

# Aplikace matematických modelů pro simulaci hydrologických poměrů na vybraných vodních tocích

autoreferát doktorské disertační práce

PRAHA 2015

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**Fakulta životního prostředí**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

**APLIKACE MATEMATICKÝCH MODELŮ  
PRO SIMULACI HYDROLOGICKÝCH POMĚRŮ  
NA VYBRANÝCH VODNÍCH TOCÍCH**

Autoreferát disertační práce

**Ing. Marie Kurková**

Praha 2015

Doktorská disertační práce “Aplikace matematických modelů pro simulaci hydrologických poměrů na vybraných vodních tocích” byla vypracována v rámci doktorského studia na Katedře vodního hospodářství a environmentálního modelování Fakulty životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze.

**Uchazečka:** Ing. Marie Kurková

**Obor:** Environmentální modelování

**Školitel:** doc. Ing. Zdeněk Vašků, CSc.

**Oponenti:**

Ing. Zbyněk Mišák, Ph.D.

doc. Ing. Evžen Zeman, CSc.

Ing. Michal Veverka, Ph.D.

Autoreferát byl rozeslán dne 25. září 2015.

Obhajoba disertační práce se koná dne 14. října 2015 na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze, Kamýcká 129, Praha 6 – Suchdol.

S disertační prací je možné se seznámit na Oddělení pro vědu a výzkum Fakulty životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze, Kamýcká 129, Praha 6 – Suchdol.

OBSAH

1. Úvod .....	4
2. Cíle disertační práce .....	5
3. Matematické modely .....	7
3.1 Kritéria pro výběr modelů .....	7
4. Výsledky disertační práce .....	9
4.1 Článek I. ....	10
4.2 Článek II. ....	11
4.3 Článek III. ....	12
5. Komentář .....	14
6. Summary .....	29
7. Přehled použité literatury .....	31
8. Odborný životopis .....	34
9. Publikační činnost .....	35

## 1. ÚVOD

Voda je základní složkou přírodního a životního prostředí. Dostatečné množství dobré vody je nezbytným předpokladem zachování života na Zemi, předpokladem dalšího rozvoje lidské společnosti. Voda nejen slouží, ale i škodí – v období jejího nadbytku, za povodňových situací vzniklých po velkých deštích nebo táním sněhu, je velmi nebezpečná – je schopna během velmi krátké doby svým dynamickým účinkem zničit výsledky práce celých generací a nezřídka si povodeň vyžádá i lidské oběti.

Povodně provázejí lidstvo od nepaměti. V přírodě jsou naprosto přirozeným úkazem, který má svou nenahraditelnou roli a pro správné fungování krajiny je nepostradatelný. Povodeň je přírodní jev, který se vyskytuje v různé intenzitě a nepravidelných časových intervalech. Povodně představují pro Českou republiku největší přímé nebezpečí v oblasti přírodních katastrof a mohou být i příčinou závažných krizových situací, při nichž vznikají nejenom rozsáhlé materiální škody, ale rovněž ztráty na životech obyvatel postižených území a dochází k rozsáhlé devastaci kulturní krajiny včetně ekologických škod. Častější hrozba povodní je dáována do souvislosti s probíhajícími změnami klimatu, které vyvolávají rostoucí nerovnoměrnosti v rozdělení srážek v čase i v prostoru povodí. Stále častěji je zaznamenáváno povodňové ohrožení vyvolané místními přivalovými dešti, jejichž výskyt nelze předem s dostatečným časovým předstihem předpovědět.

Na základě těchto skutečností se hydroinformatika stala dnes dynamicky se rozvíjejícím se oborem a nezbytným nástrojem podpory rozhodování i projektování a tedy i významnou disciplínou v řešení problémů v oblasti vodního hospodářství a životního prostředí. Její prostředky jsou stále častěji využívány při řešení úloh v oborech aplikované hydrologie, hydrauliky, v oblasti výzkumné, i projekční i investiční.

## 2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem práce je vytvoření matematické reprezentace – matematických modelů pro simulaci hydrologických poměrů na vybraných vodních tocích. Jedná se o modelaci průtoku povodňové vlny v ustáleném proudění.

Při samotné volbě matematického modelu pro provádění simulace jsou rozhodující vstupní data. Pro dosažení cíle je rozhodující zajištění odpovídajících vstupních dat požadovaného rozsahu a kvality. Pro zpracování hydraulických výpočtů pomocí matematických modelů, vyhodnocení výsledků simulací i pro zpracování následujících analýz jsou použity různé způsoby pořízení těchto dat, kterými jsou geodetické zaměření příčných profilů (koryto + inundace) a letecké laserové skenování.

První studie provedená na části vodního toku Úhlavy v lukách u Příchovic blízkosti města Přeštice posuzuje návrh protipovodňových opatření. Návrh opatření je součástí dokumentace k územnímu řízení: Přeštice – Inundační průlehovité koryto v lukách u Příchovic. Posuzovaná dokumentace byla zhotovena na základě hydrotechnických výpočtů a zkušeností z povodně v srpnu 2002. Jako matematický model byl vybrán nekomerční software HEC-RAS, verze 3.1.1. Z provedeného posouzení navržených protipovodňových opatření by mělo být zřejmé, zda jsou navržena efektivně. Matematický model připravený pomocí uvedeného softwaru je možné využít jako podklad pro poskytnutí podpory při realizaci navržených opatření.

Ve druhé studii je prakticky využít matematický model pro hydrotechnické posouzení drobných vodních toků v katastrálním území obce Mochtín. Posouzení je založeno na matematickém modelování odtokového a hladinového režimu na vybraných vodních tocích. K vlastní simulaci je použit nekomerční software HEC-RAS. Provedené posouzení by mělo ukázat na riziková místa v obci Mochtín. Matematický model připravený pomocí uvedeného softwaru je možné využít jako podklad pro přehodnocení plánovaných akcí zahrnutých do územního plánu nebo jako zdroj základního přehledu o možnostech protipovodňové ochrany na úrovni menší obce.

Výsledky modelování mohou přispět k návrhu efektivní ochrany před povodněmi. Je důležité zdůraznit, že práce si neklade za cíl realizaci testovaných protipovodňových opatření. Jedná se o modelové studie, jejichž cílem je kvantifikace vlivu daných opatření na konkrétním experimentálním území a obecné posouzení použitých modelů a modelovacích technik.

Třetí studie se zabývá syntézou dat z hydrologického měření a leteckého laserového skenování (LLS), které se nabízejí jako alternativa k využití dat z geodetického měření pro potřeby vodohospodářské účely. Jde o sestavení hydrodynamického modelu s využitím dat digitálního modelu reliéfu (DMR) 5. generace a porovnává jeho výstupy při různých průtocích s modelem založeným na výškopisných datech upravených pomocí nástroje CroSolver, který se snaží eliminovat chyby vstupních dat do hydrodynamického modelování vycházející z LLS. Jedná se o srovnání výstupů hydrodynamických modelů v programu HEC-RAS při použití zahloubených dat a při použití neupraveného DMR. Srovnání je provedeno na úsecích dvou vodních toků s odlišnou morfologií terénu a velikostí toku. První zájmovou lokalitou je úsek vodního toku Otava v Písku, druhou je úsek vodního toku Úhlava v Přešticích. Doplnujícím výstupem je porovnání záplavových území vycházejících z obou variant modelů.

### 3. MATEMATICKÉ MODELY

Již sama složitost hydrologického cyklu předurčují šíři nabídky matematických modelů. Matematické modelování je založeno na podobnosti mezi reálným a abstraktním systémem, kdy k popisu zkoumaného jevu a abstraktního systému jsou použity obyčejné či parciální diferenciální rovnice nebo jejich soustavy. V případě modelování proudění vody se obvykle jedná o systém řídicích rovnic tvořený rovnicí kontinuity a pohybovými rovnicemi. Tyto složité rovnice jsou kromě jednoduchých případů řešitelné pouze metodami numerické matematiky.

Matematické modely se vyznačují schopností simulovat řadu povodňových situací ve skutečnosti dosud nepozorovaných a možnost zkoumání řady variant protipovodňových opatření a optimalizace výsledného návrhu před vlastní realizací. Modely usnadňují pochopení vztahů mezi příčinami a následky v oblasti hydrometeorologických veličin, odkrývají závislosti v jejich pozorováních a objasňují vazby mezi měřenými srážkami a jednotlivými fázemi odtoku. Matematické modely se staly standardním prostředkem k ověřování funkčnosti stávajících nebo budoucích předpovědí, ověřování navržených protipovodňových opatření aj. Modely slouží jako nástroje, které jsou navrhovány pro specifické účely.

Charakteristickým rysem modelů současné generace je jejich návaznost na klimatické podmínky, resp. meteorologické veličiny, které představují nejčastější vstupy pro simulace odtoku, a na hydraulické koncepce, jež tvoří základ schémat pro výpočty pohybu vody v povodí a říčních koryt.

#### 3.1 Kritéria pro výběr modelů

Posouzení vhodnosti modelu pro simulaci příslušného procesu v příslušné lokalitě nespočívá jen na charakteristikách matematických formulací a na sledovaných parametrech spolehlivosti, citlivosti, příp. věrohodnosti modelu vyjádřených prostřednictvím statistických kritérií. Je třeba přihlídnout k řadě dalších okolností, kterými jsou například:

- dostupnost podkladů a datových zdrojů, potřebných pro sestavení a kalibraci modelu
- naplnění požadavků uživatelů na specifické funkce modelu a na jeho výstupy



- možnost náhradního odvození parametrů, kterými jsou např. geomorfologické charakteristiky povodí, bonita půd a způsob využití pozemků a rovněž další; náhradní odvození parametrů se často používá u srážko-odtokových modelů při chybějících pozorováních
- reference o uplatnění modelu v obdobných situacích, ve stejných klimatických oblastech nebo říčních systémech
- složitost ovládání modelu, uživatelské prostředí, vazby na databáze a na výstupy do technologií GIS, u předpovědních modelů vazba na radarová data
- možnost případné úpravy modelu pro specifické podmínky a předpoklady dalšího rozvoje modelu
- komerční dostupnost modelu a podmínky související s jeho úspěšnou instalací a provozem (obchodní cena softwarového produktu, náklady na další technologické podmínky jeho provozu, dodávka dokumentace, možnost školení)
- možnost personálního zabezpečení jeho odborné obsluhy

V matematických modelech se obecně vyskytuje mnoho parametrů, které jsou zatíženy určitou mírou nejistoty. Některé se ponechávají v modelech tak, jak byly naměřeny, jiné mohou být později upravovány kalibrací.

Při sestavovací fázi matematického modelu pro vybranou lokalitu spočívá výběr ve dvou zásadních rozhodnutích:

- na volbě kategorie modelu v závislosti na účelu, charakteristikách povodí, dostupných informací
- na kalibraci parametrů modelu

Je samozřejmé, že úspěšnost modelu v reálných podmínkách více či méně zkušeného uživatele závisí na dalších faktorech, které s vývojem modelu přímo nesouvisí. Jedná se především o kalibraci parametrů modelu.

#### 4. VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE

- I. Lávičková M. et Roub R., 2010: Využití matematického modelu pro posouzení navržených protipovodňových opatření v lukách u Příchovic. VTEI I/2010 (52): 26-28. ISSN 0322-8916.
  
- II. Kurková M., Roub R. et Smolík J., 2012: Využití matematického modelu pro hydrotechnické posouzení vodních toků v katastrálním území obce Mochtín. VTEI 2/2012 (54): 9-12. ISSN 0322-8916
  
- III. Roub R., Kurková M., Hejduk T., Bureš L. et Novák P., 2015: Comparing a hydrodynamic model from 5th generation DRM data and a model from data modified by means of crosolver tool.

Příspěvek je přijat do recenzního řízení v AUC Geografica.

## 4.1 ČLÁNEK I.

Lávičková M. et Roub R., 2010.

### **Využití matematického modelu pro posouzení navržených protipovodňových opatření v lukách u Příchovic.**

VTEI I/2010 (52): 26-28. ISSN 0322-8916.

#### **Abstrakt**

Zájmové území se nachází na části vodního toku Úhlavy v lukách u Příchovic v blízkosti města Přeštice. Návrh protipovodňových opatření je součástí dokumentace k územnímu řízení: Přeštice – Inundační průlehové koryto v lukách u Příchovic. Posuzovaná dokumentace byla zhotovena na základě hydrotechnických výpočtů a zkušeností z povodně v srpnu 2002.

Matematický model je prakticky využit ve studii posouzení navržených protipovodňových opatření na vodním toku Úhlavy ve městě Přeštice. Posouzení je založeno na matematickém modelování odtokového a hladinového režimu na vodním toku Úhlavy. K vlastní simulaci je použit nekomerční software Hec-Ras, verze 3.1.1. Z provedeného posouzení navržených protipovodňových opatření by mělo být zřejmé, zda jsou navržena efektivně. Matematický model připravený pomocí uvedeného softwaru je možné využít jako podklad pro poskytnutí podpory při realizaci navržených protipovodňových opatření na vodním toku Úhlavy v lukách u Příchovic v rámci dotačního programu „Program prevence před povodněmi II“ v gesci Ministerstva zemědělství.

## 4.2 ČLÁNEK II.

Kurková M., Roub R. et Smolík J., 2012.

### **Využití matematického modelu pro hydrotechnické posouzení vodních toků v katastrálním území obce Mochtín.**

VTEI 2/2012 (54): 9-12. ISSN 0322-8916.

#### **Abstrakt**

Matematický model je prakticky využit ve studii hydrotechnického posouzení drobných vodních toků v katastrálním území obce Mochtín. Posouzení je založeno na matematickém modelování odtokového a hladinového režimu na vybraných tocích. K vlastní simulaci je použit nekomerční software HEC-RAS. Provedené posouzení by mělo ukázat na riziková místa v obci Mochtín. Matematický model připravený pomocí uvedeného softwaru je možné využít jako podklad pro předhodnocení plánovaných akcí zahrnutých do územního plánu nebo jako zdroj základního přehledu o možnostech protipovodňové ochrany na úrovni menší obce.

### 4.3 ČLÁNEK III.

Roub R., Kurková M., Hejduk T., Bureš L. et Novák P., 2015.

#### **Comparing a hydrodynamic model from 5th generation DRM data and a model from data modified by means of crosolver tool.**

Příspěvek je přijat do recenzního řízení v AUC Geografica.

#### **Abstrakt**

Povodeň je přírodní jev, který se vyskytuje v různé intenzitě a nepravidelných časových intervalech. Povodně představují pro Českou republiku největší přímé nebezpečí v oblasti přírodních katastrof a mohou být i příčinou závažných krizových situací, při nichž vznikají nejenom rozsáhlé materiální škody, ale rovněž ztráty na životech obyvatel postižených území a dochází k rozsáhlé devastaci kulturní krajiny včetně ekologických škod. Z hlediska eliminace potenciálního ohrožení a samotných následků těchto událostí jsou významné informace předpovědní povodňové služby o charakteru a o rozsahu záplavových území pro jednotlivé N-leté povodňové průtoky a konkrétní povodňové scénáře. Adekvátní představu o hloubkách a rychlostech při povodňové události, v podélném či příčném profilu vodního toku, poskytují hydrodynamické modely. Získané informace z hydrodynamických modelů tak zaujímají výsadní postavení z pohledu ochrany životů i zmírnění škod na majetku občanů.

Základním vstupem do hydrodynamických modelů jsou výškopisná data. Jedním ze způsobů získání dat je jejich pořízení metodou leteckého laserového skenování (LLS) z digitálního modelu reliéfu (DMR). Tato metoda je označována za jednu z nejpřesnějších metod pro získání výškopisných dat. Jejím úskalím je však neschopnost zaznamenat geometrii terénu pod vodní hladinou, a to díky pohlcení laserového paprsku vodní masou. Absence geometrických dat o průtočné ploše vodního toku může citelně ovlivnit výsledky modelování, zejména pokud chybějící část koryta reprezentuje svou kapacitou významnou průtočnou plochu. Jedním ze způsobů odstranění této chyby je dodatečné zahloubení koryta pomocí softwarových nástrojů, jakým je například CroSolver.

Předkládaný příspěvek se zabývá sestavením hydrodynamického modelu s využitím dat DMR 5. generace a porovnává jeho výstupy při různých průtocích s modelem založeným na výškopisných datech upravených pomocí nástroje

CroSolver. Jedná se o srovnání výstupů hydrodynamických modelů v programu HEC-RAS při použití zahloubených dat a při použití neupraveného DMR. Srovnání je provedeno na úsecích dvou vodních toků s odlišnou morfologií terénu a velikostí toku. Doplnujícím výstupem je porovnání záplavových území vycházejících z obou variant modelů.

Z výsledků vyplývá, že rozdíly ve výstupech jsou významné především u nižších průtoků ( $Q_1$ ,  $Q_5$ ), zatímco pro  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$  je rozdíl zanedbatelný, přičemž velký vliv má samotná morfologie modelovaného území a velikost toku.

## 5. KOMENTÁŘ

Povodně představují pro Českou republiku největší přímé nebezpečí v oblasti přírodních katastrof, neboť toto území nepatří mezi regiony, kde se projevují seismické a vulkanické děje anebo povětrnostní extrémů typu tornád a hurikánů. Povodně však jsou příčinou závažných krizových situací, které provázejí nejenom rozsáhlé materiální škody, ale rovněž ztráty na životech obyvatel postižených území a rozsáhlá devastace kulturní krajiny včetně ekologických škod.

Velké povodně přinášejí škody a utrpení postiženým, jsou však také zdrojem poučení pro budoucnost. Ve druhé polovině 20. století nám povodně příliš nových poznatků nepřinesly, tato generace jakoby přestávala vnímat povodňové nebezpečí. Až do roku 1997, kdy Morava a Slezsko byly zasaženy katastrofální povodní a o 5 let později následovala velká povodeň v Čechách.

Od té doby se výskyt velkých povodní zvýšil a do současné doby jsme zaznamenali celkem 8 takových ničivých událostí, při kterých přišlo o život 123 lidí, a škody přesáhly 174 mld. Kč.

Při lokalizaci povodňových situací na mapu území České republiky lze konstatovat, že pouze nejzápadnější část území (v horních částech povodí Ohře a Vltavy) nebyly postiženy, zatímco mnohá území v povodí Moravy, Labe a Vltavy zasáhly povodně opakovaně.

Již výše zmiňovaná povodeň v roce 1997 a následující povodeň v roce 2002 daly svou silou a ničivými následky vzniknout novým zákonům a mnoha orgánům krizového řízení. Upozornily také na nutnost protipovodňových opatření a dokonalejšího propracování plánů záplavových území.

Za dobu, co se potýkáme s povodněmi, došlo k razantnímu vývoji v jejich předcházení a ochraně před nimi. Přesto se problematika povodní stává stále aktuálnějším tématem s ohledem na zkušenosti z posledních let.

Z tohoto důvodu je věnována velká pozornost opatřením k ochraně před povodněmi, která mají takové situace předvídat, eliminovat jejich potenciál a organizačně je zvládat. Hlavním cílem ochrany před povodněmi je v dlouhodobém hledisku ochrana sídel.

Současný stav ochrany před povodněmi je do jisté míry v České republice ovlivněn skutečností, že před rokem 1997 nebylo naše území poměrně dlouho postiženo povodní se skutečně katastrofálními následky na větší části území republiky. Tím došlo k podcenění nebezpečí vyplývající z možných povodní a toto podvědomí vedlo jednak ke zvýšení rizika škod při využívání území v údolních nivách a jednak k oslabení významu budování dalších preventivních opatření

na ochranu před povodněmi. Prakticky úplně bylo potlačeno využívání a posilování možností využít netechnická preventivní opatření.

V průběhu přípravy a realizace technických protipovodňových opatření trvale probíhají diskuse a porovnávání s opatřeními přírodě blízkých – tedy opatření, která mají vést ke zvýšení retence vody v půdním profilu příslušného povodí, k retardaci odtoků srážkových vod z povodí úpravou hospodaření v krajině nebo k umožnění rozlivů v údolních nivách. Dalším opatřením jsou revitalizační úpravy koryt vodních toků, především meandrování a mnohá z těchto opatření slouží jako zmírnění změn, které nepříznivě působí na realizování technických opatření.

Jak již bylo opakovaně v odborné literatuře prokázáno, zvýšení retence v půdním profilu má své limity a může pozitivně působit za určitých okolností a navíc vliv se promítá pouze pro malé povodně (Q10 – Q20). Jejich zavádění však může výrazně ovlivnit rozsah eroze při odtocích ze svažitých terénů, což je velmi žádoucí pozitivní přínos. Problémem zůstává, že téměř stoletá absence velkých povodní na území ČR vedla k rozvoji zástavby v údolních nivách. Historická zástavba v údolní nivě nenabízí příliš možností k otevření rozlivů. Určitým řešením je realizování suchých nádrží – poldrů, do kterých lze řízeným rozlivem část povodňových objemů vody zachytit a po odeznění hlavní povodňové vlny je postupně vypouštět. Jejich výstavby sice naráží na obtížné vypořádání majetkoprávních vztahů, jsou určitou možností technického řešení. O údržbu poldru jako vodního díla je však nutno trvale pečovat, aby byl spolehlivě připraven k zachycení významných objemů povodňové vlny bez nebezpečí poškození.

Malé vodní nádrže mají většinou méně významnou retenční schopností a slouží k zachycení především malých povodní. Nicméně transformace povodní těmito malými nádržemi pomáhá alespoň v lokálním měřítku získat čas k aktivaci ochrany níže na toku. Lokální protipovodňová opatření slouží k ochraně jednotlivých sídel a ty jsou zodpovědné za jejich realizaci. Úlohou státu je koordinovat výstavbu obou typů opatření pomocí systematického vodohospodářského a územního plánování tak, aby nezhoršovaly průběh povodní dále podél toku.

Využití kombinace technických a přírodě blízkých opatření je vhodné a žádoucí, i když realizovaná řešení mají dopady na snížení rozsahu větších povodní.

Je však skutečností, že rozhodující efekty na omezení povodňových škod mají opatření technická, která lze výrazně rychleji realizovat než opatření přírodě blízká. I když u technických opatření se problémy s majetkoprávním vypořádáním rovněž objevují, avšak jsou rozsahem potřebných pozemků výrazně menší.



Ochrana před povodněmi nemůže být nikdy absolutní a její úroveň je dána nejen finančními a možnostmi státu a chráněných subjektů, ale i efektivností možných protipovodňových opatření. U větších toků budou převažovat spíše protipovodňová opatření na vodních tocích a jeho okolí, ale na menších vodních tocích, kde je hlavní nebezpečí z přívalových povodní, se budou hledat a převažovat i další jiná opatření. Bude se jednat o kvalitní předpovědní povodňovou službu, lokální hlásné a varovné systémy, kvalitní povodňové plány a v neposlední řadě i rozumná činnost v oblastech náchylných ke vzniku povodní. Významnou úlohu v ochraně před povodněmi má i objektivní vyhodnocení povodňových událostí, vhodně nastavená legislativní pravidla a objektivní hodnocení povodňových rizik.

Hlavními prostředky, které měly ochranu před povodněmi řešit, byly podle Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky zejména:

- úprava a zvýšení kapacity koryt vodních toků s cílem dosáhnout co největší ochrany zastavěných území včetně ochrany zemědělských pozemků,
- technická opatření na vodních tocích a v inundačních územích často orientovaná na zajištění rychlého odvedení vody,
- předpovědní a hlásné systémy (hydrometeorologická předpověď apod.),
- sestavování povodňových plánů územních celků s vymezením účasti záchranné služby apod.

Tato opatření a činnosti byly v podstatě organizovány státní správou ve spolupráci se státními subjekty, bez širšího zapojení veřejnosti a bez uplatnění zájmu uživatelů území. Kromě toho lze uvést podle Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky nedostatky, které se promítly do současné situace v oblasti před povodněmi, především:

- chybějící systém zodpovědnosti a financování opatření proti povodním,
- chybějící systémový a komplexní přístup k plánování preventivních opatření proti povodním,
- nedostatečné vymezení záplavových území, jejich nedůsledná ochrana a nedostatečná regulace jejich využívání,
- chybějící riziková analýza pro posuzování potenciálních povodňových škod a srovnání výdajů na realizaci opatření,
- nevhodně prováděná ochranná opatření, která často vedla k vyloučení přirozených inundací a ke zhoršení povodní v dolních částech toků,
- nedostatečné vybavení a omezený rozvoj techniky pro předpovědní službu.

K největším nedostatkům v preventivní ochraně před povodněmi patří skutečnost, že záplavová území byla stanovena pouze podél malé části délky významných vodních toků. Podobně i komplexní systémový přístup k návrhům a realizaci preventivních technických a netechnických opatření nebyl prakticky uplatňován. Z tohoto důvodu jsou od roku 1998 za výrazné zahraniční spolupráce a pomoci zaváděny moderní metody matematického modelování povodňových vln a jejich průběhu s možností ověřovat nejen rozsah záplav, ale rovněž posuzovat účinnost uvažovaných opatření na ochranu.

S ohledem na zavádění moderních metod v hydrologii bylo potřeba provést posouzení navržených protipovodňových opatření také matematickým modelem. V případě navržených protipovodňových opatření v lukách u Příchovic byly vypočítány dvě varianty odtokového a hladinového režimu lišící se ve způsobu zadávání parametrů vodního toku, průlehových inundačních koryt a přilehlé oblasti.

Podle Studie proveditelnosti jsou protipovodňová opatření navržená proti stoleté vodě. Hydraulickým modelem bylo vypočítáno, že protipovodňová opatření jsou navržena jako opatření se stupněm protipovodňové ochrany Q20. Hydrotechnickým posouzením byly také dokázány rozdíly při použití jednoduchých hydrotechnických výpočtů a při použití matematických modelů.

Pro město Přeštice je potřeba provést úpravy v krátkém časovém horizontu v kritickém úseku vodního toku Úhlavy. Dále je třeba provést ohrázování levého břehu v délce zhruba 700 m a upravit pravý břeh v délce 450 m. Na navržené hrázce při levém břehu je možnost vybudovat pěší a cyklistickou zónu vhodnou k zlepšení kulturního prostředí města a okolí.

V dlouhodobějším časovém horizontu realizace inundačních průlehových koryt v lukách u Příchovic, které by během povodní pomohly rozdělit průtok a zrychlily by odtok městem.

Pomocí matematických modelů lze provádět řadu simulací proudící vody v průběhu povodní s kulminačními průtoky odpovídajícím N-letým vodám. Dále dokážou vyhodnotit odtokové a hladinové poměry posuzované oblasti, např. průběh hladin, hloubek a velikost rychlostí proudící vody. Modely poskytují přehledné informace o charakteristickém proudění v libovolném místě modelové oblasti a umožňují provedení kvalifikované analýzy hydrologických poměrů v inundačním území při povodňových situacích.

Návrhový stupeň odpovídá návrhovému stupni protipovodňové ochrany sídel dle Koncepce ochrany vod Plzeňského kraje, která vychází vždy z potenciálních povodňových škod pro velké vody s periodicitou v rozsahu minimálních a maximálních hodnot. Jejich vyčíslení pro jednotlivá sídla je ovšem poměrně

náročné, lze však řádově odhadnout ze zkušeností z povodní 2002 a 2003, kterými byl Plzeňský kraj zasažen a které se pohybovaly v řádech miliard Kč. Dimenze a druh navrhovaných protipovodňových opatření jsou v zásadě podřízeny cílovému stavu, vycházejícímu především z poučení z historických povodní.

Zvýšení stupně protipovodňové ochrany je převážně veřejným zájmem. Zvolená míra zabezpečení nebude nikdy absolutní a souvisí nejen s technicko-ekonomickým hodnocením navržených opatření, ale i přípustnou mírou ovlivnění životního prostředí.

Pro zlepšení současného nevyhovujícího stavu ochrany proti velkým povodním, který netechnickými prostředky nelze efektivně a uspokojivě řešit, by na základě odhadu a za předpokladu přiměřené úrovně ochrany bylo nutné vynaložit 10-30 mld. Kč v období cca 10 let. Před rozhodnutím o způsobu ochrany a volbě varianty optimální kombinace protipovodňových opatření, které vyplyne z posouzení jejich účinnosti na základě využití matematických simulačních modelů, bude prováděna riziková analýza pro zjištění jejich efektivnosti a posouzení jejich vlivu na dané území a životní prostředí. Teprve poté bude možné zodpovědně rozhodnout o způsobu a míře ochrany. Tyto zásady se budou řešit v systému vodo hospodářského plánování a promítnou se do územních plánů.

Pro vznik povodní v podmínkách České republiky jsou v naprosté většině případů rozhodující meteorologické příčinné jevy, jejichž důsledky se projeví přímo na území státu. Povodně přicházející ze sousedních států se mohou vyskytovat ve významnějším rozsahu pouze na Dyji a částečně na horní Lužnici. Významné je i ohrožení území České republiky v důsledku povodňových situací na Ohři přítoky z území Německa a na Olši a Stěnavě přítoky z Polska. Vedle meteorologických jevů je pro povodňové situace druhým hlavním určujícím faktorem i způsob využití a nakládání s pozemky v jednotlivých povodích.

Zvyšování retence vody v krajině je možné prostřednictvím správně navržených protierozních a protipovodňových opatření. Tato opatření se v praxi nejčastěji navrhuje jako společné opatření komplexních pozemkových úprav (Podrázský et Remeš, 2005).

Správně navržená a dimenzovaná protierozní opatření mají multifunkční účinek. Nejen omezují smyv půdy, ale zpomalují povrchový odtok a zvyšují retenci vody v krajině (Podrázský et Remeš, 2005).

Neuvážené zásahy v údolní nivě způsobují snížení retence v těchto inundačních územích. Vopálka (2003) uvádí, že bez existence propracovaného informačního systému a komplexního pojetí problematiky krajiny, je seriózní řešení povodňové ochrany nezvládnutelné.

Výskyt řady katastrofálních povodní v Evropě v posledních 15 letech (postiženo Bulharsko a Rumunsko) vede k výraznému zaměření vodohospodářských politik na zlepšení ochrany před povodněmi a realizaci protipovodňových opatření ke snížení povodňových škod.

V souvislosti se zvýšenou četností extrémních hydrologických situací, které postihly ČR v několika posledních letech, se jako jedna z příčin vzniku odtokových extrémů často uvádí právě snížení retenční a akumulární funkce krajiny. Snížená retenční schopnost území se projevuje jako důsledek dlouhodobě nevhodného způsobu využívání území, který je způsoben především rostoucím tlakem na zastavění inundačních území, kde standardně jinak dochází k retardaci a akumulaci odtoku (Bičík et al., 2008; Trimble, 2003). Analýza změn ve vývoji využití území je předmětem zájmu řady autorů (Skaloš et al., 2011). Inundace, retardační a akumulární prvky v krajině tvoří tzv. retenční potenciál krajiny, který ovlivňuje schopnost území transformovat příčinné srážky na odtok, určuje jeho průběh a kulminaci a současně ovlivňuje i další transport látek, uvolněných např. erozními procesy (Magunda et al., 1997). Retence v povodí je dána především různými uplatněním a funkcí retenčních a akumulárních prvků při výskytu příčinného deště různého typu (déšť přívalový, regionální) v závislosti na velikosti zasaženého území a aktuálním fyzikálním, resp. technickém stavu retenčních prvků v době výskytu deště (Mahe et al., 2005).

Z hydrologického hlediska je třeba v krajině podporovat především tzv. malý oběh vody. Malým oběhem se míní výpar vody z povrchu a jeho spád v podobě srážek, které se odehrávají v rámci jednoho území v krajině. Význam malého oběhu vody v krajině je především v tom, že zadržuje vodu, a tím přispívá k vyrovnávání mikroklimatu (Petříček et Cudlín, 2003).

Petříček a Cudlín (2003) rovněž ve své práci uvádějí, že samotná retenční schopnost krajiny je daná její schopností zadržet vodu a tím zpomalit odtok srážkových vod z území. Pod tímto pojmem je možné rozumět dočasné zadržení vody na vegetaci, objektech v povodí, zadržení vody v pokryvné vrstvě povrchu půdy, v půdě samotné, mikrodepresích, poldrech a v tzv. bezodtokové fázi srážkově - odtokového procesu. Tato krajinná funkce přispívá k vyrovnanějšímu hydrologickému cyklu (menší výskyt extrémních stavů - povodně, sucha) a k menšímu odplavování živin.

Významný vliv na retenční schopnost krajiny mají krajinné prvky, jako jsou lesní ekosystémy, přirozené vodní toky a nivy, louky, mokřady, meze, zasakovací pásy atd. Odstraní-li se z krajiny tyto prvky, dochází k rychlému odtoku vody, k erozi, k zatěžování vodních toků splavenou půdou s vysokým obsahem živin, ale

taky k výraznému poklesu zásob podzemní vody. Efektivní formu zadržování vody v krajině představují mokřadní biotopy, prameniště, rašelinště, tůně, litorály rybníků, říční nivy, podmáčené smrčiny apod. (Mauchamp et al., 2002) Svým působením se podílejí na tlumení průtokových extrémů a transformaci povodňové vlny. Mokřady chrání krajinu před záplavami, protože vytvářejí prostor, který v čase povodňových průtoků umožňuje zachytit a akumulovat vodu.

Kvantifikace retenčního účinku technických PPO je v současnosti již dobře propracována (Weyskrabová et al., 2010).

Vzhledem k tomu, že v minulosti bylo přistoupeno na některých lokalitách k provedení plošného odvodnění systematickou drenáží je nutné vzít v úvahu možnost ovlivnění hladiny vody ve vodním toku vlivem odtoku z drenážních systémů.

Drenážní odtok je zvláštním případem mělkého podpovrchového odtoku. Pokud podíl odvodnění povodí vykazuje vysokou hodnotu, přibližně přes 30 %, může být za určitých odtokových podmínek také zvýšen podíl složky drenážního odtoku na odtoku celkovém. Obecně však platí, že podíl drenážních vod je nízký u významné srážko-odtokové epizody, to znamená, že odvodnění výrazně nezhoršuje povodňové stavy. Některé studie dokládají pozitivní přínos drenáže snížením povrchového odtoku při určitých, časově vymezených, středně intenzivních srážkách. Podíl drenážních vod je vyšší v období sušším a někdy může v delším období beze srážek odtékat z povodní drobného vodního toku po určitý čas pouze voda drenážní (Kulhavý et al., 2007).

Matějček a Hladný (1999) uvádějí, že při povodních v roce 1997 odvodnění pozemků výrazně nezhoršovalo průběh povodňové situace a jejich vliv se vytrácel s dobou trvání povodně. Bylo konstatováno, že působení melioračního detailu tedy mělo nepodstatný celkový vliv.

Vysoké materiální škody a ztráty na lidských životech po povodních, které v poslední době opakovaně postihují naše území, ukazují na nutnost být na tento hydrologický extrém připraven. Je ale třeba si také uvědomit, že povodně nezpůsobují jen negativa, ale mají mnohdy pozitivní přínos. Určitým směrem v protipovodňové ochraně by mělo být naučit se s povodněmi žít a respektovat vodu jako živel, který nejen přináší užitek, ale je někdy také hrozbou.

Poučení z nedávných povodních. Jedním z důležitých poučení je, že je nutné zcela reálně očekávat povodně s větší extremitou než tou, která je vyjádřena dlouhodobě průměrnou dobou opakování 100 let. Je třeba zjistit, jaká rizika tyto povodně mohou přinést a připravit se na ně.

Pro účinné řízení všech prováděných opatření za povodní je třeba mít pokud možno rychlé, přesné a spolehlivé informace o příčinných povodňových jevech, zejména o srážkách, vodních stavech a průtocích a jejich dalším očekávaném vývoji. Dalším poučením bylo uvědomění si nutnosti zpětné vazby mezi předpovědním pracovištěm a uživateli předpovědí.

Obecně formulovaným poučením pro povodňové a krizové orgány i další zapojené složky na všech úrovních je však to, že musí být na povodňovou situaci připraveny, a to i na situaci extrémní, málo pravděpodobnou. Zcela zásadní je příprava kvalitních povodňových plánů, které nesmí být pouze formálním dokumentem, ale musí zahrnovat konkrétní opatření prováděná v závislosti na stoupaní hladiny vody v hlásných profilech nebo jiných indikátorech stupně povodňové aktivity, případně na jejich předpovědích. Nabádá k důslednějšímu prosazování zásad povodňové prevence v záplavových územích. Nezbytné je výrazné posílení úlohy územního plánování a rozhodování stavebních úřadů ve spolupráci s vodoprávními úřady a správci povodí při povolování staveb v území ohrožených povodněmi a při usměrňování využívání záplavového území.

Preventivní protipovodňová opatření jsou ve smyslu vodního zákona opatřeními ve veřejném zájmu, na které stát může poskytnout finanční prostředky. Obvykle slouží více ohroženým subjektům.

Zvýšený výskyt povodní a tedy zvýšení míry povodňového rizika je často předpokládaným důsledkem očekávaných klimatických změn. Zejména v případě povodní však dosavadní studie nebyly schopny poskytnout jednoznačný a metodicky správně odvozený závěr, zda se v oblasti střední Evropy míra povodňového rizika povodňový režim změní.

Změny ve využití území, stejně jako úpravy údolní nivy nebo koryt toků představují důležitý prvek zranitelnosti v systému povodňového rizika, kde mají význam jak z hlediska bezprostředního ovlivnění průběhu povodně, tak z hlediska využití přirozeného retenčního a transformačního potenciálu krajiny.

Ukázaly, že změny využití území i antropogenní úpravy údolní nivy a koryt toků mohou významně ovlivňovat průběh a následky povodně v lokálním měřítku i v měřítku povodí jako celku. Mezi úpravy, které nejvýrazněji ovlivňují průchod povodňové vlny a výskyt povodňových následků patří změny v charakteru využití území údolní nivy a příbřežní zóny a překážky proudění.

Vliv těchto úprav na celkovou extremitu povodňové události a jejich následků je však omezený a nepředstavuje zásadní složku povodňového rizika. Jednotlivé typy úprav navíc mají odlišný účinek při rozdílné extremitě a průběhu povodně i v různém prostředí. Metody terénního mapování, geoinformatické analýzy

a matematického modelování umožnily identifikovat kritické prvky říční sítě, kde antropogenní zásahy mohou způsobit výrazný nárůst povodňových škod a zároveň kde je možné využít přirozeného potenciálu krajiny k tlumení jejího průběhu.

Výsledky studií ukázaly na měnící se význam různých typů změn v krajině a úprav toků vzhledem k rozdílné extremitě povodňové události.

Faktory, jejichž význam klesá s extremitou povodně představují zejména úpravy trasy toku, stejně jako úpravy dna, břehů a přípobřežní zóny. Ovlivnění průběhu povodně těmito ukazateli je nejvyšší u malých až středních povodní, případně u povodní z příválových srážek. Naproti tomu u povodní s vysokou dobou opakování, zapříčiněnými regionálními dešti nebo táním sněhu je vliv těchto činitelů marginální.

Naproti tomu úpravy podélného profilu, tj. jezy a stupně v korytě a zejména výskyt potenciálních překážek proudění v toku představují typ úprav, jejichž význam roste s extremitou povodně. Výsledky terénního mapování následků povodně 2002 ukázaly, že jezy a stupně v korytě toku představují zpravidla ohniska zvýšené intenzity erozní a akumulární činnosti toku při povodni.

Faktor, který se ukázal jako významný pro rozsah i charakter následků nedávných povodní je naopak intenzita využití údolní nivy. Stavby, představující potenciální překážky proudění při povodni jako např. násypy komunikací protínající údolní nivu, nedostatečně dimenzované mosty a propustky výrazně přispěly k akceleraci povodňových škod. Z hlediska povodňových škod mají mimořádný význam zejména překážky proudění, tj. nevhodně umístěné či nedostatečně dimenzované objekty v údolní nivě a v korytě toku. Jako výrazně negativní se potvrdil i vliv intenzivního zemědělského využití údolní nivy, které díky nadbytečné ochraně nivy před rozlivem brání účinnější transformaci povodňové vlny. Při zapojení údolní nivy do odtoku při extrémních povodních navíc proudění ovlivňují objekty, které jsou jinak mimo záplavovou oblast a které mohou významně zhoršit průběh povodně. Jde zejména o nedostatečně dimenzované mosty a propustky, budovy v údolní nivě a o tělesa železnic a silnic, vedoucí napříč údolní nivou.

V současné době neexistuje v ČR kvalitní a dostatečně podrobný mapový podklad, který by vhodně vyjadřoval příčný profil koryta v celé délce sledovaného vodního toku pro užití v hydrodynamických modelech. Pro zpracování hydraulických výpočtů pomocí numerických modelů, pro vyhodnocení výsledků simulací i pro zpracování navazujících rizikových analýz jsou kombinovány tři uváděné základní způsoby pořízení těchto dat (geodetické zaměření příčných profilů, letecké laserové skenování, fotogrammetrie).

Pro reálnost a kvalitu modelování povodňových jevů a stavů s využitím hydrodynamických modelů jsou určující vstupní data pro tvorbu výpočetní geometrie vodního toku.

Příspěvek III vychází z využití výškopisných dat získaných metodou leteckého laserového skenování (LLS), které v současnosti rovněž zabezpečuje Český úřad zeměměřický a katastrální ve spolupráci s Ministerstvem obrany ČR. Data LLS představují první složku uvažovaného principu. Druhou složkou technického řešení je využití hydrologického měření. Hydrologické měření je v ČR v kompetenci Českého hydrometeorologického ústavu a podniků Povodí. V současnosti je na území ČR v provozu cca 494 stanic s hydrologickým měřením na významných vodních tocích, které poskytují adekvátní předpoklad k úvaze o využití stanovených hodnot průtoků, dosažených v době pořizování dat LLS, při tvorbě korektní geometrie pro hydrodynamický model.

Pro oblast modelování vodních toků a pro zaměření jejich koryt a příčných profilů jsou v současné době používána data nejčastěji z geodetického zaměření.

Pro mapování inundačních území se využívají data pořizovaná leteckou fotogrammetrií. Nejmodernější metodou pořizování těchto dat na území České republiky je letecké laserové skenování zemského povrchu. Jedná se o digitální modely reliéfu. Poslední takový model České republiky je vytvořen 5. generací digitálního modelu reliéfu (DMR 5G).

Jestliže se geodetické zaměření provede správně, vyznačuje se vysokou přesností, což je důležitý předpoklad.

Zaměření příčných profilů ve velkých vzdálenostech od sebe je pro použití v hydrodynamických modelech velmi limitující. Nemůže tak být přesněji popsána členitost toku a jeho jistá meandrovitost v terénu. Dále je tím zkrácen jeho příčný profil, zejména ve spodní části toku, a tím byl zvýšen podélný sklon.

Problematika výškopisných dat a jejich použití v souvislosti s modelováním vodních toků a povodňových analýz je dlouhodobé téma. Nejzákladnější otázkou je, zda používat geodeticky zaměřená data, která se vyznačují tím, že jsou nejpřesnější, pokud je měření provedeno správně, ale na druhou stranu jejich sběr je nejpomalejší a asi i nejdražší. Nebo zda využít rychlejší, cenově dostupnou metodu leteckého laserového skenování. Hlavní roli při pořizování těchto výškopisných dat totiž jistě hraje kvalita, dostupnost a v neposlední řadě cena, ale také celistvost.

V přímém porovnání geometrických vstupů do modelu bylo zjištěno, že dochází na podkladech LLS ke schematizaci příčných profilů koryta. Je tak oproti geodetickému zaměření nepřesná. Hlavní nedostatek je zapříčiněn neprostupností



laserových paprsků vodní hladinou, které se od ní odrážejí, takže získané body na toku jsou vlastně kótami vodní hladiny.

K největším rozdílům ve výškách hladin dochází, jak bylo zjištěno porovnáním výsledků modelů, když tok prochází úzkým prostorem, například úzkým zařízým údolím. Odstraněním tohoto problému může být dodatečné zahloubení koryta.

Řešení odečtením průtoku, který byl zjištěn v daném toku během pořizování dat LLS, pozitivně ovlivní výsledky, ale jen do jisté míry, a to u malých průtoků. S většími průtoky se postupně efekt odečtení průtoku ztrácí. Pokud dojde k vyběžení vody do širokého území i z geodeticky zaměřeného koryta, začínají se hodnoty nadmořských výšek a tím i šířek hladin postupně vyrovnávat, což mě přivádí ke zvážení možnosti použít data z DMR 5G spíše k mapování inundačních území, kde by mohly, díky své přesnosti a relativní jednoduchosti práce s nimi, nahradit leteckou fotogrammetrii.

Letecké laserové skenování, ale i pozemní se těší v poslední době velkému zájmu. Prochází obrovským vývojem, který je zaměřen především na zvyšování hustoty bodů, jak v horizontálním, tak vertikálním směru, ale i neustálého zpřesňování souřadnic jednotlivých bodů.

Hrádek a Sobota (1999) uvádějí, že státní monitorovací síť povrchových vod je tvořena vodoměrnými stanicemi situovanými převážně na významných vodních tocích. V podmínkách ČR zaujímají významné vodní toky 22 % celkové délky hydrografické sítě. Přestože tak větší část hydrografické sítě ČR (78 % celkové délky) představují drobné vodní toky, jsou pro ně jen výjimečně k dispozici soustavná hydrologická pozorování. Tato skutečnost není ovšem s ohledem na možnost uplatnění hypotézy o syntéze dat LLS s daty z hydrologického měření pro tvorbu výpočetní geometrie limitující, poněvadž struktura této sítě pokrývá významné vodní toky a jejich povodí tak, aby za pomoci hydrologické analogie (Plate, 2002; Giannoni et al., 2003; Fowler et al., 2005) umožňovala zpracování hydrologických charakteristik pro libovolné místo v říční síti.

Průtok vody představuje základní hydrologickou veličinu vyjadřující objem vody, který proteče daným profilem vodního toku za jednotku času. Letecké laserové skenování povrchu patří k nejmodernějším technologiím pro pořizování prostorových geografických dat. Znalost těchto dvou poznatků vytváří v kombinaci vhodný předpoklad pro tvorbu relevantního digitálního modelu reliéfu (DMR) vstupujícího do hydrodynamických modelů. Vysoké finanční požadavky na geodetické zaměření příčných profilů koryta vedly k posouzení možností, jakým vhodným způsobem snížit vynakládané finanční prostředky na získání této informace. Byla alternativována možnost využít hydrologické měření při pořizování

výškopisných dat LLS povrchu při sestavování jednotlivých simulačních epizod v hydrodynamickém modelu.

Provedené analýzy a matematické výpočty byly konstruovány tak, že kombinují pro finální podobu výpočetní geometrie data z hydrologického měření s daty leteckého laserového skenování.

Znalost míry povodňového nebezpečí patří k aktuálním problémům v celospolečenském měřítku. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES (povodňová směrnice) ukládá členským státům vytvořit plány pro zvládnutí povodňových událostí a stanovuje pevné termíny dílčích kroků řešení. K analýze a mapování povodňových rizik slouží simulace 1D a 2D hydrodynamických modelů, které poskytují detailní představu o působení povodně v konkrétním terénu. Reálnost a kvalita modelování povodňových jevů a stavů s využitím hydrodynamických modelů určují vstupní data pro tvorbu výpočetní geometrie vodního toku.

Jedním z nejdůležitějších podkladů pro hydrodynamické modely jsou vstupní data pro schematizaci koryta vodního toku. Získaná výškopisná data jsou rozhodující i při samotné volbě hydrodynamického modelu pro prováděné simulace. Méně náročnými modely z hlediska výškopisu území jsou jednorozměrné (1D) modely, kterým pro výpočet postačí příčné profily koryta a přilehlé inundace. V případě dvourozměrných (2D) modelů výpočet již vyžaduje detailní DMR, který přesně vystihuje morfologii sledovaného území. Na základě požadavků vstupních dat 1D a 2D modelů se odvíjí i finanční náročnost na pořízení těchto dat.

V České republice je nejrozšířenějším modelem HEC-RAS z několika důvodů, z nichž nejvíce převládá fakt, že je volně stažitelný. Jeho uživatelské prostředí je přívětivé, dokumentace softwaru a použitých rovnic je obsáhlá a přehledná, pomocí doplňkového softwaru HEC-GeoRAS je možné připravit podklady a prezentovat výsledky v prostředí ArcGIS a další.

Topografická data pro potřeby hydrologických výpočtů jsou převážně data výškopisná, s důrazem na zachycení výškových poměrů v zájmovém území. Výškopis je reprezentován formou digitálního modelu reliéfu (terénu). Kvalita digitálního modelu reliéfu, charakterizovaná přesností a mírou detailu, zásadním způsobem ovlivňují přesnost a správnost výpočetních modelů.

DMR 5G je určen k analýzám terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu, např. při projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb, modelování přírodních jevů lokálního charakteru, apod. DMR 5G je základní zdrojovou databází pro tvorbu

vrstevnic určených pro mapy velkých měřítek a počítačové vizualizace výškopisu v územně orientovaných informačních systémech vysoké úrovně podrobnosti.

Data z nového výškopisného mapování metodou LLS poskytnou pro celé území ČR požadovaný podklad pro povodňové analýzy ať již v kombinaci s geodetickým zaměřením koryt vodních toků, s využitím hydrologického měření pro snížení průtoků v modelovaných scénářích nebo s možností dodatečného zahloubení koryt vodních toků do DMR připraveného z dat LLS v kombinaci s daty z hydrologického měření.

Nově získané výškopisné informace naleznou uplatnění jako komplexní podklad pro řešení nejen vodohospodářské problematiky, ale i v ostatních oborech, pro které je znalost vertikální členitosti území rozhodující.

Hydrologická data vedoucí k zahloubení DMR z dat LLS poskytnou vytvořit hydrodynamický model, u kterého budou splněny všechny hydraulické podmínky a získané výstupy budou moci být použity při tvorbě map povodňového nebezpečí a povodňových rizik či navazujících rizikových analýz bez nutnosti zahrnout do modelu další zjednodušení, jako je například nutné při modelování povodňových scénářů se sníženým průtokem.

Jedním z hlavních důvodů je nedostatečná přesnost a vysoká míra generalizace současných digitálních modelů reliéfu, které neumožňují interpretovat objekty mikroreliéfu s požadovanou přesností. Aplikace metody LLS nabízí dosažení vysoké hustoty výškových bodů i výškové přesnosti, která v zásadě odpovídá současným i perspektivním požadavkům uživatelů geografických informací v ČR. Metoda LLS se oproti ostatním návrhům pro zlepšení databází výškopisu (využití digitální stereofotogrammetrie nebo automatizované obrazové korelace překrývajících se měřických snímků) jeví ekonomicky a produkčně nejefektivnější, o čemž svědčí i její stále častější použití ve vyspělých zemích Evropy, USA a v Kanadě.

V datech LLS jsou velmi dobře rozpoznatelná koryta toků. Ukázalo se, že polohová přesnost současných dat vodních toků je v porovnání s daty LLS podstatně nižší.

LLS patří vedle klasického geodetického zaměření profilů koryta toku a údolních profilů a fotogrammetrického mapování inundací k základním metodám pořizování geodetických podkladů pro hydraulické modely. Stále rostoucí přesnost a hustota dat LLS si klade otázku, zda by mohla tato data alespoň částečně nahradit finančně a technicky náročné geodetické zaměření.

Nové výškopisné mapování metodou LLS přinese kvalitní výškopisné informace, které najdou uplatnění v mnoha oborech lidské činnosti. Z pohledu

vodního hospodářství umožní přesnost a hustota nových výškopisných dat rozvoj a aktualizaci dat stávajících. Kromě toho se otevře cesta různým automatizovaným metodám zpracování dat a grafických produktů.

Základem bude zpřesnění sítě vodních toků, včetně aktualizace jejich kilometráže. K identifikaci výškových objektů na i nad vodním tokem (tzn. stupně, jezy, mosty atd.) by mohl přispět automatický postup analýzy podélného profilu vodní hladiny. Data LLS se stanou základním z geodetických podkladů a budou hrát velkou roli při tvorbě map povodňového nebezpečí a rizika, které jsou požadovány Evropskou směrnicí. Z analýzy testovacích dat vyplývá, že po odstranění systematických chyb by data měla být vhodná pro určení geometrie inundace i koryta některých drobných vodních toků, kde je malá hloubka vody.

Geodetické zaměření bude potřeba v případě objektů na vodním toku, u koryt s nezanedbatelnou hloubkou vody a jiných specifických případech. Neoddiskutovatelný smysl bude mít přesný DMR při stanovení rozvodnic a ploch povodí, které jsou základem k určení objemu srážek.

Přesnost a hustota DMR z LLS umožní zpracování studií a plánovacích dokumentací pro přípravu retenčních nádrží (např. preventivní protipovodňová opatření, akumulace vody, atd.). DMR poskytne dostatečně podrobná data pro nejrůznější modelování v oblasti ochrany povrchových i podzemních vod.

Problémem, se kterým se bude potřeba při zpracování vypořádat, jsou obrovské objemy dat a tedy vysoké nároky na výpočetní techniku.

Pravděpodobně nebude možné řešit rozsáhlé oblasti a nutností bude data optimalizovat a členit je na menší celky.

Jako doplňková data lze využít data DMR 4. generace (DMR 4G). Jinak tato datová sada je pro účely přesného hydrologického modelování nevhodná. Hlavním nedostatkem je malý detail v oblasti toků – identifikace břehové linie a dalších terénních stupňů v blízkosti vodního toku.

## 6. SUMMARY

Flood is a natural phenomenon that occurs at different intensities and irregular time intervals. As to natural disasters, floods represent the greatest direct threat for the Czech Republic. They may cause serious critical situations during which not only extensive material damages are done, but may bring also losses of the lives of inhabitants in affected areas as well as vast devastation of cultural landscape including environmental damages. Important from the viewpoint of the elimination of potential threats and consequences of such events is the information issued by flood forecasting service about the character and size of flood areas for individual N-year flood discharges and specific flood scenarios. An adequate image of depths and flow rates in the longitudinal or cross profile of the watercourse during a flood event is provided by the hydrodynamic model. This is why the information obtained from the hydrodynamic models occupies a privileged position from the viewpoint of the protection of citizens' lives and mitigation of damage to their property.

The first study is situated on the river Úhlava in meadows by Příkladovice near the town Přeštice. The proposal of flood-protection measures is contained in Territorial control documentation. The documentation was elaborated on the basis of hydraulic calculations and experiences from the flood in August 2002.

The mathematical model is practically used in the study of analysis of proposed flood-protection measures. The analysis is based on mathematical simulation of water outflow and water level on the river Úhlava. It is possible to use the non-commercial software Hec-Ras, version 3.1.1., for the simulation itself. One of the points of view of the possibility of using proposed flood-protection measures is total efficiency. The mathematical model is possible to use as a basis of support for realization of proposed flood-protection measures on the river Úhlava in meadows by Příkladovice within the grant programme "Program prevence před povodněmi II" under the control of the Ministry of Agriculture.

In the second case the mathematical model is practically used in the study of hydrotechnical analysis of streams in cadastral unit. The analysis is based on mathematical simulation of water outflow and water level on chosen streams. It is possible to use the noncommercial software HEC-RAS for the own simulation. The analysis should be shown on dangerous places in the interest place. The mathematical model is possible of using to use as basis for reevaluation of action in spatial plan or for view of the flood-protection measures in the village Mochtín.

Basic input into the hydrodynamic models is represented by altimetry data. One of ways to obtain such data is through the method of aerial laser scanning (ALS) from the digital relief model (DRM). This method is considered one of the most accurate methods for obtaining altimetry data. Its bottleneck is however incapacity of recording terrain geometry under water surface due to the fact that laser beam is absorbed by water mass. The absence of geometric data on watercourse discharge area may perceptibly affect results of modelling, especially if a missing part of the channel represents a significant discharge area with its capacity. One of methods for eliminating the deficiency is a sufficient channel recess by means of software tools such as CroSolver.

The third submitted paper deals with the construction of a hydrodynamic model using 5<sup>th</sup> generation DRM data, and compares outputs from this model at various discharges with a model based on the altimetry data modified by using the CroSolver tool. Outputs from the two hydrodynamic models are compared in HEC-RAS programme with the use of recessed data and with the use of unmodified DRM. The comparison is done on the sections of two watercourses with different terrain morphology and watercourse size. A complementary output is the comparison of inundation areas issuing from both model variants.

Our results indicate that differences in the outputs are significant namely in the lower discharges ( $Q_1$ ,  $Q_5$ ) whereas for  $Q_{50}$  and  $Q_{100}$  the difference is negligible with a great role being played by morphology of the modelled area and by the watercourse size.

## 7. PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

- BIČÍK I., LANGHAMMER J., ŠTYCH P. et KUPKOVÁ L., 2008: **Long-term land-use changes in Czechia as a flood risk influencing factor.** Acta Universitatis Carolinae, Geographica, Vol. 45, No. 1–2, p. 29–52.
- FOWLER H. J., EKSTRÖM M., KILSBY C. G. et JONES P. D., 2005: **New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. Assessment of control climate.** Journal of Hydrology 300, 212-233.
- GIANNONI F., SMITH J.A., ZHANG YU et ROTH G., 2003: **Hydrologic modeling of extreme floods using radar rainfall estimates.** Advances in Water Resources, Volume 26, Issue 2, pp. 195-203.
- HRÁDEK F. et SOBOTA J., 1999: **Prognózy maximálních průtoků v nepozorovaných profilech povodí drobných vodních toků.** In Workshop Extrémní hydrologické jevy v povodích. Praha, ČVUT, ČVHS, s. 82-85. ISBN 80-01-02072-X.
- **Koncepce ochrany vod - Studie protipovodňových opatření Plzeňského kraje** [online]. Plzeň, Portál Plzeňského kraje. [cit. 8. 4. 2009]. Dostupné z: <http://www.plzensky-kraj.cz/article.asp?itm=13712>.
- KULHAVÝ Z., SOUKUP M., DOLEŽAL F. et ČMELÍK M., 2007: **Zemědělské odvodnění drenáží.** Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i, Praha.
- MAHE G. et SERVAT E., 2005: **The impact of land use change on soil water holding capacity and river flow modelling in the Nakambe River, Burkina-Faso.** Journal of Hydrology. Vol.300, p. 33-43.
- MAUCHAMP A., CHAUVELON P. et GRILLAS P., 2002: **Restoration of floodplain wetlands: Opening polders along a coastal river in Mediterranean France, Vistre marshes.** Ecological Engineering, pp. 619-632, ISSN: 0925-8574.
- MAGUNDA M. K., LARSON W.E., LINDEN D.R. et NATER E.A., 1997: **Changes in microrelief and their effects on infiltration and erosion during simulated rainfall.** Soil Technol, vol. 10 (1), p. 57-67(11).

- MATĚJČEK J. et HLADNÝ J., 1999: **Povodňová katastrofa 20. století na území České republiky**. Ministerstvo životního prostředí, Praha. 60 s. ISBN: 80-7212-067-3.
- PETŘÍČEK V. et CUDLÍN P., 2003: **Máme bojovat proti povodním?** In: Životné prostredie, 4/2003, s. 177 – 179, Ústav krajinném ekologie SAV Bratislava. Dostupné z <http://www.seps.sk/zp/casopisy/zp/2003/zp4/index.html>
- PLATE E. J., 2002: **Flood risk and flood management**. Journal of Hydrology 267, pp. 2-11.
- PODRÁZSKÝ V. et REMEŠ J., 2006: **Retenční schopnost lesních ekosystémů**. Lesnická práce. Dostupné z <http://lesprace.silvarium.cz>, svazek 85, č. 7, s. 232, ISSN: 0322-9254.
- SKALOŠ J., WEBER M., LIPSKÝ Z., ŘEPÁKOVÁ I., ŠANTRŮČKOVÁ M., UHLÍŘOVÁ L. et KUKLA P., 2011: **Using old military survey maps and orthophotograph maps to analyse long-term land cover changes: case study (Czech Republic)**. Applied Geography, No. 31, p. 426–438.
- **Směrnice evropského parlamentu a rady 2007/60/ES ze dne 23. října 2007 o vyhodnocování a zvládnání povodňových rizik (povodňová směrnice)**.
- **Strategie ochrany před povodněmi pro území ČR (2002)**. Usnesení vlády ČR č. 38/2000, Praha. (on-line: [http://www.mze.cz/attachments/o\\_pp35.pdf](http://www.mze.cz/attachments/o_pp35.pdf), 20. 8. 2007).
- **Studie proveditelnosti. Přeštice, inundační průlehové koryto v lukách u Příchovic a úpravy koryta Úhlavy ve městě Přeštice**. Město Přeštice. 2008
- TRIMBLE S. W., 2003: Historical hydrographic and hydrologic changes in the San Diego creek watershed, Newport Bay, California. Journal of Historical Geography, Vol. 29, No. 3, p. 422–444.
- VOPÁLKA J., 2003: **Přístup ministerstva životního prostředí k problematice povodní**. In Celostátní seminář Lesy a povodně. Praha, ČLS, MŽP, MZe, 25.6.2003, s. 8-11. ISBN 80-02-01564-9.
-



- WEYSKRABOVÁ L., VALENTOVÁ J., VALENTA P., MYSLIVEC D., FOŠUMPAUR P. et ŠEPELÁK J., 2010: **Hydraulické a hydrologické přístupy ke stanovení retenční kapacity říční nivy**. In: Voda a krajina. Praha: Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2010, s. 134-141. ISBN 978-80-01-04614-2.

## 8. ODBORNÝ ŽIVOTOPIS

### Osobní údaje

Marie Kurková

Narozena: 30. 04. 1983, Sušice

Bydliště: Makovského 1331/32, 163 00 Praha 6

Email: [kurkova@fzp.czu.cz](mailto:kurkova@fzp.czu.cz)

### Vzdělání

2009 – dosud Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, doktorské studium, obor Environmentální modelování

8/2007 – 1/2008 Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Umea

2003 – 2009 Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, magisterské studium, obor Aplikovaná ekologie

### Zaměstnání

2008 – dosud Ministerstvo zemědělství, Odbor vodohospodářské politiky a protipovodňových opatření, odborný referent

### Kurzy a semináře

3/2008 Akademie CITT – GIS: dlouhodobý vývoj české přírody

10/2008 EIPA – European environmental policy, Maastricht

### Výzkumné granty

2012 – 2015 TA02020139 – Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového snímkování

## 9. PUBLIKAČNÍ ČINNOST

### Články v časopisech s IF

Roub R., Kurková M., Hejduk T. et Bureš L., 2015: Comparing a hydrodynamic model from 5th generation DRM data and a model from data modified by means of crosolver tool.

### Články v recenzovaných časopisech

Lávičková M. et Roub R., 2010: Využití matematického modelu pro posouzení navržených protipovodňových opatření v lukách u Příchovic. VTEI 1/2010 (52): 26-28. ISSN 0322-8916.

Kurková M., Roub R. et Smolík J., 2012: Využití matematického modelu pro hydrotechnické posouzení vodních toků v katastrálním území obce Mochtín. VTEI 2/2012 (54): 9-12. ISSN 0322-8916.

### Ostatní činnost

Školící seminář Prevence před povodněmi: Protipovodňová opatření v letech 2007 – 2013 v gesci Ministerstva zemědělství, Jihlava, kraj Vysočina, červenec 2009.

### Účast na konferencích

Vodní toky 2009, Hradec Králové, listopad 2009.

WATENVI – Mezinárodní vodohospodářský a ekologický veletrh, Brno, květen 2010.

Světový den vody, Praha, březen 2011.

10.výročí povodně 2002, Praha, srpen 2012.