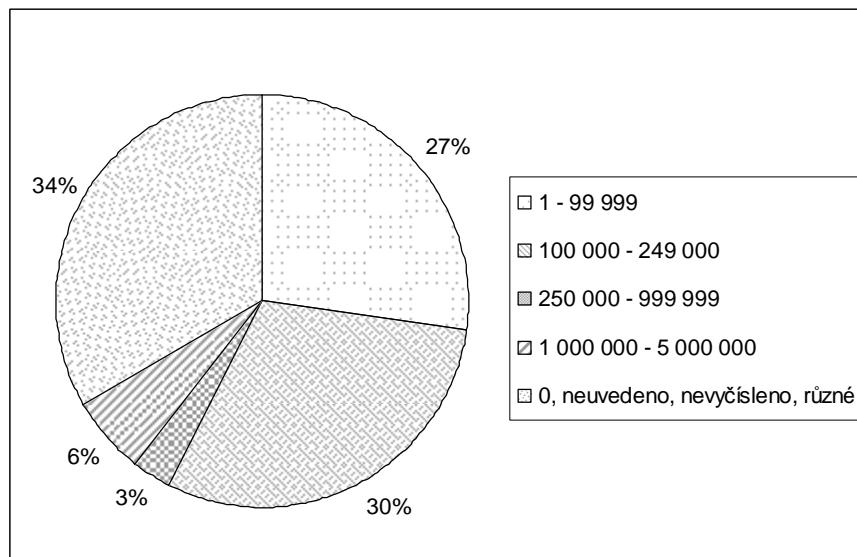
Na základě pořázených rozhovorů lze s uspokojením konstatovat, že ve většině obcí nepůsobí lokální bleskové povodně ztráty na lidských životech. Toto tvrzení se nevztahuje na několik historických případů, jako je např. protržená přehrada na Bílé Desné v Jizerských horách v roce 1916 (59 obětí)⁸ nebo na ucpaný propustek mostu v Lukách nad Jihlavou v roce 1988 (2 oběti). Většina navštívených obcí je lokálními bleskovými povodněmi zasahována pravidelně (tj. i několikrát ročně) a varovné systémy a

⁸ Více informací viz „Přehrada Desná“ v http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99ehrada_Desn%C3%A1 (online: 17. 11. 2006)

hlásná služba fungují na vysoké úrovni – kromě celostátní monitorovací sítě ČHMÚ provádějí obce také lokální monitoring vodních toků pomocí vlastních vodočtů.

Negativním následkem lokálních bleskových povodní tak zůstávají zejména povodňové škody na soukromém a obecním majetku. V důsledku lokálního charakteru povodní jsou obce ve většině případů nuceny hradit následky povodní ze svých rozpočtů. Na odklizení a opravy nejsou poskytovány žádné dotace, jako je tomu v případě rozsáhlých povodňových katastrof. Roční náklady jednotlivých obcí na „řešení“ povodňových následků (odklizení splavenin, rekonstrukce aj.) a na protipovodňovou prevenci, která je v možnostech obce (např. kosení, údržba melioračních kanálů aj.) uvádí následující graf.

Obrázek 2: Řádová výše ročních povodňových výdajů v obcích (v Kč)



Zdroj: vlastní

Na základě těchto dat lze uzavřít, že výdaje z obecních rozpočtů vyvolané lokálními bleskovými povodněmi nedosahují ve většině obcí závratných částek, přesto však nejsou zanedbatelné. U obcí do 2 500 obyvatel se roční rozpočty obcí pohybují obvykle v rozmezí od 11 – 40 mil. Kč, z čehož jsou však více než dvě třetiny peněz vázány konkrétním využitím.

6 Řešení lokálních bleskových povodní z pohledu představitelů obcí

Navrhovaná opatření ke zmírnění následků lokálních bleskových povodní můžeme rozdělit podle jejich charakteru na technická, přírodě blízká (environmentální) a opatření k snížení hodnoty majetku v rizikových územích. V následujícím vyhodnocení uvádíme z větší části již realizovaná opatření, která provedla buď sama obec, anebo obec ve spolupráci se správcem vodních toků (podniky Povodí, ZVHS, Lesy ČR). Věnujeme se primárně prvním dvěma typům protipovodňových opatření.

6.1 Technická opatření

Technická opatření představují další zásahy do vodních toků nebo do jejich bezprostředního okolí za účelem usměrnění odtoku, zkapacitnění a vyčištění koryta apod. Zásahy do vodních toků provádějí zpravidla správci vodních toků.

Z tabulky 7 je patrné, že ve více než 81% obcí jsou prováděny tradiční technické zásahy do toků v podobě bagrování, čištění a oprav břehových nátrží či jiných zásahů do břehů vodních toků.⁹ Více než

⁹ Jedná se o již realizovaná opatření, která prosazuje obec, nebo která provádí s vědomím představitelů obce správce vodního toku. Rozhodujícím faktorem jsou u těchto opatření finanční prostředky, jimiž disponují spíše správci

42% obcí také přikládá velkou důležitost údržbě či obnově melioračních (odvodňovacích) kanálů, které odvádějí přebytečnou dešťovou vodu z okrajů polí, silnic, lesních ploch apod. buď přímo do vodních toků nebo do obecní kanalizace. Jedná se tedy o opatření za účelem usměrnění existujících odtoků v katastru obce, nikoliv ke zmírnění odtoků z jednotlivých ploch. Je rovněž diskutabilní, zda lze za technické protipovodňové řešení považovat zatrubnění toku, které je často příčinou vzniku povodňových škod.

Tabulka 4: Technická řešení lokálních bleskových povodní

Technická řešení	Četnost odpovědi
Bagrování, čištění toků, opravy břehů	27
Obnova melioračních kanálů	14
Hrázky, valy kolem vodních toků aj.	11
Narovnávání toků	7
Zkapacitnění mostků a propustků	6
Vkládání splávků (stupňů) do toků	5
Zatrubnění toku	5
Zkapacitnění kanalizace	4

Zdroj: vlastní

K údržbě a obnově melioračních kanálů je nutné podotknout, že řada starostů zásadně odmítá odpovědnost obce za soustředěný odtok vody z jednotlivých soukromých pozemků (převážně rozlehlých polí) nebo z majetku ve správě státních institucí (silnice spravované Ředitelstvím silnic a dálnic, pozemky Pozemkového fondu ČR aj.). Jelikož však tyto subjekty v souvislosti s negativními dopady dešťového odtoku na okolní majetek nevyvíjejí žádnou aktivitu a obec nemá dostatečné nástroje, jak je k realizaci příslušných opatření přinutit, provádí faktické úpravy a údržbu na vlastní náklady.

6.2 Přírodě blízká opatření

Přírodě blízká (environmentální) opatření jsou realizována v ploše povodí. Jejich hlavním účelem je snížit povrchový odtok vody z území a zadržet více dešťové vody v místě dopadu. Obecně se má za to, že jsou-li tato opatření systematicky realizována v horních částech povodí, mohou přispět k ochraně níže položených sídel. Z uvedeného výzkumu však vyplývá, že realizace přírodě blízkých opatření může přispět i k ochraně obcí před lokálními bleskovými povodněmi v místě jejich vzniku (např. ochrana majetku před splachy zeminy, odlehčení lokálním vodním tokům aj.)

Tabulka 5: Přírodě blízká řešení lokálních bleskových povodní

Přírodě blízká řešení	Četnost odpovědi
Poldry včetně rozlivů na louky (projektované a uskutečněné)	11
Revitalizace	6
Uspěšná dohoda se zemědělci (osevní postupy)	5
Zatrávnění, zalesnění	2
Realizace terénních vln na polích pro změnu odtoku	2

Zdroj: vlastní

Z tabulky 8 vyplývá, že preferovanou formou ochrany jsou v tomto případě poldry nebo jiná území vyčleněná pro volné rozlivy povodní (33% obcí). Dále jsou ve spolupráci s ostatními obcemi (obvykle

vodních toků (i když kofinancování z rozpočtu obce není výjimkou). Celkově je obtížné z rozhovorů určit, kdo je iniciátorem jednotlivých akcí – zda obec či správce vodního toku. Obecně lze uzavřít, že technická opatření na vodních tocích se ve většině případů nedějí proti vůli starostů.

v rámci mikroregionů) realizovány revitalizace (18% obcí). V několika ojedinělých případech se představitelé obce odhodlali provést či přímo iniciovali zásah do území v podobě zatravnění nejproblematičtějšího pásu pole za účelem vyřešení opakovaných splachů bahna na silnici nebo vytvoření terénních vln na polích za účelem přeměrování odtoků.

Z celkového porovnání výskytů technických a environmentálních opatření vyplývá, že technická opatření na tocích jsou třikrát až čtyřikrát frekventovanější než jakákoliv opatření environmentálního charakteru v krajině. Jakkoliv jsou tedy jako příčiny či podpůrné faktory lokálních bleskových povodní vnímány jak stav krajiny, tak stav vodních toků – přičemž nedostatky v krajině ve výčtu příčin převažují – náprava se zjednává převážně pomocí zásahů do vodních toků a v jejich bezprostředním okolí. Otázkou zůstává, zda jsou tato opatření dostatečná k vyřešení existujících problémů.

7 Role státu v ochraně před povodněmi z pohledu starostů samosprávných obcí

V řadě obcí jsou starostové schopni realizovat s velmi omezenými finančními zdroji řadu opatření, které povodňové události alespoň částečně zmírňují nebo které zajišťují přizpůsobení obyvatel lokálním povodňovým situacím. Přesto existuje řada oblastí, kde řešení přesahuje finanční či kompetenční možnosti samosprávné obce a kde by se mělo zlepšit fungování ústředních orgánů státní správy. Shromážděné připomínky se dají shrnout do těchto základních požadavků:

- **prosazování práva:** stát musí zajistit revizi a koordinaci zákonů a jejich prosazování (na základě implementace evropských směrnic) tak, aby se zlepšil stav české krajiny,¹⁰
- **peníze na správu:** stát musí vyčlenit více peněz na správu vodních toků, stanovit její priority a provádět její koordinaci (dosavadní systém je nevhodně financovaný, chaotický, opatření jsou prováděna nesystémově a často jsou zbytečně drahá),
- **koordinace protipovodňových opatření:** státní organizace musí zajistit, aby ochrana před povodněmi byla reálně koordinována v rámci celého povodí a byl tak odstraněn problém posílání povodně po proudu, případně aby bylo na negativní průvodní jevy některých opatření alespoň otevřeně poukazováno,

Roli státu v oblasti ochrany před povodněmi chápou představitelé obcí zejména jako koordinační a informační. Některá opatření financovaná státními organizacemi – správci vodních toků – označují za neefektivní, jiná však vehementně prosazují. Celkově se však přiklánějí k posílení finančního zabezpečení na lokální úrovni, jelikož ochrana před povodněmi je decentralizovaný systém, realizovaný pomocí rozhodnutí na lokální úrovni a jako taková by měla být i financována.

8 Závěr

Cílem předloženého článku bylo shrnout poznatky o fenoménu lokálních bleskových povodní na území ČR, které byly získány na základě hydrologických dat ZVHS a vyhodnocením řízených rozhovorů s představiteli 33 povodněmi pravidelně postihovaných obcí. Uvedené poznatky primárně odrážejí postoje respondentů, z větší části však korespondují s výstupy výzkumných studií, které se vztahem vody a krajiny zabývají v kontextu celé ČR.

¹⁰ S tímto souvisí i prosazení požadavku Rámcové směrnice o vodě, aby na hydrologickém povodí byl jeden jediný správce plně odpovědný za jeho stav – a to včetně environmentálních aspektů (dosud tomu tak není a do jednotlivých opatření zasahuje mnoho subjektů). Tento orgán má být také v budoucnu odpovědný za hospodaření, tj. aby z výnosů za využívání vodních zdrojů a užívání vodního bohatství byly hrazeny všechny náklady potřebné na zajištění udržitelného stavu v povodí, a to včetně protipovodňových opatření.

Jako hlavní příčiny lokálních bleskových povodní a jimi působených ekonomických škod byla označena zejména řada lidských zásahů do krajiny, u kterých lze v mnoha případech na lokální úrovni vysledovat jasnou příčinnou souvislost (např. mezi způsobem obhospodařování zemědělských pozemků a odtokem dešťové vody).

Důsledkem lokálních bleskových povodní jsou zejména škody na veřejném a soukromém majetku. Jelikož systém ochrany před povodněmi v ČR je decentralizován a lokální bleskové povodně unikají pozornosti médií, jsou zdrojem těchto finančních prostředků téměř výhradně omezené rozpočty obcí.

V důsledku těchto skutečností by obce měli mít velkou motivaci problém škod působených lokálními bleskovými povodněmi na svém území řešit či alespoň vyžadovat účinná řešení od orgánů státní správy, v jejichž kompetenci je dohled nad konkrétním veřejným majetkem. Analýza skutečně realizovaných „řešení“ (technických a environmentálních opatření a opatření k snížení hodnoty majetku v záplavových územích) potvrzuje, že parciální opatření jsou kvůli snadné realizaci preferována před komplexním řešením problému povodňové ochrany a že technická opatření jsou preferována před realizací environmentálních opatření. To ostatně platí i u katastrofálních povodní. Mezi technickými a environmentálními opatřeními existuje problém místní souslednosti – tzn. zatímco technická opatření se budují poblíž obce, environmentální opatření – pokud mají být účinná – jsou vzdálena někdy i desítky kilometrů a tak unikají pozornosti starostů. Významnou roli při (ne)dosahování vyváženosti a komplexnosti protipovodňové ochrany hrají i toky veřejných peněžních prostředků (kterými disponují zejména správci větších vodních toků), majetkové vztahy a vzájemná komunikace mezi představiteli obce a místními správci vodních toků a v neposlední řadě také pochybně prováděná koordinace aktivit v ploše povodí.

Ačkoliv je ochrana před povodněmi fakticky záležitostí samosprávných obcí, stát do této oblasti zasahuje finančně, majetkově a i tvorbou zákonů, nařízení, metodik a jiných „pravidel hry“. Tímto způsobem však paradoxně nedochází k řešení místně specifických problémů, naopak jsou upřednostňovány nejpálčivější a spíše rozsáhlé problémy regionálního či celostátního významu. Aktivita obcí, které v řadě ohledů disponují nejlepšími znalostmi lokálních meteorologických, hydrologických a společenských vlivů, je odsouvána na druhou kolej..

Provedený socioekonomický výzkum je nutné chápat jako pilotní v této oblasti. Na druhou stranu však byly předmětem zkoumání faktory, které mají rozhodující vliv na úspěšné eliminování rizika povodňových škod za přijatelných nákladů – tj. na základě aktivace lokálních aktérů, využití místních znalostí odtokových poměrů a při nutném zohlednění velmi omezených zdrojů na lokální úrovni. Získané poznatky by měly být impulsem k rozsáhlejšími výzkumnými aktivitám, neboť se jedná o problematiku, která je významná z hlediska péče o krajinu a může mít významné dopady na snížení nákladů protipovodňových opatření.

Poděkování

Výzkum byl podpořen projektem GA ČR č. 402/05/0468.

Nekrácená verze článku je k dispozici v nové publikaci Čamrová, Jílková (2006): Povodně v území – institucionální a ekonomické souvislosti. Eurolex Bohemia, Praha. ISBN: 80-7379-000-9.

9 Literatura

- BATES, H. R., GREIF, A., LEVI, M. a kol. (2000): The Analytical Narrative Project. The American Political Science Review, Vol. 94, No. 3 (Sep., 2000), str. 696-702.
- Čamrová, L., Jílková, J. (2006): Povodně v území – institucionální a ekonomické souvislosti. Eurolex Bohemia, Praha.
- ČAMROVÁ, L., JÍLKOVÁ, J. (2004): Principy protipovodňové ochrany v USA (BUY-OUT programy jako ekonomicky efektivní řešení povodňových škod). Vodní hospodářství, roč. 54, č. 10, s. 313–314.
- JUST, T. a kol.: (2005): Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. 3. ZO ČSOP Hořovicko, Ekologické služby, s. r. o., AOPK ČR a MŽP ČR, Praha.
- SINGLETON, R. A., jr., STRAITS, B. C. (2005): Approaches to Social Research. 4. vydání, Oxford University Press.
- STRAUSS, A., CORBINOVÁ, J. (1999): Základy kvalitativního výzkumu. Nakladatelství Albert Boskovice.
- VRV (2006): Vodní toky 2006. Sborník z konference, 21. – 22. listopadu 2006, Hradec Králové.

HYDROLOGICKÁ FUNKCE RAŠELINIŠŤ

Bohumír Janský, Jan Kocum

Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta UK v Praze,
Praha 2, Albertov 6, jansky@natur.cuni.cz, kocum1@natur.cuni.cz

Abstrakt

Specifickou součástí širokého komplexu protipovodňových opatření a jedním z možných směrů ochrany proti povodním mohou být postupy realizované v pramenných oblastech toků. Pro zvýšení retenčního potenciálu zdrojových částí povodí je třeba podrobně analyzovat hydrologickou funkci horských vrchovišť spočívající v detailním porovnání odtokových režimů v povodích s rozdílným stupněm zrašelinění. Velmi dobré podmínky pro realizaci tohoto výzkumu nabízí povodí obou pramenných toků Otavy – Vydry a Křemelné. Kromě dat ze státních profilů jsou na tomto území k dispozici i roční časové řady z automatických ultrazvukových hladinoměrů a srážkoměrů, které jsou vybaveny telemetrickým přenosem dat. Autoři článku mohou rovněž využít výsledky detailního výzkumu vrchovištních jezer provedeného v posledních třech letech. Podrobné analýze jsou podrobeny i zdejší sněhové poměry jakožto důležitý fenomén tvorby odtoku v horních částech povodí. První výstupy vytvořené detailním rozbořením vzestupných a poklesových fází odtoku ukazují na vyšší variabilitu toků odvodňujících rašeliništní lokality. V přímé návaznosti na dílčí závěry budou posuzována rozmanitá opatření pro zvýšení retenční kapacity v pramenných oblastech toků.

Keywords: hydrologická funkce rašelinišť, povodí Vydry a Křemelné, retenční potenciál, protipovodňová ochrana, pramenné oblasti toků, hladinoměry, srážkoměry, kulminační průtoky, období sucha.

1 Úvod

V souvislosti s výskytem katastrofálních povodní v povodí Odry a Moravy v roce 1997 a v povodí Labe v letech 2002 a 2006 se objevuje naléhavá potřeba řešení širokého komplexu otázek protipovodňové ochrany, a to nejen klasickými inženýrskými metodami (stavba přehradních nádrží, úpravy koryt toků, výstavba ochranných hrází), ale i netradičními postupy. V popředí zájmu společnosti se objevuje nová strategie ochrany před povodněmi zaměřená na postupné zvyšování retenční kapacity povodí.

Protipovodňová opatření mají svá specifika v pramenných oblastech, na středních a dolních tocích. Cílem naší práce je realizace tzv. integrované protipovodňové ochrany, která se může uplatnit především v horních a středních částech povodí, kde lze realizovat četné postupy související se zpomalováním odtoku a zvyšováním retence vody v území. O povodí je ovšem třeba uvažovat vždy jako o celku a nepreferovat lokální ani regionální zájmy. Všechna opatření, a to jak ve zdrojových oblastech toků, tak v říční nivě na středních a dolních tocích řek, by měla být navzájem propojená (viz Buček et al., 1998, Knapp, 2000). Při realizaci veškerých sanačních opatření je ovšem třeba brát v úvahu, že plná protipovodňová ochrana není možná, a to zejména při mimořádných situacích. Měli bychom tedy vypracovat nikoliv plnou, ale stupňovitou protipovodňovou ochranu, která může výrazně přispět k částečnému snížení povodňových škod.

Pro zvýšení retence vody v horních částech povodí toků je kromě jiného potřeba detailně analyzovat hydrologickou funkci horských vrchovišť. Vliv rašeliništních lokalit na odtokový proces a další hydrografické a klimatické charakteristiky je posuzován detailním porovnáním odtokových režimů v povodích s velmi rozdílným poměrem zrašeliněných a rašeliništních půd. K posouzení vlivu rašelinišť na režim odtoků byla zvolena horská povodí v pramenných oblastech dvou hlavních zdrojnic Otavy - Vydry

a Křemelné, povodí přítoků Ohře v Krušných horách – Chomutovky a Prunéřovského potoka, v povodí Flohy odvodňující vrcholovou oblast centrálních Krušných hor směrem na německou stranu. O míře zapojení rašelinišť do odtokového procesu lze uvažovat i s přihlédnutím k ovlivnění jakosti vody, resp. iontovému složení vod v periodách nízkých či vysokých průtoků (Novák, 1955, 1959, Onderíková, Štěrbová, 1956, Oulehle, Janský, 2003).

Prakticky se jedná o tři faktory, kterým by měla být věnována pozornost v souvislosti se snahami o zvyšování retenční kapacity pramenné oblasti. Kromě zvážení procesu obnovy či naopak hrazení koryt původních odvodňovacích rýh a zlepšení zdravotního stavu porostů mající pozitivní vliv na schopnost retence v území bychom se měli zabývat i zhodnocením možnosti obnovy někdejších akumulacních nádrží (tzv. klauzů), které by mohli plnit např. funkci suchých poldrů při povodňových stavech či nadlepšováním průtoků v obdobích sucha (Janský, 2006). Těmito nenásilnými opatřeními by se mohlo přispět ke snižování kulminačních průtoků a k maximálnímu zkrácení období extrémních průtoků.

Otázka hydrologické funkce rašelinišť není přes řadu tuzemských i zahraničních projektů a mnohé spory vedené v odborných kruzích doposud uspokojivě vyřešena. Tzv. „houbová teorie“, která byla v domácí i světové literatuře uznávána přibližně do 60. let 20. století, předpokládala, že rašeliniště zadržují vodu při vysokých srážkách (povodňových průtocích) a naopak v období sucha průtoky nadlepšují a podílejí se tak na vyrovnávání odtoku. Od 70. let 20. století se objevují práce, které retenční funkci rašelinišť zpochybňují a za jedinou možnost zvýšení jejich retenční kapacity doporučují snížení hladiny podzemní vody pomocí odvodnění. Tyto meliorační zásahy byly poté provedeny v řadě horských oblastí na území České republiky.

Výsledky prací zabývajících se touto problematikou prokázaly, že toky odvodňující rašeliniště mají značnou rozkolísanost průtoků a význam rašelinišť z hlediska vyrovnávání odtokového režimu byl v minulosti přeceňován. Byl např. zjištěn poměrně malý vliv zimních sněhových srážek při nadlepšováním průtoků v letní polovině roku a naopak výrazné uplatnění letních přívalemých dešťů. Při naplnění horských vrchovišť na plnou vodní kapacitu byl přitom registrován rychlý vzestup odtoků. Rovněž při déletrvajícím období sucha se rašeliniště neprojevují hydrologicky pozitivně, to znamená nenapájají vodní toky. Naopak tyto práce konstatují zlepšení hydrologického režimu toků po provedeném odvodnění a zkulturnění rašelinišť.

Jako jednoznačně negativní je hodnocen vliv rašelinišť na kvalitu vody v tocích, přičemž intenzita ovlivnění souvisí s jejich rozlohou a kubaturou v povodí. Ještě větším problémem je ovlivnění kvality vody v nádržích, při jejichž napouštění došlo k zatopení rašelinišť a slatin. Nejvýrazněji se tento problém dotýká vodárenských nádrží, jak se to i v současné době ukazuje u nádrže Fláje.

2 Materiál a metody

Za účelem zvýšení retenčního potenciálu pramenných oblastí zdrojnic Otavy včetně jejich přítoků je potřeba kvalifikovaně posoudit význam některých opatření, která v současné době provádí vedení Národního parku Šumava (dále jen NP Šumava) v souvislosti s hrazením původních melioračních kanálů. Vliv rašeliništních lokalit na odtokový proces je posuzován detailním porovnáním odtokových režimů Vydry a Křemelné (27%, resp. 5% zastoupení zrašeliněných a rašeliništních půd v povodí).

Před více než třiceti lety byly v rámci studie HMÚ v Praze (Ferda, Hladný, Bubeníčková, Pešek, 1971) předloženy první výsledky týkající se hydrologické funkce rašelinišť. V této studii se doporučuje odvodnění a zkulturnění rašelinišť vzhledem k tomu, že dojde ke zlepšení jejich hydrologické funkce. V souladu se závěry z domácí i světové literatury se konstatuje, že takto mohou být výrazně sníženy maximální odtoky vody v důsledku poklesu hladiny podzemní vody a tudíž zvětšení mocnosti povrchové retenční vrstvy rašeliniště. Poukazuje se přitom i na další pozitivní vlivy, jako je zvýšení přírůstků lesních

porostů na odvodněných plochách (Vidal, Schuch, 1963, Huikari, 1963, Robertson, Nichol森, Hughes, 1963). Tato studie je doposud poslední prací zabývající se odtokovým režimem a chemismem vod v povodí horní Otavy se zaměřením na výskyt rašelinišť.

V roce 2003 bylo v povodí horní Otavy započato s detailním výzkumem organogenních jezer (šumavských slatí). Bylo provedeno geodetické mapování jejich půdorysu, zhotoveny batymetrické mapy sledovaných jezer (doposud asi 35 lokalit), dále byly sledovány základní charakteristiky fyzikálních vlastností a chemického složení jejich vod.

V roce 2006 byl zahájen důkladný monitoring hydrologického režimu Vydry, Křemelné a jejich přítoků včetně posouzení rozmanitých opatření pro zvýšení retenčního potenciálu jejich pramenných oblastí. Výrazně lepší podmínky pro posouzení hydrologického významu rašeliništních lokalit v současné době souvisí s lepší přístupností území, prodloužením časových řad pozorování, ale i s využitím moderních metod a přístrojů.

Výsledky našeho výzkumu by měly být využity při realizaci konkrétních efektivních opatření protipovodňové ochrany, a to ve spolupráci se státním podnikem Povodí Vltavy, organizacemi místní správy, státním podnikem Lesy ČR, popřípadě managementem Národního parku či Chráněné krajinné oblasti Šumava.

Ve vybraných profilech bylo za účelem zahájení hydrologických pozorování nainstalováno 6 vodočetných latí (Roklanský potok, Modravský potok, Filipohuťský potok, Vchynicko-tetovský plavební kanál – Rechle, Křemelná nad ústím Prášílského potoka, Prášílský potok nad ústím do Křemelné, obr. 1). Od letních měsíců roku 2006 bylo navíc instalováno postupně 7 automatických ultrazvukových hladinoměrů s datalogery pro kontinuální sledování hladin toků (4 v povodí Vydry, 3 v povodí Křemelné; obr. 1, 2 a 3). Kromě toho jsou v zájmovém povodí využity čtyři limnigrafické stanice, které jsou součástí základní sítě vodoměrných stanic Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ) (Otava-Rejštejn, Křemelná-Stodůlky, Vydra-Modrava, Hamerský potok- ústí) a dva profily spravované skupinou ČEZ (Vchynicko-tetovský plavební kanál-Rechle a Mechov).

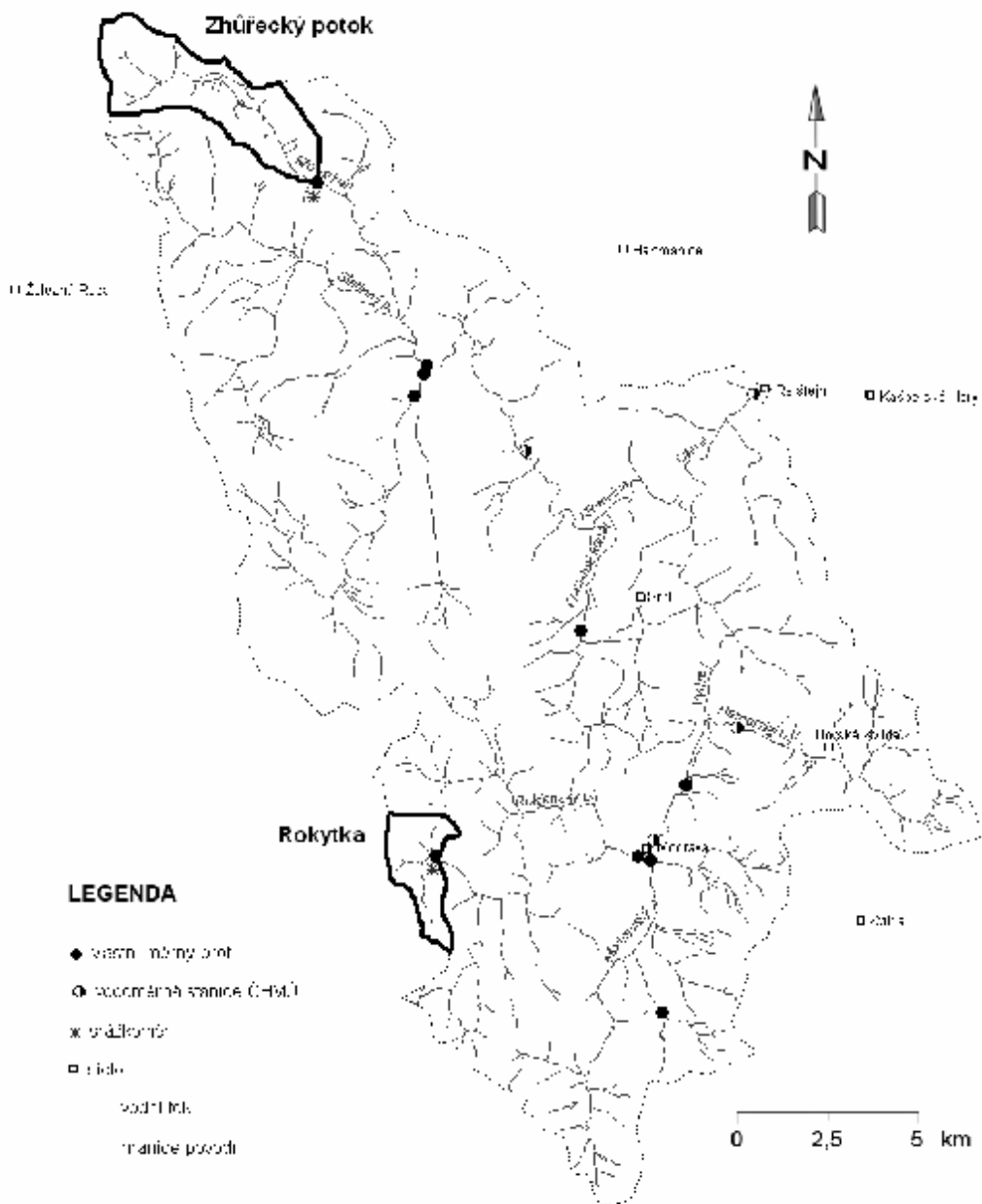
Ke kontinuálnímu monitoringu výšky hladin toků jsou používány automatické hladinoměry od firmy Fiedler-Mágr M4016 s GSM modulem pro přenos dat sítí GPRS. Přístroje provádí kontinuální měření v intervalu 10 minut s přesností na 1 mm. Přenos dat pomocí GSM modulu v intervalu 1 den nebo i kratším v závislosti na průběhu nastalé hydrologické situace umožňuje její operativní řešení a rovněž pravidelnou kontrolu funkčnosti celých měřících sestav.

V únoru roku 2007 byla v reprezentativních povodích provedena analýza sněhových poměrů jakožto velmi významného prvku srážko-odtokového procesu v pramenných oblastech českých toků. Monitoring výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu je prováděn bodovými měřeními s určitým prostorovým rozložením s přihlédnutím k nadmořské výšce, expozici, sklonu svahu a hustotě a druhové skladbě vegetačního krytu. Získaná data jsou poté digitalizována a v prostředí GIS (MapInfo, Surfer) vhodnými metodami (Kriging) interpolována tak, aby bylo možné posoudit plošné rozložení sněhových zásob. Informace o dynamice ukládání se získávají na podkladě více měření během zimní sezóny. Měření výšky a vodní hodnoty sněhu je zajištěno sněhovým hustoměrem SM 150-50 a přesná poloha a nadmořská výška měrných bodů je stanovována pomocí GPS60, GPS60CS a GPS Leica.

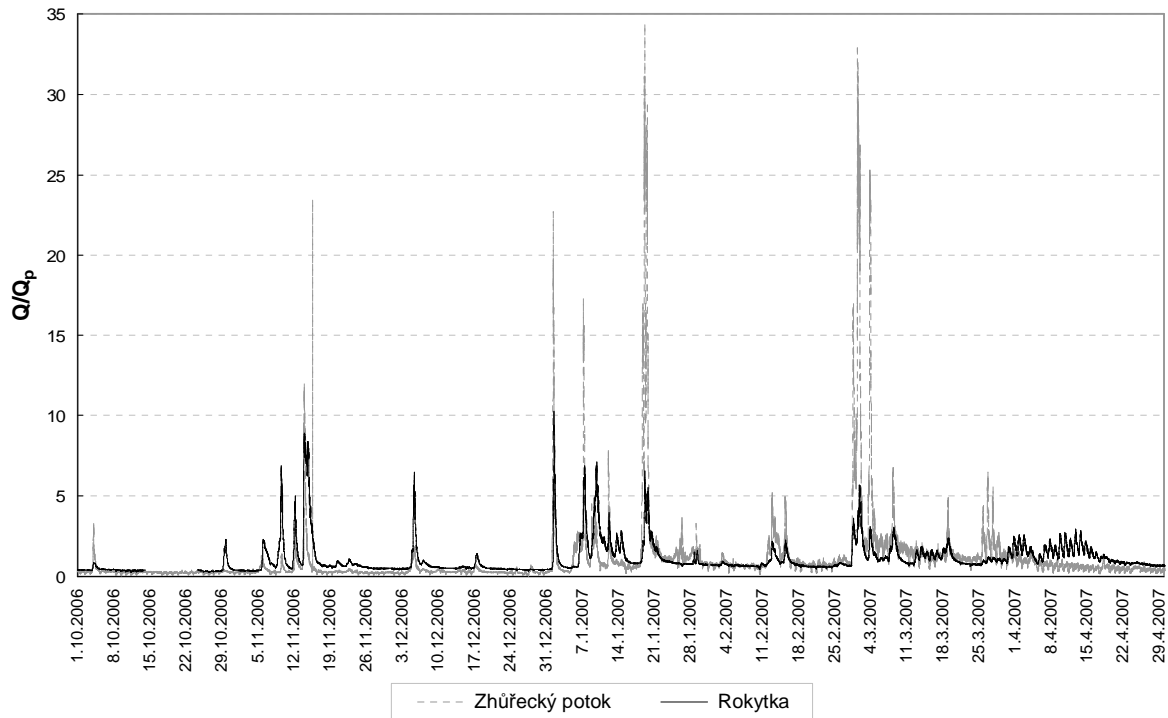
3 Dosavadní výsledky výzkumu

V daných profilech s instalovanými hladinoměry jsou pravidelně prováděna měření průtoků hydrometrickou vrtulí za účelem vykreslení konzumpčních křivek. V šesti profilech osazených vodočetnými latěmi byl do nedávné doby pravidelně v jednodenním intervalu (během jarního tání dvakrát denně) odečítán vodní stav místními pozorovateli. Vodočty byly postupně nahrazeny výše zmíněnými

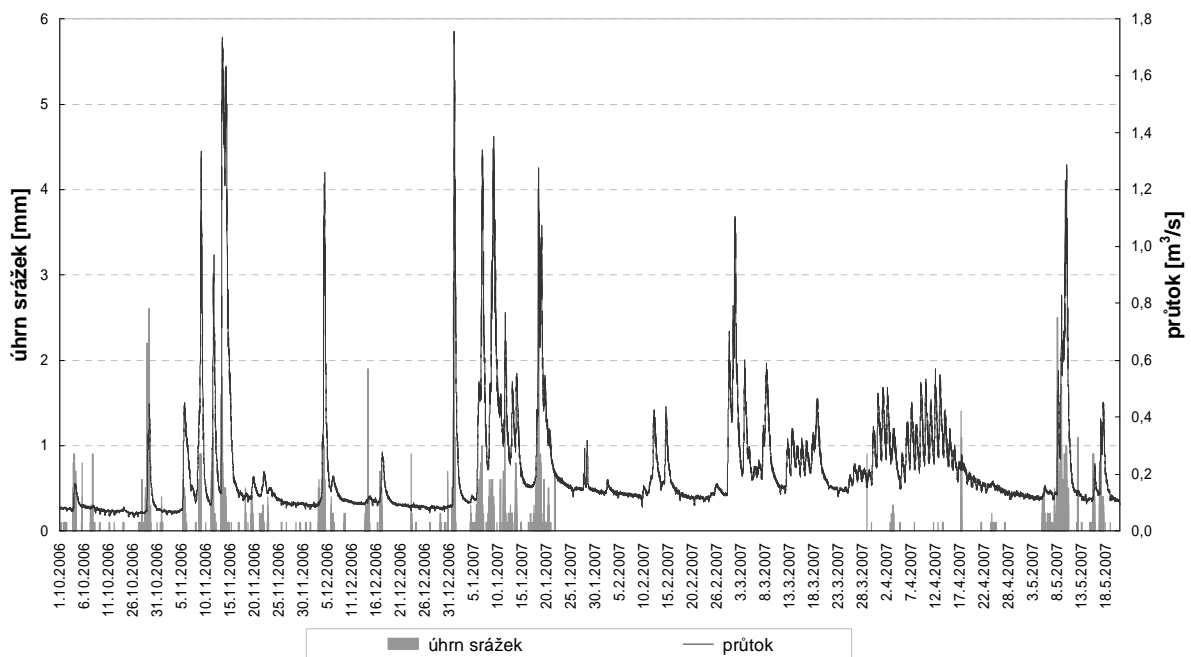
hladinoměry, které měří výšku vodní hladiny pomocí ultrazvuku v intervalu 10 minut. Kromě toho byly postupně v horní části povodí Vydry (Rokytky; měří od 18.9. 2006 s výjimkou dvou měsíců v zimním období) a Křemelné (Zhůrecký potok; měří od 29.3. 2007) nainstalovány dva člunkové srážkoměry měřící ve stejném intervalu úhrn srážek (obr. 1 a 3). Z technických důvodů není ve zmíněných profilech možné měřit úhrn sněhových srážek během zimního období.



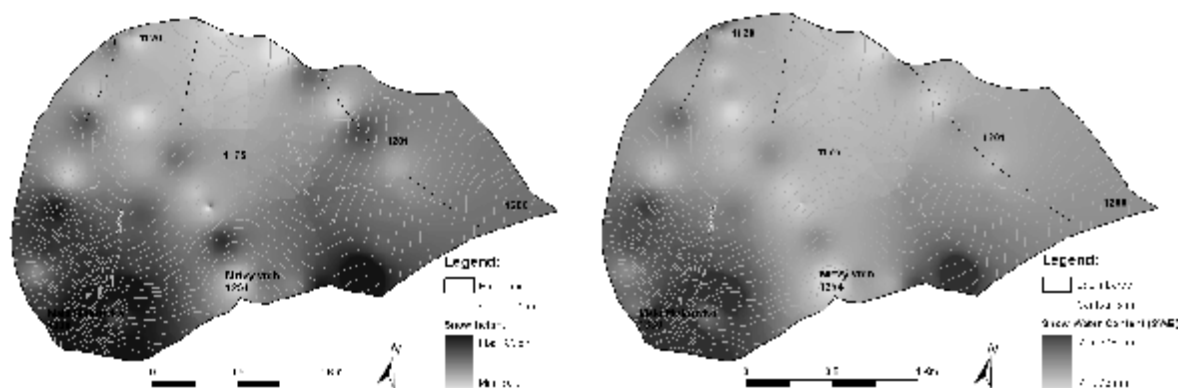
Obrázek 1. Lokalizace vlastních měřných profilů (automatické ultrazvukové hladinoměry, vodočetné latě), vlastních srážkoměrů a vodoměrných stanic spravovaných ČHMÚ v povodí horní Otavy.



Obrázek 2. Porovnání variability odtoku ze dvou povodí s rozdílným zastoupením zrašeliněných a rašeliništních půd (Rokyta, Zhůřecký potok) v období 1.10.2006-30.4.2007.



Obrázek 3. Ukázka dlího výstupu z automatického ultrazvukového hladinoměru a člunkového srážkoměru – reakce odtoku na příčinnou srážku v profilu Rokyta (levostranný přítok Roklanského potoka, povodí Vydry) v období 1.10.2006-20.5.2007 (v období 21.1.2007-28.3.2007 byl srážkoměr mimo provoz).



Obrázek 4. Rozložení výšky sněhové pokrývky (vlevo) a vodní hodnoty sněhu v povodí Ptačího potoka (pravostranný přítok Modravského potoka, povodí Vydry) (zhotovil M. Jeníček).

V důsledku dosavadní krátké doby sledování fluktuace vodního stavu toků pomocí automatických hladinměřů máme k dispozici jen dílčí výsledky. Ukázka jednoho z výstupů z ultrazvukového hladinoměru a člunkového srážkoměru je prezentována v grafu na obr. 3. Jedná se o kolísání průtoku Rokytky (levostranný přítok Roklanského potoka, povodí Vydry) v závislosti na úhrnu srážek v období 1.10. 2006 - 20.5. 2007. Velmi zřetelně se zde jeví významné navýšení průtoků během jarního období v důsledku procesu tání sněhové pokrývky v povodí. Markantní kolísání odtoku (mezi 0,2 a 0,5 m³/s) bylo přitom zaznamenáno i v rámci dne. Za účelem posouzení vlivu rašeliništních lokalit na variabilitu odtokového režimu byla v zájmovém povodí horní Otavy vytipována dvě dílčí povodí s rozdílným zastoupením zrašeliněných a rašeliništních půd. V horní části povodí Rokytky uzavřené profilem s instalovaným hladinoměrem se nachází rozsáhlý komplex tzv. Rokyteckých slatí, v pramenné oblasti Křemelné, v povodí Zhůreckého potoka je výskyt rašelinných ložisek mnohem sporadičtější (obr. 1). Z grafu na obr. 2 je zřetelně patrná poněkud vyšší míra rozkolísanosti odtoku v případě profilu na Rokytce. Variabilita odtoku je přitom kromě absolutní hodnoty kulminace definována především četností výskytu kulminačních průtoků. Rozdílná vodnost toků ve sledovaných profilech je v grafu zohledněna použitím poměru Q/Q_p , přičemž Q je okamžitý desetiminutový průtok a Q_p je aritmetický průměr z řady desetiminutových průtoků za celé sledované období. Podrobným rozбором vzestupných a poklesových fází odtoku, konkrétně analýzou reakce odtoku na příčinnou srážku (doba mezi výskytem max. desetiminutového úhrnu srážek a odpovídajícím kulminačním průtokem) během několika srážkových situací v rámci sledovaného období, bylo zjištěno významnější zpoždění kulminace odtoku v profilu Zhůreckého potoka (cca 4:40 hod.) oproti profilu Rokytky (cca 3:20 hod.), tedy vyšší schopnost retence vody v povodí s výrazně nižším zastoupením rašelinišť. Uvedená tvrzení ovšem vyžadují mnohem silnější oporu ve smyslu delší časové řady dat a detailních analýz většího počtu zejména extrémních srážkových situací.

Průběžně se chceme zabývat mnohem podrobnějšími rozbory časových řad hydrologických a klimatických charakteristik. Především pak hodláme dále analyzovat reakci odtoku z jednotlivých rašelinišť v závislosti na době trvání, intenzitě a rozložení srážek na studovaných povodích pomocí podrobného rozboru jeho vzestupných a poklesových fází. Jedním z cílů projektu je rovněž posouzení vlivu revitalizačních opatření vybraných rašeliništních lokalit na změnu režimu odtoku. Velmi detailně hodláme zkoumat jednotlivé složky srážko-odtokového procesu, především pak sněhové poměry v zájmovém území.

Právě sněhové poměry v povodí, jak již bylo zmíněno, jsou velmi důležitým fenoménem v pramenných oblastech našich horských toků. Jejich detailní analýza je nezbytným podkladem pro korektní posouzení tvorby odtoku v těchto územích a pro věrné zakomponování tohoto špatně kvantifikovatelného prvku do modelování hydrologických procesů. V únoru roku 2007 byly ve vytipovaných reprezentativních povodí

provedeny traťové a plošné sněhoměrné snímky. První zpracované výsledky ukazují rozložení výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu na příkladu povodí Ptačího potoka, pravostranného přítoku Modravského potoka (zdrojnice řeky Vydry; obr. 4). Změřená data ukazují na vysokou variabilitu sněhových zásob v závislosti na nadmořské výšce. Zatímco v nejnižší části povodí (cca 1100 m n. m.) dosahovala výška sněhové pokrývky hodnot kolem 30 cm, v nejvyšších částech povodí (1330 m n. m.) to bylo až 90 cm. Stanice ČHMÚ Churáňov (1118 m n. m.) měřila v období, kdy byly terénní práce uskutečněny, hodnoty kolem 30 cm sněhu. Uvedená situace byla pro zimu 2006/2007 příznačná. Spodní hranice výskytu sněhové pokrývky kolísala mezi 800 a 900 m n. m. (v těchto částech dosahovala nízkých hodnot), zhruba nad 1100 m n. m. již nedocházelo k oblevám a sníh se zde nepřetržitě akumuloval.

Analogicky a velmi detailně, i když zatím v poněkud menším regionálním rozsahu, je tato problematika studována rovněž ve vrcholové oblasti centrálních Krušných hor. Zde byl v povodí horní Chomutovky zatím nainstalován jeden automatický hladinoměr s tlakovým čidlem. Počítá se s instalací dalšího přístroje v povodí Pruněrovského potoka a jedné klimatické stanice na Hoře Sv. Šebestiána.

4 Závěr

Všechny otázky související s rozmanitými možnostmi a opatřeními pro zvýšení retenční kapacity v pramenných oblastech toků by měly být posouzeny na základě kvalifikované diskuze odborníků různého zaměření vzhledem k cílům a prioritám, které mají význam nadregionální, místní či lokální (např. Buček 1998, Knapp 2000, Kolečka, 2003). Výsledkem takové diskuze by mohlo být např. zavádění vhodných krajinných prvků, resp. postupné přetváření skladby využití ploch s rozmanitou funkcí v protipovodňové ochraně (Kovář, Sklenička a Křovák, 2002). To se ovšem netýká území přírodních a národních přírodních rezervací, která je třeba ponechat bez jakýchkoliv zásahů člověka.

Dosavadní získané výsledky z automatických hladinoměrů nainstalovaných v zájmovém povodí horní Otavy nás přesvědčily o tom, že tímto způsobem získaná data umožní velmi detailní posouzení hydrologické funkce rašeliníšť. Zejména se jedná o vzájemné porovnání těch částí povodí, kde proběhla revitalizační opatření NP Šumava, resp. ostatních územích, kde byly v 70. letech 20. stol. provedeny meliorační úpravy horských vrchovišť. Kontinuální záznamy vodních stavů a odpovídajících hodnot průtoků poskytují vynikající datovou základnu pro podrobné analýzy vzestupných a sestupných fází povodňových vln, resp. posouzení vlivu rašeliníšť na odtokový proces v suchých obdobích. Kvalifikované závěry z terénního výzkumu bude možné formulovat až po analýze dat z období minimálně jednoho hydrologického roku, nicméně dílčí výstupy z dosavadních rozborů celkem přesvědčivě ukazují na výraznější variabilitu odtoku v profilu uzavírajícím povodí s velmi významným zastoupením rašeliníšť. Negativní vliv rašeliníštních lokalit na odtokový režim v pramenných oblastech toků byl rovněž potvrzen detailním rozbohem a porovnáním reakce odtoku na příčinný úhrn srážek v obou sledovaných povodích. Delší doba reakce poukazující na významnější zadržování příčinné srážky v povodí byla pozorována v případě povodí s menším zastoupením zrašeliněných a rašeliníštních půd. Dílčích výsledků bylo dosaženo rovněž v případě analýzy sněhových poměrů v reprezentativních povodích vytipovaných v rámci zájmového území. Získaná data v podobě grafických výstupů ukazují na vysokou variabilitu sněhových zásob v závislosti na nadmořské výšce. Podrobnějšímu terénnímu výzkumu z hlediska sněhových analýz bude podrobena nadcházející zimní období 2007/2008.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu VaV MŽP ČR SM/2/57/05 „Dlouhodobé změny pořičních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“ a výzkumného záměru geografické sekce PřF UK v Praze MSM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“

5 Literatura

- BUČEK, A. et al. (1998): Analýza povodňových událostí v ekologických souvislostech. Unie pro řeku Moravu, Brno, 81 s.
- FERDA, J. (1960): Hydrologický význam horských vrchovištních rašelinišť. Sborník ČSAZV – Lesnictví, č. 10, Praha, s. 835-856.
- FERDA, J. (1963): Hydrologický význam rašelinišť. Vodní hospodářství, č. 5, Praha, s. 162-165.
- FERDA, J., HLADNÝ, J., BUBENÍČKOVÁ, L., PEŠEK, J. (1971): Odtokový režim a chemismus vod v povodí Horní Otavy se zaměřením na výskyt rašelinišť. Sborník prací HMÚ, sv. 17, HMÚ, Praha, s. 22-126.
- FIALA, L., SLÁDEČKOVÁ, A. (1961): Jakost vody v údolní přehradě Fláje v prvním roce napouštění. Vodní hospodářství, r. 11, č. 5, s. 221-225.
- HUIKARI, O. (1963): Über den Einfluss der Grabenabstände auf den Wasserhaushalt der Torfboden in Sphagnum-Mooren, Verdunstung und Abfluss des Wassers. Ref. Intern. Torfkongress, Leningrad.
- JANSKÝ, B. (2006): Water Retention in River Basins, AUC Geographica, 38, č. 2, s. 173-183.
- KNAPP, R. (2000): Protipovodňová ochrana. Zátopová území řek Moravy a Bečvy. Geoinfo, 7, č. 6, s. 28-32.
- KOL. (1996): Fluss und Landschaft - Ökologische Entwicklungskonzepte. DVWK, Merkblätter zur Wasserwirtschaft Nr. 240, Bonn, 285 s.
- KOLEJKA, J. (2003): Geoekologické aspekty zmírňování povodňových škod. Geografie – Sborník ČGS, roč. 108, č. 1, Praha, s. 1-13.
- KOVÁŘ, P., SKLENIČKA, P., KŘOVÁK, F. (2002): Vliv změn užívání krajiny na její ekologickou stabilitu a vodní režim. In.: Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVVS, Praha, s. 99-106.
- MACOUN, Z. (1997): Možnosti protipovodňové ochrany v horských oblastech. In.: Povodně a krajina 97. ICID-CIID, Brno, s. 13-19.
- MAŘAN, B., LHOTA, O. (1953): Mikroklima a povrchové odtoky na rašeliništi a v lese. Sb. ČSAZV – Lesnictví č. 1, ř. B. r. 26.
- MAŘAN, B., LHOTA, O. (1955): Příspěvek k hydrologickému významu rašelinišť. Sb. ČSAZV – Lesnictví č. 1.
- NOVÁK, M. (1955): Huminové vody ve vodách údolních nádrží. Vodní hospodářství č. 4, s. 127-128.
- NOVÁK, M. (1959): Výzkum kvality vody v údolní nádrži Lipno. Vodní hospodářství, r. 9, č. 9, s. 378-383.
- ONDERÍKOVÁ, V., ŠTĚRBOVÁ, A. (1956): Príspevok k biologii a chemizmu Oravskej nádrže. Vodní hospodářství, r. 6, č. 2, s. 46-51.
- OULEHLE, F., JANSKÝ, B. (2003): Limnologie a hydrochemismus v NPR Rejvíz. In.: Jezera České republiky (Současný stav geografického výzkumu). Monografie na PřFUK Praha, s. 93-108.
- ROBERTSON, R. A., NICHOLSEN, I. A., HUGHES, R. (1963): Studien über den Abfluss eines Moores. Ref. Intern. Torfkongress, Leningrad.
- ŘÍHA, V. (1938): Jihočeské rašeliny, jejich vztah k lesu a okolí. Sborník MAP, roč. 12, Praha.
- SCHREIBER, H. (1927): Moorkunde. Parey, Berlin.
- SITENSKÝ, F. (1886): O rašelinách českých. Archiv pro přírodovědné prozkoumání Čech. Praha.
- VIDAL, H., SCHUCH, M. (1963): Ergebnisse vergleichender Abfluss und Grundwasserbeobachtungen auf einer unberuhrten bzw. kultivierten Hochmoorfläche in den sudlichen Chiemseemooren im Abflussjahr 1962. Bayer. Landw. Jahrbuch 40, H. 6, s. 721-736.

POSTERY A DISKUSNÍ PŘÍSPĚVKY

ANTROPOGENNÍ ZMĚNY V KRAJINĚ A POVODŇOVÉ RIZIKO

Jakub Langhammer

PřF UK v Praze

Úvod

Povodně jako extrémní projev srážko-odtokového procesu jsou nedílnou součástí přírodního prostředí a krajiny, na jejímž spoluvytváření se významným způsobem podílejí. V souvislosti s mimořádnými záplavami v letech 1997 na Moravě a 2002 v Čechách se často nabízí otázka, do jaké míry byly ničivé průběh a následky těchto povodní ovlivněny antropogenními zásahy do přírodního prostředí a krajiny, zda se takové události mohou opakovat a pokud ano tak v jakém rozsahu a prostoru a především zda je možné se před nimi efektivně chránit. K těmto otázkám navíc přistupuje fakt, že klimatické změny, na jejichž počátku v současné době pravděpodobně stojíme, by se v našich zeměpisných šířkách měly podle většiny scénářů projevit právě vyšší extremitou klimatu, tj. i častějším výskytem povodňových situací.

Pro seriózní zodpovězení těchto otázek je nutno nejprve vybrat klíčové antropogenní faktory, které mají vliv na odtokový proces a kvantifikovat rozsah změn jednotlivých složek přírodní sféry jako důsledek činnosti člověka a poté se pokusit vyhodnotit míru vlivu těchto změn na projevy extrémních hydrologických událostí jakými povodně jsou.

1 Složky povodňového rizika

Povodňové riziko můžeme vyjadřovat na základě jeho hlavních faktorů, které můžeme hodnotit např. pomocí modelu tří hlavních komponent rizika (obrázek 1). Jako hlavní komponenty rizika uvažujeme vlastní *ohrožení* přírodními procesy, *expoziční* prostředí vůči ohrožení a *zranitelnost* prostředí vystaveného ohrožení (Langhammer, 2004).



Obrázek 1 Hlavní komponenty povodňového rizika

Chceme-li snížit riziko, související s daným přírodním procesem, musíme zmenšit alespoň jednu ze stran pomyslného trojúhelníka, představujícího oblast rizika. V případě povodní složku *ohrožení* představuje vlastní extrémní srážkoodtokový proces, který je stochastické povahy. Jeho cílené pozitivní ovlivnění je v lokálním a regionálním měřítku nemožné.

Druhou složkou povodňového rizika je *expoziční* prostředí vzhledem k ohrožení. Jedná se o majetek a přírodní prostředí, vystavené ohrožení, tj. vlastní povodni. Snížení této komponenty je v podmínkách demokratické společnosti a liberálního tržního prostředí velice obtížné. Hodnota majetku, vystaveného riziku totiž v průběhu času neustále stoupá, ať se jedná o obytné budovy, zahrnující nemovitý a movitý majetek, podnikatelské objekty, průmyslové provozy, infrastrukturu, ale i zemědělsky využívané plochy. Cílené změny v prostorové struktuře majetku jsou velice obtížně realizovatelné, zpravidla pouze za

pomoci nepřímých ekonomických nástrojů, jakými jsou výše pojistného či daní. Pro nárůst hodnoty vystaveného majetku je navíc nepříznivá zvyšující se intenzita využití disponibilního prostoru v krajině. To vede využívání oblastí, které jsou z hlediska expozice vůči potenciálnímu ohrožení nevhodné. Významnou roli zde bohužel nehraje ani zkušenost s přírodním rizikem, jako např. v povodí Moravy, kde po ničivých záplavách v roce 1997 vyrostla řada nových obytných domů i podnikatelských provozů v lokalitách zaplavených povodní.

Třetí komponentu modelu rizika představuje *zranitelnost*. Pod touto složkou rozumíme stav prostředí, vystaveného ohrožení, který ovlivňuje velikost rizika. Konkrétně se jedná například o antropogenní změny v krajině, které mohou ovlivnit průběh srážkoodtokového procesu (komponenta ohrožení) a dopad povodně na prostředí (komponenta expozice), tj. výši škod na majetku, infrastruktuře a krajině.

Z hlediska možnosti ochrany před přírodními riziky jsou klíčové komponenty expozice a zranitelnost, kde pozitivními zásahy můžeme ovlivnit velikost celkového rizika. Vlastní ohrožení, dané přírodním procesem, ovlivnit prakticky nelze, je však možné předpovídat jeho výskyt a přijmout opatření, které následky ohrožení eliminují nebo sníží.

2 Antropogenní změny v krajině jako faktor zranitelnosti

Z rozmanitých projevů činnosti člověka v krajině můžeme identifikovat faktory, které hrají významnou roli ve srážko-odtokovém procesu, a to zejména při extrémních událostech, jakými jsou povodně.

Jedná se zejména o:

- Změny ve využití území, struktuře a kvalitě krajinného krytu,
- Plošné odvodnění krajiny,
- Zkrácení říční sítě,
- Úpravy koryt toků,
- Charakter využití údolní nivy.

Tyto změny v krajině mají při povodni odlišný dopad na jednotlivé složky odtokového procesu a rozdílně ovlivňují formování povodně, její postup, transformaci povodňové vlny či následky povodně v krajině, na majetku a infrastruktuře. Vliv jednotlivých faktorů se liší podle extremity povodně, podle velikosti zasaženého území i podle geografické polohy v hlavních funkčních oblastech vývoje povodní - v oblasti vzniku povodňové vlny, oblasti postupu a transformace povodně či v oblasti retence a rozlivu.

2.1 Vliv změn využití území a charakteru krajinného krytu.

Změny ve funkčním využití landuse jsou spojovány především s hodnocením míry přírodního charakteru jednotlivých typů krajinného pokryvu. Vliv funkčního landuse na odtokový proces je zásadní a prudké a rozsáhlé změny v landuse mohou mít při extrémních událostech významný vliv.

Při hodnocení vlivu současného stavu využití území a jeho změn na odtokový proces je vedle vlastního funkčního landuse významná rovněž prostorová struktura krajiny a kvalita vegetačního krytu.

Ze změn ve využití krajiny, ke kterým spolu s rozvojem civilizace dochází, mají pro odtokový proces největší význam následující procesy:

- odlesnění krajiny
- intenzivní zemědělství
- urbanizace krajiny
- industrializace území.

2.1.1 Odlesnění krajiny

Fyzická přítomnost přirozených krajinných prvků - lesa a luk v povodí je považována za klíčový prvek, ovlivňující charakter srážko-odtokového procesu. Les pozitivně působí na retenci vody v povodí, transformaci povodňové vlny, resp. její rozložení do delšího časového úseku a s tím spojeným snížením kulminačního průtoku a ovlivněním časování souběhu odtokových vln z dílčích povodí (viz Maidment, 1993). Transformační funkce lesa se liší podle druhové skladby lesa, jeho stáří, vzrůstu a zdravotního stavu a charakteru lesního hospodářství, důležitou roli mají rovněž geografické charakteristiky - charakter reliéfu, hydrografické sítě, celková míra lesnatosti a prostorové rozložení příčných srážek. Největší vliv na průběh povodně má odlesnění krajiny v oblasti formování povodňové vlny, tj. zpravidla v horských oblastech a obecně v pramenných oblastech toků, kde hraje intercepce vegetace zásadní roli v srážkoodtokovém procesu.

Vedle vlastní fyzické přítomnosti nebo absence lesa je pro odtok při povodni velice významným faktorem charakter lesního hospodářství. Budování zpevněných lesních komunikací, používaných těžkou technikou přispívá zejména na svažitéch terénech k intenzivní koncentraci povrchového odtoku a při významných srážkách se tak vytváří sekundární hydrická síť, která odvádí vodu ze zalesněného území podstatně rychleji, než v méně intenzivně obhospodařovaných oblastech.

2.1.2 Intenzivní zemědělství

Intenzivní zemědělská výroba jako produkt rostoucí celkové spotřeby naší společnosti je spojena zejména s druhou polovinou 20. století, nicméně výrazné zásahy do krajiny, spojené se zemědělstvím, provázejí lidskou společnost dlouhodobě.

Dopad přeměny původních přírodních krajinných prvků - luk, pastvin a lesů na intenzivně obhospodařované plochy na odtokový proces je dobře popsán v literatuře. Z hlediska extrémních srážko-odtokových událostí se projevuje především ztrátou retenční kapacity půdy i zemědělského území jako celku. Rozdíly mezi retenční kapacitou zemědělské půdy a půdy lesní či přirozených luk jsou řádové a při povodni mají vliv na změnu schopnosti krajiny transformovat odtokovou vlnu.

Intenzivní zemědělství je navíc často doprovázeno plošným odvodněním území, které zejména v podobě otevřených drenážních systémů má dopad na urychlení odtoku z krajiny, nedostatečné využití retenční kapacity půdy a změny časování odtokových vln.

2.2 Plošné odvodnění krajiny

Systematické odvodnění krajiny zasahuje zejména oblasti s intenzivní zemědělskou produkcí, kdy drenážní systémy jsou budovány s cílem využít pro pěstování plodin maximum dostupného území a maximalizovat tak zisk z hospodaření.

Z hlediska vlivu na odtokový proces rozlišujeme dvě hlavní formy odvodnění, které působí odlišným způsobem.

Otevřené drenážní systémy (open drains) působí v krajině jednoznačně negativně, neboť koncentrují povrchový odtok a urychlují odvádění vody z krajiny, aniž využívají její retenční potenciál. Tím dochází ke zvýšení strmosti odtokové vlny, zvýšení kulminačních průtoků na dolních tocích, změnách v časování odtokové vlny a snížení transformačního účinku krajiny na povodňový odtok.

Naproti tomu *uzavřené drenážní systémy* (closed drains) působí na odtok pozitivně tím, že zvyšují infiltraci vody do půdy, snižují tím povrchový odtok a zároveň nad drény vytváří větší retenční prostor, než může vytvořit neodvodněná půda. Výsledkem je účinnější transformace povodňové vlny, snížení kulminačního průtoku a rozložení odtokové vlny v čase. Kulminace odtoku z drenážních systémů přichází zpravidla se zpožděním oproti kulminaci v recipientu, zároveň však předchází kulminaci z povrchového a

podpovrchového odtoku neodvodněných ploch. Mechanismus působení je limitován infiltrační kapacitou půdy a při jejím překročení přestává mít drenáž na odtok účinek.

Pozitivní efekt uzavřených drenáží je logicky nejvyšší při malých povodních, stejně jako i v počátečních fázích velkých povodní, kdy účinnější transformací povrchového odtoku dochází k alespoň dílčímu snížení kulminačního průtoku. Při extrémních povodních, kdy je překročena návrhová kapacita drenážního systému hrozí jeho zahlcení a destrukce, spojená s výraznou erozí a hmotnými škodami. Celkový vliv drenáží na odtok při povodni je podle současného stavu poznání výrazně nižší, než bývá obecně předpokládáno. Hladný a kol. (1998) uvádějí, že při povodních na Moravě v roce 1997 se drenážní odtok podle výsledku analýz podílel na kulminaci 2-5 %.

2.2.1 *Urbanizace a industrializace*

Urbanizace a industrializace krajiny představuje nejintenzivnější formu přeměny původních přírodních struktur, spojenou s nejdrastičtějším ovlivněním procesu povrchového odtoku. Urbanizované oblasti mají díky zpevnění povrchu prakticky nulovou retenční kapacitu, navíc díky kanalizaci vodotečí a odpadním systémům maximálně akcelerují povrchový odtok vody.

Industrializované plochy a zejména oblasti povrchové těžby nerostů potom přinášejí drastické zásahy do hydrografické sítě. V industriální krajině dochází k překládání koryt toků, jejich kanalizaci až zatrubnění, převádění vody mezi povodími, intenzivnímu čerpávání vodních zdrojů a jejich účelové akumulaci. Obnažené plochy, zbavené vegetace i původní hydrografické sítě potom zcela postrádají schopnost zadržovat vodu v krajině a v důsledku toho je při protipovodňová ochrana zcela odkázána na technickou ochranu. Při extrémních událostech, kdy dochází k překročení limitů ochranných prvků dochází k enormním škodám na majetku a infrastruktuře.

2.2.2 *Změny ve struktuře krajiny*

Pro povrchový odtok má značný význam i prostorová struktura krajinného krytu. V průběhu 20. století došlo ve většině vyspělých zemí k rozsáhlému scelování zemědělských pozemků, které bylo motivováno snahou o vyšší efektivitu hospodaření, zvýšení výnosů a zisků z produkce.

Tento proces způsobil rozpad mozaikovitého uspořádání krajiny a její přeměnu na rozsáhlé komplexy lánů s monokulturními plodinami. Pro povrchový odtok tato změna přinesla možnost celkového zrychlení odtoku z krajiny díky odstranění překážek i přirozených retardačních pásů, původně oddělujících jednotlivé pozemky. Zároveň tím byl poskytnut vyšší prostor pro vodní erozi a pro změny v časování povodňových vln.

2.2.3 *Změny kvality vegetačního krytu*

Při uvažování změn v krajině je nutno sledovat i změny kvalitativních charakteristik vegetace, zejména lesa. Díky oslabení lesních porostů emisemi z průmyslu jsou na řadě míst lesy náchylné k napadení škůdci a ke vzniku kalamit, kdy dochází k odumírání lesů v celých rozsáhlých oblastech. Přesto, že z hlediska funkčního využití ani prostorové struktury krajinného krytu ke změnám nedochází, změna kvality vegetace dlouhodobě ovlivňuje parametry základní hydrologické bilance postiženého území.

Vliv změn funkčního využití území, struktury krajinného krytu, stejně jako kvality vegetace na odtokový proces je limitovaný celkovou retenční schopností krajiny. Po překročení infiltrační kapacity půdy a retenční schopnosti území přestává prvek využití krajiny hrát v odtokovém procesu významnější roli. Hranice, za kterou dochází k této změně, závisí na fyzickogeografických podmínkách území a charakteru i intenzitě jeho využití, zpravidla však nepřesahuje úroveň opakování 5-10 leté srážky.



Obrázek 2 Mrtvý les v pramenné oblasti Vydry. Ztráta přirozené hydrologické funkce lesa v pramenné oblasti může vést k výraznému ovlivnění procesu formování odtoku.

2.3 Zkrácení říční sítě

V kulturní krajině se díky intenzivnímu využití území v posledních 300 letech setkáváme s různě intenzivním zkracováním říční sítě. Vodní toky byly a jsou napřimovány zejména kvůli využití toků pro dopravu materiálu, odvodnění zemědělských ploch, ochrany měst a obcí před povodněmi či obecné urbanizaci a industrializaci krajiny.

Zkrácení říční sítě má na odtok vody z krajiny při povodni silně negativní vliv. Zkrácením délky toku dochází k podstatnému snížení objemu říční sítě a tím ke zvětšení podílu odtokové vlny, který je třeba uskladnit mimo vlastní koryto. Zkrácení toku vede dále ke zrychlení postupu povodňové vlny údolní nivou, což snižuje možnosti využití jejího retenčního potenciálu pro transformaci povodně. Zvýšení rychlosti povodňové vlny s sebou nese zvýšení její strmosti a dosažení vyšších hodnot vodních stavů při kulminaci. Zároveň zrychlení postupu povodňové vlny krajinou zkracuje významně čas, potřebný pro přípravu protipovodňových opatření, evakuaci obyvatel a zajištění majetku proti škodám.

2.4 Upravenost koryta toku

Vedle zkrácení celkové délky vodního toku je pro charakter proudění významná míra upravenosti vlastního koryta. Antropogenní zásahy můžeme rozlišovat na úrovni změn ve vlastním korytě toku a na změny v podélném profilu.

Díky intenzivní antropogenní činnosti je v současné době v kulturní krajině převážná část koryt vodních toků upravena s různou měrou intenzity. Nejčastějším projevem je zahlobnutí koryta, budované za účelem zvýšení kapacity koryta, které je tak schopno bezpečně převést daným územím větší průtok. Břehy a dno bývají zpevněny pomocí různých typů stavebních úprav - od kamenné dlažby po použití prefabrikovaných profilů z betonu. Extrémmí formou je zatrubnění toku - převedení volného koryta do uzavřeného potrubí, kterým je voda převáděna zpravidla přes průmyslové zóny, intravilány či pod komunikacemi.

Zpevnění břehů a dna umělými materiály vede ke snížení hydraulické drsnosti koryta v jeho příčném profilu a tím ke zvýšení rychlosti proudění vody v toku. Při povodni to má za následek nárůst strmosti povodňové vlny, dosažení vyšších hodnot vodních stavů při kulminaci a zvýšení její destruktivní síly spojené s nárůstem erozní činnosti.

Pro charakter a výši škod způsobených povodní je navíc obzvlášť kritické *střídání přírodních a upravených úseků*. Napřímené a upravené úseky zvyšují rychlost povodňové vlny a provádějí vodu krajinou rychleji. Následuje-li za upraveným úsekem toku úsek s přírodním charakterem, kde je přirozeně vyšší drsnost koryta a tok není napřímený, povodňová vlna působí vyšší škody jak na říčním korytě a regulačních strukturách, tak na majetku v údolní nivě.

Extrémní zvýšení rizika představují při povodni *zatrubněné úseky toků*. Díky množství materiálu, přinášeného povodní se jejich vstupní propust zahltí, dojde k vytvoření umělé hráze, ke zvýšení erozní a akumulační činnosti a zpravidla i k destrukci celé struktury.

Upravenost toků v podélném profilu představuje přítomnost stupňů, jezů či hrází v korytě toku. Tyto struktury mění podmínky proudění v toku, zejména jeho rychlost a zásadním způsobem ovlivňují erozní a akumulační aktivitu toku. Jezy a stupně v korytě jsou za normálních hydrologických podmínek důležité pro diverzifikaci proudění v toku, zpomalení odtoku z upravených či napřímených toků a pro zlepšení kyslíkových poměrů v tocích a pro život vodních organismů. Při povodni však jezy představují překážku proudění a v důsledku toho jsou místy koncentrovaného výskytu erozních a akumulačních projevů povodně. Následky povodně umocňuje chybné umístění jezu, např. v ohybu řeky nebo na konci dlouhých intenzivně upravených úseků, naopak u dobře dimenzovaných jezů a zejména u tzv. pohyblivých jezů nebývají škody rozsáhlé.

2.5 Upravenost a charakter využití údolní nivy

Pro schopnost krajiny transformovat povodňovou vlnu je rozhodujícím činitelem stav a charakter údolní nivy. Údolní niva představuje nejnižší část údolního dna, ve které dochází k rozlivu vody z koryta řeky při povodni. V této oblasti by měly převládat přirozené krajinné prvky, zejména louky, pastviny a v menší míře i lesní porosty. Tyto typy krajinného pokryvu snášené i vícedenní zaplavení a především mají schopnost zdržet vodu, vylitou do prostoru údolní nivy a transformovat tak povodňovou vlnu, tzn. rozložit její průběh do delšího časového úseku a snížit tak kulminační hodnotu vodního stavu i průtoku. V případě nevhodného využití však transformační a retenční schopnost nivy prudce klesá. Jedná se nejčastěji o přítomnost zemědělských ploch, kdy zejména orná půda nejenže neumožňuje účinnou retenci vody v nivě, ale navíc poskytuje zdroj materiálu pro intenzivní erozi materiálu, který je následně deponován v dolních částech toku (viz Konvička, 2002). Přítomnost zemědělských ploch a zejména sídel a průmyslových objektů v údolní nivě navíc díky potenciálním vysokým ekonomickým škodám vyvolává tlak na intenzivnější upravenost koryta toku, zejména jeho zkapacitnění, opevnění břehů či budování hrází, což opět snižuje transformační a retenční schopnost nivy a tím i možnosti efektivního a levného dosažení snížení kulminace povodně.

Pro výši škod při povodni jsou, zejména při extrémních povodních, kdy dochází k vyplnění celé údolní nivy, rozhodující překážky proudění. Jde o nesprávně umístěné a chybně dimenzované objekty v údolní nivě jako mosty, tělesa dopravních komunikací, regulační struktury na toku či nevhodně umístěné budovy. Při normálních hydrologických podmínkách i při malých povodních nepředstavují tyto objekty problém. Při extrémních událostech, jako jsou bleskové povodně nebo rozsáhlé regionální povodně však dochází k překročení návrhových hodnot a tyto objekty se stávají překážkou pro proudění. Díky materiálu, unášenému povodní se tak např. zahltí oblouky mostních konstrukcí či propustky pod tělesy komunikací, dojde k vytvoření dočasné hráze, která je následně protržena. Tím dochází nejen k destrukci

vlastního objektu, ale především ke vzniku bleskové povodňové vlny, která v navazujících částech toku působí podstatně vyšší škody než odpovídá charakteru povodně.



Obrázek 3 Železniční most na Blanici, stržený během povodně v srpnu 2002. Nedostatečně dimenzovaný profil mostní konstrukce významně přispěl k rozsahu destrukce. Foto SGG, 2002

3 Diskuse a závěry

Výsledky výzkumu vlivu změn přírodního prostředí na povodňové riziko ukazují zřejmé vazby mezi fyzikogeografickými charakteristikami povodí a říční sítě, mírou jejich antropogenní transformace a jejich chováním při extrémních odtokových událostech.

Nepotvrzuje se často uvažovaný předpoklad, že současná míra upravenosti koryt vodních toků, údolní nivy a krajiny je hlavní příčinou extremity velkých povodní, jaké jsme zaregistrovali v roce 2002 v Čechách, nebo v roce 1997 na Moravě.

Za hlavní projevy antropogenních změn v krajině, působících jako negativní činitel při povodních můžeme označit změny ve využití území, struktuře a kvalitě krajinného krytu, plošné odvodnění krajiny, zkrácení říční sítě, úpravy koryt toků a změny v charakteru využití údolní nivy.

Tyto faktory mají odlišný dopad na jednotlivé složky odtokového procesu při povodni, přičemž negativně ovlivňují celkový průběh a následky povodní. Intenzivní změny v krajině, údolní nivě a v upravenosti říčního koryta se projevují urychlením odtoku z krajiny, zrychlením průtoku v korytě toku, vyšší strmostí povodňové vlny, změnami v časování povodňových vln z dílčích částí povodí, poklesem transformační a retenční schopnosti krajiny a údolní nivy a výsledným nárůstem kulminačních hodnot vodních stavů a průtoků.

Uvedené projevy změn v krajině se liší svým účinkem při různé úrovni extremity povodně, navíc jednotlivé faktory působí odlišně na různé prostorové úrovni hodnocení.

Mezi faktory, jejichž vliv klesá spolu s rostoucí extremitou povodně patří převážná většina hodnocených změn v krajině - změny v landuse, plošné odvodnění krajiny, charakter využití údolní nivy, zkrácení a upravenost vodních toků. Ovlivnění průběhu povodně těmito ukazateli dosahuje nejvyšších hodnot u malých až středních povodní, u extrémních událostí je vliv těchto činitelů okrajový. Kritická limita, za

kteřou vliv těchto změn v krajině prudce klesá se lokálně liší podle geografických charakteristik povodí a podle intenzity a prostorového rozložení příčných srážek, zpravidla se však pohybuje u hodnoty opakování povodně v rozmezí 5-20 let.

Pro tuto úroveň extremity povodně je proto možné revitalizačními úpravami krajiny, údolní nivy a toků pozitivně ovlivnit průběh povodně a zejména transformační a retenční schopnost krajiny, projevující se snížením kulminačních hodnot průtoků.

Mezi faktory, jejichž vliv roste spolu s extremitou povodně, naopak řadíme především nevhodně umístěné a chybně dimenzované objekty v údolní nivě a na toku. Vliv těchto překážek pro proudění vody roste úměrně s extremitou povodně, kdy dochází k překročení návrhových hodnot, na které jsou objekty dimenzovány. Při malých a středních povodních zůstávají tyto struktury bez významného vlivu na celkové následky. Úplné vyplnění údolní nivy vodou při extrémních povodních však do proudění zapojuje objekty, které obvykle velkou vodou zasaženy nejsou a u kterých proto není počítáno s protipovodňovou úpravou. Navíc stavby a provozní objekty v údolní nivě představují zdroj materiálu, který je povodní unášen a v příhodných místech akumulován. Příkladem jsou především tělesa komunikačních linií - železnic a silnic, vedoucí napříč údolní nivou, které ve spojení s nedostatečně dimenzovanými mosty a propustky vytvářejí po zanesení materiálem, unášeným povodní, hráze. Destrukce těchto umělých překážek vede ke vzniku průlomové vlny, s mnohonásobně větším průtokem než má vlastní povodeň.

Výsledky provedených výzkumů ukazují, že vliv zkrácení toků, upravenosti koryt říční sítě či systematické drenáže zemědělské krajiny má na následky povodně pouze omezený vliv. Tento vliv klesá s rostoucí dobou opakování povodně. Zároveň je nutno konstatovat negativní vliv intenzivního zemědělského využití oblasti údolní nivy, které neumožňuje účinnější retenci a transformaci povodňové vlny.

Jako významný faktor, jehož vliv naopak roste spolu s extremitou povodně je způsob využití údolní nivy, zejména charakter staveb, tvořících možné překážky proudění. Tyto stavby, jako např. násypy tratí či nedostatečně dimenzované mosty a propustky mohou výrazně zhoršit následky povodně díky umělým akumulacím vodní masy a díky následkům spojeným s jejím rychlým vyprázdněním.

4 Literatura

- Buchtele, J. (1972): Kategorizace povodňového režimu na tocích Vltavské kaskády, Sborník prací hydrometeorologického ústavu v Praze, svazek 18, HMÚ v Praze, s. 64 – 139
- Bičík, I.; Kupková, L. (2003): Vývoj struktury ploch v povodí Otavy v letech 1845-1948-1990-2000. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, (ed. Langhammer, J), s. 113-121, PČF UK, Praha.
- Hais, M.; Králová, A.; Macháčková, K. (2003): Kvantitativní a kvalitativní charakteristiky land-use v povodí Otavy, Zpráva z dílčí etapy řešení projektu Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Přírodovědecká fakulta University Karlovy, Praha.
- Hladný, J., Černý, H., Řiřička, J. (1993): Odhad vývoje povodňových situací analýzou historických případů - 1. část Databanka povodňových vln průtoků. Praha, SPIS s.r.o., s. 1-45.
- Hladný, J. a kol. (1995): Odhad vývoje povodňových situací analýzou historických případů - 3. Část Meteorologické symptomy. Praha, SPIS s.r.o., s. 1-37.
- Hladný, J. a kol. (1998): Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997 – souhrnná zpráva projektu. 70 s., ČHMÚ, Praha.
- Just, T. a kol. (2003): Revitalizace vodního prostředí. AOPK ČR, 144 s. Praha. ISBN 80-86064-72-7
- Kakos, V. (1983): Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873 až 1982, Meteorologické zprávy 36, ČHMÚ, Praha s. 171 – 181
- Konvička, M. a kol. (2002): Město a povodeň. ERA group, Brno. 219 s., ISBN: 80-86517-38-1

- Křížek, M., Engel, Z. (2003): Geomorfologické projevy povodně 2002. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, (eds. Langhammer, J, Engel, Z.), s. 83-101, PřF UK, Praha.
- Langhammer, J. (2004): Antropogenní upravenost říční sítě v povodí Otavy. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, (eds. Langhammer, J, Engel, Z.), s. 104 - 124., PřF UK, Praha.
- Langhammer, J. (2004): Metodika mapování a geoinformatického vyhodnocení následků povodní. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, (eds. Langhammer, J, Engel, Z.), s. 125 - 149., PřF UK, Praha.
- Langhammer, J. (2004): Struktura využití území údolní nivy a oblasti záplavy povodně 2002 v povodí Otavy. Závěrečná zpráva dílčího úkolu grantu GAČR GAČR 205/03/Z046., PřF UK, Praha, 20s.
- Langhammer, J., Vajskebr, V. (2004): Historické změny říční sítě v povodí Otavy. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, (eds. Langhammer, J, Engel, Z.), s. 150 - 169., PřF UK, Praha.
- Maidment, David R. (Ed.) (1993). Handbook of Hydrology. New York: McGraw-Hill. ISBN: 0-07-039732-5
- Matoušková, M., Šobr, M. (2004): Upravenost hydrografické sítě a protipovodňová opatření v povodí Otavy. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, (eds. Langhammer, J, Engel, Z.), s. 170 - 184., PřF UK, Praha.
- Šefrna, L., Šobr, M. (2003): Analýza rozsahu a intenzity plošného odvodnění v povodí Otavy. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, (eds. Langhammer, J, Engel, Z.), 200s., PřF UK, Praha.
- Vavruška, F. (1989): Meteorologické příčiny povodní na Otavě a Lužnici. Meteorologické zprávy, 42, ČHMÚ, Praha s. 111 – 115.
- Vilímek, V., Langhammer, J., Křížek, M. (2003): Posouzení efektivnosti změn ve využívání krajiny pro retenci a retardaci vody jako preventivní opatření před povodněmi, závěrečná zpráva do vlády z dílčí etapy projektu Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002. Přírodovědecká fakulta University Karlovy, Praha.
- Vlasák, T. (2004): Přehled a klasifikace historických povodní v povodí Otavy. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, (eds. Langhammer, J, Engel, Z.), s. 228 – 240, PřF UK, Praha.
- VÚV TGM (2003): Vyhodnocení katastrofální povodně v roce 2002, průběžná zpráva o řešení projektu, Praha. :<http://www.vuv.cz/povoden/main.html>

POROVNANIE VÝSLEDKOV MODELOVANIA POVODŇOVEJ HROZBY POMOCOU MODELOV FÉNIX A HEC-RAS VO VYBRANOM MODELOVOM ÚZEMÍ

Michal Hazlinger

Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, 842 15, Bratislava 4
hazlinger@fns.uniba.sk

Abstrakt

Pri stanovovaní miery povodňového rizika je podstatná znalosť územia, ktoré môže povodňou zasiahnuté. Tento príspevok sa zaoberá porovnaním výsledkov modelovania záplavového územia pomocou dvoch modelov. Hydraulický model FÉNIX, počíta výšku hladiny povodňovej vody pri určitom N- ročnom prietoku. Priestorový rozsah inundácie je treba stanoviť manuálne. Model HEC-RAS spolupracujúci s GIS – mi produkuje už priamo mapy inundácií. Modelovanie povodňovej hrozby prebiehalo v časti povodia toku Teplica v okolí Turčianskych Teplíc.

Kľúčové slová: povodňová hrozba, hydraulický model FÉNIX, model HEC-RAS, Teplica

1 Úvod

Problematika povodní v ostatnom čase dosť často rezonuje v povedomí verejnosti. Za posledných desať rokov sa v priestore strednej Európy odohralo niekoľko významných povodňových udalostí. Zatiaľ čo rozsiahle povodne z rokov 1997 a 2002 boli často hodnotené a skúmané, trochu mimo hlavného záujmu verejnosti stojí problematika povodní v malých povodiach s rozlohou do 100 km². Ich každoročný výskyt však evokuje existenciu problému, ktorý je treba skúmať a riešiť.

2 Charakteristika modelového vodného toku

Riečka Teplica je pravostranný prítok Turca. Jej priemerný prietok v stanici Turčianske Teplice je 0,91 m³.s⁻¹ (1963-1996), plocha povodia (po daný profil) 62,04 km². Maximálny prietok (11,2 m³.s⁻¹) je z roku 1965.

Samotné modelové územie sa začína asi 1 km južne od intravilánu obce Dolná Štubňa. Až po intravilán Turčianskych Teplíc nie je koryto výrazne upravené. V južnej časti Turčianskych Teplíc má okolie toku charakter parkovej vegetácie a vodnému toku je umožnená prirodzená korytotvorná činnosť. Severne od parku je koryto upravené do betónového obdĺžnikového priečneho profilu. Na intravilán Turčianskych Teplíc nadväzuje intravilán obce Diviaky. Aj tu je vodný tok napriamený a regulovaný. Medzi intravilánmi obcí Diviaky a Malý Čepčín je areál PD chránený ľavostrannou hrádzou. Severnejšie je tok ohradený z oboch strán. Aj v intraviláne Malého Čepčína je koryto regulované.

3 Metodika práce

3.1 Hydraulický model Fénix

Tento hydraulický model bol použitý pre výpočet nadmorskej výšky úrovne hladiny vody v práci Trizna (1998). Reprezentuje integrovaný jednorozmerný matematický model, simulujúci ustálený nerovnomerný pohyb vody v otvorených korytách.

Model umožňuje výpočet priebehu úrovne hladiny po úsekoch. Dĺžka úseku toku by mala byť zvolená tak, aby na jednotlivých úsekoch boli podobné charakteristiky koryta, akými je priemerný pozdĺžny sklon koryta alebo plynulé zmeny prietokových prierezov (Trizna, 1998).

Základom tejto metódy bolo zameranie priečných profilov cez vodný tok. Po zadaní parametrov jednotlivých profilov, drsnostných súčiniteľov a vstupujúceho prietoku model samostatne určí nadmorskú výšku hladiny prislúchajúcu pre danú hodnotu N-ročnej vody v jednotlivých profiloch (Trizna, 1998).

Výsledky výpočtu z modelu boli aplikované na zamerané priečne profily. V prípade, že vypočítaná hladina vody ležala vyššie ako brehová hrana, dochádzalo k inundácii vody. Veľkosť postihnutého územia bola odhadnutá na základe vypočítanej výšky hladiny vody a priebehu georeliéfu v okolí daného profilu.

3.2 Model HEC-RAS

Model HEC-RAS bol vyvinutý na modelovanie odtoku vody v otvorených korytách. Tento program umožňuje kompletnú simuláciu povodňovej vlny vrátane vykreslenie územia zaplaveného modelovanou povodňovou vlnou.

Pri riešení nášho problému sme použili aj extenziu nad ESRI ArcView - HEC – GeoRAS. Podkladové geometrické dáta tvoria prúdnice, brehy tokov, priečne profily, hrádze a nedotknuté areály (unaffected areas). Tieto údaje sú spolu s TIN-om príslušného územia importované do programu HEC-RAS. Druhá časť práce so submodelom HEC – GeoRAS umožňuje vizualizáciu výsledkov hydraulických výpočtov HEC-RASu v prostredí ArcView. Výsledkom sú mapy zaplavenej plochy a gridy s hĺbkou vody pri danej N – ročnej vode

Pri práci v programe HEC-RAS je vhodné sekundárne upraviť importovanú geometriu koryta. Následne sú zadávané parametre povodňovej vlny zastúpené v tomto prípade len hodnotou N-ročnej vody v $m^3 \cdot s^{-1}$.

Pre relevantné porovnanie výsledkov som pracoval so zameranými profilmi z práce Trizna (1998). Keďže však program HEC-RAS úseky vodného toku medzi profilmi zlinearizoval, musel som prikrčiť k zhusteniu profilov v miestach zmeny smeru koryta toku, takže celkový počet profilov dosiahol číslo 35. Tie museli byť ešte následne upravované, keďže parametre koryta a okolia absentovali v použitom DMR.

4 Výsledky práce

4.1 Hydraulický model Fénix.

Z priestorového hľadiska Trizna (1998) identifikoval 4 oblasti inundácie. Najjužnejšia sa nachádza pred intravilánom Dolnej Štubne. Územie inundácie je zo severnej strany obmedzené násypom cesty 1. triedy č. 65. Druhá oblasť inundácie sa nachádza v oblasti kúpeľného parku v Turčianskych Tepliciach. Voda však zaplavuje len územie v bezprostrednej blízkosti vodného toku. Ďalšia inundácia nastáva v oblasti neupraveného koryta medzi intravilánmi Turčianskych Teplíc a Diviakov. Voda tu zaplavuje len relatívne malé územie (asi 1 ha) na oboch stranách toku. Súvislejší pás inundovanej vody sa nachádza medzi profilmi 5. a 1. Voda však zostáva v medzihrádzovom priestore.

4.2 Model HEC – RAS

Výsledky modelovania sú uvedené v mape č. 1. a značne sa líšia od výsledkov v Trizna (1998). Rozsiahla inundácia východne od intravilánu Dolnej Štubne je podľa Triznu (1998) spôsobená pôsobením nízkej kapacity koryta a telesa cestného násypu pôsobiaceho ako priehrada. V prostredí HEC – RAS táto cesta nebola braná do úvahy. Následkom je zaplavenie časti intravilánu Dolnej Štubne.

V južnej časti Turčianskych Teplíc je v oblasti kúpeľného parku opätovne znížená kapacita koryta. Dôsledkom je zaplavenie západnej, nižšie položenej časti intravilánu Turčianskych Teplíc. Zatiaľ čo u Triznu (1998) je táto inundácia plošne limitovaná hrádzami z oboch strán, na mape je badateľný prienik vody do „chráneného“ územia.

Ďalšia plošne rozsiahla inundácia sa nachádza v severnej časti intravilánu Turčianskych Teplíc. Výrazne väčšia plocha inundácie môže byť spôsobená prítomnosťou ochranných hrádz brániacich návratu vody späť do koryta. Z rovnakého dôvodu je zaplavený aj asi 50 metrov široký pás územia pozdĺž vodného toku v intraviláne Diviakov. Plocha inundovaného územia sa opäť zvyšuje severne od Diviakov. Výsledky modelovania oboch modelov sú v tejto oblasti porovnateľné.

5 Diskusia a záver

Cieľom tejto práce bolo porovnať výsledky modelovania povodňovej hrozby pri použití dvoch odlišne koncipovaných modelov. Výsledkom bolo zistenie veľkých rozdielov medzi namodelovanými inundáciami. Keďže pri porovnaní namodelovaných výšok hladín vody v jednotlivých profiloch bola zistená relatívna zhoda, rozdiely museli vzniknúť v druhej fáze procesu, pri priestorovom zobrazení inundácie. Pravdepodobnou príčinou týchto rozdielov je odlišná schopnosť modelov vnímať mikrotvary reliéfu, ktorú model HEC-RAS a priori nemá.

Výsledky dosiahnuté pomocou modelu FÉNIX s nasledovným manuálnym vynesением záplavových čiar sú v tomto území relatívne hodnovernejšie ako výsledky dosiahnuté modelovaním pomocou modelu HEC-RAS. Príčinou je potreba presnejších podkladových informácií napr. zameranie profilov v každom mieste zmeny prúdenia vody prípadne v miestach zmeny typu koryta. Okrem toho model vyžaduje aj poznanie areálov kde sa voda z objektívnych príčin nedostane (ohradené a vyvýšené miesta) a vyžaduje zadať prítomnosť hrádzí a ich parametre. Bez poznania týchto údajov nie je model HEC-RAS schopný vykresliť presnejšie a reálnejšie záplavové čiary.

Pod'akovanie

Príspevok bol riešený za finančnej podpory grantovej agentúry VEGA v rámci projektu 1/3052/06

6 Zoznam literatúry

- ACKERMAN, C.T., EVANS, T.A., BRUNNER, T.W. 2000. *Hec-GeoRAS: Linking GIS to Hydraulic Analysis using ARC/INFO and HEC-RAS*. Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems, Esri Press, 2000.
- GAJDOŠÍK, P., ŠULÍK, V., TRIZNA, M. 2005. Geografické spektrum 4. *Vplyv zmeny priestorovej štruktúry krajiny na odtok vody z povodia*. Bratislava: Geografika, 2005. 64 s. ISBN 80-968146-4-8.
- HYDROLOGIC ENGINEERING CENTRE, 2001. *HEC- River Analyses system, application Guide*. U.S. Army Corps of Engineers (USACE), Davis, CS, 2001.
- KUBIŠ, P. 2005. *Simulácia povodňovej vlny na toku Kamienska*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra Krajinej ekológie, 2005. 68 s.- Diplomová práca.
- SMITH, K., WARD, R.C., 1998. *Floods: Physicall Processes and Human Impacts*. John Wiley & sons, Chichester, 1998.
- TRIZNA, M., MINÁR, J. 1996. Niektoré nové metodické aspekty hodnotenia povodňovej hrozby. In: *AFRNUC, Geographica*, Nr. 39, Bratislava: Univerzita Komenského, 1996, s. 89-98.
- TRIZNA, M. 1998a. *Identifikácia a hodnotenie povodňovej hrozby a povodňového rizika*. Bratislava : Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, 1998. 94 s. – Dizertačná práca.

WARD, R.C., 1978. *Floods: A Geographical perspective*. MacMillan, London, 1978.

WOLMAN, M.G. 1971. Evaluating alternative techniques of floodplain mapping. In: *Water resources research*, č. 7., 1971, s. 1383-1392.

HYDROLOGICAL DROUGHT WITH RESPECT TO UPCOMING CLIMATE CHANGE

Jan Kavan

Unité de Recherche Hydrologie-Hydraulique, CEMAGREF Lyon

3, bis quai Chauveau, 69336, Lyon CEDEX 09, France

Department of Physical Geography and Geoecology, Charles University in Prague

Albertov 6, 128 43, Praha 2

e-mail: kavan@lyon.cemagref.fr

Abstract

The evolution of climate in Europe and its effects on hydrological regime with emphasis on drought situations are examined. The assumption of upcoming climate change is taken into account. The effects on hydrological regime are studied in the model basin of Ostružná river. After the increase of temperature (cca 3.5 °C) and decrease of precipitation (cca 5%) and resulting changes in evapotranspiration at the end of this century, the drought periods are likely to become longer, more frequent and more pronounced. The similar trend is likely to occur in the whole area of Czech republic.

Keywords: climate change, hydrological modelling, drought, river flow regime

1 Introduction

As the water resources are one of the most important factors in the welfare of the society, it is necessary to assess the possible effects of the upcoming climate change. The lack of the water is often a constraint on the economic development of the country (Arnell, 2004). Position of the Czech republic on the hydrological divide predetermines the hydrological regimes to be more sensitive to climate variability and fluctuations. In the last decade, Czech republic has experienced several serious hydrological extremes. Not only the floods in 1997 and 2002 with the really extreme return periods, but also the 2006 snowmelt spring flood and especially the 2003 summer drought. As the climate change is very likely to occur in next decades, it is often claimed, that the probability of repeating this drought situations are likely to increase. The possibility of drought situation under the upcoming climate change is examined in the article.

2 Methods and materials

For assessing the effects of climate change it is possible to use the results of global climate models (GCM). Also the regional climate models are available in the PRUDENCE project. The analyses of climatic variables were done on the basis of both GCM experiments results and the results of the PRUDENCE project (Christensen et.al., 2007). This counts for more than 40 variants of climate change scenarios. The hydrological and meteorological data were provided by CHMI. The daily discharge data for the model basin Ostružná at the gauging station station Kolinec together with the other gauging stations were used.

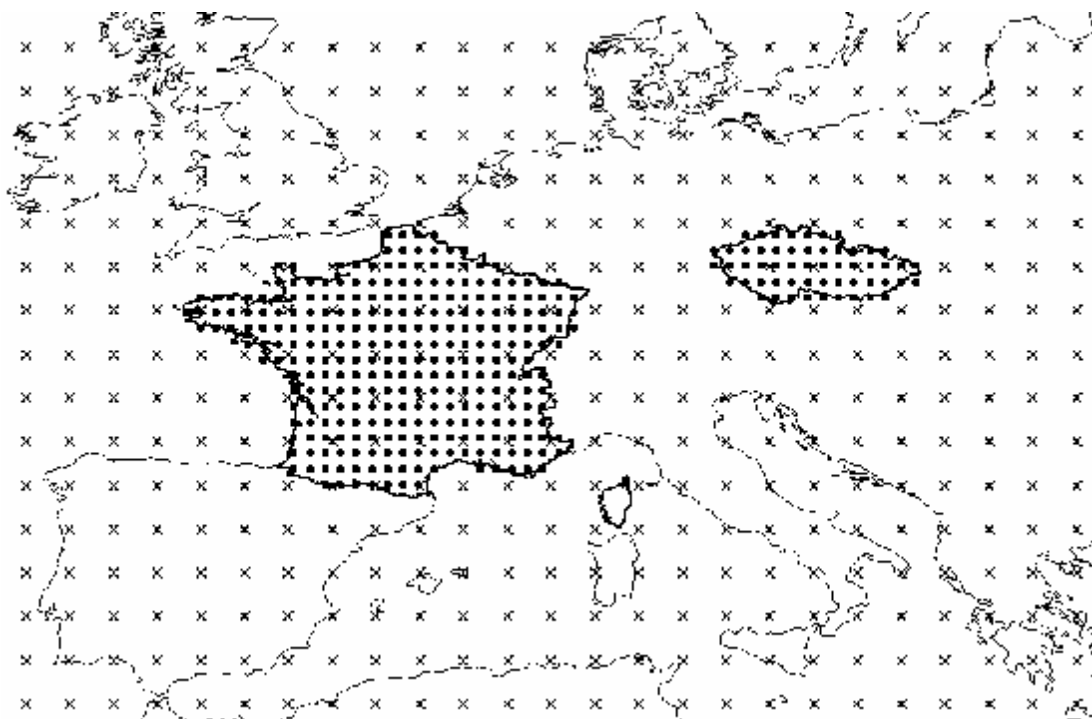


Fig. 1 – comparison of the available grid cells of GCM (crosses) and PRUDENCE Regional Climate Model (dots); GCM of National Centre for Atmospheric Research was taken as an example, however it represents the finest possible spatial resolution of present GCMs

2.1 Downscaling

Selection of appropriate downscaling method was driven by available data. GCM experiment results in monthly time step are available from Data Distribution Centre of IPCC. This aspect was important for decision on the way of downscaling. Because of the monthly data derived from GCM and its disproportion with the need for daily data as an input for the hydrological model, the weather generator was chosen as the best option how to obtain the daily data (Wilby, 1997). The LARS weather generator (Semenov, 2002) was used to simulate the daily timeseries of precipitation and temperature. These were then used as an input to the hydrological model.

2.2 Aqualog system

Czech Hydrometeorological Institute and AquaLogic company, which is the producer of the system, provided the Aqualog system for our purposes. The system is made out from number of submodels and it is based on the Sacramento – SoilMoistureAccounting rainfall runoff model (Daňhelka, 2006).

3 Results

3.1 Climate change scenarios

The analysis of GCM and RCM climate change projection shows the increasing trend of temperature during the century in the area of Czech republic. Figure 2 shows the example of RCM simulation result. However the course of the temperature during the century is different for each scenario, the dominant rising trend is obvious for each of them.

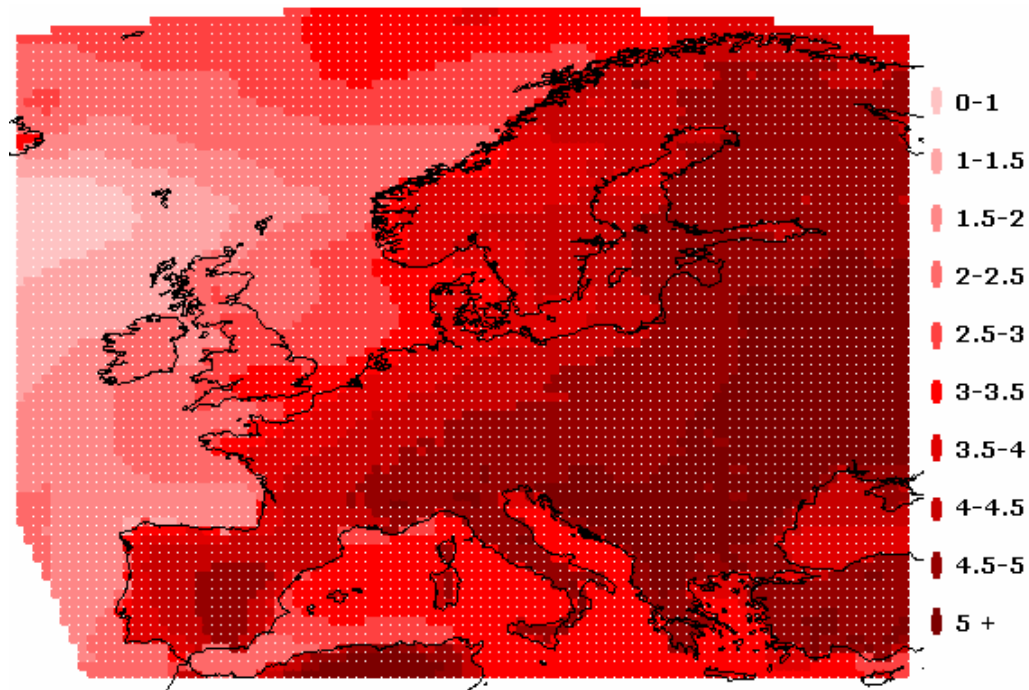


Fig. 2 – RCM temperature difference between 1960-1990 and 2070-2100 (in °C)

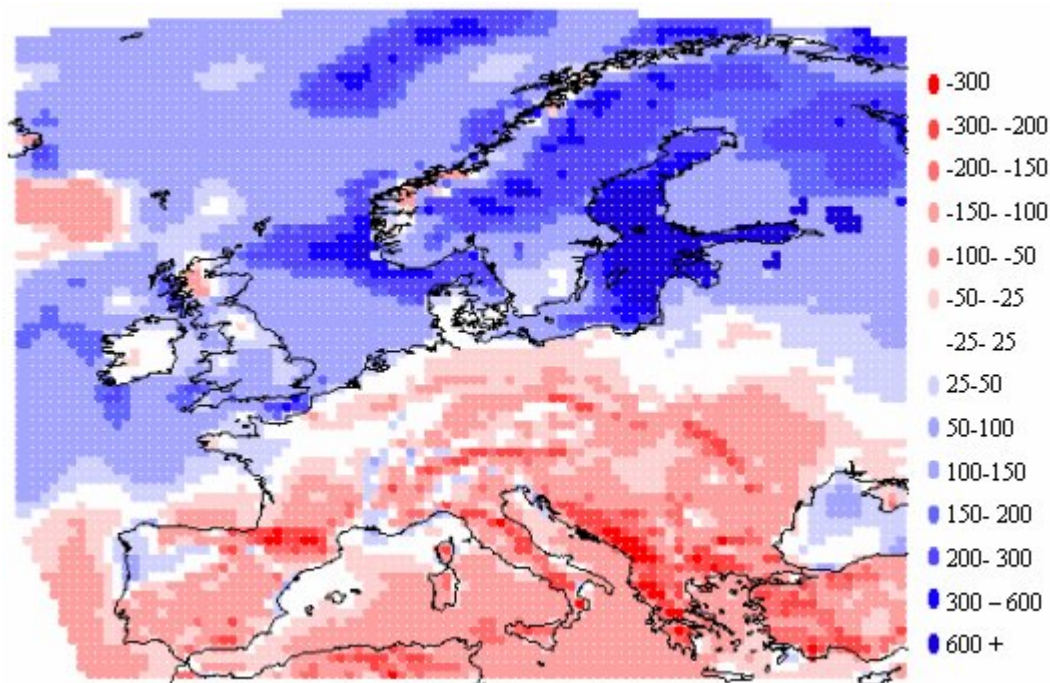


Fig. 3 – RCM precipitation difference between 1960-1990 and 2070-2100 (in mm)

According to the analyses of regional climate models for Europe, the increasing temperature trend is obvious with the total increase of 3.3 degrees of Celsius between the control period of 1960-1990 and future period of 2070 – 2100. There is no clear trend in precipitation, however there is a shift in the annual regime. The annual regime of precipitation and temperature is shown in figure 4.

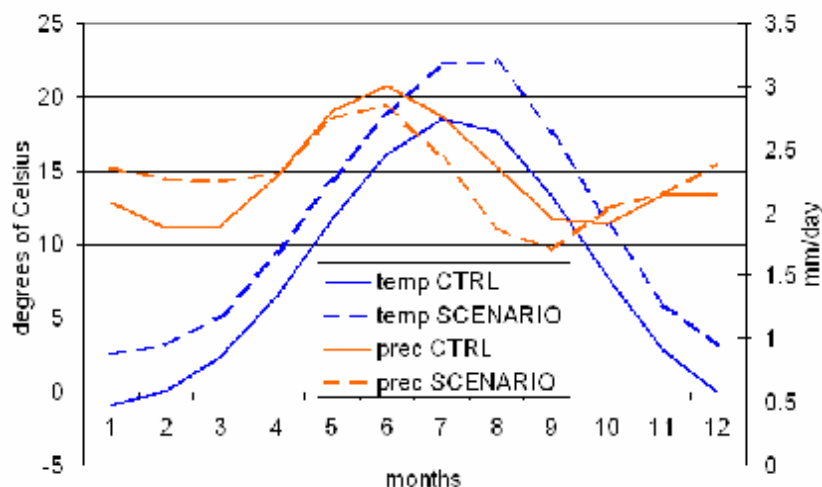


Fig. 4 – comparison of precipitation and temperature in the area of Czech republic between the control period (1960-1990) and the scenario period (2070-2100)

The change in temperature annual regime doesn't indicate a big change, the higher temperatures are obvious throughout the whole year. More interesting situation can be found in the case of precipitation, where the shift of the summer drought period to earlier part of the year is clear. Not only shift in the timing of drought period, but also the decrease in the amount of summer precipitation could be expected. The increase in winter precipitation is also obvious.

3.2 Hydrological regime

The hydrological regime was analysed on the basis of Hadley centre global climate model as a representant of the GCMs in the basin of Ostružná river. The main feature of the regime is the shift in timing of maximum monthly discharge. The period of maximum discharge is moved into earlier spring. On the other hand, the minimum discharge period persists, but it is much more pronounced. The mean monthly minimum discharge at the end of the century is 5-10 % lower comparing to present period (Kavan,2006). This situation will be much more pronounced concerning the increasing variability of the flow, leading to more serious drought situations in each of the year. This means, that the risk of drought is more likely to occur.

Not only the drought situations, but also the risk of flooding has to be taken in mind as well. The results show the shift from snowmelt origin floods in early spring to the floods that can be awaited throughout the year (Kavan,2006). This situation is a logical consequence of smaller contribution of snowmelt to total amount of runoff. However, the proper analysis of flood situations is not possible to undertake because of the temporal resolution of climatic inputs. These were monthly, with use of weather generator transformed to daily, which is appropriate to study drought situations, but not floods, especially in the basin of such small area.

4 Discussion

The phenomenon of climate change is a topic, which is necessary to take into account with respect of water management planning. Nevertheless, our knowledge in this field is still very limited and affected by a high uncertainty, starting at the level of emission scenarios through climate modelling and finally hydrology modelling. However, some general trends in both evolution of global climate and also local hydrological situation can be sketched.

At first it is behaviour of the global climate, which shows the increasing trend of temperature of cca 3 °C and approximately 10% increase in precipitation. Even if the global trends are clear, the regional response

to climate change is a bit different in all GCM experiments. In case of climate behaviour in Europe, there is a chance to explore the climate through the regional climate models. These are driven by the GCMs, but much more precise and able to catch the regional climate pattern. The increase of temperature on the whole continent is obvious with larger changes in the continent interior. This should be counted to the effect of ocean temperature momentum. It is much more difficult to express the trend in precipitation. However the general trend of precipitation shows slight increase, this is not the case of Europe. The southern part of Europe is supposed to suffer by decreased precipitation and on the other hand the northern part will experience the increase of precipitation. The boundary between decrease and increase of precipitation is a bit different in each model, but in general it is usually placed between 50-55N of latitude (Arnell, 1999). The decrease of precipitation can be expected for Czech republic.

These two basic climate variables – temperature and precipitation – together with increase of evapotranspiration will affect the hydrological regime. The frequency and length of drought periods are very likely to increase. However the study was carried out only for one model basin, it is likely, that similar situation could be expected in other river basin in Czech republic.

Acknowledgement

RCM data have been provided through the PRUDENCE data archive, funded by the EU through contract EVK2-CT2001-00132. GCM data have been provided by IPCC Data Distribution Centre. The climatological and hydrological data together with the Aqualog modelling system have been provided by CHMI, Praha.

5 References

- ARNELL, N.A. 2004: Climate change and global water resources: SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environmental Change* **14**, pp. 31–52
- ARNELL, N.W. 1999b: Climate change and global water resources. *Global environmental change* **9**, pp. 31-49
- CHRISTENSEN, J.H ., CHRISTENSEN, O.B. 2007: A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change* **81**, pp. 7-30
- DAŇHELKA, J. 2006: personal communication
- ECKHARDT, K.ULBRICH, U. 2003: Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *Journal of Hydrology* **284**, pp. 244–252
- KAVAN, J. 2006: Climate change impact on hydrological regime in Ostružná river basin. Master thesis, UK Praha, pp. 109
- SEMENOV, M.A., BARROW, E.M. 1997: Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change*, **35**, 397-414.
- SEMENOV, M.A., BARROW, E.M. 2002: LARS-WG, A stochastic weather generator for use in climate impact studies, version 3.0 user manual. pp. 28
- WILBY, R.L., WIGLEY, T.M.L. 1997: Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography* **21**, pp. 530-548

NIVA JAKO SOUČÁST TOPOGRAFICKÉ PŮDNÍ KATÉNY

Tereza Zádorová, Luděk Šefrna, Tomáš Chuman

Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2

Abstrakt

Niva je z pedologického hlediska definována jako oblast výskytu fluvizemních půdních typů, tedy půd vzniklých postupnou sedimentací nivních materiálů. V širším pedogeomorfickém měřítku je však součástí erozně-sedimentačního systému topografické půdní katény, jejíž jednotlivé podcelky výrazně ovlivňují výslednou podobu aluvionu. Ve sprašovém regionu Ždánického lesa v povodí Harasky byl prováděn výzkum půdních vlastností ve dvou různých terénních situacích. Z terénního průzkumu stratigrafie půd a výsledků chemických analýz vzorků odebraných v akumulacích částech půdní katény lze odvodit silnou závislost charakteru nivy a půd nacházejících se v jejím prostoru na okolním reliéfu. V případě neprerušené topografické katény dochází vlivem zrychlené půdní eroze k zanášení aluvionu svahovými sedimenty a ke stírání hranice mezi nivou a úpatím svahu. Tento fakt pak může způsobit komplikace při vymezení nivy. Naopak niva oddělená od úpatí svahu terénní překážkou, za kterou dochází k akumulaci svahových sedimentů, je tvořena výhradně fluviálním materiálem a jako taková zřetelně pedologicky odlišitelná.

Abstract

In pedology the floodplain is defined as an area with fluvic soil types occurrence. However, in larger pedogeomorphologic sense the floodplain is a part of erosion-sedimental system of topographical soil catena and it is significantly influenced by its components. There were two areas with different topographical situation chosen for the study, both in loess region Ždánický les (Haraska catchment). The results of soil stratigraphy survey and chemical analyses of samples taken in storage parts of the catena showed that the floodplain and its soils character depends considerably on neighbouring relief. In case of an unbroken soil sequence, the overlapping of alluvion by slope sediments occurs due to accelerated soil erosion and the limits between alluvial and colluvial position become fuzzy, which may complicate the floodplain delimitation. On the contrary, the floodplain separated from the slope base with a terrain barrier consists entirely of fluvial matter and as such is clearly delimitable.

Key words: alluvion, soil catena, colluvium, erosion

1 Úvod

Chápání nivy je z pohledu pedologa úzce vázáno na výskyt určitých půdních typů. Kromě doplňkové přítomnosti glejů se jedná v první řadě o fluvizemě, půdy vzniklé periodickým ukládáním povodňových sedimentů, jejichž plošný rozsah v podstatě delimituje hranice nivy. V tomto pojetí je niva součástí transportně-depozičního systému vodního toku a její půdní a sedimentární složení je tedy odrazem intenzity a rychlosti ukládání přemísťovaného materiálu a jeho vlastností.

Z širšího geografického hlediska je však na nivu nutné nazírat jako na část komplexního otevřeného systému půdní topografické katény, ve které jsou půdy uspořádány podle pozice v reliéfu v řadě rozvodí-svah-niva-vodní tok. V rámci katény tedy můžeme rozlišit z hlediska materiálové bilance dva akumulacní areály. V první řadě se jedná o závěrovou konkávní část svahu, kde v závislosti na poklesu sklonu dochází ke snížení unášecí síly povrchového odtoku a tím k depozici půdních částic. Tato část,

neovlivňovaná přínosem materiálu z vodního toku, je tedy vyplňována výhradně erozními svahovými sedimenty, nezřídka o mocnosti až několik metrů. Druhou akumulací oblastí je právě niva, pro kterou je primárním zdrojem materiálu vodní tok, nezanedbatelná část však pochází z horních partií svahu. Působení zrychlené půdní eroze a s ní související zvýšení objemu látek transportovaných po svahu vede k nárůstu množství deponovaného materiálu. Ten primárně vyplňuje terénní nerovnosti a suché úpady, následně se ukládá při úpatích svahů, v tzv. koluvionu. Při vyčerpání akumulací kapacit těchto oblastí či náhlém zvýšení erozního potenciálu však dochází k postupnému vyplňování nivy (zejména části přiléhajících k úpatí svahu) erozními sedimenty a vzniká tak různě široký koluviálně-aluviální pásový areál dotovaný sedimentárním materiálem rozdílného charakteru (Lang 2003). Nezřídka dochází k překrytí celé plochy aluvionu půdními sedimenty a dočasnému či trvalému pohřbení původní fluvizemě (Leigh, Webb 2005). Obě sedimentační události mají navíc velmi často současný průběh. Při významné srážkové události může dojít k ukládání materiálu fluviálního původu při povodni a zároveň ke zvýšenému splachu půdní hmoty ze svahu. Charakter takto vnikajících depozic má pak odpovídat vlastnostem materiálu lokálního (koluviálního) i regionálního (fluviálního) (Houben et al. 2006). Z hlediska vymezení nivy na základě rozšíření fluvizemí představuje tento fakt poměrně významný problém. Jejich přechod k půdám vzniklým ze svahových sedimentů, tzv. koluvizemím, je velmi rozostřený a právě tento fuzzy charakter areálu fluvizemí znesnadňuje delimitaci nivy. Dalším nepříznivým faktorem je i pedogenetická příbuznost obou půdních typů, které vznikly periodickým ukládáním materiálu. V obou případech se jedná o vývojově mladé, často bezstrukturní půdy s malou morfologickou výrazností. Spojuje je i nepravidelné rozptýlení organiky v profilu a často vrstevnatý charakter. Analytické vlastnosti, které by se vzhledem k rozdílnému typu matečného substrátu měly lišit, často vykazují shodné znaky, což je dáno zejména míšením materiálu svahového a fluviálního původu.

2 Materiál a metody

2.1 Výběr území

Výzkum byl prováděn ve starosídlní černozevní oblasti jižní Moravy, v dolním úseku povodí Harasky v pahorkatině Ždánického lesa, na pozemcích v katastrech obcí Morkůvky a Boleradice. V tomto prostoru byly vybrány dva trvale obdělávané pozemky s obdobnými sklonitostními poměry (ve střední části svahu až 19°), avšak rozdílnou terénní situací v jejich konkávních částech.

2.2 Metody

Na zájmových pozemcích byly použity klasické metody půdního průzkumu (odběr a analýza vzorků z kopaných sond a vrtů v konvexní a konkávní poloze svahu) doplněné o vyhodnocení leteckých snímků a modelu reliéfu.

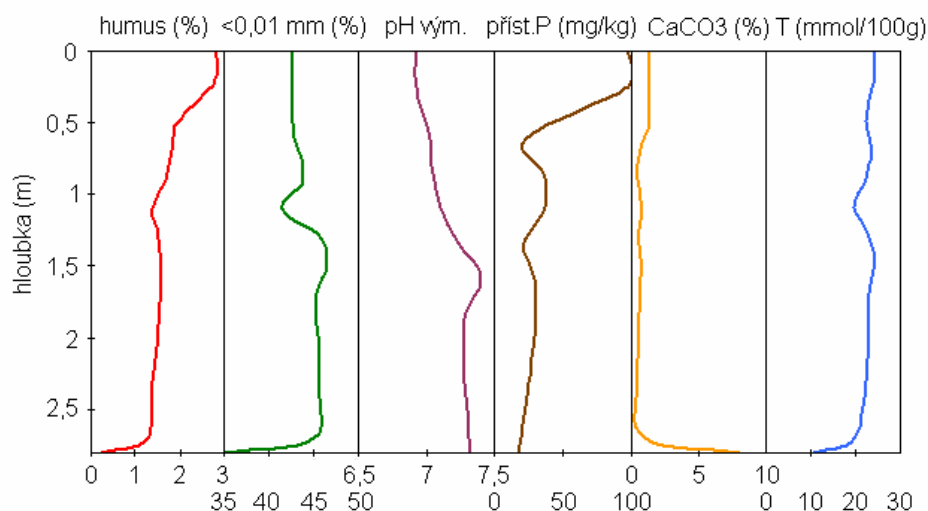
3 Výsledky a diskuze

V případě zájmového území Boleradice je niva menší vodoteče součástí nepřerušené půdní toposekvence, která zahrnuje ve směru od rozvodí následující půdní typy: černozev modální – černozev erodovaná – regozev karbonátová – černozev koluviovaná – koluvizem modální – fluvizem koluviovaná – fluvizem modální. Přechod z aluviální roviny do svahu je morfometricky obtížně měřitelný, protože celý prostor úpatí svahu a části navazujícího aluvionu je zanesen až dvoumetrovou vrstvou humózního materiálu transportovaného z konvexních částí svahu. Vlivem

akumulace relativně homogenního materiálu jsou setřeny i morfologické rozdíly v profilech sousedící koluvizemě a fluvizemě. Signifikantní rozdíly nebyly pozorovány ani při rozboru analytických půdních vlastností (obsah humusu, obsah karbonátů, sorpce). Lze konstatovat, že v nivě docházelo v minulosti ke střídavému či souhlasnému ukládání fluviálních a koluviálních sedimentů, přičemž v současnosti vzhledem k charakteru materiálu převládá akumulace svahová. Dle výzkumu prováděného v geologicky srovnatelné sprašové oblasti v J Belgii (Rommens et al. 2006) bylo v průběhu holocénu v nivě deponováno 29-50% svahových sedimentů, a to v závislosti na délce a intenzitě obdělávání. Phillips (1990) uvádí nižší hodnoty svahových sedimentů nacházejících se v prostoru aluvionu (pouze 14% z celkového ročního objemu sedimentů). Za určitých podmínek, zejména po rychlém transportu svahových sedimentů, může koluvium tvořit pouze tenkou vrstvu, pod níž se nachází dobře vyvinutá fluvizem (Phillips 2001).



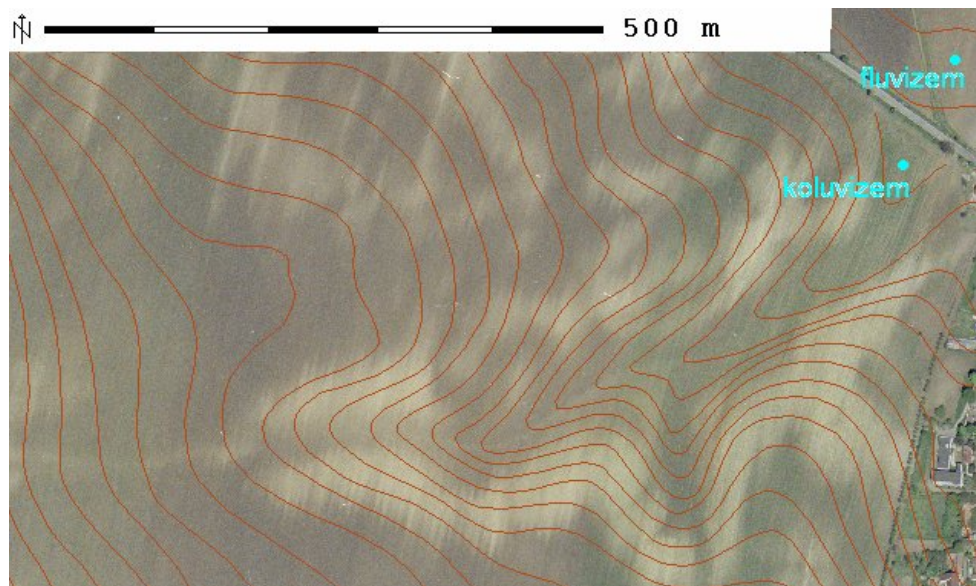
Obr. 1 Ortofoto pozemku v katastru obce Boleradice



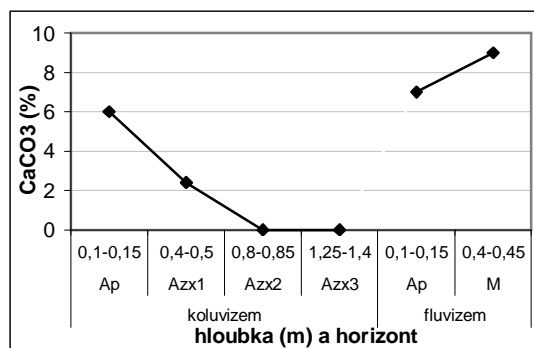
Graf 1 Analytická data v profilech koluvizemí na přechodu k fluvizemím

Druhý typ přechodu nivy do konkávní svahové polohy byl zkoumán na pozemku v katastru obce Morkůvky. Topografická katéna je zde přerušena terénní překážkou ve formě komunikace. Veškerý materiál transportovaný povrchoým odtokem z horních partií je akumulován za silničním náspeem,

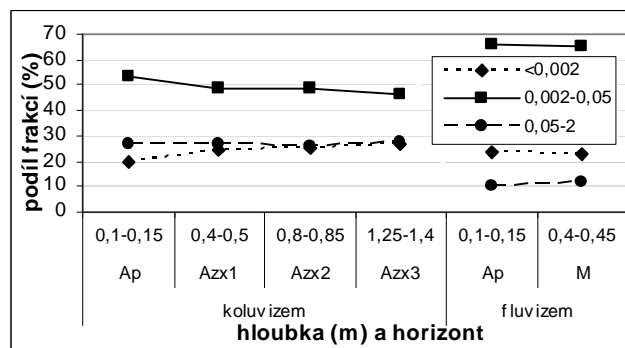
kde se vytvořila hluboká poloha koluvizemě. Tvorba fluvizemě v nivě nacházející se v prostoru pod komunikací je tak ovlivňována výhradně sedimentací fluviálního materiálu. Stratigrafie profilu i analytické vlastnosti koluvizemí a fluvizemí se výrazně odlišují, což je dáno především charakterem a původem materiálů, na kterých se tvoří. Zatímco koluvizem, která vznikla akumulací částic výhradně lokálního původu, se vyznačuje vlastnostmi typickými pro půdy ze sprašových substrátů (zrnitost, sorpce, obsah humusu), fluvizem je tvořena z heterogennějších subtrátů regionálního původu, čemuž odpovídají i poměrně výrazně se lišící znaky a vlastnosti.



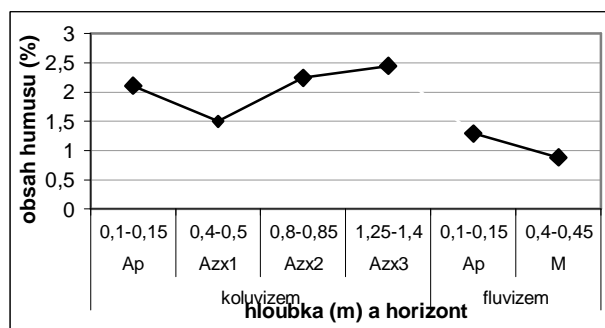
Obr. 2 Ortofoto pozemku v katastru obce Morkůvky



a)

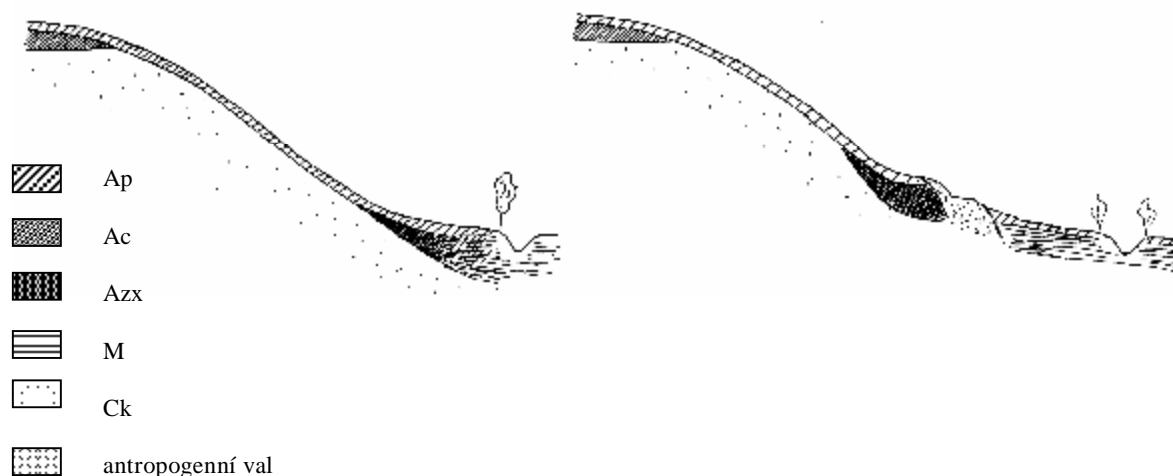


b)



c)

Graf 2 Vybrané půdní vlastnosti v profilech koluvizemě a fluvizemě. a) obsah karbonátů, b) zrnitostní složení, c) obsah humusu



Obr. 3 Rozdílná akumulace v nivě v závislosti na terénní situaci: a) nepřerušená, b) přerušená půdní katéna

4 Závěr

Výsledky výzkumu topografické půdní katény ve dvou různých terénních situacích ukázaly možné komplikace při delimitaci nivy malých vodních toků na základě pedologických dat. Hlavní úskalí tkví v nejednoznačnosti hranic fluvizemí, jejichž areál je základním vodítkem při vymezení aluvionu. V případě nepřerušené topografické sekvence půd dochází vlivem zrychlené eroze k akumulaci půdní hmoty v konkávních částech svahu a následně i k zanášení nivy svahovými sedimenty. V prostoru přechodu mezi nivou a svahem tak vzniká různě široký pás půd kombinovaného koluviálně-aluviálního původu, jehož fuzzy charakter výrazně ztěžuje vymezení areálu fluvizemí a následně i říční nivy. Naopak při oddělení nivního a úpatního úseku katény terénní překážkou dochází v prostoru nivy k nerušené sedimentaci fluviálního materiálu, který se svými vlastnostmi výrazně odlišuje od svahových koluviálních materiálů nahromaděných za terénní překážkou. Niva je tak snadno odlišitelná od ostatních úseku topografické katény.

5 Literatura

- HOUBEN, P., HOFFMAN, T., ZIMMERMANN, A., DIKAU, R. (2006): Land use and climatic impacts on the Rhine system (RheinLUCIFS): Quantifying sediment fluxes and human impact with available data. *CATENA* 66 (1-2), s. 42-52
- LANG, A. (2003): Phases of soil erosion-derived colluviation in the loess hills of South Germany. *Catena* 51, s. 209-221
- ROMMENS, T., VERSTRAETEN, G., BOGMAN, P., PEETERS, I. (2006): Holocene alluvial sediment storage in a small river catchment in the loess area of central Belgium. *Geomorphology* 77 (1-2), s. 187-201
- LEIGH, D., WEBB, P. (2005): Holocene erosion, sedimentation, and stratigraphy at Raven Fork, Southern Blue Ridge Mountains, USA. *Geomorphology* 78 (1-2), s. 161-177
- PHILLIPS, D., FOSSA, J., STILESA, C., TRETINB, C., LUXMOOREC, R (2001): Soil-landscape relationships at the lower reaches of a watershed at Bear Creek near Oak Ridge, Tennessee. *CATENA* 44 (3), s. 205-222
- PHILLIPS, J. (1991): Fluvial sediment budgets in the North Carolina Piedmont. *Geomorphology* 4 (3-4), s. 231-241

BILANČNÍ ODHADY PŘÍSPĚVKU DRENÁŽÍ KE KVAZIUSTÁLENÝM POVODŇOVÝM PRŮTOKŮM

František Doležal, Mojmír Soukup, Zbyněk Kulhavý

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5 – Zbraslav,
dolezal@vumop.cz, soukup@vumop.cz, kulhavy@hydromeliorace.cz

Abstrakt

Když část povodí odvodníme drenáží, odtéká z ní více vody. Urychlí se autochtonní odtok z drénované plochy a drenážní systémy stahují vodu z okolních ploch. Výsledný součinitel zvýšení kvaziustáleného povodňového odtoku závisí na součiniteli zvýšení autochtonního odtoku a na podílu drénovaných ploch na ploše povodí. Při vyhodnocování odtokových řad se hodnotí pouze situace, kdy odtoky přesahují určitou mez. Teorie je aplikována na dvě pokusná povodí ve středních Čechách. K simulaci situací, které nebyly měřeny, byl použit model DRAINMOD. Součinitel zvýšení celkového odtoku z drénované plochy a v důsledku odvodnění vychází přibližně 1,7 pro povodí u Černíčí a 3,2 pro povodí Cerhovického potoka. Při povodních menší extremity a častějšího výskytu mohou být průtoky v malých vodních tocích působením drenážních systémů zvýšeny cca o 6 až 19 %.

Klíčová slova: bilance, odtok, odvodnění, povodně, povodí, DRAINMOD, simulace

1 Úvod

Povodně, které postihly Českou republiku v posledním desetiletí, otevřely i diskusi o účinku odvodňovacích systémů na zemědělských půdách za povodňových situací. Způsob, jakým byl tento účinek hodnocen, je ve své podstatě bilanční, založený na srovnání kvaziustáleného odtoku za určité situace s analogickým odtokem za jiné situace, přičemž nejsou analyzovány mechanismy odtoku. Tento postup byl podroben revizi a formulován v exaktních termínech (Doležal aj., 2003, 2004). Teorie i její případové aplikace jsou zde rekapitulovány.

2 Teorie

Předpokládá se, že povodí je malé (cca do 10 km²), a odvodnění půdy je provedeno systematickou trubkovou drenáží. Není uvažován vliv plnění nebo prázdnění retenčních prostorů ani vliv povrchových příkopů a kanálů. Pracujeme se specifickými, nikoli s celkovými odtoky. Ve vzorcích používáme základní jednotky SI. Termín "odtok", pokud u něho nestojí přívlastek, zahrnuje odtok povrchový i podpovrchový a tam, kde je vybudována drenáž, také odtok drenážní. Necht' před odvodněním odtéká za povodně z celého povodí průměrný specifický odtok q_0 . Po odvodnění je povodňový odtok z odvodněné části povodí o něco vyšší. Je tvořen jednak autochtonním odtokem ze samotné drénované plochy, jednak alochtonním odtokem, který je stahován drenáží z okolních nedrénovaných ploch. „Stahování“ je efekt nad rámec přirozené koncentrace odtoku v zamokřených místech, způsobený existencí drenáže. V jeho důsledku je plocha skutečně odvodňovaná, A_a , větší než plocha A_d , kterou fyzicky zaujímají drenážní systémy. Označujeme:

- A_d plocha, kterou zaujímají drenážní systémy (m²),
- A_a plocha, skutečně odvodňovaná drenážními systémy (m²),
- DD hustota odvodnění (bezrozměrná), poměr plochy zaujímané drenážními systémy k celkové ploše povodí,

q_d	celkový specifický odtok z drénované plochy (m.s^{-1}),
q_{d0}	specifický autochtonní odtok z drénované plochy (m.s^{-1}),
q_u	specifický odtok z nedrénované plochy v povodí, ve kterém působí drenážní systémy; tento odtok se do závěrového profilu dostává jinak než drenáží (m.s^{-1}),
q_0	celkový specifický odtok z povodí, ve kterém nejsou drenážní systémy (m.s^{-1}),
q_t	celkový specifický odtok z povodí, ve kterém jsou drenážní systémy (m.s^{-1}),
N	součinitel dosahu drenážního systému (bezrozměrný),
FEF	součinitel zvýšení povodňového odtoku v důsledku drenáže (bezrozměrný),
a	součinitel zvýšení celkového specifického odtoku z drénované plochy v důsledku drenáže (bezrozměrný),
a_0	součinitel zvýšení autochtonního specifického odtoku z drénované plochy v důsledku drenáže (bezrozměrný),

Většinou budou platit nerovnosti:

$$q_d \geq q_{d0} \geq q_t \geq q_0 \geq q_u \quad (1)$$

$$A_a \geq A_d \quad (2)$$

Součinitel zvýšení povodňového odtoku odtoku z drénované plochy je:

$$\alpha = \frac{q_d}{q_0} \quad (3)$$

Součinitel zvýšení autochtonního odtoku z drénované plochy je:

$$\alpha_0 = \frac{q_{d0}}{q_0} = \frac{\alpha}{N} \quad (4)$$

Součinitel dosahu drenážního systému je

$$N = \frac{A_a}{A_d} = \frac{q_d}{q_{d0}} \quad (5)$$

(Doležal aj., 2003) odvodili vzorec:

$$FEF = 1 - (1 - \alpha_0) DD \quad (6)$$

který umožňuje odhadnout účinek drenáže na základě součinitele a_0 . Autochtonní specifický odtok z drénovaných ploch, q_{d0} , může být odhadnut pomocí kombinace modelování a měření.

3 Metody a materiál

Vliv drenáže je analyzován pro povodí bezejmenného potoka u obce Černičí u Čechtí a povodí Cerhovického potoka u Hořovic. Základní charakteristiky povodí jsou uvedeny v tabulce 1.

Předmětem vyhodnocení byly střední denní průtoky v závěrových profilech povodí a drenážních systémů. Z časových řad odtoků byly vybrány "povodňové" dny, ve kterých odtok z referenčního

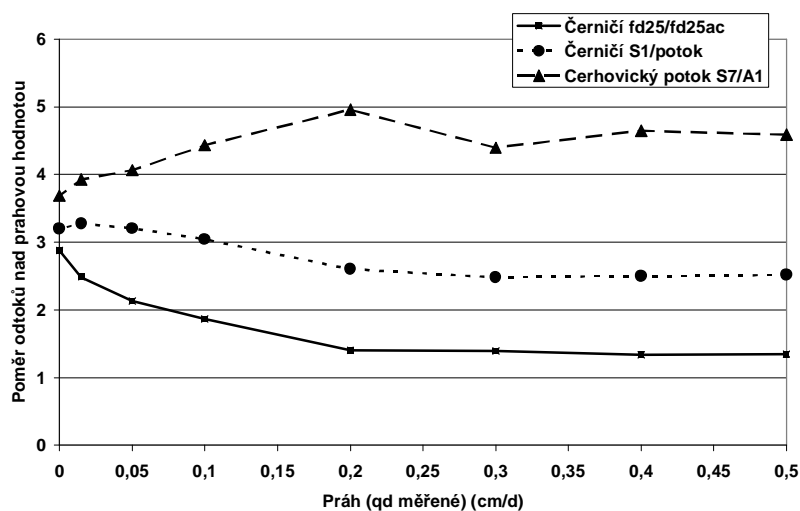
drenážního systému byl vyšší než zvolený práh nebo mu byl roven. Výpočet byl proveden pro několik prahových hodnot.

Tabulka 1. Základní charakteristiky pokusných povodí (podle www.hydomeliorace.cz)

Název povodí:	Cerhovický potok	Černičí
Plocha (km ²)	7,36	1,39
% odvodněných ploch:	16 %	30 %
Průměrné roční srážky (mm):	617 (1901-50)	724 (1961-90)
Převažující matečná hornina:	krystalické břidlice	pararula

4 Modelování

K simulaci situací, které nebylo možno změřit, byl použit deterministický model DRAINMOD (http://www.bae.ncsu.edu/soil_water/drainmod.htm), verze 5.0, který je založen na hydraulickém rozboru proudění podzemní vody k drénům a bere v úvahu svislý pohyb vody v nenasyčené zóně půdy (infiltrace a kapilární vztlínání), odběr vody kořeny a její retenci na povrchu půdy. Umožňuje také jednoduchým způsobem modelovat přítok cizích vod. DRAINMOD byl zkusmo kalibrován pro podmínky drenážního systému v nivě povodí Černičí s ohledem na měřené drenážní odtoky a hladiny podzemní vody. Výstižnost modelu po kalibraci zhodnotili Doležal aj. (2004) a shledali ji uspokojivou. Níže jsou zmíněny výsledky „realistického“ simulačního běhu fd25 a běhu fd25ac, jehož vstupní parametry byly stejné jako u fd25, byla však vyloučen přítok cizích vod, a jednalo se tak o simulaci autochtonního odtoku z drénované plochy.



Obrázek 1. Závislost průměrné hodnoty poměrů středních denních specifických odtoků (viz legendu a text) na prahové hodnotě referenčního středního denního specifického odtoku

5 Výsledky a diskuse

Kvaziustálené „povodňové“ situaci odpovídají hodnoty získané pro vysoké prahové průtoky. Postup je ilustrován na obrázku 1. Součinitel dosahu drenážního systému N je na obrázku 1 odhadnut jako poměr drenážního odtoku ze simulačního běhu fd25 (s přítokem cizích vod) k drenážnímu odtoku z běhu fd25ac (s vyloučeným přítokem cizích vod). Pro Černičí vychází při velkých prahových

hodnotách přibližně $N = 1,3$. Pro poněkud delší období 1.3.1997 – 31.5.2000 vychází přibližně $N = 1,6$. Hodnoty kolem 1,3 až 1,6 (průměrně 1,45) považujeme za typické pro podsvahové polohy Českomoravské vrchoviny a aplikujeme je i na povodí Cerhovického potoka v Podbrdské pahorkatině.

Na obrázku 1 vidíme též odhady poměrů měřených drenážních odtoků z drenážního systému k odtokům z celého povodí. Při vysokých prazích se tento poměr blíží k 2,5 pro Černičí a ke 4,6 pro Cerhovický potok. Tyto hodnoty ovšem necharakterizují součinitel zvýšení odtoku z drénované plochy a podle (2), neboť drénované plochy se nacházejí v místech, kde se odtok soustřeďuje a byl by vyšší i bez umělého odvodnění. Předpokládáme proto, že poměr specifického odtoku ze zamokřených (potenciálně odvodnitelných) ploch ke specifickému odtoku z celého povodí je přibližně stejný jako součinitel dosahu drenážního systému N . Podrobnosti uvádějí Doležal aj. (2004). Odhady součinitele zvýšení autochtonního odtoku z drénované plochy a_0 podle (3) pak vycházejí $a_0 \approx 1,2$ pro Černičí a $a_0 \approx 2,2$ pro Cerhovický potok, což umožňuje odhadnout součinitel zvýšení povodňového průtoku v důsledku drenáží *FEF* pomocí vzorce (6).

6 Závěr

Vysoké průtoky v drobných tocích mohou být v důsledku přítomnosti drenáží v povodích jako je Černičí nebo Cerhovický potok zvýšeny cca o 6 až 19 %. Vliv drenáží na kvaziustálené průtoky během kulminace povodní v malých povodích je malý, při povodních menší extremity a častějšího výskytu však není zcela zanedbatelný. To platí tím spíše i pro větší odvodňovací systémy, zahrnující otevřené i zakryté kanály a upravené vodní toky a potvrzuje jej i Robinson (1990). Efekt však není zcela jednoznačný a za určitých okolností může být i opačný. Nelze tedy předchozí závěr jednoduše obrátit a tvrdit, že vyřazením drenážních systémů z funkce by se snížila povodňová rizika.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován při řešení projektu GA ČR 103/99/1470 a závěrečná redakce byla provedena v rámci výzkumného záměru VÚMOP č. MZE0002704903.

7 Literatura

- DOLEŽAL, F., SOUKUP, M., KULHAVÝ, Z. (2003): Bilanční odhad příspěvku odvodňovacích soustav k průběhu povodní. I. Teorie. Soil and Water (Scientific Studies VÚMOP Praha), 2, p. 7-19.
- DOLEŽAL, F., SOUKUP, M., KULHAVÝ, Z. (2004): Bilanční odhad příspěvku odvodňovacích soustav k průběhu povodní. I. Teorie. Soil and Water (Scientific Studies VÚMOP Praha), 3, p. 93-108.
- ROBINSON, M. (1990): Impact of improved land drainage on river flows. Report No. 113, December 1990. Institute of Hydrology, Wallingford (UK) 226 p.

MAPOVÁNÍ ANTROPOGENNÍ UPRAVENOSTI TOKŮ A NÁSLEDKŮ POVODNÍ V POVODÍ HORNÍ LITAVKY

Alice Taufmannová, Jakub Langhammer

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

e-mail: alice.taufmann@centrum.cz, langhamr@natur.cuni.cz

1 Úvod

Práce je zaměřena na vyhodnocení současného stavu antropogenní upravenosti říční sítě a údolní nivy ve vztahu k potenciálnímu ovlivnění průběhu a následků povodní v povodí horní Litavky. Jedná se o oblast s četným výskytem povodňových situací, které díky absenci regulačních opatření přímo ovlivňují průběh povodní na Berounce a dolní Vltavě.

Povodí Litavky je zároveň region s výrazně kontrastní intenzitou antropogenních zásahů. Relativně málo dotčená pramenná oblast Brd kontrastuje s intenzivním průmyslem, osídlením a plošným zemědělstvím na středním a dolním toku. Vysoká intenzita a prostorová koncentrace úprav toků a údolní nivy omezuje možnosti využití přirozeného retenčního potenciálu povodí pro tlumení průběhu a následků povodní v této oblasti. Cílem práce je provedení vyhodnocení současné intenzity úprav, jejich prostorového rozložení v rámci povodí a identifikace kritických oblastí i oblastí, které je možné využít pro posílení retenčního a transformačního potenciálu povodí a údolní nivy.

2 Materiál a metody

2.1 Metodika mapování a hodnocení

Mapování a analýza upravenosti toků a údolní nivy byla provedena na základě metodiky MUTON (Langhammer, 2006a). Za účelem hodnocení území, která byla zasažena extrémními povodněmi byla vyvinuta co nejideálnější metodika, která by vystihovala veškeré klíčové parametry přeměn říční sítě i údolní nivy – upravenost trasy toku, upravenost podélného profilu, upravenost koryta, využití příbřežní zóny, potenciální překážky proudění, následky povodně.

Sledovanými parametry jsou charakter úseku, trasa toku, podélný profil, úpravy koryta, využití příbřežní zóny, břehová vegetace, překážky proudění při povodni, protipovodňová ochrana, retenční potenciál údolní nivy, charakter rozlivu a následky povodně. Ukazatele lze rozdělit na intenzivní, identifikační a informační. Intenzivní představují takové parametry, u nichž se podle intenzity mohou hodnotit potenciální vlivy na proudění při povodni, patří sem upravenosti koryta a příbřežní zóny. Identifikační ukazatele hodnotí polohu, strukturu a četnost, konkrétně se jedná o překážky proudění, povodňové škody. Informační prvky přináší doplňující údaje, které mohou dokreslovat výsledný pohled na charakter proudění při záplavách, zpřesňují hodnocení potenciálních vlivů na průběhy povodní, příklady jsou šířka koryta, údolní nivy či např. charakter břehové vegetace (Langhammer, 2006a).

Z výsledků byl odvozen index upravenosti úseku toku I_{TE} (1), využívající tzv. intenzitní ukazatele. tk-ukazatele upravenosti trasy toku (T_T), podélného profilu (T_L), koryta (T_K) a příbřežní zóny (T_N). Z dílčích hodnot vypočtených pro všechny mapované úseky byl následně vypočten celkový index upravenosti toku I_T (2) pro jednotlivé toky, resp. celé povodí (Langhammer, 2006a):

$$I_{TE} = \frac{T_T + T_L + T_K + T_N}{4} \quad (1),$$

$$I_T = \frac{\sum_{i=1}^n I_{TE}}{n} \quad (2)$$

Terénní monitoring proběhl během dubna 2007, zmapováno bylo na 50 kilometrů následujících toků: Litavka od Jinců po vodní nádrž Láz, Pílský potok po nádrž Pílská, Příbramský potok, Obecnický potok po nádrž Obecnice, Albrechtický, Drahlínský, Hlubičský potok a Ohrazenický potok po Mlýnský rybník.

2.2 Zájmové území

Zájmovým územím pro mapování a analýzu bylo horní povodí Litavky po Jince. V této oblasti, zejména na Příbramsku došlo v souvislosti s těžbou a hutnictvím od středověku k rozsáhlým úpravám říční sítě, které v různě intenzivní podobě přetrvávají dodnes. Na větších přítocích byly budovány vodní nádrže se soustavou derivačních kanálů (např. Albrechtický přivaděč) a náhonů pro mlýny a jezy. V úseku mezi Lázem a Bohutínem byly provedeny meliorační úpravy a celý úsek pod Lhotou u Příbrami je postižen urbanizačními vlivy jako násypy, komunikacemi, mosty i výstavbou rybníků.

Koryto Litavky je v téměř celé délce směrově vyrovnané v souvislosti potřeb intravilánů obcí, využívání zemědělských přibřežních pozemků. Z celkové délky toku Litavky bylo v různé intenzitě upraveno 88 % délky toku. Ryze přírodní koryto je pouze nad vodní nádrží Láz a mezi ř. km 20,5-18,8. Řada upravených úseků se během času samovolně revitalizovala a jejich charakter se stal přírodě blízkým. Takových polopřírodních úseků je na Litavce hodnoceno asi 45 %. Nejvýrazněji zasáhla lidská činnost horní Litavku mezi Bohutínem-Příbramí-Lhotou, dále u Čenkova a Jinců, od Lochovic je Litavka lichoběžníkového koryta vedena až k ústí do Berouna (Havlová, 2001). Přes 50 % trati bylo upraveno na Chumavě, Kublovském a Novodvorském potoce. Nejméně upravené jsou lesní toky, bez zásahu je např. Hluhošský. Většina úprav je opevňovacího charakteru ze 70. let 20. století (Kaiml, 2000).

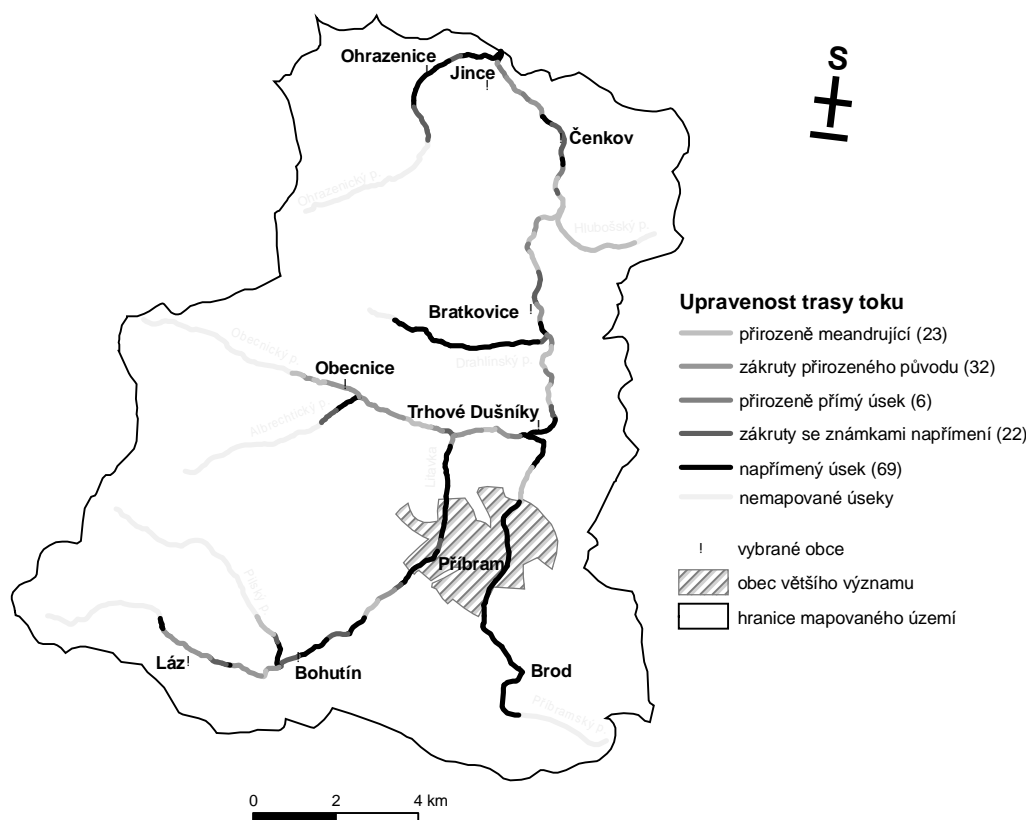
3 Výsledky

3.1 Upravenost trasy toku

Výsledky mapování dokumentují nejvýznačnější antropogenní zásahy do geometrie příčného profilu. Často jde o komplexněji řešené úpravy včetně umělých stupňů v korytě a upravenosti geometrie říční sítě.

Na sledovaném území se s úpravami trasy toku setkáváme na 60 % mapovaných úseků. Jedná se zejména o v průmyslové zázemí města Příbram. Napřímené úseky se nacházejí na téměř celém Příbramském potoce, horní Litavce protékající příbramským předměstím, ale také na Drahlínském potoce, jehož celou trasu sledují zemědělské plochy i na Ohrazenickém potoce.

Přírodní koryta bez antropogenních úprav nalezneme zejména na Hluhošském potoce, střední trati Litavky mezi Čenkovem a Trhovými Dušníky a Obecnickém potoce, jenž je obklopen před Obecnicí zachovalými lužními lesíky.



Obr. 1: Upravenost úseků v horním povodí Litavky, mapový podklad ZVM, VÚV, data – vlastní mapování 2007

3.2 Upravenost podélného profilu

Tento ukazatel hodnotí výskyt stupňů v korytě jak umělých, tak i přirozených. Jezy, stupně, skluzy kompenzují vyšší spád toku, který je způsoben napřímením. Neznatelnější úpravy podélného profilu korespondují s místy, kde byla upravená trasa toku.

Většina mapovaných úseků vykazovala přirozeně nízké stupně ve formě balvanů či nahromaděného materiálu. Několik nízkých jezů za sebou na Obecnickém potoce a Litavce v Příbrami kompenzují spád na ryze napřímených úsecích. V oblasti monitoringu se zřídka vyskytnul skluz, vysoké jezy nejčastěji na rozhraní přirozených a upravených koryt (např. mezi Bohutínem a Lázem). Největší jez se nachází na prvním úseku mapované Litavky v Jincích.

3.3 Upravenost koryta

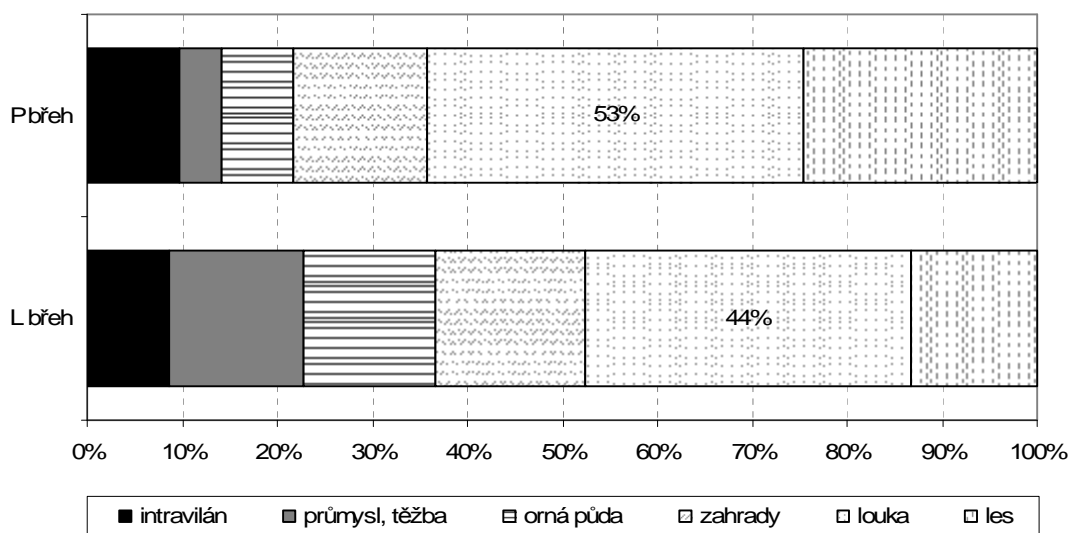
Na horním toku Litavky se setkáváme téměř se všemi druhy opevnění. Nejvíce upraveny jsou úseky, kde došlo k zásahu do trasy toku. Takové úseky musí být zpevňovány, aby břehy vykazovaly větší stabilitu a snižovaly přirozenou fluvialní dynamiku.

Nejrozsáhlejší lidský zásah se na sledovaném území objevuje v podobě zpevnění kamenem. Na řadě míst je toto opevnění staré pouze několik let (Čenkov). Nejradikálněji řešené souvislé betonové zpevnění břehu i dna se vyskytuje pouze pod příbramským fotbalovým stadionem a pod nádrží Láz. Téměř celý Příbramský potok je taktéž zpevněn, ale břehy a dno nejsou souvisle zpevněny jedním materiálem, na většině míst jsou zpevněny pouze břehy. Na území terénního výzkumu jsem identifikovala 48 % přírodních koryt.

3.4 Využití příbřežní zóny

Hodnocení využití příbřežní zóny probíhalo na obou březích vodního toku. Přírodě blízký charakter lesů a luk převládá na pravých březích (56,5 %). Orná půda (12 %) a průmysl s těžbou (12 %) je častější na levém břehu. V ostatních případech je využití pravých a levých zón většinou stejné.

Největší množství přírodních prostředí je ve střední části Litavky mezi Čenkovem a Trhovými Dušňíky, kde převládají louky s vysokou trávou. Lesní porosty tvoří příbřežní zóny horních toků, které přitékají z Brd.



Obr. 2: Využití příbřežní zóny na levém a pravém břehu úseků v horním povodí Litavky, Ddata – vlastní mapování 2007

3.5 Překážky proudění při povodni

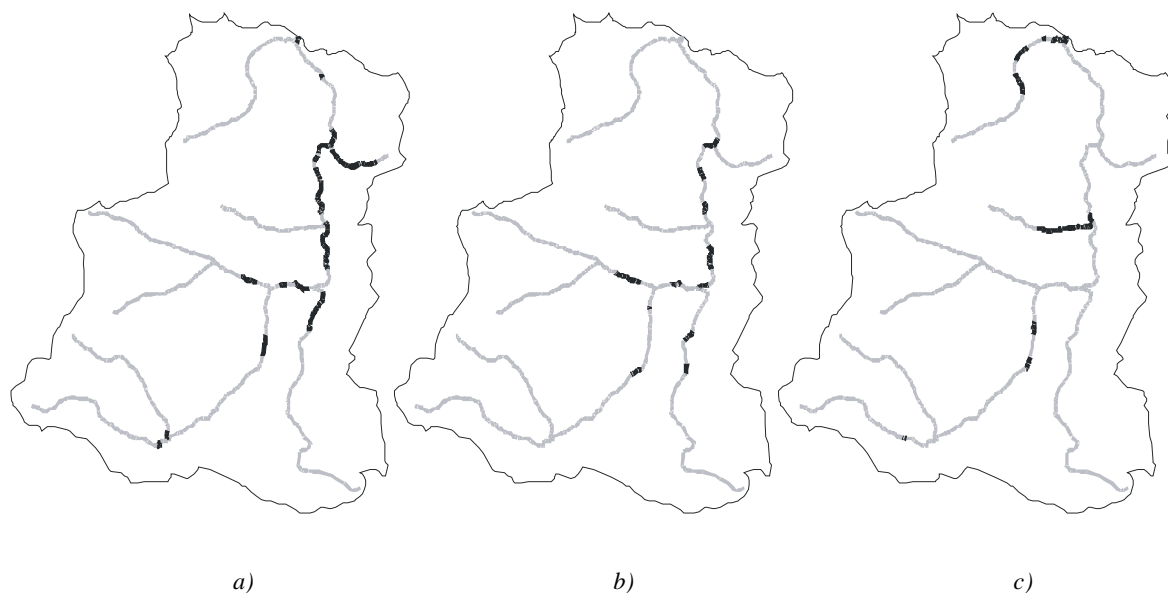
Přítomnost překážek se odráží v četnosti výskytu morfologických projevů povodně. Zejména způsobují svojí přítomností erozní nátrže, akumulace a působí jako výrazná překážka. Samy však mohou být povodní poškozeny a svými částmi destruktivně působit na řadu dalších objektů.

Nejčastější potenciální překážkou při povodni je most (30 %). Na řadě míst s roztroušenou zástavbou v nivě působí budovy jako významné překážky (24 %). Potenciální překážky pro průchod povodně představují objekty nebo předměty v korytě toku, zejména spadlé stromy, přemístěné balvany, odpady většího rozměru či rozsáhlé akumulace materiálu v korytě.

3.6 Následky povodně

Na většině mapovaných úseků byly identifikovány menší břehové nátrže (do 5m délky břehu) a drobné fluviální akumulace (do 100m²). Pro ilustraci jsem zvolila schématické znázornění nejviditelnějších projevů povodně – rozsáhlých břehových nátrží (přes 5m délky břehu), rozsáhlých fluviálních akumulací (přes 100m²) a přemístění balvanů nebo velkého objemu hmoty. Rozsáhlost břehových nátrží a stejně tak i fluviálních akumulací je nejpatrnější na meandrující trati Litavky mezi Čenkovem a Trhovými Dušňíky. Narušení koryta přemístěním materiálu větších rozměrů sledujeme na Drahlínském potoce.

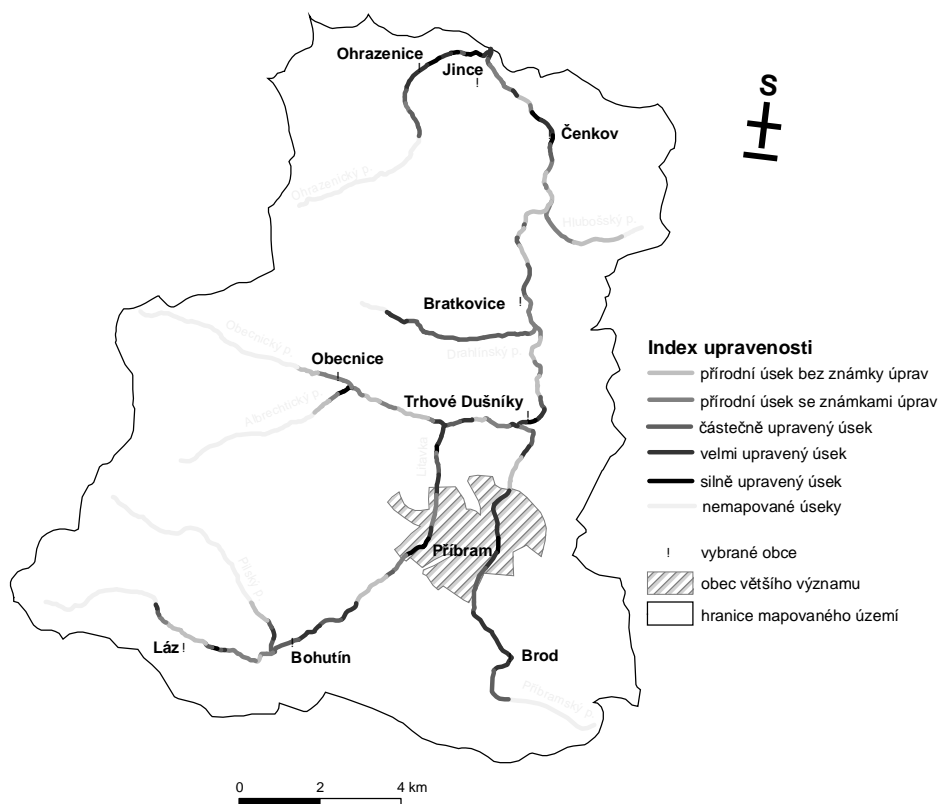
Bez následků povodní je horní upravená část upraveného Příbramského potoka. Na Pílském potoce v Bohutíně, na Příbramském potoce v Příbrami a na Ohrazenickém potoce v Jincích jsem zaznamenala poškození a destrukci mostů, které byly pravděpodobně způsobeny povodní.



Obr. 3: Schéma následků povodněna úsecích v horním povodí Litavky; a) rozsáhlé břehové nátrže (29); b) rozsáhlé fluviální akumulace (15); c) přemístění balvanů nebo velkého objemu hmoty (19). Mapový podklad ZVM, VÚV, data – vlastní mapování 2007

3.7 Index upravenosti

Intenzita upravenosti jednotlivých úseků vykazuje viditelnou zákonitost. Úseky s nejvyšší hodnotou indexu upravenosti se vyskytují v okolí lidských sídel zejména v horní části mapovaného území. Nejméně transformovaný je úsek mezi Čenkovem a Trhovými Dušňíky, Hlubošský potok a části toků v lesních oblastech vojenského prostoru.



Obr. 4: Index upravenosti úseků v horním povodí Litavky, mapový podklad ZVM, VÚV, data – vlastní mapování 2007

4 Diskuse a závěr

Horní povodí Litavky tvoří heterogenní oblast. Jedná se o silně využívané území s cennými přírodními prvky. Lesy Brd bohaté na srážky zásobují horní toky, přičemž objem vody je značně regulován nádržemi Pílská, Obecnice a Láz. Na území horní Litavky se v minulosti nacházela řada mlýnů, hamrů a pil, k nimž byly přiváděny kanály a značně samotný tok regulovaly. Výstavba sídel, těžební a průmyslová činnost a dopravní infrastruktura v kontaktu s údolní nivou narušují původní ekosystémy a snižují ekologickou stabilitu. Nejzásadnějším nepříznivým faktorem je zvyšování podílu zpevněných a zastavěných ploch v inundačních plochách. Průmyslové a výrobní aktivity nevratně likvidují původní biotopy, zejména průmyslové zóny v Příbrami, Čenkově a Jincích činí z horní Litavky průmyslový tok.

V zastavěných oblastech údolní nivy zůstává prioritou zajištění ochrany před povodněmi, zároveň je třeba omezit nárůst nových aktivit v inundačních oblastech. V řadě lokalit je zřejmé nerespektování aktivní záplavové zóny, kdy stavby jsou situovány bez patřičné ochrany blízko toku a při vyběžení dochází ke škodám na majetku. Extrémní je příklad obce Trhové Dušníky, kdy budovy stojí cca 3m od břehu.

Mapování a analýza upravenosti toků a následků povodní pomohla identifikovat řadu problematických míst na toku, kde současný charakter či intenzita upravenosti mohou zhoršovat průběh a následky povodní. Jde zejména o lokality, kde se nacházíme potenciální překážky proudění, zejména vysoké jezy, propustky či nízké mosty, dále místa, kde prostor údolní nivy přehrazen tělesem náspu komunikace, stejně jako umělé snížení kapacity koryta zúžením či zanesením materiálem.

Protipovodňová opatření v krajině by se měla zaměřit na snížení kulminace povodňových průtoků uplatněním retenčních prostorů pro zachycení a následné neškodné odpouštění objemu vody. Poměr ovladatelného retenčního prostoru a průměrného odtoku z povodí tzv. míra akumulace je na Litavce nulová. Zřízení nových retenčních nádrží přitom není v blízké budoucnosti reálné (Zuna, 2001).

Stávající retenční schopnost v horním povodí Litavky je možné posílit zejména lesotechnickými a agrotechnickými opatřeními. Zemědělská činnost by neměla být v přímém kontaktu s úzkou příbřežní zónou (viz Drahlínský potok). Pozemky by měly být řádně obhospodařovány s účelným zastoupením vegetačních pásů. Orná půda podél toků by měla dát prostor pastvinám a loukám, čímž by došlo ke zvýšení transformačního účinku nivy při povodních.

Koncepce ochrany prostředí Litavky a tím i snižování zranitelnosti krajiny při povodních by se měla zaměřit na přednostní ochranu zachovaných úseků řeky jako jsou úseky Čenkov -Bratkovice-Trhové Dušníky, střední trať Obecnického potoka či pramenné úseky brdských toků. Jedná se o úseky se zákruty, místy meandrující s přirozeným korytem a přirozenými stupni, většinou obklopené loukami. Řada úseků, která byla hodnocena jako přírodní, byla v minulosti úpravami poznamenána, ale byla ponechána samovolné revitalizaci a nyní vytváří ekologicky stabilní prostředí. Na takovýchto místech se objevují rozsáhlé břehové nátrže a fluvialní akumulace, které však stabilitu koryta nesnižují, koryto se samovolně vyvíjí a je schopné povodni čelit i bez lidských zásahů.

Poděkování

Příspěvek vznikl za finanční podpory projektu MŽP ČR VaV SM/2/57/05 „Dlouhodobé změny pořičních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“ a Výzkumného záměru Geografické sekce PíF UK v Praze, „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“ MSM 0021620831.

5 Literatura

- ASHAGRIE, A., G. et al. (2006): Detecting the influence of land use changes on discharges and floods in the Meuse River Basin – the predictive power of a ninety-year rainfall-runoff relation? *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, s.691-701,
- FRIEDRICH, F. (2006): Význam poldrů při plánování optaření pro ochranu před povodněmi v Sasku-Anhaltsku. In: *Vodní toky 2006. Sborník z konference. Hradec králové*, s.25-28.
- GERRITS, A., M., J. et al. (2007): New technique to measure forest floor interception – an application in a beech forest in Luxembourg. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, s.695-701,
- HAVLOVÁ, J. (2001): *Ekologická studie Litavky. Hydroprojekt. Praha*, 332 s.
- HERYNEK, J. (1998): Vliv vodohospodářských a lesotechnických meliorací na průběh povodní. *Lesnická práce. Kostelec nad Černými Lesy*, r.77, č. 7, s. 249.
- HLADNÝ, J., MATĚJÍČEK, J. (1999): *Povodňová katastrofa 20. století na území České republiky. MŽP, Praha*, 60 s.
- JANSKÝ, B. (2003): Mladotické jezero-vývoj jezerní pánve. *Geomorfologický sborník 2. www.kge.zcu.cz/geomorf/sbornik/texty2/jansky.pdf (20.5.2007)*
- JUST, T. (2005): *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. Český svaz ochránců přírody, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Ministerstvo životního prostředí. Praha*, 359 s.
- JŮVA, K., HRABAL, A., TLAPÁK, V. (1984): *Malé vodní toky. Státní zemědělské nakladatelství. Praha*, 253 s.
- KAIML, P. (2000): *Kvalita povrchových vod v povodí Litavky. Diplomová práce. KFGG PřF UK, Praha*, 142 s.
- KENDER, J. (2004): *Voda v krajině: Kniha o krajínovotvorných programech. Konsult. Praha*, 207 s.
- KŘÍŽ, H. (2004): *Geografické podmínky vzniku povodní. Vodní hospodářství. Praha*, č.8. s. 253 - 255.
- KUČERA, Z. (2004): *Jakost povrchových vod a specifické znečištění sedimentů v povodí Litavky. Diplomová práce. KFGG PřF UK, Praha*, 129 s.
- KURÁŽ, V., SOUKUP, M. (2004): *Vliv odvodnění na půdní a hydrologické režimy. Vodní hospodářství. Praha*, č. 8, s. 246-248.
- LANGHAMMER, J. (2004): *Analýza vlivu antropogenních změn v krajině na průběh a následky extrémních povodní. Acta Facultatis Retum Naturalium Universita Ostarvensis. Geographia – Geologia*, 216, s. 97-116.
- LANGHAMMER, J. (2005): *Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. Dílčí zpráva projektu VaV SM/2/57/05, PřF UK, Praha*, 205 s.
- LANGHAMMER, J. (2006a): *Metodika mapování upravenosti říční sítě a následků povodní. Dílčí zpráva projektu VaV SM2/57/05 „Dlouhodobé změny pořičních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“, PřF UK, Praha*, 27 s.
- LANGHAMMER, J. (2006b): *Vztahy mezi krajinou a povodní. Závěrečná zpráva dílčího úkolu projektu „Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR, PřF UK, Praha*, 68 s.
- LHOTSKÝ, J. a kol. (1999): *Vliv stavu a využívání krajiny na povodňovou situaci. Vodní hospodářství. Praha*, č. 4, s. 67-69.
- LOŽEK, V. (2003): *Naše nivy v proměnách času. Ochrana přírody. Praha*, roč. 58, č. 5, s. 131-136.
- MAREŠ, K. (1998): *Úpravy toků. In: Krajina a voda. Sborník semináře. Veselí n. Moravou*, 98-102.

- MATĚJČEK, J. (1997): Úpravy toků a inundační území a jejich vliv na průběh povodní. In: Povodně a krajina '97. Brno, 9 s.
- NĚMEČKOVÁ, S. (2005): Analýza faktorů působících na postupovou dobu průtoků na vodních tocích v povodí Berounky a Sázavy. Magisterská práce. KFGG PřF UK, -Praha, 91 s.
- NERUDA, M., SLAVÍK, L. (2004): Vodní režimy v krajině. Fakulta životního prostředí UJEP Ústí nad Labem. Ústí nad Labem, 134 s.
- NETOPIIL, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 272 s.
- O'CONNEL, E. et.al. (2007): Is there a link between agricultural land-use management and flooding? Hydrology and Earth System Sciences, 11, s.96-107, www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/96/2007 (15.3.2007)
- PATERA, A. a kol.(2002): Povodně: prognózy, vodní toky a krajina. České vysoké učení technické v Praze, Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost. Praha, 436 s.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV, Brno, 82 s.
- RANZI, R. et al. (2002): Effects on floods of recent afforestation and urbanization in the Mella River (Italian Alps). Hydrology and Earth System Sciences, 6, s.239-253,
- ROSSO, R., RULLI, M., C. (2002): An integrated simulation method for flash-flood risk assessment: 2. Effects of changes in land-use under a historical perspective. Hydrology and Earth System Sciences, 3, s.285-294,
- SKALOVÁ, S., ŠEBESTOVÁ, M. (2000): Péče o břehové porosty v Babiččině údolí. Vodní hospodářství. Praha, č.7., s. 148-149.
- SYROVÁTKA, O. (2004): Vegetační porost krajiny a vodní hospodářství. Vodní hospodářství. Praha, č. 8, s. 234-237.
- ŠVIHLA, V. (1997): Příspěvek k řešení problému lesního vodního hospodářství. In: Povodně a krajina '97.Brno, s. 27-31.
- TOMÁŠEK, M. (2003): Půdy České republiky. Česká geologická služba. Praha, 67 s.
- TREML, V. (2004): Přeměny údolních niv a koryt vodních toků ve vztahu k povodním. Ochrana přírody. Praha, roč. 59, č.5, s. 131-135
- UHLÍŘOVÁ, K., VRÁNA, K. (2005): Vliv retenční kapacity krajiny na povodňové průtoky. In: Krajinotvorné programy. Sborník konference. Průhonice, s. 26-35.
- ZUNA, J. (2001): Zhodnocení naléhavosti ochrany přírodního charakteru ekosystému Litavky a jejího údolí z hlediska strategie ekologicky vhodné péče. In: Ekologická studie Litavky. Hydroprojekt. Praha, s.289-321.

ANALÝZA ZMĚN VYUŽITÍ ÚZEMÍ DOLNÍHO TOKU BLANICE NA ZÁKLADĚ LETECKÝCH SNÍMKŮ

Petra Hesslerová¹, Mgr. Karolína Macháčková

ENKI, o.p.s. Třeboň, M42barta@seznam.cz¹,

ArcData Praha, karolina.machackova@seznam.cz²

Abstrakt

Analýza změn struktury land use dolního toku Blanice mezi lety 1949 – 2002, byla provedena na základě leteckých snímků. Tato distanční data, díky možnosti pravidelného snímání, poskytují velmi dobrou možnost sledování vývoje krajiny, jejích změn a dynamiky.

Hodnocení bylo provedeno od soutoku Blanice s Vltavou po Vodňany, tedy na území, které bylo v minulosti nejvíce postiženo úpravami a zkracováním vodních toků. Hranice zájmové oblasti byla stanovena podle čáry záplavy z povodní v roce 2002.

Výsledkem analýzy je vytvoření souboru tématických map krajinného pokryvu pro jednotlivé roky, a to podle předem stanoveného klasifikačního schématu. Podle nich bylo provedeno kvalitativní i kvantitativní vyhodnocení vývojového trendu změn krajinného pokryvu a využití půdy.

Klíčová slova: letecké snímky, změny land use, záplavové území

1 Úvod

Česká krajina v minulosti prošla celou řadou změn, na nichž se kromě přírodních procesů, podílel především člověk. Od 50. let se struktura krajiny, a to především zemědělské, velmi výrazně a dramaticky změnila. V praxi to znamenalo odstranění drobných stabilizačních prvků z krajiny, zjednodušení celkové krajinné struktury a orientaci na maximalizaci produkční funkce krajiny. Byla učiněna řada nelogických pozemkových úprav, které měly následně významný vliv na fungování celé krajiny. Jedním z negativních zásahů bylo zornění lučních porostů v údolních nivách, stejně tak jako rozšíření zástavby do tohoto přirozeného záplavového území. Tímto byla podstatně snížena retenční schopnost krajiny a zároveň i pozitivní úloha aluviálních luk při povodňových událostech.

Tyto změny ve vývoji české krajiny jsou velmi dobře zachyceny na leteckých snímcích, které byly pro naše území pořizovány již od 30. let minulého století. Nejčastěji používaná jsou data vojenského fotogrametrického snímání, která spravuje Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad v Dobrušce. Zpravidla se jedná o černobílé snímky pořízené velkoformátovou kamerou (23 x 23 cm, f = 152 mm), v různém měřítku.

2 Metodika a použitá data

Analýza změn využití půdy byla provedena v úseku od soutoku Blanice s Vltavou po Vodňany, tedy na území s poměrně dynamickým vývojem. Sledované území dolního toku bylo dále vymezeno čarou povodňové záplavy z léta 2002.

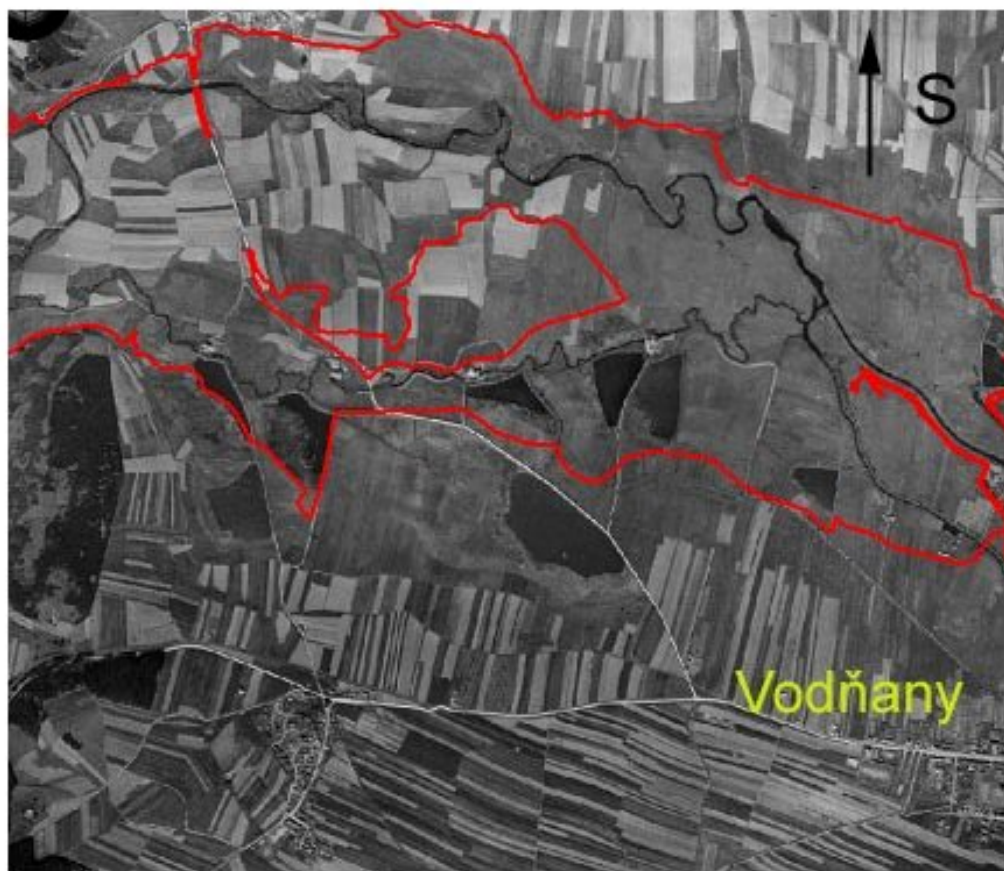
Časová řada snímků byla zvolena s ohledem na změny ve vlastnictví půdy a jejím využití, ke kterým docházelo v průběhu 20. století. Konkrétně byly vybrány roky 1949, 1966/1971, 1991, 2002. Snímání však nebylo provedeno kontinuálně pro celé území. Z tohoto důvodu bylo nutné druhý člen řady sestavit ze dvou různých termínů, některé menší části území nebyly nasnímány vůbec. Interpretace prvních dvou termínů, byla rovněž ztížena velmi špatnou kvalitou dat. Problém rovněž představovaly i velmi tmavé

okraje snímků - tzv. vignetace. Jako doplňková data, zejména pro rektifikaci do souřadného systému S-JTSK, byla použita vektorová databáze ZABAGED (vrstvy vodní toky, komunikace, budovy a vodní plochy). S ohledem na hlavní cíl práce – vyhodnocení trendu změn krajinného pokryvu, však nebyly kladeny vysoké nároky na míru polohové přesnosti. K dispozici byla i vektorová vrstva čáry záplavy z roku 2002.

Zpracování dat vycházelo především z metod vizuální interpretace. Při vlastním vyhodnocení snímku bylo využito některých tzv. interpretačních znaků. Tyto znaky napomáhají identifikaci jednotlivých objektů a jsou představovány tvarem, stínem, velikostí a výškou, barvou, dále tónem a texturou, strukturou a polohou. Důležité je rovněž sledování příčinných vztahů a souvislostí. Vlastní zpracování snímků bylo provedeno v prostředí ArcGIS 9.1., podél předem stanoveného klasifikačního schématu. Výsledkem interpretace jsou čtyři digitální vektorové tématické mapy pro jednotlivé termíny, kvantifikováno bylo i poměrné zastoupení základních kategorií.

3 Výsledky interpretace

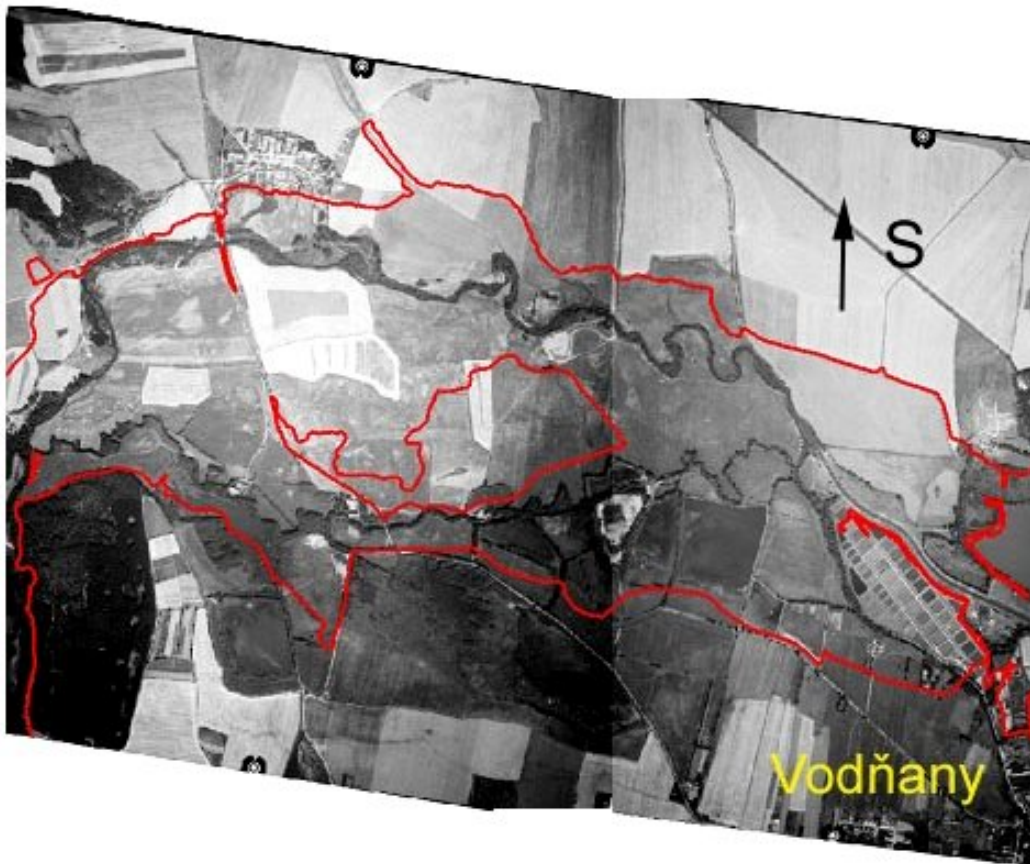
Krajinná struktura v roce 1949 odpovídá charakteru zemědělské malovýroby a soukromého vlastnictví. Mozaika pásovitě uspořádaných políček vytvářela velmi pestrou mikroheterogenní krajinu, s převažujícím lineárním uspořádáním. Oproti okolí však sledované záplavové území vykazuje nižší stupeň zornění. Zastoupení orné půdy má spíše ostrůvkovitý charakter. Převážná část záplavového území je tvořena travními porosty (1430,7 ha). Lesy se v záplavovém území téměř nevyskytují. Do kategorie rozptýlená zeleň byly zahrnuty i břehové porosty podél vodních toků. V určité míře byla však tato kategorie generalizovaná, nezahrnuje malé skupinky stromů, ani stromořadí podél cest. Proto také ve výsledku zaujímá velmi malou část území. Ze sídel se v záplavovém území nachází jen část Putimi, Protivína a Vodňan, dále pak i pár objektů v obcích Heřmaň, Myšenec, Žďár, Milenovice a Krašovice.



Obrázek 1. Pásovitě uspořádání políček v okolí Vodňan v roce 1949

Od 50. let proděla struktura krajiny a s ní současně i land use výrazné změny, které vycházely především ze změny politického systému. Dochází ke změně vlastnických poměrů a přechodu od zemědělské malovýroby k socialistické velkovýrobě. Tato skutečnost, která se promítla do charakteru celkové krajinné struktury i do změn v jejím využívání, je již velmi dobře patrná v dalším sledovaném termínu 1966/1971. Typické je slučování pozemků a zvýšení ploch orné půdy v záplavovém území téměř o 37%. Travní porosty zůstávají zachovány především v okolí Protivína v místech, kde Blanice vytváří výrazné meandry. Pestrá mozaika lineárně uspořádaných políček se mění ve větší homogenní celky. Významnou změnou na sledovaném území bylo vystavení sádek a rybníků v okolí Vodňan. Severovýchodně od Myšence byla zavedena řada slepých ramen a narovnan tok Blanice. Toto území bylo následně přeměněno v zemědělskou půdu.

Během 70. a 80. let byl charakter zemědělské krajiny zachován. Podíl orné půdy v záplavovém území na dolním toku se zvýšil, travní porosty lemující tok Blanice byly rozorány. Na horním toku, západně od Vodňan, byl naopak na úkor orné půdy zvýšen podíl doprovodné zeleně. Významnou vodohospodářskou změnou bylo založení rybníka Rabyně severovýchodně od Protivína. Meandry, které v této části toku Blanice tvořila, byly zavezeny a tok narovnan. Travní porost se přeměnil na ornou půdu. Zároveň byly rozšířeny sádky v okolí Vodňan.



Obrázek 2. Změna krajinné struktury po sloučení pozemků – okolí Vodňan 1966/1971

V 90. letech proběhla spolu s významnými politickými změnami také změna krajinné struktury. Výrazně zvýšil podíl trvalých travních porostů v záplavovém území (téměř o 10 %). Největší rozvoj byl zaznamenán v okolí Vodňan a západně od nich, dále také mezi Putimí a Maleticemi. Dochází k rozdrobování velkých celků orné půdy, jejíž podíl v záplavovém území klesl téměř o 13 %. Krajinná mozaika se stává opět pestřejší.

V tabulce 1 a 2 jsou kvantifikovány absolutní i relativní rozlohy jednotlivých kategorií mezi lety 1949 – 2002).

Tabulka 1. Kvantifikace rozloh vybraných kategorií land use (%)

	1949	1966/71	1991	2002
Vodní plochy	146,11	142,80	188,85	192,80
TTP	1430,67	402,85	291,36	476,84
Rozptýlená zeleň	21,69	124,69	276,14	359,81
Les	2,88	10,07	10,73	13,93
Zemědělská půda	628,84	1427,49	1452,20	1162,10
Zástavba	28,27	26,30	48,03	53,80

Tabulka 2. Kvantifikace rozloh vybraných kategorií land use (ha)

	1949	1966/71	1991	2002
Vodní plochy	6,47	6,32	8,36	8,53
TTP	63,30	17,83	12,89	21,10
Rozptýlená zeleň	0,96	5,52	12,22	15,92
Les	0,13	0,45	0,47	0,62
Zemědělská půda	27,82	63,16	64,26	51,42
Zástavba	1,25	1,16	2,13	2,38

4 Závěr

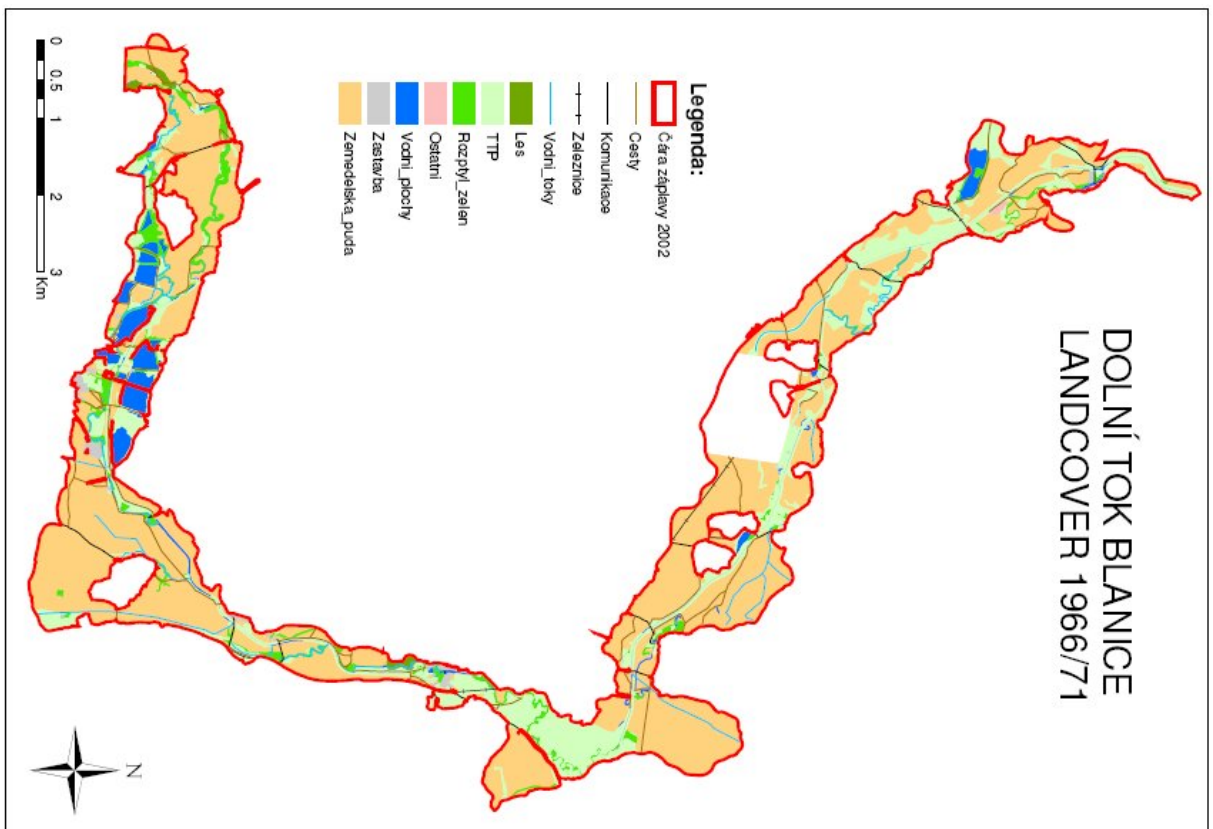
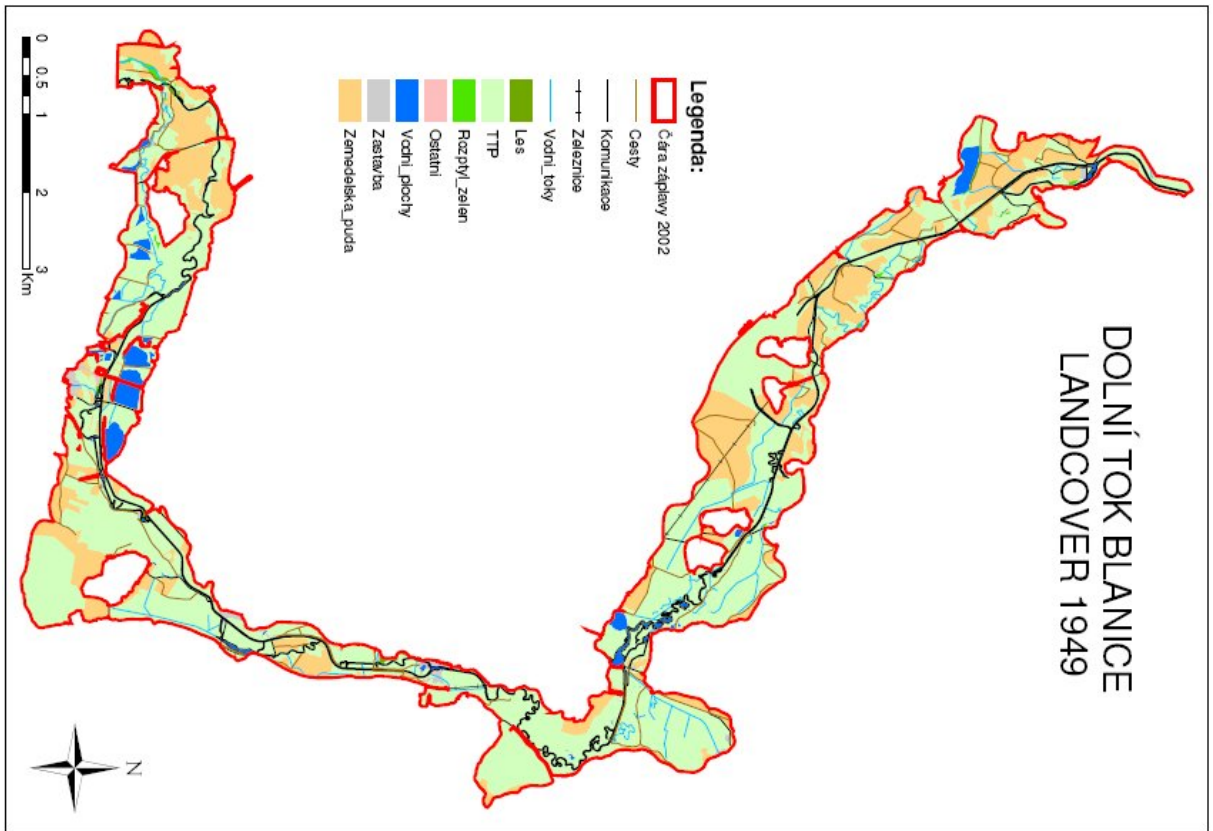
I přes řadu nevýhod, jakými jsou kvalita snímků, zkušenost zpracovatele, nízké spektrální rozlišení, poskytují letecké snímky cenné údaje pro hodnocení změn v krajině. Vektorové digitální mapy změn krajinného pokryvu a využití půdy, vytvořené na těchto distančních datech, umožňují sledování vývoje krajiny na území mezi Putimí a Vodňany v časovém horizontu téměř šedesáti let.

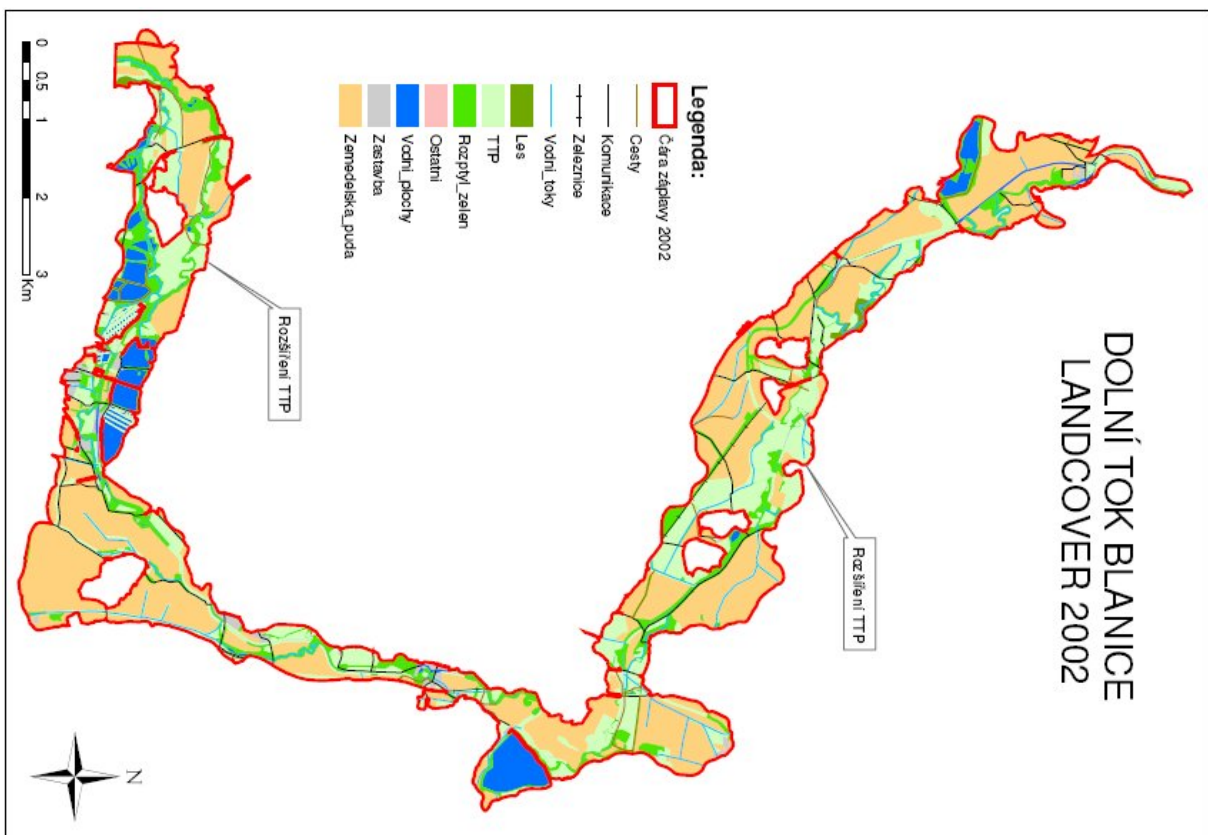
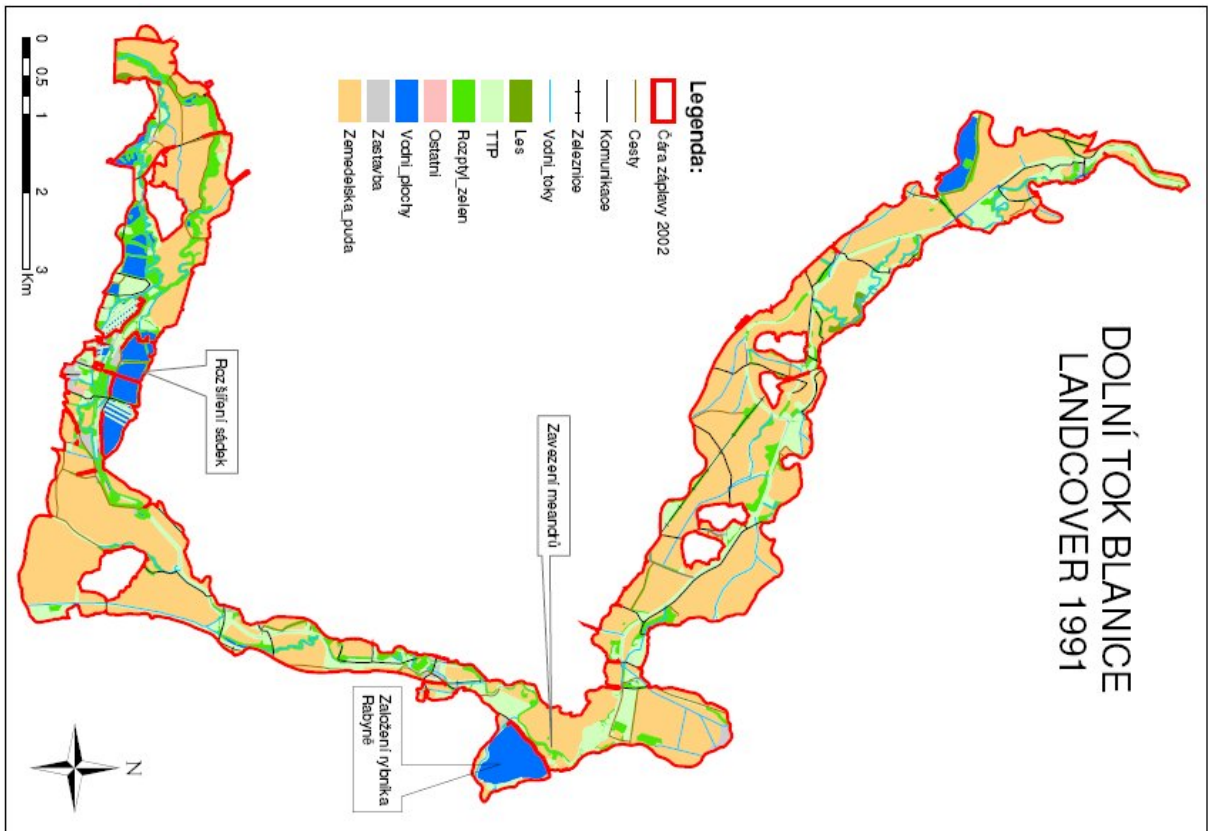
Ze sledovaného vývoje vyplývá, že nejvíce ovlivněny byly aluviální louky v okolí Blanice. Tyto ekosystémy byly ve větší míře nahrazeny ornou půdou a přestaly v krajině plnit své funkce. Teprve během 90. let se do krajiny pomalu vracejí. Mezi nejvýznamnější funkce luk se bezesporu řadí jejich schopnost zadržování vody v krajině. Rozlivy při povodních jim neškodí, naopak napomáhají zpomalení odtoku a transformaci povodňové vlny. Plní tak protierozní a půdoochrannou funkci, podílejí se i na zlepšování kvality vody. Také jejich hospodářské využití jejich produkce je možné. Z těchto důvodů by bylo vhodné zvyšovat výměry travních porostů v oblastech, které jsou pod přímým povodňovým ohrožením. Zároveň by bylo vhodné omezit výstavbu nových objektů v záplavovém území.

Změny zaznamenala i říční síť. Tok Blanice byl zkrácen zhruba o čtrnáct kilometrů. Řada meandrů a slepých ramen byla zazeměna a přeměněna v ornou půdu. Zároveň byla na jejím toku vystavěna řada rybníků a sádek, jejichž ochranná funkce při povodních je diskutabilní.

5 Literatura

- AVERY, T. E., BERLIN, G.L. (1992): Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation, Fifth Edition, New York, Macmillan Publishing Company, 472 p.
- ČAPEK, R. (1978): Dálkový průzkum a fotointerpretace z hlediska geografa. SPN, Praha, 279s.
- ČAPEK, R. (1988): Dálkový průzkum Země. Ministerstvo školství ČSR, Praha, 244s.
- DOBROVOLNÝ, P. (1998): Dálkový průzkum Země. Zpracování obrazu. Vydavatelství Masarykovy univerzity, Brno, 208s.
- JEŘÁBEK, O. (1982): Dálkový průzkum Země. Interpretace leteckých a družicových snímků. ČVUT, Praha, 147s.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. (1994): Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, New York, 750 s.
- PAINE, D. E. (1981): Aerial Photography and Image Interpretation for Resource Management, New York, John Wiley and Sons, 571 p.
- STEINER, D. (1970): Automation in photo interpretation. Geoforum, Vol. 2, p. 75-88



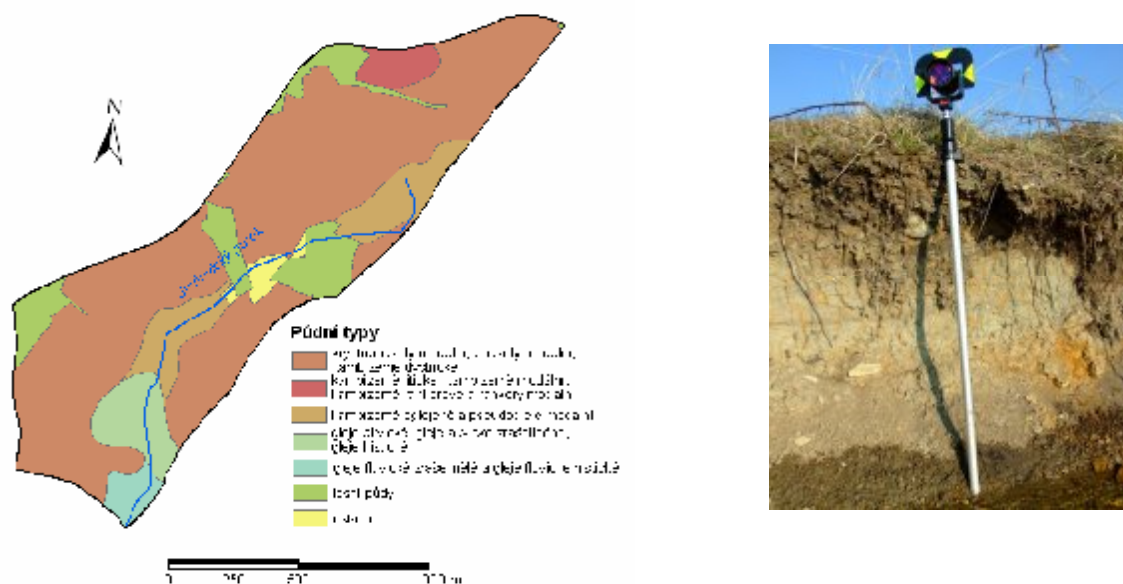


SLEDOVÁNÍ DYNAMIKY REVITALIZOVANÉHO KORYTA SVIŇOVICKÉHO POTOKA

Jana Hujšlová, Zdeněk Kliment, Milada Matoušková, Markéta Potůčková, Miroslav Šobr
PřF UK v Praze

1 Vymezení a charakteristika zájmové oblasti

Plošně malé povodí Sviňovického potoka (cca 2 km²) je součástí povodí pravostranného přítoku řeky Blanice, Zbytínského potoka, jižně od Prachatic u obce Zbytiny v oblasti Šumavského podhůří. Podloží povodí je tvořeno silně metamorfovanými a migmatizovanými moldanubickými horninami prekambriického až paleozoického stáří překrytými pleistocenními a holocenními deluviálními a fluviálními sedimenty a rašelinou. Nejrozšířenějšími půdními typy v povodí Sviňovického potoka jsou kryptopodzoly modální, podzoly modální a kambizemě dystrické charakteristické pro chladný klimatický region. Linie Sviňovického potoka je lemována pásem půdních typů se znaky oglejení (kambizemě oglejené, pseudogleje, gleje) – viz. Obr.1.

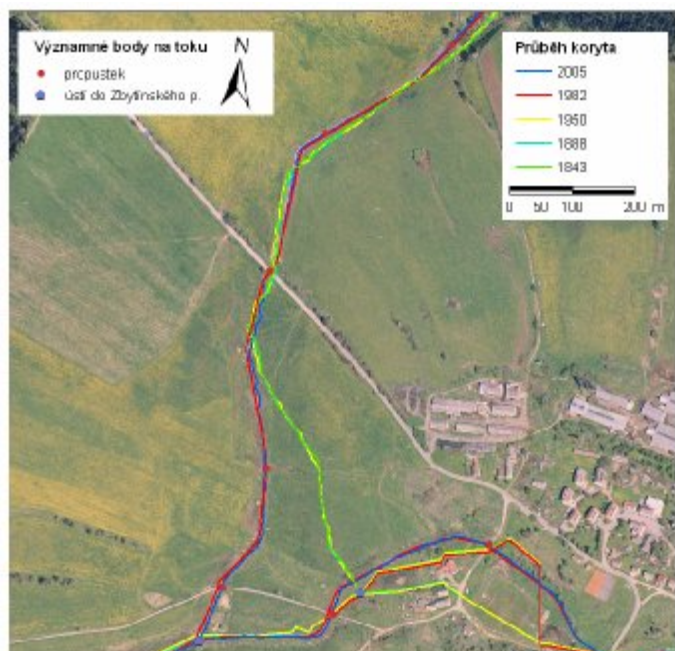


Obr.1 Typy půd v povodí Sviňovického potoka. Vpravo: Profil půdním horizontem na břehu potoka se známkami oglejení. Foto: Kliment

2 Historie vývoje koryta toku

V roce 1843 mělo koryto Sviňovického potoka přirozený charakter s mírnými zákrutami. Probíhalo jihozápadním směrem a zhruba 180 m severně od silnice se stáčelo k jihu. Z jižního na jihovýchodní směr se koryto stáčelo přibližně 100 m pod silnicí. Do Zbytínského potoka ústil Sviňovický potok na okraji obce Zbytiny (Obr.2). Linie koryta Sviňovického potoka v roce 1888 a 1950 vykazuje jen nepatrné rozdíly. V horní části toku nad silnicí je jejich průběh prakticky totožný, ve spodní části docházelo k mírným posunům zákrutů. Sviňovický potok byl velmi výrazně ovlivněn lidskou činností v době socialistické kolektivizace zemědělství v 70.-80. letech 20. století. V této době byly provedeny meliorační úpravy, Sviňovický potok byl napřímen a koryto na úseku dlouhém 1,132

km od ústí do Zbytínského potoka bylo opevněno betonovými prefabrikáty do tvaru jednotného lichoběžníkového příčného profilu se sklonem svahů 1:1,5. Na jaře 2005 byla na toku i přilehlém úseku Zbytínského potoka pod obcí Zbytiny provedena revitalizace. Bylo odstraněno betonové opevnění koryta od ústí Sviňovického potoka po horní propustek u lesa u přejezdu TK 60/125, koryto bylo rozvolněno (Obr.3, 4). V horní části byla ponechána původní trasa koryta s lichoběžníkovým profilem o šířce dna 30 cm a sklonem svahů 1:5, v dolní části pod silnicí byly zrealizovány navržené zákruty s jednostranným úklonem břehových svahů. Ke zvýšení stability dna a oživení bylo realizováno cca 20 kamenných prahů a břehy koryta osázeny dřevinami.



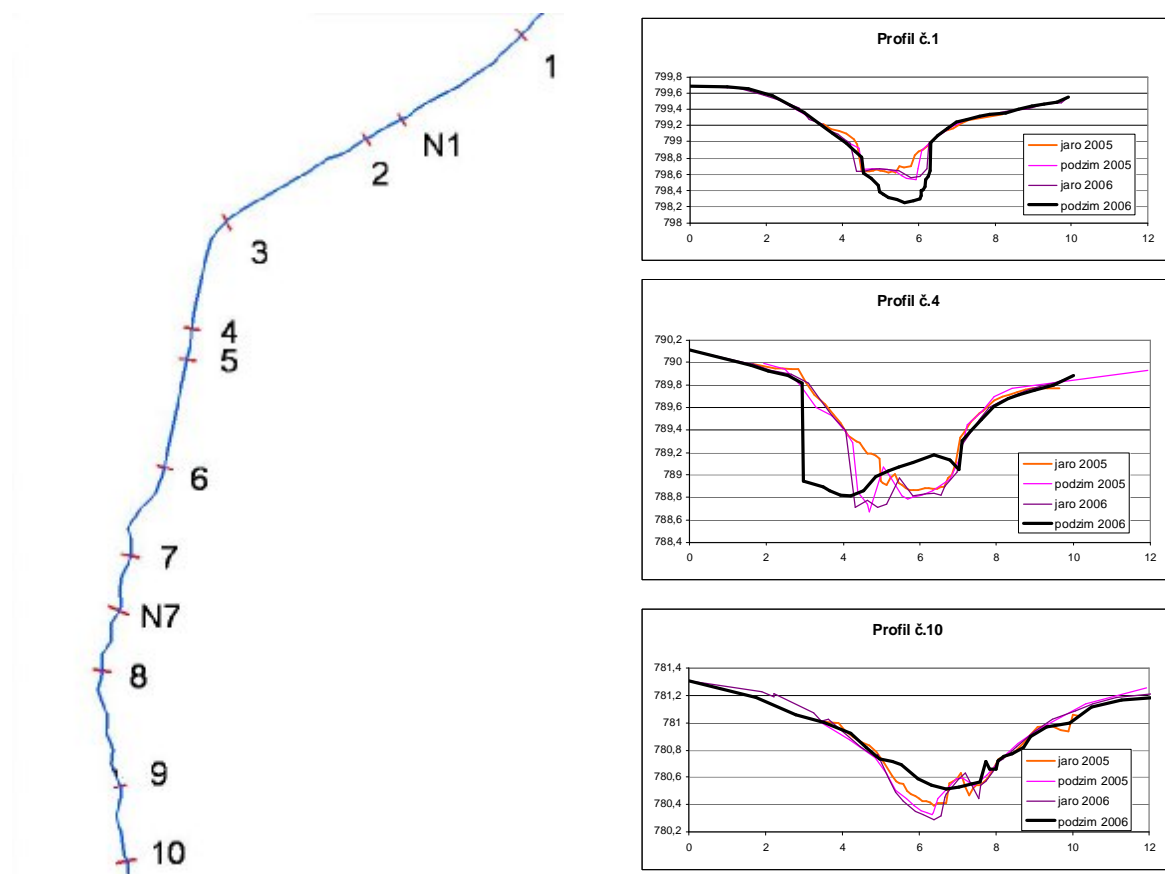
Obr.2 Historický vývoj koryta toku Sviňovického potoka (1843-2005)



Obr. 3 Sviňovický potok. Před revitalizací bylo koryto ve dně a březích zpevněno betonovými prefabrikáty – stav podzim 2004. Foto: Matoušková



Obr. 4 Revitalizované koryto Svinického potoka, a) odstraněné betonového opevnění, b) rozvolnění koryta zaslepení podpovrchové drenáže – stav jaro 2005. Foto: Matoušková

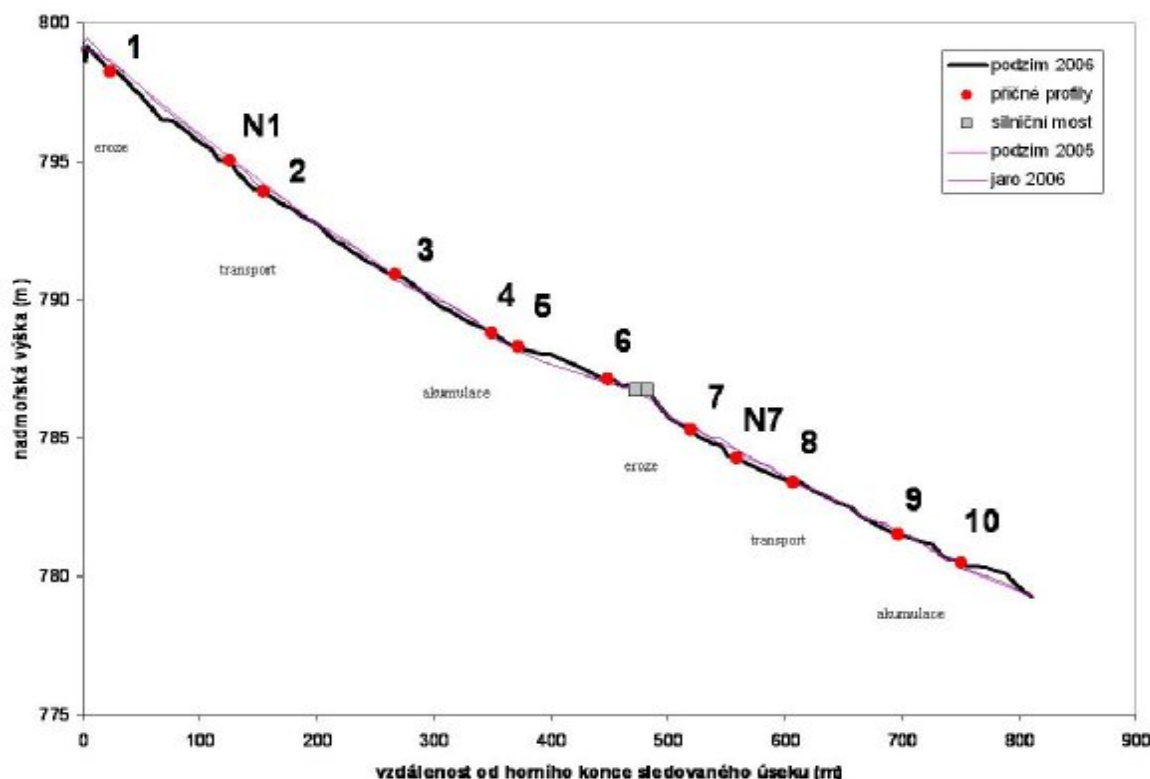


Obr.5 Geodeticky zaměřené příčné profily

3 Metody a zdroje dat

Při výzkumu jsou uplatněny terénní i kamerální metody, včetně metod DPZ. Za základní můžeme považovat opakované geodetické zaměření vytipovaných 12 příčných profilů v půlročních intervalech: jaro, podzim (profily 1-10 od jara 2005, profily N1 a N7 od jara 2006) a podélného profilu (od podzimu 2005) spolu s fotografickou dokumentací stavu koryta (Obr. 5). Na jaře 2006 a na jaře 2007 proběhlo nasnímání lokality s vysokým rozlišením snímků z nízkoletícího modelu letadla (vrtulníku). Od jara 2006 je prováděn

kontinuální monitoring vodních stavů a občasným hydrometrováním jsou získávána data pro přepočítání vodních stavů na průtoky (Obr.7). K vyhodnocení srážkoodtokových poměrů je využito údajů z automatického srážkoměru umístěného ve Zbytinách.



Obr. 6 Změny v podélném profilu

4 Průběžné závěry

Rozvolněné koryto vykazovalo od provedené revitalizace poměrně velkou dynamiku, která se projevila intenzivní hloubkovou i boční erozí na jedné straně a rozsáhlými fluvialními akumulacemi na dně koryta toku na straně druhé. Na téměř všech sledovaných profilech převažovalo v průběhu prvního půlroku mírné až střední zahlubování koryta v rozsahu zahloubení 5 až 20 cm. Od podzimu 2005 do jara 2006 profily zůstávají až na výjimky v podstatě na podobné hloubkové úrovni, dochází k rozšíření profilů u dna o cca do 20 cm. Boční eroze spolu s akumulacemi přemísťovaného materiálu vede k samovolnému vývoji drobných zákrutů, kde dochází k největším šířkovým, ale i hloubkovým změnám. Vývoj některých morfometrických prvků, zejména vývoj zákrutů bude možné v celém sledovaném úseku jako celku lépe zhodnotit až interpretací opakovaně pořízených leteckých fotografií (otestování možnosti využití 3D software). V období od jara 2006 do podzimu 2006 dochází ve sledovaném úseku k dramatickým změnám v souvislosti s několika významnými srážkoodtokovými událostmi, zejména pak ze 12.7. 2006, kdy teklo pod mostem 66 cm vodního sloupce. Koryto toku se výrazně změnilo, došlo k téměř katastrofální hloubkové a boční erozi (na sledovaných příčných profilech zahloubení až o více než 30 cm, boční eroze na některých výsečných březích až 1 m). Některé dříve prohloubené profily byly naopak zaneseny vrstvou sedimentu o mocnosti 25-30 cm a dostaly se nad původní úroveň z jara 2005 (Obr.6, Obr.8). Změny jsou patrné i v podélném profilu toku, změny úrovně povrchu dna dosahují až přes 40 cm. Vedle prohloubení některých zákrutů došlo v akumulačních částech profilu k zanesení a zániku drobných zákrutů a tím vlastně k opětovnému nepřímému průběhu toku. Od podzimu 2006 do jara 2007 zůstala situace víceméně podobná.



Obr. 7 Vlevo: Měření vodních stavů ultrazvukovou sondou. Vpravo: Snímkovací model vrtulníku. Foto: Kliment



Obr. 8 Střídající se erozní a akumulční úseky na toku. Foto: Kliment

LETNÍ POVODNĚ V ROCE 1582, REKONSTRUKCE HISTORICKÉ UDÁLOSTI A DOKLADY O ZMĚNÁCH HYDROLOGICKÝCH PODMÍNEK

Libor Elleder¹, Oldřich Kotyza²

¹ČHMÚ Praha

²Oblastní muzeum v Litoměřicích

Anotace

Historické povodně předinstrumentálního období jsou vnímány hydrology jako zdroj využitelných informací často skepticky. Předkládaný příspěvek se proto snaží poukázat na rozšiřující se možnosti historického materiálu, a to právě na případu rekonstrukce této povodňové události.

Rok 1582 byl na prvý pohled pozoruhodný častějším výskytem hydro-meteorologických extrémů (vichřic, tornád, bouří, přívalových dešťů, povodní) a do historického povědomí se zapsal především rozsáhlou morovou epidemií. V minulosti byla věnována pozornost katastrofální povodni na Teplé v květnu téhož roku. Specifikem červnového případu byla možnost rekonstruovat alespoň v hrubých rysech průběh povodně ve vodních stavech v Praze a to v profilu vodočtu u kláštera Křížovníků s červenou hvězdou. Umožnil to dochovaný záznam ve fragmentu letopisu pražské rodiny Turnarů, který barvitě, v dobovém stylu, nicméně s několika cennými detaily poměrně podrobně zachycuje vzestupnou i sestupnou větev povodňové vlny. Naprostá většina dobových záznamů se totiž věnuje maximálně nejvyššímu dosaženému stavu, případně napáchaným škodám, proto je uvedená analistická zpráva výjimečná a údaje je možné alespoň přibližně i kvantifikovat. Za pozornost však stojí i zprostředkované parametry této povodně. Tím je především prudký nárůst vodního stavu v průběhu povodně a značný objem povodňové vlny nepřímou poukazující na extrémní srážkové úhrny v krátkém časovém období. Tím se řadí tato povodeň k nejvýznamnějším případům červnových povodní u nás vůbec. Předložený časový průběh povodně konfrontovaný s jinými případy z instrumentálního období je zároveň dalším krokem k poznání míry změn, kterými prošlo povodí Vltavy v posledních pěti stoletích.

1 Úvod

Spolehlivé písemné zprávy o povodních na našem území začínají až ve druhém desetiletí 12. století, přesněji řečeno popisem velké inundace ze září 1118 pražským kanovníkem Kosmou (ed. Bretholz 1923); pravidelně či nepravidelně registrované maximální vodní stavy se však vyskytují většinou až v posledních dvou stoletích. Výjimečně např. v Praze najdeme sice záznamy z konce 15. století, vždy však jde jen o popis maximální hladiny. Zápisy, které by umožňovaly konstrukci časového průběhu povodně jsou typické až pro 19. století. Příspěvek upozorňuje na zcela výjimečný záznam povodně z června 1582, který umožňuje přibližnou rekonstrukci povodňového hydrogramu.

2 Metoda

Pro rekonstrukci časového průběhu byl hlavní oporou zatím ojedinělý dochovaný slovní popis povodně, jehož opravená edice (ed. Kotyza 2007) se v některých podstatných detailech liší od textu uvedeného v Kotyza et al. (1995). Časové údaje ze staršího způsobu počítání hodin (od západu slunce předchozího dne) jsou přepočteny na střeoevropský čas (SEČ), datace ve smyslu tehdejšího

platného Juliánského kalendáře byla ponechána (přepočít na dnešní data: 1. 6. 1582 = 11. 6. 1582, tedy cca o 10 dní dopředu). [Pozn. OK: Následné dva odstavce jsem stáhl do jednoho.] Bylo rovněž nutné lokalizovat některá místa se změněnými jmény na Netolicku, v Českých Budějovicích a Praze. Údaj o výšce vody (viz dále) ve vztahu k pražským mlýnům byl ověřen s pomocí současné stavební dokumentace (Pasport SÚRPMO) k Velkopřevorskému mlýnu (podrobněji viz Elleder 2005).

Případ byl (zčásti i pro kontrolu věrohodnosti) porovnán s případy letní povodně v roce 1872, zimní povodně 1876 a letní v roce 1890. Obě prve jmenované inundace (1872, 1876) dosáhly srovnatelného kulminačního stavu (Novotný 1963) a v obou případech je k dispozici paralelní záznam vodních stavů i časový sled zatápnění města publikovaný v dobovém tisku jako Národní listy, Bohemia, Posel z Prahy aj. Případ z roku 1872 je mimo jiné podobný červnové povodni roku 1582 také rychlým nárůstem vodního stavu a vznikem mohutných bariér z odplavených zásob dřeva v Podskalí.

3 Výsledky rekonstrukce

Předběžnou podmínkou pro vznik povodňové situace začátkem června bylo deštivé počasí již v květnu 1582. Významné bouřkové události vedly minimálně jednou ke vzniku povodňové epizody již v první dekádě května (po přepočtu data druhé dekádě) v Karlových Varech i Praze, k další vlně bouřek došlo pravděpodobně znovu kolem 23. května. Vodní stavy byly tedy již předběžně zvýšené a patrně rozkolísané. Zde je nutno zdůraznit, že počátkem května (či koncem dubna) byla v Praze významná povodeň s dosaženým stavem 370 cm (s prameny Brázdil et al. 2005), tzn. jen o 15 cm nižší kulminační stav než v červnu.

Bezprostřední příčinou diskutované povodně byl silný déšť 1. a 2. června zaznamenaný v jižních Čechách (Netolicko). Předpoklad pro orografické zesílení srážek představoval i silný vítr, který dokládají zprávy z Litoměřic (Kniha pamětní Litoměřic). Průběh povodně odpovídající textu je v chronologické tabulce 1.

Tab. 1 Chronologie týkající se epizody v červnu 1582 založená na dokumentárních zdrojích

	H. Vltava, Lužnice, Otava	Dolní Vltava, D. Labe, Ohře
Pá 1. 6.	Český Krumlov: Silný déšť	
So 2. 6.	Netolicko: Prokopávání hrází rybníků Č. Budějovice: zaplaveno náměstí	Litoměřice: bouřlivý vítr, bez deště, vzestup Labe
Ne 3. 6.	Netolicko: nástup povodně 3 hod. v noci Bechyně: povodeň, pobránění dříví Soběslav: zaplavení městského příkopu, voda sahala až k mostu	Praha: 1. vlna - bariéry u Karlova mostu, večer prudký vzestup
Po 4. 6.	Vilém z Rožmberka cestuje mezi Krumlovem a Třeboní	Praha: vzestup do rána +200 cm, setrvalý stav
Út 5. 6.	Vilém z Rožmberka nemůže pro stržené mosty z Třeboně do Prahy	Praha: kulminace 380 cm Slaný: Bouřka ??
St 6. 6.		Praha: pokles -60 cm Litoměřice: kulminace
Čt 7. 6.		Praha: pokles -120 cm Stav cca 220 cm, hřídle mlýnů nad vodou Litoměřice: 1. pokles Labe, mohly mlít mlýny
Pá 8. 6.	Třeboň: jasno bez deště, přišly zprávy o škodách v Roudnici	Praha: hladina zůstala na úrovni cca 200 cm
So 9. 6.		
Ne 10. 6.	Borovany, Třeboňsko: bouřka, krupobití	Žatec: nepřetržitý mírný déšť až do 13. 6.

Nepřímá informace o extremitě povodně na Lužnici a Netolicku vyplývá z dobového hodnocení. Kronikář Václav Březan (v Životě Petra Voka z Rožmberka, viz ed. Pánek 1985) ji uvádí jako největší povodeň z hlediska zkušenosti pamětníků, tedy významnější než např. případ z konce roku 1581, pravděpodobně ale také větší než např. květnová povodeň roku 1556 v Chlumu u Třeboně. Kolem 3. 6. 1582 se rozlila i Lužnice, která podle kronikáře Březana (ed. Pánek 1985) v Bechyni unesla značné množství dříví a v Soběslavi zaplavila městský příkop a voda dosahovala až k mostu u Veselské brány. Podle nepřímé zprávy ničivě postihla i Tábor, neboť vyslanci tohoto města z důvodu značných povodňových škod žádali 29. listopadu 1582 zástupce českého sněmu o odložení hromniční berně (Sněmy české 1890). Přesnější doklad pro horní Vltavu plyne ze záznamu o zatopení Českých Budějovic, kde voda sahala od brány až k domu Hanse Mathese (ed. Mareš 1922), který se podle informace českobudějovického archiváře Kováře nacházel na hlavním rynku, tj. na dnešním náměstí Přemysla Otakara II. čp. 121/34 a bránu lze identifikovat buď s Krumlovskou (Rožnovskou) či Svinenskou, méně pravděpodobně se Solní brankou. Tato skutečnost (zaplavení hlavního náměstí) umožňuje řadit červen 1582 mezi nejvýznamnější případy povodní na horní Vltavě, tzn. z let 1592, 1598, 1655, 1736, 1784, 1848, 1888, 1890 a 2002 (Brázdil et al. 2005).

V sekundárních zdrojích lze nalézt i zprávu o rozvodnění Otavy téhož roku (Soukup 1910). Rozvodnění Sázavy je doloženo bez data ve Světlé nad Sázavou, (Seidler 1888) a doklad o rozvodnění Berounky zatím chybí, nepočítáme-li zprávu Dlouhého (1899) s pravděpodobně chybným odkazem na Schallera (1785-1790).

Z výše uvedeného se zdá vyplývat, že časový sled rozvodnění v horní části povodí vcelku dobře odpovídá obvyklým dobovým dobám ve vztahu k Praze (před výstavbou kaskády). Souhlasí i opoždění Lužnice, stejně jako např. v roce 1890.

V Praze červnovou povodeň zaznamenala řada kronikářů. Odkazy na ni jsou ze soudobých zdrojů v Březanových Životech posledních Rožmberků (ed. Pánek 1985), dále v „Pamětní knížce“ pražského měšťana Jana Piláta Rakovnického (ed. Dvorský 1972) a dvou někdejších profesorů pražské university Daniela Adama z Veleslavína (1590) a jeho kolegy Marka Bydžovského z Florentina (ed. Kolár 1987). Tyto zdroje zmiňují množství odplaveného dřeva z Podskalí, které se zachytilo u Karlova mostu a také maximální výšku vody. Ta je určena dvojnásobem, přesněji vůči plastice Bradáče (zatopen celý, po oči, do čela apod., viz dále) a skutečností, že vodu bylo možné dosáhnout z mostu píkami.

Rekonstrukci povodně umožňuje však nejlépe podrobný záznam, který je obsažen v letopiseckých přípisích k prvnímu vydání díla Pavla Kristiána z Koldína „Práva městská Království českého“ z r. 1579, jehož exemplář je deponován pod sign. XI 12.5.1 v Ruské národní knihovně (bývalé Státní veřejné knihovně M. J. Saltykova-Ščedrina) v ruském St. Petěrburku. Autorem tohoto drobného letopisu je pražský měšťan Jan Turnar Tepelský a jeden neznámý pokračovatel z téže rodiny (ed. Kotyza 2007; viz i Pánek 1989):

„Anno 1582, na den svatého Ducha [3. června] připadla jest veliká voda, takže jest za několik tisíc dříví pobrala, kdež jest nad mostem se zpřičilo, takže od Malé Strany až k Starému Městu toliko tříma jizbami voda jíti mohla. A potom od nešporů [16.00 hod.] až do pondělka [4. června] do hodiny desáté na celém orloji [6.00 hod.] přibylo ještě vejšěji té vody o půl čtvrtá lokte; tak ten celý den stála i v outerý [5. června]. A v pondělí ráno opě[t] pobrala mnohem víceji dříví a prarazila [sic!] při Malé Straně prvnější dříví ve třech jizbách a Starému Městu zastavilo se mnohem víceji, dvakráté nežli byla prve pobrala, kola u mlejna staroměstského potřela, Bradáči až do půl čela voda šla. Potom v středu [6. června] počelo jí ubývati, ubylo jí dobře o jeden loket. V Starém Městě dostatek vody do půl města měli, k tomu mnoství z sklepích do několika set voda byla, že sou sudové splývali, koně, krávy plouli

utopené. Též stavení mnohá i na mnoha místech okolo svatého Ducha a svaté Anížky [sic!] v městě plaviti se museli, též nad lázni Točenicí po těch ulicích i jinde. K více, kdož neviděl, nepodobné žádného pamětníka ve vsi Praze nebylo, aby větší voda byla. Do čtvrtku [7. června] upadlo jí za dva lokty, nebo již vyhlídaly hříděle vodné od mlýnských kol. A taková trvala jest za dlouhý čas, což by ta dříví až do gruntu země nad 16 jizbami zavezla; dvě sou se vostrovem zaplavily uprostřed celý, kderéhož nemohli dřívěji svatého Bartoloměje [24. srpna] zdobývati“ (ed. Kotyza 2007).

V roce 1582, byl používaným měřítkem zejména pro maximální stavy povodní plastika Bradáče umístěná tehdy prokazatelně přes sto let na zbytku Juditina mostu (Elleder 2003; Brázdil et al. 2005). Tyto výšky jsou vztaženy k nule vodočtu u Křížovníků (Elleder 2004), který se nachází v bezprostřední blízkosti plastiky. Zmíněné vodní stavy jsou vztaženy k tomuto vodočtu, ale přibližně mohou odpovídat i stavům na blízkém Staroměstském vodočtu.

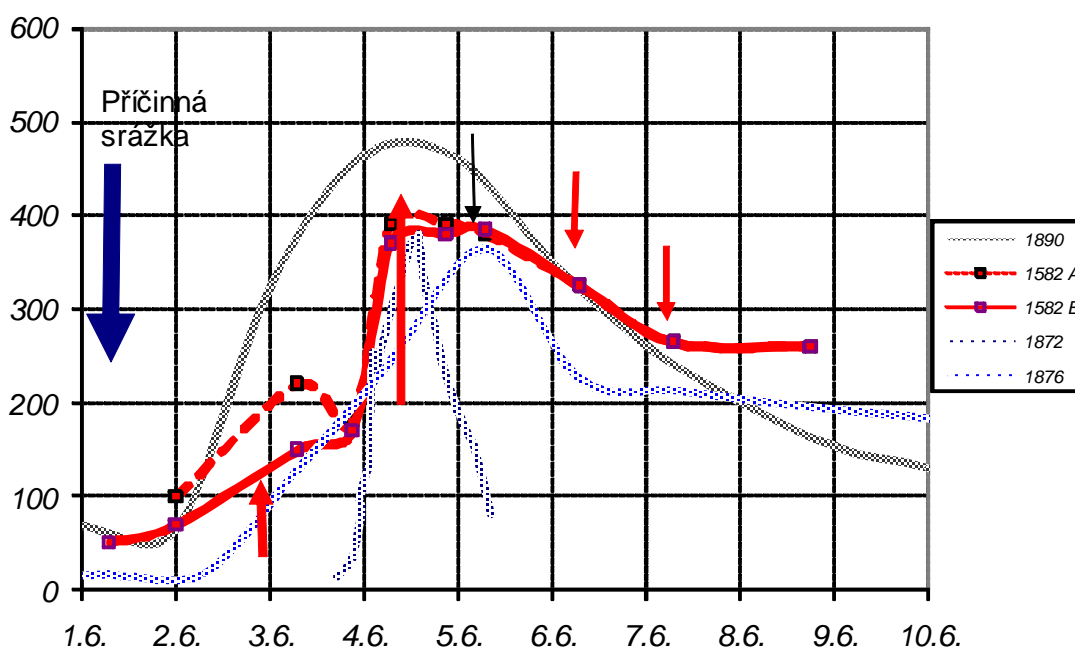
Červnová povodeň v Praze začala tedy 3. června vzestupem hladin, při kterém se před pražským (Karlovým) mostem vytvořila již zmíněná bariéra převážně z odneseného dřeva (nejvíce patrně z Podskalí). Přitom neprůchodná byla téměř jistě levá část mostu (podobně jako v roce 1824, 1872, nebo 1890) a voda proudila při pravé straně třemi poli mostu. Zpráva nezmiňuje výšku hladiny, ale nechá se předpokládat, že mohla dosáhnout vodního stavu kolem dvou metrů (obr.1, varianta A), což byl vodní stav, při kterém se voda vylévala z koryta a počínala škodit (situace před vybudováním nábřeží a asanací). Je však možné, že hladina byla nižší (obr. 1, varianta B).

Je pravděpodobné, že došlo i k přechodnému poklesu hladin na stav menší než 1,5 až 2 m (obr. 1, varianta A). Jan Turnar dále jasně uvádí relativní vzestup hladiny od večera 3. do pondělního rána 4. června cca do 6. hodin o výšku rovnající se přibližně 2,1 m (3 a ½ lokte). Doba, po kterou voda prudce stoupala, činila pravděpodobně deset hodin. Rychlost vzestupu pak odpovídá cca 20 cm/hod., čímž se řadí (v tomto ohledu) za případ 1872, 1784 a na úroveň inundace 2002. Tím sice došlo k přechodnému uvolnění dřívě naplaveného dřeva, ale zároveň k ještě mohutnějšímu ucpání nově připlaveným materiálem. Je pravděpodobné, že vltavská hladina dosáhla již bezmála výšky kulminace a na této úrovni se udržel po celý den (varianta A). Kulminační stav byl zřejmě dosažen v úterý 5. června. Její výšku udávají soudobí autoři různě, nicméně největší přesnost vykazuje zápis Jana Turnara – „do půli čela Bradáče“. Kulminace je tedy určena s přesností na cca 5 až 10 cm (celá plastika je vysoká 70 cm). Tato distance odpovídá podle Brázdil et al (2005) cca 385 cm. Ovlivnění vodního stavu vztaženého k pražskému vodočtu (k Bradáci) bariérami a vzduťm nepřichází téměř v úvahu vzhledem k jeho poloze pod profilem staroměstského jezu i Karlova mostu. Tato výška koresponduje s tvrzením, že povodeň neměla pamětníka, neboť předchozí větší inundace se odehrála v srpnu roku 1501, tedy mimo generační paměť. Údaje o dosahu vody ke klášteru sv. Anežky a lázni Točenic (Staré Město pražské - přibližně v místě domů čp. 328-330/I v ul. K. Světlé) jsou ve shodě s udaným vodním stavem. V relaci je i zatopení okolí kostela sv. Ducha, podobně jako i v letech 1481 při kulminačním stavu 395 cm, kdy voda dosáhla až do kostela a 1569 při kulminaci 370 cm voda dostoupila až k domu J. Varvažovského v Dušní ul. (Staré Město pražské čp. 906-10 nebo čp. 908-16) (Kotyza et al. 1995). Uvedené skutečnosti souhlasí také s popisem průběhu povodně a postupu zatápení města v roce 1862, kdy při stavu 138 palců (363 cm) byl jako zatopený jmenován explicitně Anežský klášter, kostel sv. Ducha (kam voda dosahovala) a oblast za ulicí K. Světlé (tedy za zmíněnou lázni roku 1582) včetně Aneského náměstí, deník Bohemia, č. 29 (2.2.1862).

O rozvodnění Labe (dolního českého toku) nás informuje itinerář Viléma z Rožmberka, který do Života Petra Voka z Rožmberka opsal Václav Březan, kde se mj. uvádí, že 8. června 1582 z Roudnice nad Labem, již pan Vilém vlastnil, „listy přišly, oznamujíc o velikých škodách, které se staly

[povodní]“ (ed. Pánek 1985). Podrobnější zpráva pochází od litoměřického městského písaře, jenž zaznamenal stoupaní labské hladiny od 2. až po kulminaci 6. června a poklesu následného dne. Kromě velkých škod na polích a lukách při Labi byla ničivě zatopena část předměstí Rybáře a Dubina a z místní panské stáje museli lidé utíkat „vrchními dveřmi“ (Pamětní kniha Litoměřic). Podle tohoto údaje lze soudit, že Labe v Litoměřicích kulminovalo při stavu pod 526 cm na litoměřickém vodočtu, maximální stav byl proto mnohem nižší než např. roku 1595 (Kotyza 2006). Jediný další záznam výšky této povodně existuje zatím jen v Ústí nad Labem ovšem s datem z března 1582. Věrohodnost a původ tabule s povodňovými úrovněmi však nebyly zatím prověřeny.

Při srovnání s letní povodní v roce 1872, obr. 1. je podstatným rysem rychlost nástupu druhé vlny povodně ze 3. na 4. června. Objemově se však blíží spíše zimnímu případu z roku 1876. Zarážející je relativně dlouhá doba kulminačního průtoku, je však velmi pravděpodobné, že mohlo jít o dobíhající „opožděný“ objem z povodí Lužnice s relativně nejdelší postupovou dobou (horní Lužnice - Orlík dnes 30 až 40 hod.). Pozvolný pokles cca 60 cm denně připomíná poklesovou větev z roku 1890. Pokles hladin se po 8. červnu zřejmě zpomalil, jak udává Jan Turnar a až do 24. srpna nebylo možné pro vyšší stav rozebrat bariéry před mostem („což by ta dříví až do gruntu země nad 16 jizbami zavezla... nemohli dřívěji svatého Bartoloměje zdobývat“).



Obr.1 Pokus o rekonstrukci povodně a srovnání s případy 1876, 1872 a 1890

4 Závěr

Historické případy povodní z předinstrumentálního období jsou většinou doloženy ~~jen~~ jen datem výskytu, řidčeji povodňovou značkou či zprávou umožňující rekonstruovat maximální stav vody (velikost zatopeného území, vodou dosažené budovy apod.). Možnost porovnat průběh povodně ze 16. století s případy z instrumentálního období je u nás zatím výjimečná. Inundace z června 1582 je dokladem, že taková možnost zde však existuje. Z hlediska čistě hydrologického se jedná o událost, kdy doložená rychlost stoupaní hladiny v Praze a tedy i překvapivost nástupu povodně byla neobvyklá a snad proto byla právě zaznamenána. Celkově se jedná o případ povodně s extrémním průběhem na

horní Vltavě a Lužnici, v Praze můžeme řadit tento případ podle kulminačního stavu stejně jako povodeň z května 1872 na úroveň odpovídající cca Q_{30} .

Poděkování :

Zv. Dragounovi za všestrannou technickou pomoc, geodetické práce a věnovaný čas; dále díky náleží za konzultaci některých problémů, případně identifikací zaplavených míst a budov, či pomoc s historickým místopisem řediteli Státního oblastního archivu v Třeboni PhDr. V. Ramešovi, Ing. M. Hulemu z Nakladatelství Carpio z Třeboně, PhDr. J. Frölichovi a PhDr. J. Práškoví z Prácheňského muzea v Písku, PhDr. Z. Vybíralovi z Husitského muzea v Táboře, Mgr. M. Tošnerové z pražského Archivu Akademie věd ČR, PhDr. M. Ďurčanskému z Archivu UK Praha, Mgr. D. Kovářovi ze Státního okresního archivu v Českých Budějovicích, Mgr. P. Státníkové z Muzea Hlavního města Prahy a J. Svobodovi z OÚ Praha-Řepy též za poskytnutí těžko dostupných literárních zdrojů.

5 Literatura a edice pramenů:

- ADAM z Veleslavína, D. (1590): Kalendář Historický. To jest krátké poznamenání všech dnův jednoho každého měsíce přes celý rok. K nim přidány jsou některé paměti hodné historiae o rozličných příhodách a proměnách, jak národuov jiných a zemí v světě, tak také a obzvláště národu i Království českého z hodnověrných kronik. S pilností sebráno, vytištěno a vydáno prací a nákladem M. Daniele Adama z Veleslavína. Vytlačeno v Starém Městě Pražském. Léta posledního věku: MDXC [1590, 2. doplněné vydání]. Starý tisk in: Oblastní muzeum v Litoměřicích, inv. č. SV H 14142.
- BRÁZDIL, R., DOBROVOLNÝ, P., ELLEDER, L., KAKOS, V., KOTYZA, O., KVĚTOŇ, V., MACKOVÁ, J., ŠTEKL, V., TOLASZ, R., VALÁŠEK, H. (2005) : Historické a současné povodně v České republice. Masarykova Univerzita v Brně a Český hydrometeorologický ústav v Praze, Brno, Praha, 370 s.
- BRÁZDIL, R., KOTYZA, O. (1995): History of Weather and Climate in the Czech Lands I (Period 1000-1500). Zürcher Geographische Schriften 62, Zürich, 260 s.
- BRETHOLZ, B., ed. (1923): Die Chronik der Böhmen des Cosmas von Prag. Weidmann, Monumenta Germaniae Historica, Scriptorum rerum Germanicarum, Nova series II, Berlin, 393 s.
- DLOUHÝ, J. (1899): Povodně na řekách českých. Zvláštní otisk ze „Zpráv spolku architektů a inženýrů v království českém“ za rok 1899, Praha, 49 s.
- DVORSKÝ, J., ed. (1972): Pražské paměti Jana Piláta Rakovnického z Jenštejna z let 1575–1605. Pražský sborník historický, 7, 161–172.
- ELLEDER, L. (2003): „Pražský Bradáč, jeho stáří, účel a historie“. Historica Pragensia, 1, 301-333
- ELLEDER, L. (2005) : „Extrémní povodně před rokem 1890“. In: Kašpárek et al.: Závěrečná zpráva za rok 2005 grantového projektu VaV/650/6/03 - „Vliv, analýza a možnosti využití ochranné funkce údolních nádrží pro ochranu před povodněmi v povodí Labe“. VUV, Praha, 22-31.
- KOLÁR, J., ed. (1987): Marek Bydžovský z Florentina, Svět za tří českých králů. Výbor z kronikářských zápisů o letech 1526-1596. Svoboda, Praha, 296 s.
- KOTYZA, O. (2006): Nejextrémnější velké vody na dolním českém toku řeky Labe v letech 1118-1598 a otázka věrohodnosti značek povodní na zámecké skále v Děčíně, v Litoměřicích a Ústí nad Labem. Podřipský muzejník 2, 31-69.
- KOTYZA, O., ed. (2007): Letopisné záznamy pražské rodiny Turnarů z let 1581–1588 v petrohradském exempláři Koldínova zákoníku. Porta Bohemica - Sborník historických prací, 4, v tisku.

- KOTYZA, O., CVRK, F., PAŽOUREK, V. (1995): Historické povodně na dolním Labi a Vltavě, Okresní muzeum v Děčíně, Děčín, 169 s.
- MAREŠ, F., ed. (1922): Kronika Budějovská. Věstník Královské české společnosti nauk za rok 1920, Třída filosoficko-historicko-jazykozpytná, Praha, 96 s.
- NOVOTNÝ, J. (1963): Dvě stoleté hydrologické řady průtokové na českých řekách. Sborník prací Hydrometeorologického ústavu Československé socialistické republiky, sv. 2, Praha, 116 s.
- PÁNEK, J., ed. (1985): Václav Březan, Životy posledních Rožmberků. Svoboda, Praha, 912 s.
- PÁNEK, J. (1990): Z leningradských bohemik (Několik nevyužitých pramenů k českým dějinám předbělohorské doby). Folia historica Bohemica, 14, 207–228.
- SEIDLER, K. (1887). Kronika města Světlé od roku 1207–1886. A. V. Eichler, Světlá nad Sázavou, 221 s.
- SCHALLER, J. (1785-1790): Topographie des Königreichs Böhmen, darinn alle Städte, Flecken, Herrschaften, Schlösser, Landgüter, Edelsitze, Klöster, Dörfer, wie auch verfallene Schlösser und Städte unter den ehemaligen und jetzigen Benennungen samt ihren Merkwürdigkeiten beschrieben werden. Band I-XVI. Wenzel Piskaczek, Prag.
- SNĚMY ČESKÉ (1890): Sněmy české od léta 1526 až po naší dobu. Díl VI (1581-1585). Královský český archiv zemský, Praha, 668 s. (viz též na elektronické adrese: <http://www.psp.cz/eknih/snemy/v060/>)
- SOUKUP, J. (1910): Soupis památek historických a uměleckých v politickém okrese píseckém. Nákladem archeologické komise při České akademii císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, Praha, 438 s.

ARCHIVNÍ PRAMENY:

KNIHA PAMĚTNÍ LITOMĚŘIC: Kniha pamětní města Litoměřic [1570-1607, 1612]. Státní oblastní archiv v Litoměřicích se sídlem v Lovosicích, Archiv města Litoměřic, sign. IV B 1a.

ZKRATKY:

PASPORT SÚRPMO: Projekt na obnovu mlýnského kola z října 1956 v čp. 489/III. SÚRPMO Praha, Praha 1964. Strojopis deponován v Archivu Národního památkového ústavu v Praze

HISTORICKÉ ZIMNÍ POVODNĚ NA ŘECE JIHLAVĚ A JEJICH GEOMORFOLOGICKÁ ÚČINNOST

Mojmír Hrádek

Ústav geoniky AV ČR Ostrava, oddělení environmentální geografie,
Drobného 28, 602 00 Brno, hradek@geonika.cz

Z historie obcí ležících v údolí řeky Jihlavy je známa řada extrémních historických povodní mimořádné účinnosti. Nejstarší zjištěný záznam paleopovodně z konce neogénu představují uloženy rozsáhlého bahenního proudu, který vyplnil kotlinu u Jihlavy-Starých Hor. Nejstarší zaznamenané historické povodně jsou známy z 15. a 16. století. Mimořádnou náchylnost k povodňovým situacím mají také Ivančice, nacházející se na hydrologickému uzlu soutoku Jihlavy s Oslavou a Rokytinou. Při hodnocení povodňových událostí v okolí Ivančic od 17. až do 20. stol. je nápadná vysoká frekvence zimních povodní. Zatímco nejstarší zaznamenaná událost je z 3.5.1575, od 17. stol. docházelo k povodním převážně v zimních měsících. Zimní povodně většinou vznikají z tajícího sněhu nebo ucpáním říčního koryta ledovými krami, resp. protržením ledových bariér. Na ivančickém hydrologickém uzlu byly povodně způsobeny buď některou ze tří zdejších řek, případně dvěma z nich, vzácně všemi třemi. Níže po proudu se již plně projevil účinek spojené Jihlavy. K zaznamenaným geomorfologickým účinkům zimních povodní náleží vznik nových erozních koryt, zanesení starých koryt nánosy, plošné nánosy na povrchu nivy. Zvláště nebezpečné byly povodně s ledovými krami. Nárazy ledových ker byly schopny prorazit ochranné hráze a vážně poškodit mosty nebo kmeny stromů rostoucí kolem řeky. Povodňová situace se zlepšila po dokončení regulací řeky Jihlavy po roce 1936. Od roku 1924 jsou vodní stavy na počátku dolního toku řeky Jihlavy měřeny stanicí u Ivančic, kde bylo nejvyššího stavu dosaženo za zimní povodně 21.3.1947 - $440 \text{ m}^3/\text{sec}^{-1}$. Na patce mostního pilíře Ivančického viaduktu jsou dvě povodňové značky - vyšší z 21.2.1876 (2,07m nad povrchem nivy a cca 4,5 m nad hladinou řeky) a nižší z 31.1.1888, které umožňují lepší představu o velikosti a frekvenci zimních povodní na řece Jihlavě. Za největší povodeň na řece Jihlavě je považována událost z 1.2.1862, která způsobila značné materiální škody v Ivančicích a Dolních Kounicích. Tato povodeň byla zaznamenána jak na středním toku řeky v Třebíči, tak níže v Ivančicích a Dolních Kounicích. Je rovněž zajímavé, že se v přehledu extrémních povodní na řece Jihlavě neobjevují letní povodně z let 1880, 1897 ani 1903, které zasáhly celou střední Evropu. Jistě to souvisí s konfigurací krajiny Českomoravské vrchoviny v kontrastu k okrajovým pohořím ČR. Ve dvacátém století byla kromě zimní povodně z roku 1947 zaznamenána i jarní povodeň z 22.5.1985 s $260 \text{ m}^3/\text{sec}^{-1}$. Sérii zimních povodní zatím ukončila povodeň z 1.4.2005, způsobená táním sněhu na Českomoravské vrchovině. Tato povodeň, jejíž kulminační průtok dosahoval $222 \text{ m}^3/\text{sec}^{-1}$ zdaleka nedosahovala úrovně povodňových značek na Ivančickém viaduktu. Odtoková situace na řece Jihlavě se však po vybudování soustavy nádrží Dalešice - Mohelno významně změnila. Geomorfologickou účinnost poslední zimní povodně z roku 2005 bylo možno studovat v okolí Ivančického viaduktu. V návaznosti na tvary břehů byla identifikována řada erozních i akumulčních tvarů. Z erozních především krátká průvalová koryta na hranách břehů, z akumulčních ukládání nánosů před i za kmeny stromů břehových porostů, vznik břehových valů (levee) a plošné nánosy jemnozrnných inundačních sedimentů (slackwater deposits) ve formě čerín a drobných náplavových kuželů v nivních sníženinách.

Z 35 zde zaznamenaných povodní bylo 29 zimních, které charakterizují i průběh malé doby ledové. Záznamy o povodních na řece Jihlavě od 16. stol. a jejich účinnosti byly sestaveny do přiložené

tabulky (Tab.1). Soudě podle dochovaných povodňových značek byla účinnost historických povodní nepochybně vyšší než poslední, kterou bylo možno dokumentovat.

Poděkování

Výzkum byl podporován z projektu GA AV ČR A300860601.

Tab.1. Geomorfologická účinnost historických povodní na řece Jihlavě v úseku Ivančice – Dolní Kounice od 16.stol do současnosti (z archivních zdrojů)

Datum povodně	Místo povodně	Charakteristika účinnosti povodně	Průtok Q při kulminaci, resp.vodní stav	Poznámka
3.5.1572	Ivančice	záplavy, škody na stavbách	-	-
4.3.1677	Dolní Kounice	Poškozen mlýn, záplavy na dolním toku	-	-
24.-26.3.1698	Kounické panství	zničeno 103 domů, zničen most v Pavlově	-	-
12.-14.2.1715	Pravlov	zničeno 26 domů, 34 poškozeno	-	-
22.6.1734	Kounické panství	zaplavení luk na dolním toku Jihlavy (Pravlov, Němčičky, Kupařovice)	-	-
16.1.1749	Dolní Kounice	škody na stavbách, poškozen mlýn, zaplavené louky	-	-
14.2.1753	Němčičky, Kupařovice	škody na domech	-	k usmíření živilů budována kaple sv. Antonína
16.2.1762	Dolní tok Jihlavy	rozsáhlé záplavy	-	-
25.2.1768	Dolní Kounice, Kupařovice, Němčičky, Cvrčovice	poškozen mlýn, protržená hráz a jezy	-	-
15.-20.3.1771	Pravlov, Kupařovice a Němčičky	záplavy, podmáčená pole, sesuvy půdy	-	roky 1770 a 1771 velmi vlhké, časté srážky
4.2.1775	Dolní Kounice-Pravlov	ledové jevy, záplavy – stržen mlýn v DK, 50 domů, v P. záplava	V kostele dvě stopy vody-0,6m	lidé hledali útočiště na půdách a v kostele
13. a 14. 2.1776	Pravlov	ledové jevy-bariéra ledových ker u mostu, zaplaveno 50 domů, 10 stodol a zahrady	-	-
22.až 23.12.1776	Dolní Kounice	Poškozen mlýn	-	-
Začátek března 1777	Pravlov	Ledové jevy – ledová bariéra u mostu, po prolomení záplavy	-	-
28.2.1784	Dolní Kounice, Pravlov	Most poškozen ledovými krami, v P. ledová bariéra u mostu	-	1.3.zaplavení luk a polí
2. a 3.3.1779	Dolní Kounice, Pravlov	Záplavy	Záplava přesáhla o 6 palců(16 cm) záplavu 1771, klášter v D.K. 6 stop(190 cm)	podle pamětní desky na mlýně v D.K.
2.4.1800	D. Kounice a Pravlov, Kupařovice, Malešovice a Cvrčovice	záplavy z tání sněhu- poškození jezů, mostů a mlýnů a nánosy bahna na loukách v Němčičkách	-	-
1.1. 1804	D.Kounice – Pravlov	ledové jevy – nakupení ker, zaplavení domů	-	-
2.3. 1810	D.Kounice	záplavy lužních lesů a luk – voda odnesla část břehu u mlýna,	-	-
23.5.1820	D.Kounice	velká povodeň– stržen most, splav a 108 domů	-	-
10.2.1839	Řeznovice u Ivančic	záplava, vylití z břehů	-	.
únor 1850	Letkovice	rychlé tání, ledové jevy, škody na stavbách	-	-
1.2.1862	Ivančice, Němčice u Iv., Letkovice D.Kounice	záplava, ledové jevy - škody na stavbách, poškozený dřevěný most a stromy	-	-

			v kostele 6 stop vody	největší povodeň v D.K.
1.-3.2.1876	Letkovice Ivančický viadukt	rychlé tání sněhu - záplava od řeky Oslavy – voda sahala po okna, vzniklo nové koryto, staré zaneseno	- na patce mostního pilíře značka 2,07m nad povrchem nivy	-
léto 1881	Letkovice	záplavení pastvin	-	povodeň na Oslavě
březen 1885	Letkovice	rychlé tání - záplava z místního sněhu na zamrzlé půdě	-	-
31.1.1888	Letkovice Ivančický viadukt	záplava z rychlého tání sněhu, škody na stavbách – most záplava - Jihlava vylita z břehů	- povodňová značka 1.6 m nad nivou	-
1890 ?	Letkovice	protržení hráze	-	povodeň na Oslavě
1.4.1900	Ivančice, Němčice	tání sněhu - povodeň na všech třech řekách- zaplaveno přes 20 ha polí a luk, protržení hráze na Rokytne- vznik nového koryta, zanesení starého koryta, plošné nánosy, sesuv půdy přehradil koryto Rokytne, záplava z Jihlavy a Oslavy, zatopené sklepy	-	Letkovice – zima blátivá, sníh 31.3. 30 cm
konec února 1901	Letkovice	ledové jevy - nad splavem ledová bariéra, provalení záplavy do starého koryta podél kamenné hráze, škody na stromech – absence ochranných hrází	-	-
15.3.1940	Jihlava od Řeznovic k Ivančicím	niva pokryta ledovými krami až 0,7 m silnými, u Alexovic nové koryto		
21.3. 1947	Ivančice	záplava s ledovými jevy - kry protrhly ochrannou hráz	Ivančice $Q_{\max} = 440 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ ($Q_{100} = 400 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$),	povodeň na Rokytne
22.-23.5.1985	Letkovice u Iv.	vylití z břehů- záplava	Ivančice $Q_{\max} = 260 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$	-
1.4.2006	Ivančice, D.Kounice –	záplava z tání sněhu , rozlív hlavně na Jihlavě pod Ivančicemi, eroze slabá – na březích průvanová koryta, břehové valy, jemnozrné inundační nánosy v nivních sníženinách	$Q_{\max} = 222 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$	-

Pozn.: tučně jsou zvýrazněny zimní povodně

REVITALIZACE VODNÍCH EKOSYSTÉMŮ A JEJICH VÝZNAM V PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANĚ

Milada Matoušková

Katedra fyzické geografie a geoeekologie, Přírodovědecká fakulta UK Praha,
Albertov 6, 128 43 Praha 2
e-mail: matouskova@natur.cuni.cz

Abstrakt

Příspěvek pojednává o souvislosti revitalizací vodních ekosystémů a protipovodňové ochrany. Představeny jsou základní principy revitalizačních opatření a jejich možnosti uplatnění v tzv. netechnické protipovodňové ochraně. Prezentovány jsou modelové studie, které dokumentují pozitivní vliv revitalizačních opatření z hlediska snížení extremity povodňových vln, ale i fakt, že samotné povodně mohou působit jako revitalizační faktor.

Klíčová slova: revitalizace, povodeň, technická a netechnická protipovodňová opatření, retence

1 Základní principy a cíle revitalizačních opatření

Vztah revitalizací a protipovodňové ochrany může být chápán ve dvou rovinách: první představuje možný vliv revitalizačních opatření na snížení povodňových průtoků. Na druhé straně mohou povodně v přírodě působit jako účinný a levný revitalizační činitel.

Revitalizace podle „Programu revitalizací vodních ekosystémů“ (MŽP ČR 1992) je možno revitalizace chápat jako komplex opatření pro obnovu hydrologického přírodě blízkého režimu v povodí z hlediska kvality i kvantity. Hlavním cílem revitalizací je obnova a péče o optimální vodní režim krajiny. Povodňové události v Evropě v letech 1993, 1995, 1997 a 2002 přinesly posun v pojetí protipovodňové ochrany, kdy vedle klasických technických přístupů jsou uplatňovány i ekohydrologické přírodě blízké přístupy.

V EU je dnes věnována značná pozornost protipovodňovým opatřením, což dokládá analýza a vyhodnocení možných přístupů „Best practices on flood prevention, protection and mitigation“. Pozornost je věnována především snížení extrémních povodňových průtoků. Všeobecně podporovaná je strategie poskytnutí nezbytného prostoru vodním tokům. Každý nárůst vodních stavů způsobený lidskými aktivitami (výstavba domů, zúrodňování mokřadů, atd.) by měl být kompenzován vhodným způsobem, např. odstraněním bariér v průchodnosti toku, kompenzací ploch, vytvořením nových retenčních prostor. Není povolen další zábor půdy v údolní nivě v oblasti tzv. zimních hrází (Nienhuis, Leuven 2001). Současně je však nezbytné změnit přístup lidí k povodňovým nebezpečím.

Rovněž nová „Strategie ochrany před povodněmi pro území ČR“ (vláda ČR, č. 382, 2000) zdůrazňuje nezbytnost kombinovaného přístupu tzv. technických a netechnických opatření ke zvýšení ochrany obyvatel a majetku před následky povodňových situací. Je zde jednoznačně řečeno, že vedle klasických technických protipovodňových opatření, jsou umožněny např. rozlivy do oblastí, kde to situace dovoluje. Pro tato protipovodňová revitalizační opatření je možno čerpat prostředky ze strukturálních fondů EU v rámci zlepšení struktury krajiny s cílem podpořit biodiverzitu, stabilitu ekosystémů a retenci vody v krajině.

Otázka retenční schopnosti krajiny a především role mokřadů byla v ČR intenzivně diskutována po povodních v roce 1997 a následně 2002. Exaktních informací, které jsou založeny na konkrétním

monitoringu v praxi, či dynamických modelech, je stále nedostatek. Je však nesporné, že údolní nivy jsou přirozeným, „levným“, účinným a trvalým retenčním prostorem. V případě možnosti rozlivu tak mohou snižovat kulminační průtoky v úsecích níže po toku, zároveň se zvyšuje evapotranspirace ze vzniklé vodní plochy v údolní nivě. Netechnická, neboli pasivní opatření, nemohou zásadně omezit výskyt extrémních povodňových situací, nicméně mohou významnou měrou přispět ke snížení jejich extremity a napomoci zpomalení průběhu povodňových vln (Langhammer, Vilímek 2004). Hlavním cílem revitalizačních opatření však není snížení průtoků pouze při maximálních průtocích, jejich hlavní význam spočívá v dlouhodobém zvýšení retenční schopnosti krajiny, tzn. retence vody v krajině při všech vodních stavech.

Z pohledu retence vody je podstatná i struktura a charakter využití krajiny. Ke zcela zásadním změnám došlo v České republice po 2. světové válce, především v průběhu 60. až 80. let, kdy byly v době socialistické éry zcelovány pozemky a vytvářeny rozsáhlé hony (50-200 ha) bez vazby na charakteristiky reliéfu. Došlo k odstranění mezí a travnatých drnů podél vodních toků. Významně poklesl podíl přirozených luk v údolních nivách. S těmito opatřeními souvisí i velkoplošná odvodnění zemědělských pozemků a úpravy vodních toků, především drobných vodních toků v zemědělské krajině. Modifikace říční sítě člověkem činí v průměru v České republice necelých 30 %, v případě drobných vodních toků protékajících zemědělskou krajinou dosahuje až téměř 40 %. Tyto zásahy znamenají zcela nepochybně ovlivnění odtokového režimu, jak tomu dokládá analýza srážko-odtokových trendů v horských oblastech Šumavy (Kliment, Matoušková 2005 a, b).

Základním předpokladem úspěšné tzv. úplné revitalizace je poskytnutí dostatečného prostoru vodnímu ekosystému. V praxi je tento bod jedním z největších problémů a to nejen v urbanizovaných územích, kde je prostoru nedostatek. Z tohoto, ale i jiných důvodů se rozlišují revitalizační přístupy v intravilánu a extravilánu. Úseky vodních toků protékající urbanizovaným územím není možno z revitalizace zcela vyřadit, neboť vodní tok je od pramene po ústí kontinuum. V intravilánech nebo v územích, kde není možno poskytnout vodnímu toku dostatečný prostor pro samovolný vývoj, je vhodná tzv. revitalizace částečná (Matoušková, 2003, Just, 2003). Princip spojitosti horního, středního a dolního toku je rovněž podstatný z pohledu protipovodňové ochrany. Realizovaná protipovodňová opatření na horním a středním toku, mohou výrazně napomoci snížení povodňových extrémů na dolních tocích.

Metody revitalizace jsou v praxi úzce koncentrovány na změnu morfometrických charakteristik koryta vodního toku - vytvoření tzv. přírodě blízkého koryta s typickými strukturami, vytvoření zatravněných vegetačních doprovodných pásů s typickou dřevinnou skladbou. Na počátku revitalizačních projektů, v 80.-90. letech 20. století, zcela jednoznačně dominovaly tendence k antropogennímu formování přírodě blízkých poměrů. Postupně se však zvyšují nároky na přírodnost (ekologické funkce) vodních ekosystémů. Vysoké finanční prostředky vynakládané na revitalizační projekty s uměle vytvářenými přírodě blízkými strukturami dosahují obvykle jen průměrných výsledků a proto postupně převládají názory na poskytnutí možnosti samovolného přirozeného vývoje.

Při samotných revitalizačních úpravách koryt vodních toků dochází zpravidla ke snižování průtočné kapacity koryt vodních toků, tedy opačnému postupu než při technických protipovodňových opatřeních. Při kalkulaci povodňových škod však mnohdy přírodě blízká koryta vodních toků vykazují zpravidla menší stupeň poškození než je tomu u uměle zpevněných úseků. V případě mělkých, přírodě blízkých vodních toků dochází při povodňových průtocích k vyběžení vody z koryta toku. Energie proudění se tak rozloží do koryta toku a příbřežní zóny. V případě napřímených, dimenzovaných a uměle zpevněných toků představuje koryto hlavní dráhu v níž se koncentruje proudění. Koryta jsou

v intravilánech dimenzovaná pouze na určitou N-letou vodu, zpravidla 50-ti až 100 letou. Povodně 1997 a 2002 v České republice ukázaly, že se nelze spolehnout pouze na technická opatření. Netechnická pasivní protipovodňová opatření realizovaná v extravilánech samozřejmě nedokážou uchránit zastavěné údolní nivy na území intravilánů před záplavami, ale mohou snížit nároky na technické úpravy koryt. Nezanedbatelný je rovněž faktor zpomalení tzv. rychlých odtoků, což může ochránit urbanizované jednotky ležící na soutocích (Hulse, Stan 2004). Je proto vhodné hledat tzv. retenční kompenzační plochy, kde by bylo možné na určitou dobu vodu zadržet, přičemž lze uplatnit i tzv. řízené zaplavování. Prvořadým protipovodňovým cílem by měla být ochrana stávajících přírodních údolních niv, neboť tato území jsou přirozeným přírodním prostředím pro záplavy a rovněž prostorem nepochybně patřícím vodním tokům.

Jednou z možností zvýšení retenční schopnosti krajiny je vytváření obtokových povodňových koryt. Obtokové kanály mohou sloužit jako převedení určitého množství vody mimo urbanizovaná území při povodňových průtocích. Z ekologického pohledu je výhodou pokud zůstávají alespoň minimální průtoky v obtokovém korytě po celý rok. Ekvivalentem obtokových koryt je obnova starých říčních ramen. Ke klasickým hydrotechnickým protipovodňovým opatřením náleží výstavba poldrů. Z ekologického hlediska je doporučována výstavba vícefunkčních polosuchých poldrů, ve kterých se relativně malé množství vody zdržuje v dané sníženině po celý rok a pouze v období povodňových průtoků dochází k naplnění jejich plné kapacity (Just 2005). Relativně hojně aplikovaným revitalizačním opatřením je výstavba drobných tůní v údolní nivě, které však nemají zásadní vliv na průběh velkých vod. Větší kapacitu má nepochybně rozliv povodňových průtoků do údolní nivy, který může být řízený nebo volný. Při řízených inundacích jsou zpravidla budovány odsazené hráze, za- a odvodňovací kanály a příkopy, popř. poldry. Prostor mezi hrázemi lze využívat jako extenzivně obhospodařované louky, lužní lesy, ale i jako rekreační a sportovní plochy. Neřízené inundace je možno aplikovat pouze v nezastavěných územích s vhodnou vegetační skladbou. V případě takového řešení je zapotřebí zohlednit změny hladiny podzemní vody, související s občasným zaplavováním údolní nivy.

V souvislosti s revitalizacemi vodních ekosystémů je nezbytné zmínit celkovou revitalizaci krajiny. Při změně její struktury a využití je možné prodloužit a zpomalit dráhy odtoku. Rozčleněním pozemků, obnovou mezí, remízků a drobných cest by bylo možné zvýšit objem vody zadržovaný mikrorelieфом krajiny.

2 Příklady realizovaných revitalizačních opatření

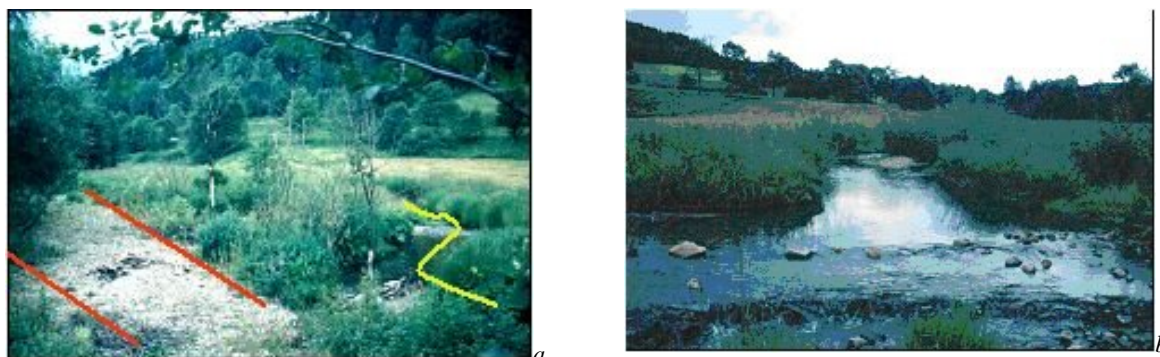
Za zásadní je pokládán výzkum v modelových povodích, které byly revitalizovány a následně byla tato povodí postižena povodní. Jednou z prvních lokalit v ČR, kde byl detailně vyhodnocen průběh povodňové vlny, je povodí potoka Borová u obce Chvalšiny na Českokrumlovsku. Potok Borová byl zrevitalizován ve dvou etapách v roce 1998 a 2000.

Hlavním účelem revitalizace byla změna charakteru koryta z melioračního kanálu na přírodě blízké koryto. Charakter území vyžadoval vytvoření nového půdorysného průběhu trasy koryta. Bylo vytvořeno mělké průtočné koryto, neboť okolní louky umožňují rozliti povodňových průtoků. V trase původního koryta byla vytvořena síť tůní (Matoušek 2002).

Povodí potoka Borová bylo postiženo 100 letou povodní 19. 8. 2001. Při povodni došlo k relativně velké inundaci, čemuž napomohl relativně plochý příčný profil. Při rozlivu vody dochází k výraznému snížení proudících rychlostí, neboť voda není koncentrována do upraveného koryta, ale zasahuje mnohem větší plochu a proudící rychlosti jsou snižovány vegetačním krytem. Upravená koryta

vodních toků se značnými sklony bývají zpravidla po průchodu stoleté vody značně poškozena. V případě zrevitalizovaného potoka Borová byly zaznamenány pouze malé povodňové škody, neboť došlo k vyhlížení vody do inundačního území (průměrná šířka cca 20 m), čímž byly sníženy rychlosti proudění a tím i vymílací schopnost vody. Funkčně zapůsobil již vzrostlý vegetační kryt. Kulminační průtok byl snížen o téměř 20 %, přičemž byly omezeny potenciální povodňové škody (Matoušek 2002).

Opačným příkladem, kdy povodeň funguje jako revitalizační činitel, je povodí Branné. Říčka Branná pramení v Rychlebských horách mezi Travnou horou a Brouskem. Ústí zleva do řeky Moravy v Hanušovicích. Jedná se o typické horské povodí, které bylo postiženo povodní v roce 1997. Při červencové povodňové události došlo v úseku pod obcí Ostružná k vyběžení vody z uměle vytvořeného, napřímeného a zpevněného koryta vodního toku na okolní louky. Šíře rozlivu činila 10-30 m. Povodeň 1997 vyvolala náhlou změnu půdorysného průběhu koryta toku. „Staré“ upravené koryto toku bylo zaneseno štěrkovými naplaveninami (obr. 1). Ve vzdálenosti 2-10 m se postupně formovalo nové koryto toku (obr. 2), které má v tomto úseku přirozený charakter. Povodňová událost tak působila jako velice rychlý, účinný a „levný“ revitalizační činitel (Matoušková 2003).



Obr. 1 a) Říčka Branná - původní zanesené koryto štěrkovými naplaveninami při povodni 1997, stav podzim 2005, b) Nové formující se koryto Branné po povodni v r. 1997, stav podzim 2005. Foto: Matoušková

3 Diskuse a závěry

Rešerše odborné literatury a příklady modelových studií dokládají zcela zásadní změnu ve strategiích protipovodňové ochrany. Vedle technické povodňové ochrany je podporována netechnická pasivní protipovodňová ochrana, jejíž hlavní součástí je obnova retenční schopnosti krajiny. Tento cíl se plně shoduje s hlavními cíly revitalizací vodních ekosystémů. Propojení protipovodňové ochrany a revitalizací je v teoretické rovině logické, ale ne vždy bývá uplatňováno v praxi. Jedním z palčivých problémů je omezený prostor, který je možno vodním tokům navrátit zpět. Pokud jsou prostředky technické protipovodňové ochrany vhodně kombinovány s netechnickými opatřeními, může dojít ke snížení povodňových hydrogramů pod katastrofickou mez.

Účinná revitalizační opatření, která mohou napomoci ke snížení extremity povodňových vln jsou: obnova starých říčních ramen, výstavba polosuchých poldrů a drobných vodních nádrží. Za optimální řešení pokládám obnovu přirozených fluvialně-morfologických charakteristik koryt vodních toků v extravilánech v kombinaci s řízeným nebo volným rozlivem povodňových vod do údolních niv. Stranou by však neměla stát ani komplexní revitalizace povodí.

Účinnost provedených revitalizačních opatření z pohledu protipovodňové ochrany je však zapotřebí doložit výzkumem v experimentálních povodích, neboť konkrétních výsledků je prozatím málo.

4 Literatura

- HULSE, D., STAN, G. (2004): Integrating resilience into floodplain restoration. *Urban Ecosystems*, 7, s. 295-314.
- JUST, T. a kol. (2003): Revitalizace vodního prostředí. AOPK ČR, Praha, 144 s.
- JUST, T. (2005): Ochrana životního prostředí v obcích po vstupu do EU – Možnost uplatnění vodohospodářských revitalizací v protipovodňové ochraně. Dostupný na: <http://www.ekopolitika.cz/clanky>
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005a): Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy. *Geografie-Sborník ČGS*, r. 112, č. 1., s. 32-45.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005b): Změny ve vývoji odtoku ve vybraných povodích horské a podhorské části Šumavy. *Sborník VI. Česko-slovenské konference Hydrologické dni 2005*, Bratislava, CD-ROM, s. 370-388.
- LANGHAMMER, J., VILÍMEK, V. (2004): Vliv antropogenních změn v krajině na průběh a následky povodní. In: Herber, V. (ed.) *Sborník 20. Výroční konference fyzickogeografické sekce ČGS*, 8 s.
- MATOUŠEK, V. (2002): Stoletá povodeň na revitalizovaném potoce Borová. *Vodní hospodářství*, 52, 10, s. 5-11.
- MATOUŠKOVÁ, M. (2003): Ekohydrologický monitoring jako podklad pro revitalizaci vodních toků. *Disertační práce, PřF UK v Praze*, Praha, 219 s.
- MATOUŠKOVÁ, M. (2004): Ecohydrological monitoring of the river habitat Quality. *Geografie*, 109, 2, ČGS, s. 105-116.
- NIENHUIS, P.H., LEUVEN, R.S.E.W. (2001): River restoration and flood protection: controversy or synergism? *Hydrobiologia*, 444, s. 85-89.

POVODEŇ JAKO PŘÍRODNÍ REVITALIZAČNÍ ČINITEL NA PŘÍKLADU ŘEKY OPAVY

Mgr. Blanka Šaňková

Geografický ústav, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno,
sankova@geogr.muni.cz

Klíčová slova: říční krajina, katastrofická povodeň, revitalizace, biodiverzita

V průběhu druhé poloviny minulého století byla většina našich vodních toků nešetrně upravována napřimováním, zahlubováním a opevňováním břehů do nepřirozených tvarů, což následně vyvolalo rozsáhlé změny ve specifických ekologických podmínkách říčních niv. Celá řada rozmanitých biotopů typických pro heterogenní poříční krajinu zanikla a vlastní vodní tok - životodárná páteř říční krajiny - byl často zredukován jen na strohý útvar lichoběžníkovitého tvaru, na jehož březích přežívaly jen nejhrouževnatější rostlinné druhy. Ušetřen nezůstal ani vodní tok Opavy, levostranný přítok Odry, který odvodňuje východní část Nížkého Jeseníku. Pozitivní dopad - z geoekologického úhlu pohledu - zde měla katastrofická povodeň v červenci 1997 s periodou opakování stovky let. Říční koryto, jenž tu v minulých letech doznalo necitlivých technických úprav, bylo vodním proudem na mnoha místech významně morfologicky pozměněno, čímž se znovu vytvořily vhodné podmínky pro vývoj celé řady přirozených nivních ekosystémů s vysokou druhovou diverzitou a ekologickou stabilitou, které byly regulacemi zničeny či potlačeny. Povodeň se zde projevila jako tzv. přirozený revitalizační činitel, který dokázal tyto člověkem nepřirozeně přeměněné vodní toky s blízkým okolím asanovat a vytvořil tak znovu v říčních nivách pestrou paletu biotopů. V korytě vodního toku se díky této silné přírodní disturbanci znovu zformovaly břehové nátrže, strmé břehové stěny, příbřežní a středové šterkové lavice a stabilizované, zřídka zaplavované říční ostrovy. V říční nivě se vytvořily četné zazemňující laguny a periodické tůňky, porosty mladých lužních lesů a rozsáhlé plochy povodňových lad. Velká povodeň zde velmi podstatně přispěla k obnovení heterogenity a zvýšení biodiverzity krajiny tolik pozměněné lidskou činností. Čtyři úseky povodňového přetvořeného a renaturalizovaného koryta s nejhodnotnějšími partiemi reliéfu byly zcela vyňaty z procesu odstraňování povodňových škod a byly ponechány bez zásahu. Při hodnocení významnosti evidovaných lokalit živě meandrujících, větvicích se a divočících toků v rámci České republiky byla řeka Opava ve výše uvedených úsecích zařazena do kategorie velmi významných a byla navržena na stupeň ochrany národní přírodní památka

Výzkum v povodňovém korytě a navazující nivě Opavy se soustřeďuje na interpretaci a detailní zmapování fluviálních erozních a akumulačních tvarů vzniklých následkem povodně v říčním korytě Opavy a v přilehlé říční nivě. Dalším cílem je pomocí každoročního fytoecologického snímkování vegetačního krytu zachytit hlavní rysy a trendy sukcesního vývoje vegetace na nově vytvořených biotopech v říčním korytě a v údolní nivě po zhruba deseti letech od uplynutí povodňové události.