

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE, FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ



## **Matematické modelování v povodí Litavky v rámci integrovaného systému vod**

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

ŠKOLITEL PRÁCE: **prof. Ing. PAVEL PECH, CSc.**

KONZULTANT: **Ing. RADEK ROUB, Ph.D.**

doktorand: **Ing. Tomáš Hejduk**

LHOTKA, ZÁŘÍ 2015

Prohlašuji, že jsem teze disertační práci s názvem: „Matematické modelování v povodí Litavky v rámci integrovaného systému vod“ vypracoval samostatně a na základě vlastních výsledků a zjištění a za použití materiálů uvedených v seznamu literatury.

Děkuji vedoucímu disertační práce prof. Ing. Pavlu Pechovi, CSc. za cenné připomínky a rady v průběhu studia a zpracování této práce. Poděkování patří rovněž Ing. Radku Roubovi, Ph.D. a kolegům z Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. za inspiraci a podněty k práci.

Ve Lhotce, 4. 9. 2015

Tomáš Hejduk

**Obsah:**

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| I. Informace ke zpracovaným tezím disertační práci..... | 4  |
| II. Úvod .....                                          | 5  |
| III. Metodika.....                                      | 6  |
| IV. Literární rešerše.....                              | 12 |
| V. Seznam použité literatury .....                      | 32 |
| VI. Cíle a přínosy práce.....                           | 44 |
| VII. Závěr .....                                        | 45 |
| Seznam použitých zkratek.....                           | 46 |
| Seznam publikací autora .....                           | 47 |

## I. Informace ke zpracovaným tezím disertační práci

Práce vychází z výsledků dílčích prací jednotné tematiky a klade důraz na volbu vhodných matematických modelů – vstupních dat pro nastavené podmínky konkrétního povodí, ať se již jedná o modelaci srážko - odtokového procesu, proudění v korytě či modelaci jakosti vody.

V průběhu studia byl výzkum zaměřen jak vytipovat, posoudit a vyhodnotit lokality, u kterých je potenciální riziko zvýšeného nebezpečí negativních následků z přívalových srážek, ale také převést tyto poznatky do praxe a navrhnout vhodná opatření k eliminaci daných živelních rizik.

Sledována byla vhodnost využití dat leteckého laserového skenování pro matematické výpočty v hydrodynamických modelech. Pozornost je věnována především možnostem (polo)automatického generování nezbytných povinných hran a profilu koryta vodních toků, které tato data a priori neobsahují.

## II. Úvod

Hydrologické modelování srážko-odtokových procesů a navazující hydraulické modelování je v současné době dynamicky se rozvíjejícím odvětvím hydrologie a vodního hospodářství. S rozvojem výpočetní techniky dochází implicitně i k rozvoji hydrologických modelů, které se stále svou předpovědí blíží naměřeným údajům. Hydrologické a hydrodynamické modely se staly standardním prostředkem k ověřování funkčnosti stávajících nebo budoucích předpovědí.

Znalost časového rozložení průchodů povodňových vln a záplavových území má neoddiskutovatelné dopady na usnadnění procesu krizového řízení při povodni, stejně tak na omezení vzniklých škod na movitém či nemovitém majetku, včetně ztrát na životech. Proto ochrana před povodněmi představuje stěžejní vodohospodářské téma, spadající do širšího kontextu vodohospodářské politiky státu. Ochrana před povodněmi představuje soubor opatření k předcházení a zamezení ohrožení zdraví, životů a majetku občanů, společnosti a životního prostředí při povodních. K protipovodňovým opatřením patří především systematická prevence, zvyšování retenčních schopností povodí a ovlivňování průběhu povodní.

Ze zkušeností z posledních let, kdy zasáhla ČR řada povodňových situací (1997 – Morava, 2002 – Čechy, přívalové povodně 2009, atd.) se většina studií a prováděných protipovodňových opatření orientuje na zvyšování retenční schopnosti povodí, jako je změna využití území, obdělávání po vrstevnicích, využití inundačních území, atd. Rovněž opatření plynoucí z územního plánování podporují eliminaci škodlivých účinků vod. Teprve v dalším sledu nastupují opatření technická, ke kterým by mělo být přistupováno až poté, kdy již není možné aplikovat opatření retenčního/přírodního charakteru. Mezi technická opatření jsou kromě řady jiných řazeny například mobilní stěny, bariérové systémy, aj.

Volba výpočetního modelu je určena několika hlavními kritérii, kterými jsou především: možnost aplikovat model na specifické místní podmínky, dostupná systémová podpora, dostupnost vstupních dat, atd. Rovněž návaznost a kompatibilita s GIS (geografický informační systém) je důležitým hodnotícím prvkem modelu. Obecně je u modelu srážko – odtokových a hydrodynamických možné členit tvorbu modelu na části přípravy – preprocessing (prostředí GIS), samotné simulace – probíhá v samotném softwaru (mimo GIS) a část vizualizační – postprocessing (probíhá opět v GIS).

Naproti tomu u dynamických erozních modelů (SWAT, SIMWE, apod.) se situace poněkud liší od výše popsaného postupu, protože u výše jmenovaných je celé uživatelské rozhraní ve formě extenze či modulu GIS software (ArcView GIS, GRASS-GIS) a jen během výpočtu se předá řízení samotnému jádru modelu. Takže preprocessing, simulace i postprocessing zde většinou zcela probíhají v prostředí GIS.

### III. Metodika

Metodika řešení byla koncipována pro vytvoření matematické reprezentace srážko - odtokového procesu na malém povodí pomocí vybraných srážko - odtokových modelů. V průběhu řešení bylo alternováno využití modelů MIKE – SHE, HEC – HMS (HEC – GeoHMS), DESQ, KINFIL, NASIM a dalších.

Získané výsledky byly vyhodnoceny a byly vybrány nejvhodnější/nejpraktičtější scénáře pro následnou modelaci průchodu povodňové vlny, ať již v ustáleném režimu proudění či neustáleném. Pro dané simulace bylo využito modelů MIKE 11, MIKE 21, HEC – RAS (HEC – GeoRAS) či HYDROCHECK.

#### srážko – odtokové modely

##### DesQ –MaxQ

Pro velmi malá povodí je z hlediska praktické aplikace vhodnější model DesQ, umožňující i odvození charakteristik „výpočtového“ deště s prakticky přípustnými zjednodušujícími předpoklady. Model DesQ byl postupně upravován až do verze DesQ – MaxQ, v.5.0 (HRÁDEK, KUŘÍK, 2001) a ověřován porovnáním vypočtených hodnot charakteristik povodňových vln pro 11 povodí různého charakteru s údaji ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav).

Model DesQ-MaxQ v.5.0 byl postupně vybaven metodikami a podklady pro odvození vstupních parametrů, prezentován na řadě odborných a vědeckých konferencích (HRÁDEK, 2001; HRÁDEK, KUŘÍK, 2001; HRÁDEK, 2002; HRÁDEK, KUŘÍK, PAVLÁSEK, 2003; DOLEŽAL, HRÁDEK, 2004). Využíván je především při zpracování případových studií.

Model DesQ – MaxQ je vhodným nástrojem pro odvozování charakteristik povodňových vln pro velmi malá povodí, bez hydrometrických pozorování, model nevyžaduje kalibraci vstupních parametrů, umožňuje i výpočet charakteristik povodňových vln ovlivněných antropogenními zásahy v povodí.

##### 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 ženijní a inženýrská služba (U. S. Army Corps of Engineers) a v současnosti je samotný model k dispozici ve verzi 4.1.0, 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, ArcGIS 9.v (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 (Priestley-Taylor) a tání sněhu (nejrozšířenější metoda stupeň/den). Nespornou výhodou je možnost kombinace těchto metodik v rámci jediného schematizovaného povodí.

### 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 nenasycené 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.

### KINFIL

Model je založen na kombinaci teorie infiltrace (MOREL-SEYTOUX, 1982, 1986) a transformace přímého odtoku „kinematickou vlnou“ (BEVEN, 1979) a osvědčil se na řadě

experimentálních povodí při rekonstrukci historických povodňových případů, zejména v prostředí GIS. Používá fyzikálně-geografické, hydraulické a klimatické parametry povodí a je přednostně určen, kromě rekonstrukcí pro stanovení návrhových průtoků a pro různé „scénářové simulace“

je schopná povodí rozčlenit na malé jednotky sub-povodí v prostředí GIS a tak odstranit důsledek schematické geometrizace plochy povodí. KINFIL2 za účelem fragmentace povodí plně využívá prostředků GIS a respektuje odtokové schéma říční sítě a detailních sub-povodí. Základem pro získání požadovaných parametrů k implementaci KINFIL2 je digitální model terénu (DTM). Z něho jsou pak postupně vypočteny následující charakteristiky:

- Soustředěný odtok vody – zde nabývá každý pixel povodí hodnoty rovné počtu pixelu do něj „přitékajících“.
- Potenciální odtoková síť - odvozena ze soustředěného odtoku.
- Výpočet odtokového mechanismu sub-povodí ve formě kaskády ploch a základních geografických charakteristik (svažitost, kategorie využití území, drsnost povrchu, překážky atd.) nutných do zadání pro model KINFIL2.

Verze modelu KINFIL2 více odpovídá skutečným geografickým i fyzikálním poměrům povodí a výsledky simulace povodňových vln i vln návrhových a scénářových přinášejí zajímavé výsledky kulminací a objemů.

### NASIM

Srážko – odtokový model NASIM (Niederschlag – Abfluss Simulation Modell) německé firmy Hydrotec GmbH je vyvíjen již od počátku 80. let pro hydrologickou předpověď (HYDROTEC, 2003).

NASIM patří do skupiny koncepčních deterministických modelů, využívající semi – distribuovaný přístup dělení veličin. V současnosti je NASIM nejvíce používán ministerstvem životního prostředí ve spolkové zemi Nordrhein – Westfalen, ale je rovněž používán pro projekty aplikovaného výzkumu v různých institucích v celém Německu.

## **Hydrodynamické modely**

### MIKE 11, MIKE 11 GIS

Tento model představuje asi nejrozšířenější komerční 1D hydrodynamický model ve světovém měřítku. Doplnkovým (a opět komerčním) modelem je zde produkt MIKE 11 GIS, který umožňuje preprocesing (schematizaci) a postprocesing (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

### HEC – RAS, HEC - GEORAS

Program HEC-RAS využívá integrovaného prostředí MS Windows s vynikajícím grafickým uživatelským rozhraním (GUI) podrobně řešenou hydraulikou ustáleného a neustáleného proudění v otevřených korytech a jejich inundačních zónách, včetně objektů. Výpočet vyžaduje zadání tří hlavních kategorií dat: geometrie koryta a objektů, hydraulické ztrátové součinitele a okrajové podmínky. S výhodou lze využít vazby na systémy CAD a GIS v zobrazení 3D. Pro hydraulické posouzení kapacit systému otevřených koryt a objektů z hlediska maximálních odtoků lze použít v zásadě dvou principů:

Řešit průchod návrhové povodňové vlny hydraulickým modelem, založeným na numerickém řešení neustáleného proudění. Tento způsob vyžaduje znalost tvaru vstupní návrhové vlny v horním uzávěrovém profilu sledovaného úseku toku a podrobný popis geometrických a hydraulických parametrů koryta. Tento přístup je výpočtově náročnější a obvykle se nevyužívá pro toky místního významu. Další nevýhodou je jeho značná nestabilita při bystřinném režimu proudění přes četné spádové objekty.

Využit metod hydrauliky ustáleného proudění pro stanovení podélných profilů hladin, odpovídajících jednotlivým návrhovým N-letým vodám. Tato metoda sice neumožňuje řešit neustálený režim, její předností však je možnost podrobnějšího vyjádření proudění v objektech na toku.

Program řeší odděleně hydraulické režimy říčního a bystřinného proudění. Proudění objekty může být velmi podrobně analyzováno a řešeno pro různé hydraulické režimy a poskytuje záruku spolehlivého posouzení, především v lokalitách, kde ovlivnění hydraulického režimu objekty dominuje proudění v korytě. Ustálený model poskytuje vyšší hodnoty při řešení hladinového režimu; jeho výsledky jsou tedy na straně bezpečného návrhu.

Obě metody mají své přednosti a nevýhody. Úplný hydraulický model neustáleného proudění bezesporu lépe vyjadřuje režim průchodu velkých vod v časové závislosti. Vyžaduje však zavedení tvaru povodňových vln v horním uzávěrovém profilu pro všechny žádané četnosti překročení. Tyto podklady mohou být při nedostatku historických hydrologických pozorování značně spekulativní.

Pro přípravu geometrických dat a konečné vizualizace bylo využito rovněž extenze HEC – GeoRAS, která představuje soubor nástrojů a pomůcek pro zpracování geoprostorových dat v ArcGIS pomocí grafického uživatelského rozhraní (ANDERSON, 2000; COLBY, 2000; ANDRYSIAK & MAIDMENT, 2000). Rozhraní umožňuje přípravu geometrických dat v podobě schematizace výpočetní trati a následného exportu do prostředí HEC - RAS. V programu HEC - RAS byly provedeny

požadované simulace a získané výsledky byly importovány zpět do prostředí ArcGIS, kde byly dále přehledně vizualizovány a podrobeny dalším analýzám (NOVÁK a kol., 2011)

### Hydrocheck

Jedná se o softwarový prostředek vyvíjen Hydrositem Veleslavín s.r.o. ve spolupráci s podnikem Povodí Ohře a.s. Program byl od základu zcela přepracován a to jak po stránce numerické, tak po stránce uživatelské. To vše při plném zachování původní funkčnosti. Do nové verze byly zapracovány desítky požadavků od uživatelů včetně nových legislativních změn (posuzování aktivní zóny).

## **Modely jakosti vody**

### SWAT, ArcSWAT

ArcSWAT je ArcGIS extenze a grafické uživatelské rozhraní pro přípravu vstupních dat do SWAT (Soil and Water Assessment Tools) modelu (Arnold et al., 1998). SWAT je model schopný předvídat dopad postupů obhospodařování půdy na vodu, sedimenty, chemické a zemědělské výnosy. Tento model využívá běžně dostupné vstupy. Je vyvíjen na Texaské universitě a nachází stále větší uplatnění v celosvětovém měřítku. Z odborných publikací, které se věnují problematice využití modelu SWAT lze jmenovat např. práce WANG et al., 2008; GOLLAMUDI et al., 2007; MORIASI et al., 2009.

### SIMCAT

Matematický model SIMCAT byl vyvinut Agenturou pro životní prostředí ve Velké Británii, kde je již používán přes 20 let. SIMCAT využívá přístup Monte Carlo Simulation. Proto je SIMCAT schopen předpovědět tok a kvalitu distribuce v jakýkoli vybraný bod v povodí. SIMCAT je jednorozměrný model rovnovážného stavu.

I když tento přístup k modelování jakosti vody se může zdát jednoduchý, síla SIMCAT spočívá ve výhodách, jako jsou rychlost, jednoduchost použití a maximální hodnota z existujících dat.

Modelování kvality říční vody pomocí SIMCAT podporuje rozhodování v problematice kvality říční vody v řízení a plánování.

## **Modely erozní činnosti**

### GRASS – GIS (SIWE)

GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System) je geografický informační systém (GIS) umožňující práci s rastrovými i vektorovými geografickými daty na mnoha platformách

(GNU/Linux, MS Windows, Mac OS X, etc.), a to jak pomocí příkazové řádky, tak grafického uživatelského rozhraní (GUI). Je šířen pod licencí GNU GPL.

Vývoj GRASSu byl započat výzkumnými laboratořemi ženijního vojska armády USA v roce 1982, později pronikl do akademické sféry a dnes nachází uplatnění i ve sféře komerční.

### Metodické zaměření

Hlavní sledovanou oblastí se v průběhu řešení stalo ověření a prezentace vhodnosti použití výškopisných dat získaných metodou leteckého laserového skenování (LLS), které zabezpečuje ČUZK (Český úřad zeměměřický a katastrální), pro modelování povodňových jevů a stavů s využitím hydrodynamických modelů.

Ekonomická náročnost spojená s pořízením výškopisu prostřednictvím geodetického zaměření pro sestavení hydrodynamického modelu vedla k myšlence využít kontinuálních měření průtoků při tvorbě hydrodynamického modelu z dat LLS. Byla tak sledována možnost omezit nutnost provádět geodetické zaměření pro potřeby tvorby korektního hydrodynamického modelu.

Ze srovnání simulací, kdy je v první variantě snížena hodnota modelovaného průtoku o průtok, který byl dosažen v době pořizování dat LLS a geometrie v modelu HEC – RAS je tudíž tvořena pouze z dat LLS s druhou variantou, kdy je modelován N – letý průtok bez snížení a výpočetní geometrie je odvozena z dat LLS v kombinaci s daty z geodetického zaměření, vyplývá, že je dosaženo adekvátní shody.

Nicméně s ohledem na skutečnost, že se jedná o výškopisný model, který nepopisuje zcela přesně skutečnost, kdy dochází ke zjednodušení, byť jen v části samotného koryta, bylo nutné hledat další možnosti využití kontinuálních měření průtoků v hydraulickém modelování. Jako nejlepší se nabízí alternativa využití hydrologického měření pro automatizaci tvorby příčného profilu koryta, spočívající v přímém zahloubení koryta do DMR z dat LLS, což poskytne model splňující všechny hydraulické podmínky a zároveň bude daným způsobem zcela přesně vystižena i meziprofilová oblast koryta, která není nyní z dat geodetického zaměření přesně identifikována.

Při geodetickém zaměření příčných profilů dochází při zakreslování břehových hran a morfologické členitosti koryta ke zkapacitnění či naopak zmenšení kapacity profilu koryta v důsledku subjektivity zpracovatele. Tato skutečnost je v procesu automatizace tvorby příčného profilu zcela potlačena. Konkrétní specifikace procesu automatizace tvorby příčného profilu koryta je předmětem dalšího výzkumu.

#### IV. Literární rešerše

Samotnou problematikou využití hydrologických a hydraulických modelů se v současné době zabývá řada autorů. Z českých autorů je možné jmenovat například ŘIČICOVÁ A KREJČÍ (2002) BUCHTELE (2002a, 2002b), DAŇHELKA et al. (2002), KULHAVÝ a KOVÁŘ (2002), nebo STARÝ (2004). Hydrologické i hydraulické modely se využívají i na mnoha odborných pracovištích (Český hydrometeorologický ústav, Výzkumný ústav vodohospodářský, Akademie věd, vybraná univerzitní pracoviště). Hlavní těžiště výzkumu a vývoje všech typů hydrologických modelů spočívá ale v zahraničí, především pak v pracích BEVENA (1996, 2001), BERGSTRÖMA (1995), BLÖSCHLA a GRAYSONA (2002), REFSGAARDA a STORMA (1996), SMITHE et al. (2004), kteří aplikovali nejrozličnější hydrologické modely a výrazně tím přispěli k vývoji metod popisující srážko-odtokový proces. Tyto práce dokazují, že hlavní těžiště výzkumu a vývoje spočívá v přesnějším zpracování srážkových polí jako vstupu do modelu (především pak v podobě radarových odhadů) a významný prostor je také věnován postupům kalibrace modelu (především pak procesu automatické optimalizace vstupních parametrů). Teoretický rámec této problematiky pak poskytují publikace a články CLARKA (1973), O'CONNORA (1976), BEARA (1972) a mnoha dalších. Významným příspěvkem do problematiky jak hydrologických, tak routing modelů byl projekt DMIP (Distributed Model Intercomparison Project), který si dal za cíl srovnání několika srážko-odtokových modelů a jejich přístupů (výsledky publikovány v Journal of Hydrology, Volume 298, říjen 2004).

Jak uvádí ve své práci JENÍČEK (2008) je i přes uvedené odborné publikace v problematice matematického modelování S-O procesů v závislosti na změnách struktury vegetačního pokryvu věnováno poměrně málo pozornosti. Přitom mají půdní a vegetační podmínky pro velikost odtokové odezvy na příčinnou srážku rozhodující vliv. Výjimkou jsou např. práce BOLSTERA a SAIERSE (2002) nebo MOTOVILOVA et al. (1999). Rovněž nově sepsané práce UNUCKY (2008) a KOVÁŘE (2010) věnující se změně Land Use - LU (orná půda x TTP, orná půda x les) ukazují na významné postavení LU při vzniku S – O procesu. V podmínkách České republiky, která se vyznačuje převážným zastoupením kulturní krajiny, má tento vliv ještě další, specifický význam. Po druhé světové válce docházelo u nás k výrazné změně struktury zemědělského půdního fondu spojené s hydrotechnickými opatřeními (hydromeliorace, napřimování toků, intenzivní využívání údolní nivy). Uvedené změny měly nesporný význam v procesu koncentrace srážek na výsledný průtok v toku (v negativním slova smyslu). Od 90. let minulého století dochází naopak k napravování těchto negativních vlivů a ke snaze o návrat toků svému přírodnímu režimu (JUST et al., 2003, 2005, JUST, 2010). Důvodem je mimo jiné zmírnění následků extrémních odtokových jevů – povodní. Velikost dřívějších i současných změn je možné pomocí hydrologických modelů kvantifikovat a navrhnout tak efektivní opatření vedoucí ke zmírnění průběhu a následků povodně (změna využití půdy, stavba suchých či polosuchých poldrů, revitalizace, apod.).

Problematika povodní je velice aktuálním tématem s ohledem na zkušenosti a posledních let – povodně 1997 Morava, povodně 2002 a 2006 Čechy, přívalové povodně na Novojičínsku a Jesenicku 2009 či přívalové povodně v severních Čechách 2010. Z tohoto důvodu je věnována velká pozornost opatřením k ochraně před povodněmi, která mají jejich potenciál eliminovat.

Jedním z takových opatření, která umožňují potenciál povodní eliminovat je matematické modelování, které hraje významnou úlohu při předvídání samotných povodňových událostí. Hydrologické a hydraulické modelování, modelování srážko-odtokových procesů, erozní činnosti, transportů sedimentů, šíření znečištění v tocích či samotný průchod vody korytem jsou v současnosti dynamicky se rozvíjejícím odvětvím hydrologie a vodního hospodářství.

S rozvojem výpočetní techniky dochází implicitně i k rozvoji hydrologických modelů, které se stále svou předpovědí blíží naměřeným údajům (JENÍČEK, 2005). Hydrologické a hydrodynamické modely se staly standardním prostředkem k ověřování funkčnosti stávajících nebo budoucích předpovědí, ověřování navržených protipovodňových opatření aj.

Znalost časové rozložení průchodů povodňových vln a záplavových území nemá přínosy pouze v definování předpokládaného stavu v závislosti na předpovídané srážkové události, ale poskytuje významný zdroj informací i pro usnadnění procesu krizového řízení při povodni, čímž dochází k omezení vzniklých škod na movitém či nemovitém majetku, včetně ztrát na životech. Proto je ochrana před povodněmi aktuální a jedná se o stěžejní vodohospodářský problém, spadající do širšího kontextu vodohospodářské politiky státu.

Ochrana před povodněmi představuje soubor opatření k předcházení a zamezení ohrožení zdraví, životů a majetku občanů, společnosti a životního prostředí při povodních. K protipovodňovým opatřením patří především systematická prevence, zvyšování retenčních schopností povodí a ovlivňování průběhu povodní.

Ze zkušeností z posledních let, kdy zasáhla ČR řada povodňových situací, se většina studií a prováděných protipovodňových opatření orientuje právě na zvyšování retenční a akumulací schopnosti povodí. Retenční schopnost povodí je kromě pedologických charakteristik, které jsou klasifikovány jako fixní charakteristiky, určena využitím půdy – Land Cover/Land Use (dále LC/LU). Vliv využití půdy neustále roste a provedené analýzy ve vazbě na LC/LU potvrzují jejich významné postavení jako složky environmentálních modelů. Ve všech těchto složkách představuje LU významnou podmnožinu, která se v daných oblastech projevuje zejména dvěma způsoby a to přímou účastí v S-O procesech a jako ochranný faktor půdního profilu.

Rovněž opatření plynoucí z územního plánování podporují eliminaci škodlivých účinků vod. Teprve v dalším sledu nastupují opatření technická, ke kterým by mělo být přistupováno až poté, kdy

již není možné aplikovat opatření retenčního charakteru. Mezi technická opatření jsou kromě řady jiných řazeny například mobilní stěny, bariérové systémy, dimenzování koryt na vyšší průtokové stavy, aj.

S rozvojem hydraulického a hydrologického modelování, jako oboru ve vazbě na vodu jako transportního média dochází ke studiu i příbuzných oborů, které jsou s vodou v užší či širší interakci. Jedním z těchto oborů je i jakost ve vodních tocích, která se stává s ohledem na přijímaná legislativní opatření stále aktuálnější, čemuž koresponduje i nastolený vývoj matematických modelů se zaměřením právě na jakost vody v tocích.

Samotné zvyšování retence vody v krajině je možné například prostřednictvím správně navržených protierozních a protipovodňových opatření. Tato opatření se v praxi nejčastěji navrhnou jako společné opatření komplexních pozemkových úprav (PODRÁZSKÝ & 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 & REMEŠ, 2005).

Návrh protipovodňových opatření (PPO) doposud probíhal především formou technických opatření, bez ohledu na současné zlepšení hydromorfologického stavu vod dle požadavků Rámcové směrnice o vodách a bez ohledu na přirozenou transformaci povodňových průtoků v nivách vodních toků (ŠINDLAR, 2007). 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. Z hydrologického hlediska je třeba v krajině podporovat především tzv. malý oběh vody. Malým oběhem se miní 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, CUDLÍN, 2003).

PETŘÍČEK & 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 povrchové 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, rašeliniště, tůňe, 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. Mokřady působí jako vodní nádrž. Studie uvádějí, že 0,4 ha mokřadů může zadržet více než 6 000 m<sup>3</sup> vody (KLEMETNOVÁ, JURÁKOVÁ, 2003).

Rovněž travní porosty v krajině svým retenčním působením omezují povrchový odtok. Kromě toho, neutužené, humózní a strukturní půdy travních porostů mají vysokou infiltrační schopnost. Tento efekt se uplatňuje zejména na svažitéch pozemcích, kde trvalé travní porosty zvyšují retenční schopnost půdy, zvláště při přívalových a dlouhotrvajících deštích (HRABĚ & BUCHGRABER, 2004; HORNBECK et al. 1997).

Pozitivní je také působení lesa z hlediska snižování objemu odtékajících povodňových vod. Projevuje se zejména v počátcích katastrofální povodně. Utváření odtoku je závislé především na skladbě, mocnosti, formě, kyprosti a neporušenosti nadložního humusu lesních ekosystémů. KŘOVÁK a kol. (2004) popisují své výsledky z hydrologického pozorování v NP Šumava, kdy uvádějí, že lesní půda je schopná zadržet 30 až 50 mm srážkového úhrnu. Při vyšších denních hodnotách, nebo opakovaných deštích v krátkém časovém intervalu, již dochází k odtoku vody ohledu na lesnatost povodí nebo jeho druhovou skladbu. Obdobné výsledky uvádí i ostatní autoři CHLEBEK & JAŘABÁČ (1988), TESAŘ a kol. (2003), ADAMEC a kol. (2006), ADAMEC & UNUCKA (2007), JENÍČEK (2009). Retenční schopnost lesních půd má velký geomorfologický, hydrologický a environmentální význam. Množství vody zadržené v lesní půdě je klíčovým faktorem při předpovědích lesních požárů, tvoří významnou zásobu vody pro rostliny a výpar z lesní půdy se podílí na přenosu vody a energie v krajině (KOSUGI a kol., 2001).

V podmínkách České republiky jsou půdy schopny pojmout a udržet mnohonásobně vyšší množství vody, než je objem všech českých vodních nádrží. Půda je významným filtračním, retenčním a transportním prostředím v hodnotách 50–320 l.m<sup>-3</sup> (Výhledová a situační zpráva MZe o půdách z roku 2006). Retenční schopnost půdy odráží schopnost půdy. Retenční schopnost půdy odráží schopnost půdy absorbovat a zadržovat srážkovou vodu dříve než odečte z krajiny (HALL a kol., 1977).

Retence půdy pozitivně koreluje s obsahem organické hmoty v půdě a negativně s objemovou hmotností půdy, s obsahem částic o velikosti nad 100 µm a se zmenšováním tloušťky horní vrstvy půdy (HALL a kol., 1977).

Kvantifikace retenčního účinku technických PPO je v současnosti již dobře propracována (WEYSKRABOVÁ a kol., 2010). Cílem řady odborných projektů je tak snaha kvantifikovat retenční potenciál navržených opatření v krajině umožňující např. zvýšit infiltraci vody do půdy, zpomalit povrchový odtok či realizovat řízené rozlivy.

Z hydrologického hlediska je třeba v krajině podporovat především tzv. malý oběh vody. Malým oběhem se míní výpar vody z povrchu a jeho spad 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, CUDLÍN, 2003).

PETŘÍČEK & 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 povrchové 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.

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 (PUNČOCHÁŘ, 2005). V návaznosti na tyto katastrofické povodně byla přijata směrnice Evropského parlamentu a Rady (2007/60/ES z 23. října 2007) o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik.

Problematika povodní je i v samotných podmínkách české republiky (ČR) stále aktuálnějším tématem s ohledem na zkušenosti z posledních let – povodně 1997 Morava, povodně 2002 a 2006 Čechy, přívalové povodně na Novojičínsku a Jesenicku 2009 či přívalové povodně v severních Čechách 2010. Z tohoto důvodu je věnována velká pozornost opatřením k ochraně před povodněmi, která mají takové situace předvídat, eliminovat jejich potenciál a organizačně je zvládat. Dle hlediska opatření k ochraně před povodněmi rozeznáváme preventivní opatření, opatření při nebezpečí povodně či v době povodně a opatření po povodni (Zákon 254/2001 Sb.).

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 akumulační 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 akumulační 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 různým uplatněním a funkcí retenčních a akumulačních prvků při výskytu příčinného deště různého typu (dešť přívalový, regionální) v závislosti na velikosti zasaženého území a aktuálním fyzikálním, resp. technickém stavu retenčních prvků v době výskytu deště (MAHE et al. 2005).

Jedním z nejdůležitějších podkladů pro hydrodynamické modely jsou právě vstupní data pro schematizaci koryta a inundace vodního toku (GIANNONI et al 2003, HAVLÍK a kol. 2004, FOWLER et al 2005, DRBAL a kol., 2009). Data pro schematizaci vodního toku rozhodují i o samotné volbě hydrodynamického modelu (MERWADE et al 2006, MERWADE et al 2008), přičemž z hlediska požadavků na výškopisné vyjádření vodního toku a jeho okolí jsou méně náročné jednorozměrné (1D) modely, kdy pro výpočet postačí příčné profily koryta a přilehlé inundace. V případě dvourozměrných (2D) modelů je pro výpočet již vyžadující detailní digitální model terénu, který přesně vystihuje morfologii sledovaného území.

Aktuálně nejpoužívanějšími výškopisnými podklady jsou data z leteckého laserového skenování, které představuje relativně mladou technologii umožňující sběr velkého množství dat v relativně krátkém časovém intervalu (DOLANSKÝ, 2004). Získaná výškopisná data nachází široké uplatnění v mnoha praktických disciplínách.

BRÁZDIL (2009) definuje princip LLS jako metodu založenou na odrazu laserových paprsků, které interpretují obraz měřených objektů jako mračno bodů. BRÁZDIL (2009) rovněž popisuje metodu LLS jako jednu z nejefektivnějších metod pro získávání prostorových dat, vyznačující se poměrně vysokým stupněm automatizace zpracování při vytváření digitálního modelu terénu (DMT) či digitálního modelu povrchu.

Pro posouzení alternativního přístupu v problematice PPO byla využita data z probíhajícího výškopisného mapování ČR metodou LLS, které zastřešuje Český úřad zeměměřičský katastrální a podílí se na něm rovněž Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo obrany (MO). Přínosem této metody je rychlost měření, dosahovaná přesnost a množství měřených dat a informací. Nový výškopis ČR dosahuje hustoty bodů větší než 1 bod/m<sup>2</sup> a úplné střední chyby výšky 0.18 m v odkrytém terénu a 0.30 m v zalesněném terénu (BRÁZDIL, 2009; DUŠÁNEK, 2010).

Data LLS poskytují velmi kvalitní podklad pro uplatnění v hydrodynamických modelech, využitelnost těchto dat pro účely matematického modelování je uvedena v publikacích NOVÁK a kol. (2011), ROUB a kol. (2012), UHLÍŘOVÁ & ZBOŘIL (2009).

Pro zpřesnění DMT připraveného z dat LLS, respektive pro dotvoření jeho relevantní podoby v oblasti samotného koryta vodního toku, bylo využito geodeticky zaměřených příčných profilů koryt vodních toků v řešeném území (paprsek LLS je při pořizování dat vodní hladinou pohlcen). Geodeticky zaměřené příčné profily koryt vodních toků byly poskytnuty podnikem Povodím Vltavy, s.p. – závod Plzeň. Interval vzdáleností zaměřených profilů koryt se pohyboval v rozmezí od 50 m – 250 m. Kratší interval 50 m byl aplikován v intravilánech obcí nacházejících se na vodním toku, přičemž delší interval meziprofilových vzdáleností byl použit do míst mimo intravilán, což pro další operace, jak uvádí i NOVÁK a kol. (2011), poskytovalo adekvátní podklad.

Pro potřeby posouzení návrhu PPO v povodí Litavky byl použit integrovaný, škálovatelný a otevřený GIS v podobě ArcGIS od společnosti ESRI, jenž disponuje výkonnými nástroji pro editaci, analýzu, modelování a správu dat, což z něj činí nejkomplexnější GIS software na současném světovém trhu (ČEJP J. & DUCHAN D., 2008).

Především pro přípravu vstupních dat a pro konečné vizualizace získaných výsledků bylo využito dvou specifických nadstaveb Spatial analyst Tools a 3D Analyst. Spatial analyst Tools nabízí širokou škálu nástrojů pro prostorové modelování a analýzu, které umožňují vytvářet, zobrazovat, dotazovat a analyzovat rastrová data. 3D Analyst dává uživatelům možnost efektivně vizualizovat a analyzovat data reprezentující.

V kontextu využití v hydrologických modelech nabízí tento software mnoho funkcí (zejména ve skupině Spatial Analyst Tools, 3D Analyst Tools) a zejména rozšíření o další extenze (HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS).

Geografické informační systémy (GIS) definuje RAPANT (2002) jako počítačový systém na zpracování geografických dat. VOŽENÍLEK (2000) definuje GIS jako analytický nástroj, ve kterém počítačové programy propojují geografické informace (údaje o umístění, lokalizaci objektu) s informacemi popisnými (údaje o vlastnostech objektů). Podrobnější výklad pojmu GIS vymezený na úrovni konkrétní aplikace uvedl RAPANT (2005), kdy popisuje GIS jako funkční celek vytvořený integrací technických a programových prostředků, geodat, pracovních postupů, obsluhy uživatelů a organizačního kontextu.

Přírodě blízká protipovodňová opatření a retence v ploše povodí jsou z pohledu moderních poznatků v oblasti protipovodňové ochrany odbornou veřejností vnímána již nejen jako pouhé doplnění technických protipovodňových opatření, ale jako jedna z možných alternativních variant, neboť přinášejí i další přídavné efekty, kdy efektivně převádí povrchový odtok na podzemní, čímž se doplňují zásoby podzemní vody a rovněž mají pozitivní vliv na jakost vody.

V rámci řešení optimalizace PPO na pilotním povodí Litavky byla navržena konkrétní opatření řešící komplexně povodí v celé jeho ploše a zároveň zajišťující dosažení dobrého hydromorfologického stavu vod.

Návrhy opatření v ploše povodí vycházely z navržených změn charakteru vegetace a půdního pokryvu v povodí. Vliv vegetačního pokryvu na srážko-odtokový proces, respektive na množství vody pro potenciální odtok z povodí popisují práce LIKENS et BORMANN (1974); POBĚDINSKIJ et KREČMER (1984), KANTOR a kol. (2003), UNUCKA (2008), UNUCKA & ADAMEC (2008).

Reakce povodí na změny vegetačního pokryvu byly vyhotoveny ve dvou variantních scénářích. Modelování změny odtokového režimu v první variantě předpokládalo 50% zatravnění pozemků s

ochranou zemědělského půdního fondu (ZPF). Ve druhé variantě byla matematická reprezentace srážko-odtokového procesu sestavena na podkladě předpokládající již 100% zatravnění pozemků s ochranou ZPF v povodí.

Z důvodu nízkých nároků na vstupní data byla pro výpočet objemu odtoku použita metoda SCS CN Soil Conservation Service Curve Number (MISHRA et SINGH, 2003), využívající k výpočtu odtokové ztráty metodu CN křivek (FELDMAN, 2000; JANEČEK, 1992; HOLÝ, 1994; BOONSTRA & RITZEMA, 1994; PONCE & HAWKINS, 1996). Alternativně je možné použít i metody exponenciálního poklesu, konstantní infiltrace, metodu Green – Ampt, čemuž bude věnován navazující výzkum.

Metoda SCS CN využívá pro určení efektivní srážky funkci úhrnu srážek, půdních vlastností, vegetačního krytu a předchozího nasycení a je vypočtena na základě vztahu (1):

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad (1)$$

kde:  $Q$  povrchový (hortonovský) odtok v čase  $t$  [mm]

$P$  je kumulativní srážka v čase  $t$  [mm]

$I_a$  je počáteční ztráta (Initial Abstraction) [mm]

$S$  je potenciální maximální retence určená ze vztahu (2)

$$S = 25,4 * (1000 / CN - 10) \quad (2)$$

CN je číslo CN křivky [-]

Potenciální maximální retence je vypočtena z CN křivky, kterou určuje JANEČEK (2002) ve vztahu hydrologické skupině půdy (Novák, 2003) a krajinnému pokryvu.

Pro určení hodnoty přímého odtoku je možné vybírat z různých modifikací jednotkového hydrogramu (Clarkův, Snyderův, SCS). Pro stanovení byla použita metoda Clarkova jednotkového hydrogramu.

Pro výpočet podzemního odtoku má uživatel jak uvádí JENÍČEK (2008) možnost z volby několika přístupů. Jedná se například o model lineární nádrže (O'CONNOR, 1976), exponenciálního poklesu (CHOW a kol 1988). Pro tvorbu daného modelu byla využita metoda exponenciálního poklesu. Ta definuje velikost podzemního odtoku v daném čase pomocí počátečního podzemního odtoku.

Sledování vlivu hydromorfologie samotného vodního toku vycházelo z výrazné kontrastní intenzity antropogenních zásahů v povodí Litavky. Pramenná oblast a horní profil Litavky se vyznačuje relativně přírodním charakterem oproti intenzivnímu průmyslu, plošnému zemědělství i vyšším podílem urbanizace ve střední a dolní části toku. LANGHAMMER (2007) popisuje upravenost říční sítě a údolní nivy jako významný faktor, ovlivňující odtokový proces při povodních. Upravenost říční sítě a údolní nivy obecně výrazně ovlivňuje průběh povodňové vlny, transformační účinek údolní nivy i efektivitu využití retenčního potenciálu území (ŽIKULINAS, 2008).

TAUFMANNOVÁ & LANGHAMMER (2007) popisují koryto Litavky v téměř celé délce jako 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). KAIML (2000) zařazuje většinu úprav do skupiny opevňovacího charakteru ze 70. let 20. století.

Z hlediska transformačního účinku povodňových událostí má největší význam především geometrie příčného a podélného profilu. Z tohoto důvodu byl upraven vstupní DMT, kdy byl pozměněn příčný profil v místech vodního toku s vysokou kapacitou koryta a podélný profil byl upraven tak, aby došlo k podpoře větvení a rozlivů do nivy.

Mimo intravilán obcí proto byla navržena PPO směřující ke snížení kapacity koryta a zvýšení četnosti rozlivů do údolních niv, které se podílí na přirozené transformaci povodňových průtoků. V území uvnitř intravilánu byla naopak provedena úprava DMT vedoucí ke zkapacitnění koryta a urychlení odtoku, navrhován byl složený profil se stěhovavou kynetou, včetně ponechání možnosti pro ohrázení zastavěných území či instalaci mobilních hrazení. Při řešení návrhu PPO byla nalezena rovněž místa s příhodným profilem pro transformaci povodňové vlny v suchých retenčních nádržích neboli poldrech, které ovšem v této etapě nebyly ještě do posouzení zahrnuty.

#### *Vliv vstupních dat – výškopisná data pro hydrodynamické modely*

Hlavním faktorem pro tvorbu hydrodynamických modelů jsou vstupní data pro vytvoření výpočetní geometrie vodního toku (ERNST et al., 2010). Požadavky na vstupní data se liší s ohledem na použitý hydrodynamický model. Jednorozměrné (1D) hydrodynamické modely se vyznačují nižšími požadavky na vstupní data, kdy výpočetní trať je tvořena příčnými profilem koryta, naproti tomu u dvourozměrných (2D) hydrodynamických modelů je nutné sestavit pro celé řešené území digitální model reliéfu. Alternativou k uváděným modelům jsou kvazi-2D modelovací přístupy, které jsou

kombinací výpočetních přístupů 1D či 2D (LINDENSCHMIDT, 2008). Skutečná komplikovaná prostorová geometrie se zde uměle rozdělí na části a schematizuje se větvenou či okružovou sítí složenou z několika dílčích modelů, např. koryto a inundace (VALENTOVÁ et al., 2010; VALENTA, 2005).

V případě jednorozměrného modelování se k získání dat výpočetní geometrie vodního toku a přilehlé inundace využívá geodetické zaměření, fotogrammetrie, LLS nebo kombinace těchto metod (Novák et al., 2011). Geodetické zaměření koryta a přilehlé inundace vodních toků bývá časově i finančně nejnáročnějším způsobem pro zajištění informací o geometrii vodních toků s ohledem na velikost zaměřeného bodového pole (BHARAT and MASON, 2001). V rámci získání dat pro hydrodynamické modely jsou polohopisně zaměřeny osy vodního toku, dále polohopisně i výškopisně příčné profily a objekty na vodním toku. Vzdálenost mezi jednotlivými zaměřenými příčnými profily se pohybuje v řádech desítek až stovek metrů, závisí zejména na variabilitě tvaru říčního koryta. Zaměřením musí být zaznamenána prostorová proměnlivost toku, jedná se zejména o změny příčného průřezu koryta a změny podélného sklonu. Obvyklá vzdálenost příčných profilů na tocích v České republice se pohybuje mezi 50 až 100 metry v intravilánu, 200 až 400 metry v extravilánu (DRBAL et al., 2012).

### **Letecké laserové skenování**

Letecké laserové skenování patří vedle klasického geodetického zaměření profilů koryta toku a údolních profilů a fotogrammetrického mapování inundací k základním metodám pořizování geodetických podkladů pro hydraulické modely (UHLÍŘOVÁ a ZBOŘIL 2009).

Letecké laserové skenování (LLS) patří k nejmodernějším technologiím pro pořizování prostorových geografických dat. Nachází své uplatnění zejména pro tvorbu digitálního modelu reliéfu a digitálního modelu povrchu (ŠÍMA 2009).

V letech 2009–2012 se připravuje nové výškopisné mapování území České republiky s využitím technologie LLS. Český úřad zeměměřický a katastrální připravil ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem obrany ČR projekt nového výškopisného mapování celého území České republiky (ČR). 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 databázi výškopisu (využití digitální stereofotogrammetrie nebo automatizované obrazové korelace překrývajících se měřických snímků) jeví ekonomicky a produkčně nejefektivnější, o čemž svědčí i její stále častější využití ve vyspělých zemích Evropy, USA a v Kanadě. Skenování a zpracování dat bude zahájeno na

podzim 2009 v pásnu „Střed“ a úzce souvisí s tvorbou periodického ortofotografického zobrazení celého území ČR v tříletém intervalu.

Prováděné letecké laserové skenování má základní parametry: výška letu nad terénem se bude pohybovat mezi 1200–1500 m a průměrný překryt sousedních skenovacích pasů bude 40–50 %, čímž bude dosažena hustota bodů minimálně 1 bod/m<sup>2</sup> se střední chybou měření délky prostorového rajonu do 0,03 m. Po zpracování dat vzniknou v různých časových horizontech tyto tři realizační produkty (Brázdil 2009):

- Digitální model reliéfu území České republiky 4. generace (DMR 4G) ve formě mříže (GRID) 5 x 5 m s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu.
- Digitální model reliéfu území České republiky 5. generace (DMR 5G) ve formě nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu.
- Digitální model povrchu území České republiky 1. generace (DMP 1G) ve formě nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,4 m pro přesně vymezené objekty (budovy) a 0,7 m pro objekty přesně neohraničené (lesy a další prvky rostlinného půdního krytu).

Zpracování dat dle Dušánka, 2010 v gesci Českého zeměměřičského úřadu je procesem dosti náročným a obsahuje dost kroků, které lze rozčlenit asi do tří (čtyř) hlavních kategorií:

- Příprava letu
- Preprocessing
- Automatická filtace
- Manuální opravy (ať rychlé či podrobné)

#### Příprava letu:

Plánování letu je provedeno v SW IGIPlan od společnosti IGI, resp. Již předem vygenerované linie se převedou do potřebného datového formátu + na hranicích se upraví linie (zkrátí smažou). Lety jsou naplánovány pro dvě výšky nad terénem 1200 a 1400 m, při nižší výšce je naplánováno 14 řad na šířku bloku 10 km u vyšší varianty 12. Bloky byly původně plánovány s délkou 20 nebo 30 km, pro urychlení byly vhodné bloky pospojovány tedy na délku 40, 50 a 60 km.

Preprocessing:

Během letu jsou pořízeny jak samotná LLS data (v našem případě tzv. full-waveform data, pro stručnou představu lze nahlédnout do materiálů výrobce skeneru <http://www.riegl.com/> ), tak data naměřená „řídící a kontrolní jednotkou“ (tzv. Aerocontrol)

V první řadě je potřeba zpracovat trajektorii letu 1. Je provedena diferenční oprava GPS pomocí dat z pozemní sítě CZEPOS, pak je provedeno spojení opravených DGPS dat a dat z IMU (údaje o náklonech letadla a okamžitém zrychlení). Výsledkem tohoto, je trajektorie, kde je určena přesnost v řádu několika cm, díky vysoké frekvenci měření IMU je poloha přesně určena 400 x za sekundu.

DGPS oprava probíhá v SW GrafNaw od společnosti NovaTel. Spojení DGPS dat a IMU dat probíhá v SW AEROOffice od společnosti IGI mbH.

V dalším kroku je potřeba full-waveform data převést na diskrétní odrazy, tedy mračno bodů. To probíhá pomocí SW RIAalyze od společnosti Riegl GmbH. Pak je díky trajektorii toto mračno georeferencováno (SW RiWorld), a je vyexportováno do standardního formátu .las (jeden soubor jeden měřický pás).

Vyexportované soubory jsou v elipsoidické nadmořské výšce a systému WGS84/UTM pásmo 33. Transformačním SW (pochází z výpočtů prof. Kosteleckého z ČVUT) je převedena elipsoidická výška na nadmořskou. Pak jsou data nahrána do databáze. Následně jsou exportována kdy klad km10 odpovídá adresáři a tzv. klad km<sup>2</sup> (2x2km) souboru.

Automatická filtrace:

Ta je prováděna pomocí SW SCOP++ od společnosti Inpho GmbH (bylo to vyvinuto ve spolupráci s Technickou univerzitou ve Vídni). Jedná se o SW, který vykazuje jasné známky „akademickosti“, tedy dosti toporné ovládání, ale po zvládnutí tzv. Command-Language se to dá slušně ovládat v dávkových procesech.

To jak celá filtrace funguje je trochu složitější na vysvětlení, proto příkládám svou DP, kde je tento typ filtrace zmíněn tzv. Robustní filtrace (pokud Vás to zajímá více, určitě něco vygooglite s termíny jako „Robust Filtering LiDAR“).

Výsledkem je to, že původní jednolitá mračno bodů je rozklasifikováno do tříd terén, vegetace, budovy, pod terénem a výškové překážky + je přidána prázdná třída mosty a je přidána tzv. vrstva „fill void areas“, což je pravidelná mřížka 5x5m, která vznikla v místě, kde nebyly laserové odrazy (pod odfiltrovanými budovami a na vodních plochách).

Manuální opravy:

Po robustní filtraci je provedena „rychlá kontrola“, při níž se mají odstranit hrubé chyby automatické filtrace (občas zapomene budovu v hustých lesích odrazy na stromech atd. + jsou odstraněny neodstraněné mosty). Poté je opět pomocí SCOP ++ provedena interpolace na mřížku 1x1 m, aby mohl vzniknout stínovaný model s rozlišením 1x1 m, nakonec je vyexportován DMR 4G tedy mřížka 5x5 m.

Poté jsou data podrobena „podrobné kontrole“, kde jsou dočišťovány detaily. Pro manuální kontrolu je používán SW DTMaster od společnosti Inpho GmbH. Nakonec je vygenerován DMR 5G, to vzniká v SW ArcInfo, jedná se v podstatě o zředění původního mračna bodů.

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 (DIBAVOD). 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 vodním toku i nad ním (tzn. stupně, jezy, mosty atd.) by mohl přispět automatický postup analýzy podélného profilu vodní hladiny. Data LLS se stanou jedním ze základních geodetických podkladů a budou hrát velkou roli při tvorbě map povodňového nebezpečí a rizika, které jsou požadovány evropskou směrnicí 2007/60/ES. 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. V případě velkých vodních toků je potřeba provést další výzkum a zvážit i využití jiných metod pro mapování terénu pod hladinou. Geodetické zaměření bude třeba v případě objektů na vodním toku, u koryt s nezanedbatelnou hloubkou vody a v jiných specifických případech. Neoddiskutovatelný smysl bude mít přesný DMR při stanovení rozvodnic a ploch povodí, které jsou základem k určení objemu srážek. Tento výzkum neproběhl, protože zkoumaná oblast nebyla pro tyto analýzy dostatečně rozlehlá. Přesnost a hustota DMR z LLS umožní zpracování studií a plánovacích dokumentací pro přípravu retenčních nádrží (např. preventivní protipovodňová opatření, akumulace vody atd.). Digitální model reliéfu poskytne dostatečně podrobná data pro nejrůznější modelování v oblasti ochrany povrchových i podzemních vod.

Problémem, který uvádí UHLÍŘOVÁ a ZBOŘIL, 2009 bude potřeba se při zpracování vypořádat s obrovskými objemy dat a tedy vysokými nároky na výpočetní techniku. V důsledku toho nebude pravděpodobně možné řešit rozsáhlé oblasti a nutností bude data optimalizovat a členit je na menší celky.

## Fotogrammetrie

Fotogrammetrie jako vědní obor prodělala v posledním období velký technologický přerod z éry analogové, analytické do éry digitální (HODAČ, 2007).

Z hlediska modelování povodňových událostí nachází uplatnění při výškovém mapování přilehlého inundačního území. Přesnost fotogrammetrického podkladu se pohybuje v řadech cm – dm. Pro samotné modelování je nutné daný podklad kombinovat s geodetickým zaměřením koryta řešeného vodního toku. Fotogrammetrický podklad bývá přednostně využíván na základě dosahované přesnosti ve 2D modelech

## Geodetické zaměření

Geodetické podklady představují nepřesnější datový podklad pro aplikaci hydrodynamických modelů. Dosahovaná přesnost se pohybuje v řadech cm. V důsledku geodetických dat jako nejpřesnějšího datového podkladu jsou i finanční požadavky na zpracování nejvyšší. V důsledku toho bývají využívány v kombinaci s výše uvedenými datovými podklady.

### Vliv vstupních dat - hydrologická a klimatická data

Hydrologická a klimatická data, především v podobě znalosti průtoků a intenzity a rozložení srážek jsou z hlediska stavby modelu prioritní. Jak uvádí MÁCA (2000) základní vstupní veličinou v hydrologii jsou srážky.

Jak uvádí JANOV (2005) ve své práci celý hydrologický systém, kterým se řídí infiltrace srážky a pohyb vody na povodí, stejně tak jako struktura povodí (fyzicko-geografické charakteristiky) je nesmírně složitý proces a jeho převedení pomocí matematických diferenciálních rovnic do matematických modelů je jen hrubým obrysem zachycujícím jeho hlavní objekty, vazby a vztahy mezi nimi. Je tedy patrné, že simulace produkované matematickými modely jsou výrazně závislé právě na rovnicích, podle kterých se výpočty řídí.

Toto ale není hlavní problém modelování S-O vztahů na povodí. Už dle názvu srážko-odtokových je jasné, že nejenom odtok, ale i srážky na povodí jsou velmi výrazným, ale dost dobře i nejvýraznějším faktorem ovlivňujícím výsledky simulací modelů. Také srážky a jejich infiltrační proces do půd jsou popsány rovnicemi a zakomponovány do modelů. Pokud si uvědomíme další faktory ovlivňující hydrologickou bilanci (evapotranspirace, změny zásob v podzemních vodách, podzemní (základní) odtok) je více než zřejmé, že získat přesné vteřinové hodnoty množství protékající vody v rámci např. závěrového profilu pro povodí o ploše v řádu stovek km<sup>2</sup> je nad míru složitý problém.

Dalším velmi důležitým faktorem jsou měřiče srážkové činnosti a jejich rozmístění na ploše povodí. Dá se říci, že právě rozmístění měřicích zařízení na povodí je velký problém. Stanice jsou

nákladné na pořízení, provoz a údržbu a proto není divu, že jejich počet není dostačující pro potřeby modelování, ať už v ČR nebo v zahraničí (Norsko, Francie, USA). A právě zde se nabízí využití distančních měření, jako jsou radarové odhady meteorologických srážek. Pro srovnání radarových měření se srážkoměrnými daty a reakci modelu na tyto datové vstupy je důležitým krokem matematický model dokalibrovat. Toto je proces časově velmi náročný a vyžaduje velkou dávku zkušeností. V modelech však jsou i pomocné optimalizační nástroje pro jednotlivé charakteristiky modelu, kterých jsem také využil. Výsledkem byly modely, které v porovnání s měřenými daty reagovaly velmi slušně na oba typy srážkových měření. Rovněž sezónní variabilita jednotlivých komponent hydrologické bilance (evapotranspirace, infiltrace, základní odtok) tuto optimalizaci vyžaduje.

Na základě zhodnocení modelovaných simulací můžeme usoudit, že operativní využití radarových distančních měření v hydrologické praxi (pro předpovědní povodňovou službu) je stejně dobře použitelné, jako využití stávajících stacionárních měření. V některých lokalitách, z důvodu malého počtu měřících stanic, je dokonce efektivnější použití radarových měření. Obecně lze říci, že radarová měření nemohou konkurovat srážkoměrným stanicím ale i naopak. Je dobré, aby oba druhy se vzájemně doplňovaly a simulace, ale hlavně predikce takto vzniklé budou pro operativu kvalitnějšími podklady. U nás není používání radarových dat v praxi ještě běžnou součástí (příčinou je vlastní charakter odhadů - nepřímé měření, složité zpracování dat a komplikované charakteristiky chyb radarových odhadů), ale věřím, že podobně jako je tomu ve skandinávských zemích či ve Velké Británii, se tak v blízké budoucnosti stane. Zkušební provoz na brněnské a ostravské pobočce ČHMÚ zatím přináší optimistickou vizi. Nakonec je zde i možnost interpretace radarových odhadů v S-O simulacích metodami umělé inteligence (neuronové sítě).

Rovněž PETRLÍK (1956) se zabýval výzkumem plošného rozložení deště. Zjišťoval vztahy mezi maximální bodovou intenzitou a velikostí plochy zasažené deštěm. Odvodil empirické křivky ubývání bodové intenzity a zjistil vztah mezi plochou zasaženou deštěm a jeho maximální bodovou intenzitou. Sobota (2000) se zabýval plošnou interpolací naměřených dat ze srážkoměrů rozmístěných v husté měřicí síti. Stejně jako GOODRICH (1995) zjistil, že pro vyjádření časového průběhu srážky v měřítku do 5 ha jsou dostačující měření jednoho srážkoměru s kontinuálním záznamem, doplněná o měření úhrnů dané události v doplňujících bodech měřicí sítě daného zájmového území. Pro větší zájmové plochy odvodil SOBOTA (2000) interpolační postup založený na vzdálenosti 5 nejblíže srážkoměrů.

V České republice je doposud prosazován přístup k řešení vodohospodářských problémů pomocí technických opatření, která nabízejí sice rychlá, ale jednostranná řešení. Upřednostňovaná jsou opatření typu ochranných nádrží, hrází či zkapacitňování koryt toků, která však vyvolávají další vodohospodářské problémy níže po toku a přinášejí vážné ekologické problémy.

Přínosem příspěvku je ověření transformačního účinku přírodě blízkých protipovodňových opatření a retenčních opatření v ploše povodí. Kromě jiného je rovněž pozitivně sledována možnost využití dat LLS při tvorbě hydrodynamických modelů za variantních podmínek tvorby DTM.

Řešená problematika je velice aktuální s ohledem na katastrofické povodně v posledních cca deseti letech, kdy navíc byla ve vazbě na dané povodňové události přijata směrnice Evropského parlamentu a Rady (2007/60/ES z 23. října 2007) o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik (Povodňová směrnice). Řešení projektu nabízí alternativní přístup v problematice protipovodňové ochrany vedoucí nejen k lepšímu stavu krajiny a migrační prostupnosti vodních toků, ale přinášející rovněž významnou ekonomickou úsporu, což povede k možnosti zpracování většího počtu povodňových analýz, což ve svém důsledku nabízí sekundární uplatnění výsledků při ochraně životů a majetku občanů, krizovém řízení či projekci KPÚ.

V ploše povodí jde především o taková opatření, která umožňují snížit vodní erozi a eliminovat zatížení vod živinami, zvýšit retenci vody v krajině a současně přitom zachovat produkční schopnosti půdy. Tato opatření souvisí s naplňováním správné zemědělské praxe. Opatření v krajině není možné podceňovat, protože tvoří významnou část preventivních opatření.

S ohledem na ekonomickou efektivnost navrhovaných opatření dojde k realizaci většího množství protipovodňových opatření, což bude mít ve svém důsledku významný dopad na krizové řízení, včetně promítnutí do povodňových plánů obcí, ORP a krajů a dojde k eliminaci dopadů povodňových událostí na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost.

Bezesporně dalším významným pozitivem je vliv využití území na vývoj jakosti povrchových a podzemních vod. Skutečnost, že využití území a především zatravnění významně ovlivňuje jakost vody, dokládají výsledky výzkumných prací řady autorů KLIMEŠ & KUŽEL (2004), KLIMEŠ a kol. (2004), KVÍTEK (2002), POOR & MCDONNELL (2007), STANLEY (2003).

Přestože není možné dosažené dílčí výsledky zobecňovat, je možné konstatovat, že návrhem uváděných PPO dojde na vodním toku a v samotné nivě ke zlepšení podmínek pro život vodních organismů,lepší se samočisticí schopnost toku a především se zvýší povodňová ochrana.

### **Batymetrie vodních toků**

Batymetrická data jsou široce využitelná v oblastech říční hydrauliky při určování kapacit vodních toků a nádrží, průchodu povodňových vln, krizového řízení či při sledování množství a dynamiky sedimentů, splavnosti vodních cest či identifikace špatného hospodaření v krajině (eroze a transport splavenin).

Nové poznatky týkající se sběru, analýzy a následného vyhodnocení geoinformačních batymetrických dat rovněž nabízí nové možnosti pro získání detailnějších a přesnějších informací o

geometrických charakteristikách vodních toků a nádrží, které budou uplatněny při výkonu správy vodních toků a nádrží, krizového řízení či provozu vodních cest.

V současnosti jsou používány především technologie založené na aplikaci zařízení RiverSurveyor M9, což je automatické profilovací zařízení, pracující na principu Dopplerova jevu a které slouží pro měření rychlosti proudění vody v přirozených korytech. Zařízení slouží pro měření hloubky a automatický výpočet celkového průtoku, průtočné plochy a průměrné rychlosti. Zařízení je navrženo jak pro povodňové stavy, tak i pro nízké stavy v období sucha.

Na počátku batymetrických měření hloubek byla používána olovnice. Dnes se k měření hloubek nejčastěji používá sonar (SOund Navigation And Ranging). Sonar je systém, který používá vyslaných a odražených akustických vln k detekci a lokalizaci ponořených objektů anebo k měření vzdálenosti ke dnu.

#### Jednopaprscitý sonar

V současnosti jsou používány sonary v několika modifikacích. Základní variantou je jednopaprscitý sonar (echolot) využívající jediného paprsku tvaru kuželu. Úhel záběru paprsku je od 10 do 30°. Čím je tento úhel větší, tím větší plochu dna snímá (POKORNÁ, 2007). Převodník, který vysílá a zpracovává zvukové vlny, vybíráme podle hloubky vody. Do mělkých vod je vhodný převodník s širokým záběrem a do hlubších s užším jinak se zhoršuje rozlišení nebo vznikají při snímání dokonce mrtvé zóny. Nejvýhodnější je jít střední cestou při nastavení 20° rozevření. Echolot je běžně používán například rybáři. Zařízení vysílá zvukové vlny směrem ke dnu, které se od něj odrazí zpět. Sbírá vrácené zvukové vlny, které po zpracování graficky znázorní na displeji jako graf. Nevýhoda této technologie je v tom, že je určena především jako dostupné zařízení pro rybáře na hledání ryb. Pokud se totiž zvukové vlny odrazí od výše položeného povrchu dna, pak vše pod touto úrovní zůstane v mrtvé zóně, takže se to nezobrazí na displeji. Z tohoto důvodu není vhodný pro plošnou batymetrii (GARMIN, 2000).

#### Mnohopaprscitý sonar

Mnohopaprscitý sonar je nástroj funguje na stejné bázi jako výše zmíněný jednopaprscitý. Rozdíl je v tom, že umí ve velkém rozlišení mapovat najednou více než jen jednu lokalitu. Zjednodušeně se dá říci, že ze zařízení vychází více paprsků do několika odlišných míst na povrchu. Uspořádání těchto míst obvykle vytváří bodový pás kolmý na směr pohybu plavidla a vzniká tak souvislá mapa povrchu pod vodní hladinou. Této oblasti se říká pokos z anglického swath. Maximální úhel záběru povrchu dna v pokosu je až 120° a doba za kterou vznikne jeden pokos, odpovídá době odrazu zvuku z nejvzdálenějšího místa čili na okraji. Mnohopaprscitý sonar je díky své komplexnosti dražší než několik jednopaprscitých, ale tuto nevýhodu vyváží výrazné zkrácení operační doby. Tato metoda nachází nejvýhodnější uplatnění při zkoumání hlubokooceánské krajiny, kde je operační čas velmi drahý (SEABEAM, 2000).

### Boční sonar

Dalším typem je boční sonar, který má jiný cíl než zkoumat tvar oceánského dna. Boční sonar totiž odhaluje informaci o složení dna, protože schopnost absorbovat a odrazet zvuk se u různých materiálů liší. Některé typy materiálu jako jsou kovy nebo nově vzniklé sopečné horniny jsou v odrazení zvuku velmi efektivní. Na druhou stranu jíly a naplavený sediment jsou na tom o poznání hůře. Díky znalostem o těchto charakteristikách lze ze síly odrazu zvuku vyvodit informaci o kompozičním složení povrchu dna. Boční sonar tedy ve skutečnosti vyhodnocuje sílu odrazu vyslaných zvukových pulzů. Takový sonar nachází výborné uplatnění v kombinaci s mnohopaprscitým sonarem a dohromady nám dává velmi dobrý přehled o tvaru a složení dna v oceánech (SEABEAM, 2000).

### Výložníkový systém

Takzvaný výložníkový systém provozuje Povodí Vltavy. Jedná se o speciální plavidlo sloužící pro účely batymetrie. Kontrolují se hloubky a stav koryta vodních toků např. po povodních. Dále může vyhledávat naplavené překážky na vodních cestách. Plavidlo je po bocích doplněno o výložníky osazené sonary. Manipulace s výložníky je zajištěna hydraulicky. Určení v prostoru obstarává systém GPS s přijímačem na plavidle a na břehu. Měření doplňují radiolimnigrafy (výška hladiny), inklinometr (sklon) a gyrokompas. (PVL, 2014)

### Parasound

Parasound je metoda batymetrie fungující na bázi parametrického principu – Parametric echosounder a zkoumá mělké vrstvy sedimentu. (pokorná) Kromě přenosu prvního signálu o pevně nastavené primární frekvenci 18 kHz (NBS = narrow beam signal) se přenesou současně ještě druhý signál o primární frekvenci v rozmezí 20,5 až 23,5 kHz. Výsledná sekundární frekvence je 2,5 kHz resp. 5,5 kHz. Nízká sekundární frekvence je generována pouze v centrální části paprsku čili rovného paprsku primárních frekvencí. Využití parametrického efektu má rozhodující výhody oproti standardnímu 3,5 kHz systému. Relativně malý 4° úhel paprsku redukuje zvukovou stopu průměrně o 7%, což je výhodnější než při použití 3,5 kHz systému, kde je ztráta 35%. Výrazně menší stopa v průměru zvyšuje prostorové rozlišení ve svislém směru stejně jako v příčném a na echogramu zřetelně redukuje difrakční obrazce. Díky tomu lze lépe rozlišit sedimentární morfologii terénu. Protože jsou primární frekvence tak vysoké, lze vypustit srovnatelně dlouhý pulz a v kombinaci s nízkou sekundární frekvencí tak lze získat vyšší hloubkové rozlišení. Pro zvýšení bočního rozlišení ve hloubce 1400 m a více se používá tzv. „pilot tone“ mód. V tomto případě se vyšle první signál s primární frekvencí 18 kHz, aby byla zjištěna hloubka. Poté se emitují parametrické signály se zpožděním 400 ms tak dlouho, dokud se nezaznamená první odražený. Úpravou druhé primární frekvence a délky pulzu si operátor volí buď maximální penetraci, nebo maximálního hloubkové rozlišení. Data o odraženém signálu se zaznamenají a přenesou do PC. Data se porovnávají s naměřenými fyzikálními vlastnostmi částic sedimentu (rychlost

přenosu zvuku, objemová hmotnost, pórovitost atd.) a s uměle vytvořenými seismogramy vypočítanými z těchto dat. Systém parasound se nehodí při průzkumu vodního dna s příkrým povrchem, kde malý záběr paprsku umožní jen velmi slabé odrazy signálu zpět k plavidlu. (KUHN, WEBER 1993).

### ACOUSTIC DOPPLER PROFILER

Někdy také Acoustic doppler current profiler (ADCP) je nástroj k měření rychlosti vody v celém vodním sloupci. Pokud je zařízení umístěno na mořském dně, dokáže měřit rychlosti v pravidelných vzdálenostech až k vodní hladině. Pokud je měřicí zařízení instalováno vodorovně např. na mostních pilířích ve vodním toku nebo na plavidle pohybujícím se v příčném směru, tak slouží ke zjištění profilu dna. Zařízení může být nainstalováno zespodu na lodi, kde měří rychlost proudění s tím, jak se loď pohybuje.

Princip fungování metody ADP je v použití zvuku. Pomocí zvukových vln se měří vodní proud na základě Dopplerova jevu. Zvuk má vyšší frekvenci nebo výšku, když se přibližuje, než když odchází. Typickým příkladem je projíždějící automobil.

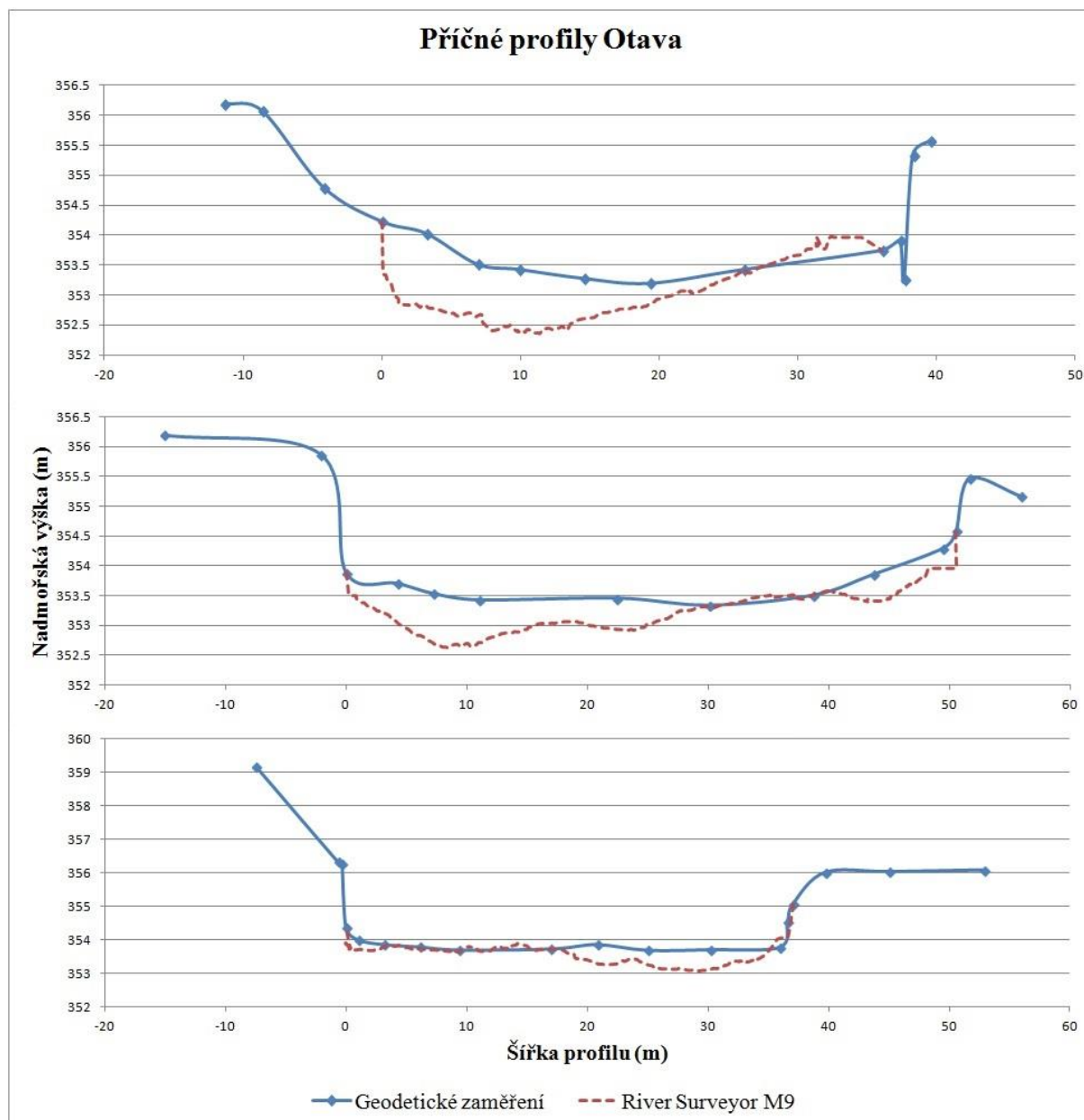
ADP funguje tak, že vysílá krátké sekvence zvuku do vody při konstantní frekvenci. Zvukové sekvence mají tak vysoký tón, že je člověk není schopen vnímat. Jak zvukové vlny cestují prostorem, tak se odráží od rozptýlených částic v pohybující se vodě a zpětně se vrací zpět k zařízení. Dopplerův jev způsobuje, že zvukové vlny odražené zpět od pohybující se částice dál od zařízení mají mírně sníženou frekvenci, když se vrací. Částice pohybující se směrem k zařízení vrací zpět vlny o vyšší frekvenci. Rozdíl ve frekvenci mezi vlnami vyslanými a přijatými se nazývá Dopplerův posun. Nástroj používá tento posun k výpočtu rychlosti pohybující se částice ve vodním sloupci čili rychlosti vodního proudu.

Pevně instalované zařízení musí být vždy orientováno směrem dolů a obsahuje také baterie a interní záznam dat. Pokud se jedná o plavidlo, tak by mělo obsahovat vlastní pohon, lodní počítač pro příjem dat a GPS navigaci.

Nevýhody této technologie jsou např. ve vysoké frekvenci vysílaného zvuku, která sice poskytuje vysokou přesnost dat, ale neproniká do větších hloubek. Také u průzračně čistých vod může nastat problém, pokud se ve vodě nenachází dostatečně množství částic. Další překážkou jsou turbulentní vody, kde vznikají bubliny způsobující nepřesnosti v měření (WHOI, 2014).

Tato metoda se hojně používá v USA, kde tato zařízení vyrábí firma SonTek a nazývá je RiverSurveyor (obrázek č. 1). Základními částmi měřicí sady RiverSurveyor je ADP modul (2 typy podle měřené hloubky a délky profilu), napájecí a komunikační modul PCM, GPS modul (RTK GPS a DGPS) a plovák. ADP modul je instalován na plováku tak, aby mohl vysílat zvukové vlny ke dnu vodního koryta. Je propojen krátkým kabelem s napájecím a komunikačním modulem, který dálkově

předává informace do PC nebo mobilu. V PCM je integrován GPS modul, který poskytuje vysokou přesnost pomocí technologie RTK GPS, ale vyžaduje zkalibrovanou stacionární stanici umístěnou do 2 km vzdálenosti od měřeného úseku. Pokud nemáme tuto stanici k dispozici tak lze použít alespoň méně přesnou metodu DGPS.



Samotné měření příčných profilů probíhá tak, že se plovák plynule přetahuje po vodní hladině pomocí lanka, tak aby byl změřen požadovaný profil. Na měření je potřeba aby jeden pracovník tahal plovák k sobě a druhý po stejné ose zase zpět (SONTEK, 2013).

**V. Seznam použité literatury**

- 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, ISBN 80-244-1495-3
- ADAMEC, M., HANZLOVÁ, M., HORÁK, J., UNUCKA, J., ŽIDEK, D. (2007): Modelování hydrologických extrémů s podporou DPZ a GIS. In Sborník semináře Změny v krajině a povodňové riziko. Praha 5.6.2007, 12 s., ISBN 978-80-86561-87-5
- ADAMEC, M., UNUCKA, J. (2007): Modelování vlivu land use na erozní procesy s podporou GIS. In sborník konference Říční krajina 2007. PřF UP, Olomouc
- 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.crwr.utexas.edu/online.shtml>
- ANDRYSIAK, P. B., MAIDMENT, D. (2000): Visual Floodplain Modeling with Geographic Information Systems (GIS). MS, University of Texas at Austin, <http://www.crwr.utexas.edu/online.html>
- BEAR, J. (1972): Dynamics of fluids in porous media. American Elsevier publishing, New York, 764 s.
- BEDIENT, P.B., HUBER W. C. (2001): Hydrology and floodplain analysis. 2nd edition. London, Prentice Hall. 763 s., ISBN: 1428831282
- BEDIENT, P.B., HUBER, W.C. et VIEUX, B.C. (2007): Hydrology and floodplain analysis. 4th edition. Prentice Hall, London, 795 s., ISBN: 978 – 0131745896
- BERGSTRÖM, S (1995): The HBV Model. In: Singh, V.P. Computer models of watershed hydrology. Water Resource Publications, Highland Ranch, s. 443 – 476
- BEVEN, K. J.: Rainfall-runoff modelling. J. Wiley & Sons, 2001, 360 stran. ISBN 0-470-86671-3
- BEVEN, K.J. (1996): A discussion of distributed hydrological modelling. In: Abbott, M.B.
- BEVEN, K.J. (2002): Rainfall-runoff modelling. The Primer. London, John Wiley & Sons. 372 s., ISBN: 978-0470866719
- BLÖSCHL, G., GRAYSON, R. (2002): Flächendetaillierte Niederschlag-Abfluss Modellierung. In: Wiener Mitteilungen – Band 164 – Niederschlag-Abfluss Modellierung – Simulation und Prognose, Technische Universität Wien, s. 33-55
- BHARAT, L. AND MASON, D.C. (2001) Application of airborne scanning laser altimetry to the study of tidal channel geomorphology. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 56, 100–120.

- BOONSTRA, J., RITZEMA, H.P., (EDITOR-IN-CHIEF), (1994): Drainage Principles and Applications. ILRI Publication 16. ILRI, P.O.Box 45, 6700AA Wageningen, The Netherlands.
- BRÁZDIL, K. (2009) Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, roč. 55/97, 2009, číslo 7, s. 145–151.
- BROWN, A.G., QUINE, T.A. eds. (1999): Fluvial processes and environmental change. London, John Wiley & Sons, 413 s., ISBN: 978-0471985488
- BUCHTELE, J. Hydrologické modely – okolnosti jejich uplatnění. 2001.
- BUCHTELE, J. (2002A): Úvod k metodám a modelům hydrologických předpovědí. In: Patera, A. et al. (2002): Povodně: prognózy, vodní toky a krajina. ČVUT, Praha, s. 33 – 35
- BUCHTELE, J. (2002B): Okolnosti ovlivňující využití modelů a tendence v uplatňování různých přístupů. In: Patera, A. et al. (2002): Povodně: prognózy, vodní toky a krajina. ČVUT, Praha, s. 51-55
- BUZEK, L. (1998): Eroze lesní půdy v Moravskoslezských Beskydech. In: Veronica, 12. zvl. číslo „Krajina a povodeň“, XII, Regionální sdružení ČSOP, Brno, s. 40 – 41
- BUZEK, L., KRÍŽ, V., ŘEHÁNEK, T. (2000): Hodnocení vodní eroze lesní půdy v povodí horní Ostravice formou plaveninového režimu. In: Sborník prací PřF OU, 189, 8, Ostrava, s. 37 – 57 GIS Ostrava 2008 Ostrava 27. - 30. 1. 2008
- BOLSTER, C. H., SAIERS, J. E. (2002): Development and evaluation of a mathematical model for surface-water flow within the Shark River Slough of the Florida Everglades. Journal of Hydrology, Volume 259, s. 221 – 235
- BRIŠ R.: Speciální metody analýzy dat, Učební materiál, HGF VŠB-TU, Ostrava, 2003.
- CLARKE, R. T. Mathematical models in hydrology. Irrigation and Drainage paper No. 19. FAO. Rome
- COLBY, J. D., MULCAHY, K. A., WANG, Y. (2000): Modeling flooding extent from Hurricane Floyd in the coastal plains of North Carolina. Environmental Hazards 2 (2000), 157–168.
- DAŇHELKA, J., KREJČÍ, J., ŠÁLEK, M., ŠERCL, P., ZEŽULÁK, J. (2002): Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. ČZÚ, Praha, 214 s.
- DRBAL, K. a kol. (2009): Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, Ministerstvo životního prostředí
- DRBAL, K., ŠTĚPÁNKOVÁ, P., LEVITUS, V., ŘÍHA, J., DRÁB, A., SATRAPA, L., HORSKÝ, M., VALENTA, P., VALENTOVÁ, J., FRIEDMANNOVÁ, L., (2012) Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Ministerstvo životního prostředí, 91 s.

- DUŠÁNEK, P. (2008) Tvorba digitálních modelů terénu z dat leteckého laserového skenování a jeho využití pro aktualizaci výškopisu ZABAGED. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze, na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie. Vedoucí dipl. práce Ing. Markéta Potůčková, Ph.D.
- DOLANSKÝ, T. (2004) Lidary a letecké laserové skenování. Acta Universitatis Purkynianae, 99, Studia geoinformatica, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, 2004, ISBN 80-7044 575-0.
- DOLEŽAL, F., HRÁDEK, F. (2004): Výpočet návrhových průtoků QN na malých povodích, odvození doby trvání výpočtového (příčinného) deště. 4. Vodohospodářská konference 2004 s mezinárodní účastí, Brno, 1.-2.12.2004.
- ERNST, J., DEWALS, B.J., DETREMBLEUR, S., ARCHAMBEAU, P., ERPICUM, S., AND PIROTON, M (2010) Micro-scale flood risk analysis based on detailed 2D hydraulic modelling and high resolution geographic data. Natural Hazards, 55 (2), 181–209.
- FELDMAN, A.D. (2000): Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual. USACE, Davis, 155 str.
- FOWLER, H. J., EKSTRÖM, M., KILSBY, C. G., 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 (2005) 212 233.
- GIANNONI, F., SMITH, J.A., ZHANG, YU AND ROTH, G. (2003): Hydrologic modeling of extreme floods using radar rainfall estimates. Advances in Water Resources, Volume 26, Issue 2, pp. 195-203,
- GOODRICH, D. C., FAURČS, J. M., WOOLHISER, D. A., LANE, L. J, SOROOSH S.: Measurement and analysis of small-scale convective storm rainfall variability. Journal of Hydrology, 173, 1995, č. 1/4, s. 283 – 308
- GOLLAMUDI, A, C.A. MADRAMOOTOO, AND P. ENRIGHT .Water quality modeling of two agricultural fields in southern quebec using SWAT. Transactions of the ASABE, 2007, vol. 50(6), p. 1973-1980.
- HAAN, C.T., BARFIELD. B.J., HAYES, J.C (1994): Design hydrology and sedimentology for small catchments. London, Academic Press, Inc., 588 s., ISBN: 978-0123123404
- HALL, D G M, REEVE, M J, THOMASSON, A J AND WRIGHT, V F. (1977) Water retention porosity and density of field soils. Soil Survey Technical Monograph No 9. Soil Survey of England and Wales.
- 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, ISBN 978-80- 7040-986-2

- 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.
- HARMON, R.S., DOE III, W.W. eds. (2001): Landscape erosion and evolution modeling. New York, Kluwer Academic Publ., 540 s., ISBN: 978-0306467189
- HAVLÍK, A., SALAJ, M., SATRAPA, L., FOŠUMPAUR, P., HORSKÝ, M. (2004): Metodika mapování povodňových rizik s pomocí geografických informačních systémů, ISBN 80-01-02910-7.
- HAVLOVÁ, J. (2001): Ekologická studie Litavky. Hydroprojekt. Praha, 332 s.
- HEWLETT, J.D. (1986): Principles of forest hydrology. Athens, University of Georgia Press, 183 s., ISBN: 978-0820323800
- HEC-DSSVue User's Manual. [PDF], 2002. Dostupné na <http://www.hec.usace.army.mil/>
- HEC-HMS 2.2.2 Documentation. [PDF]. 2002. Dostupné na <http://www.hec.usace.army.mil/>
- HODAČ, J. (2007): Výuka fotogrammetrie v České republice, Sborník z konference GEOS 2007, publikace číslo 41
- HORÁČEK, S. (2006): Application of event based rainfall runoff models on Modrava 2 catchment. Faculty of Forestry and Environment in Prague, 2006, s. 15-15
- HOLÝ, M. (1994): Eroze a životní prostředí, Vydavatelství ČVUT Praha.
- HORNBECK, J. W., BAILEY, S. W., BUSO, D. C., SHANLEY, J. B. (1997): Streamwater Chemistry and Nutrient Budgets for Forested Watersheds in New England: Variability and Management Implications. Forest Ecology and Management 93, 73–89
- HRABĚ, F., BUCHGRABER, K. (2004): Pícninářství, Travní porosty, MZLU Brno, ISBN 80- 7157-816- 9
- HRÁDEK, F. (2003): Maximální odtoky a jejich ovlivnění antropogenními zásahy na malých povodích. In.: Možnosti zvyšování ekologické stability, retence a akumulace vody v krajině. Výroční zpráva 2002 VZ 414 100008, ČZU v Praze, str.19-21, ISBN 80-213-1006-5.
- HRÁDEK, F.; KUŘÍK, P.; PAVLÁSEK, J. (2001): Maximální odtoky a jejich ovlivnění antropogenními zásahy
- HRÁDEK F., KUŘÍK.(2002): Hydrologie. Skriptum ČZU Praha, 280 stran. ISBN 80-213-0950-4
- HRÁDEK, F., KUŘÍK, P. (2003): Protipovodňová opatření v povodích drobných vodních toků. Konf. Protipovodňová prevence a krajinné plánování, ČSKI, Pardubice 18.-19.3.2003,s.226-233.
- na malých povodích. Sborník z celostátní konference "Krajina, les a lesní hospodářství", II.díl, Kostelec nad Černými lesy: leden 2001. 105-110 s. ISBN 80-213-0703-X.

HRÁDEK F.: Odvozování charakteristik povodňových vln hydrologickým modelem DesQ-MAXQ. In 31. 3. 2005 ČZU Praha. ČZU Praha. ČZU Praha: ČZU Praha, 2005, s. 23-26

HYDROPROJEKT a.s. (2001): Ekologická studie Litavky

HYDROTEC, GmbH (2003): Dokumentation zu Niederschlag – Abfluss Model NASIM. Hydrotec, Aachen, 557 s.

CHANG, M. (2006): Forest hydrology. 2nd edition. London, Taylor & Francis, 474 s., ISBN: 978-0849353321

CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M. (1988): Důsledky porostních obnov na odtok vody z beskydských experimentálních povodí, Zprávy lesnického výzkumu 4: 7-12.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. (1998): Applied hydrology. McGraw-Hill, New York

CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M., HOŠEK, A. (1997): Dlouhodobé odtoky z malých lesnatých povodí. In Zpravodaj Beskydy. MZLU Brno, s. 51-56

JANEČEK et al. (1999): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha, nakladatelství ISV, 202 s., ISBN: 80-85866-86-2

JENÍČEK, M. (2005): Aplikace matematického modelu NASIM pro simulaci srážko-odtokových poměrů v povodí Černé vody. Diplomová práce na PřF UK, Praha. 104 s.

JENÍČEK, M. (2006): Rainfall-runoff modelling in small and middle-large catchments – an overview. Geografie-Sborník České geografické společnosti, 111, č. 3, s. 305-313. ISSN 1212-0014.

JENÍČEK, M. (2008): Přehled srážko-odtokových modelů, studijní materiál pro potřeby posluchačů předmětu „Modelování hydrologických procesů“, Univerzita Karlova v Praze

JENÍČEK, M. (2009): Runoff changes in areas differing in land-use in the Blanice River basin – application of the deterministic model. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 57 (2). ISSN 0042/790X.

JUST, T., ŠÁMAL, V., DUŠEK, M., FISCHER, D., KARLÍK, P. et PYKAL, J (2003): Revitalizace vodního prostředí. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2003, 144 pp. ISBN 80-86064-72-7.

JUST, T. et al. (2005) Vodohospodářské revitalizace. Praha: ZI ČSOP Hořovicko, 357 s. ISBN 80-239-6351-1.

JUST, T., 2010: Přírodě blízké úpravy vodních toků v intravilánech a jejich význam v ochraně před povodněmi; CD příloha časopisu Ochrana přírody

příležitostné články v časopisech Vodní hospodářství, Ochrana přírody, Moderní obec, Veřejná správa

KAIML, P. (2000): Kvalita povrchových vod v povodí Litavky. Diplomová práce. KFGG PřF UK, Praha, 142 s.

- KANTOR, J et al. (2003): Lesy a povodně. Praha, MŽP. 48 s., ISBN: 80-7212- 255-X
- KANTOR, P., KREČMER, V., ŠACH, F., ŠVIHLA, V., ČERNOHOUS, V. (2003): Lesy a povodně: Souhrnná studie; Praha: Národní lesnický komitét a Ministerstvo životního prostředí; s. 48
- KLEMENTOVÁ, E., JURÁKOVÁ, M. (2003): Mokradě v systéme protipovedňovej ochrany. In: Životné prostredie, 4/2003, Ústav krajinném ekologie SAV Bratislava. Dostupné z <http://www.seps.sk/zp/casopisy/zp/2003/zp4/index.htm>
- KLIMEŠ, F. a kol. (2004): A possibility to control of ground water contamination with nitrates by suitable grassland management. Coll. of Sci. Papers, Faculty of agriculturae in České Budějovice, Series of Crop Science, 21 (1). pp. 41 – 43.
- KLIMEŠ, F., KUŽEL, S. (2004): Application of modelling by the study of ground water contamination with nitrates under grasslands. Plant Soil and Envir. 50 (3), pp. 122 – 128.
- KOSUGI, K., MORI, K., YASUDA, H. (2001): An inverse modeling approach for the characterization of unsaturated water flow in an organic forest floor. In: Journal of Hydrology, 246/2001, p. 96-108.
- KOVÁŘ, P., KADLEC, V.(2009): Use of the KINFIL rainfall-runoff model on the Hukava catchment. Soil & Water Res., 4 (2009): 1-9
- KUHN, G., WEBER, M.E. (1993): Acoustical characterization of sediments by Parasound and 3.5 kHz systems: related sedimentary processes on the southeastern Weddell Sea continental slope, Antarctica – Marine Geology. 113, 201-217
- KULHAVÝ, Z., KOVÁŘ, P. (2002): Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. VÚMOP, Praha, 123 s.
- KŘOVÁK, F., PÁNKOVÁ, E., DOLEŽAL, F. (2004): Vliv lesních ekosystémů na hydrický režim krajiny. In: Aktuality šumavského výzkumu II, Srní 4. – 7. října 2004, str. 44- 48.
- KVÍTEK, T. a kol. (2002): Diferencovaný způsob obhospodařování travních porostů ve vztahu k jakosti vody a stanovištním podmínkám. Sborník z mezinárodní konference „Obhospodařování travních porostů a jejich využití skotem v době přibližování ČR do evropské unie“, VÚRV Praha, 20.3.2002., s. 113 – 120.
- LANGHAMMER, J. (2007): Upravenost toků a údolní nivy jako faktor ovlivňující průběh a následky povodní, In: Sborník Změny v krajině a povodňové riziko, str. 129 - 142
- LEOPOLD, A. (1999): Obrázky z chatrče a rozmanité poznámky. Sand County Almanac. Tulčák, Vydavatelství Abies. 264 s.
- LIKENS, G. E., BORMANN, F. H. (1974): Effects of Forest Clearing on the Northern Hardwood Forest Ecosystem and its Biochemistry. Proceedings of the First International Congress of Ecology; 8–14. 9.

1974; The Hague; The Netherlands. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, p. 330–335

LINDENSCHMIDT, K.E. (2008) Quasi-2D approach in Modeling the transport of contaminated sediments in floodplains during river flooding. Model coupling and uncertainty analysis. *Environmental Engineering Science*, 25 (3), 333–351.

LYON, JOHN G. ED. (2003): GIS for Water Resources and Watershed Management. Boca Raton, CRC Press. 266 s., ISBN: 0-415-28607-7

MAHE, G., E., SERVAT (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, PP: 33-43.

MAIDMENT, D.R. ED. (1993): Handbook of Hydrology. 1st edition. London, McGraw-Hill Professional. 1424 s., ISBN: 978-0070397323

MAIDMENT, D.R. (2002): ArcHydro – GIS for Water Resources. ESRI Press, 220 s.

MAIDMENT, D., DJOKIC, D. ED. (2000): Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems. Redlands, ESRI Press. 232 s. ISBN: 978-1879102804

MAGUNDA, M.K., LARSON, W.E., LINDEN, D.R., Nater, E.A., 1997. Changes in microrelief and their effects on infiltration and erosion during simulated rainfall. *Soil Technol.* 10 (1), 57±67.

MAUCHAMP, A., CHAUVELON, P. AND GRILLAS, P. (2002): Restoration of floodplain wetlands: Opening polders along a coastal river in Mediterranean France, Vistre marshes. *Ecological Engineering*, pp. 619-632.

MERWADE, V. M., COOK, A., COONROD, J. (2008): GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping, *Environmental Modelling & Software* 23, 1300–1311

MERWADE, V. M., MAIDMENT, R., GOFF, J. A. (2006): Anisotropic considerations while interpolating river channel bathymetry, *Journal of Hydrology* 331, 731– 741

MISHRA S. K. et SINGH V. P. (2003): Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 511 s.

NOVÁK P., ROUB R., HEJDUK T. (2011): Využití hydrologického měření při tvorbě hydrodynamických modelů z dat leteckého laserového skenování. *Vodní hospodářství*, č. 8, roč. 61, s. 297 – 302. ISSN 1211-0760.

MORIASI, D.N., J.G. ARNOLD, G.G. VAARQUEZ-AMIAILE, B.A. ENGEL and C.G. ROSSI. Incorporation of a new shallow water table depth algorithm into SWAT2005. *Transactions of the ASABE*, 2009, vol. 52(3), p. 771-784.

- MOTOVILOV, Y.G., GOTTSCHALK, L., ENGELAND, K., RODHE, A. (1999): Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volumes 98-99, s. 257-277
- NĚMEC, J., ZEŽULÁK, J. Úvod do hydrologických předpovědních systémů. *Operativní hydrologie a řízení vodohospodářských soustav*. CECWI. 1998.
- NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G. et al. (2002): *Soil And Water Assesment Tool Theoretical Documentation*. Temple, Blackland Research Centre, 506 s.
- O'CONNOR, K.M.(1976): A discrete linear cascade model for hydrology. *Journal of Hydrology*, 29, 203-242
- UHLÍŘOVÁ, K., ZBOŘIL, A. (2009): Možnosti využití Laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. *Vodní hospodářství*, ročník 59, č.12, s. 11 - 15.
- PETRLÍK, J.: Výzkum plošného a časového rozdělení příválových dešťů. *Zpráva VÚV*. Praha, 1956
- PETŘÍČEK, V., CUDLÍN, P. (2003): Máme bojovat proti povodním? In: *Životné prostredie*, 4/2003, Ústav krajinném ekologie SAV Bratislava. Dostupné z <http://www.seps.sk/zp/casopisy/zp/2003/zp4/index.htm>
- POBĚDINSKIJ, A. V., KREČMER, V. (1984): *Funkce lesů v ochraně vod a půdy*, 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, s. 256
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J. (2005): Retenční schopnost lesních ekosystémů, In: <http://lesprace.silvarium.cz/content/view/147/52/>
- POKORNÁ, M., 2007: *Za hranice batymetrie*. České vysoké učení technické, Praha , online: [http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/pdf/Sekce\\_6.2/Pokorna\\_Marketa\\_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/pdf/Sekce_6.2/Pokorna_Marketa_CL.pdf), staženo: 9.7.2014.
- PONCE, V. M., HAWKINS, R.H. (1996): Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity, In *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 1, No. 1, ASCE, USA (pp. 11-19).
- POOR, C.J., MCDONNELL, J.J. (2007): The effect of land use on stream nitrate dynamics. *Jurnal of Hydrology* 332, Elsevier, pp. 54 - 68
- PRAKTICKÁ PŘÍRUČKA (2000): *Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky*, Ministerstvo zemědělství, Praha
- RAPANT, P.: Úvod do geografických informačních systémů, *Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava*, Hornicko-geologická fakulta, Institut ekonomiky a systémů řízení, oddělení GIS, Ostrava, 2002. 110 s.

RAPANT, P. (2005): Geoinformační technologie, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut geoinformatiky, Ostrava, 125 s.

REFSGAARD, J.C. (1996): Distributed hydrological modelling. Kluwer, Dordrecht, s. 255-279

REFSGAARD, J.C., STORM, B. (1996): Construction, calibration and validation of hydrological models. In: Abbott, M.B., Refsgaard, J.C. (1996): Distributed hydrological modelling. Kluwer, Dordrecht, s. 41-54

ROUB R.: Využití matematických modelů pro předpověď maximálních odtoků z povodí. In , 23. 10. 2008 FŽP ČZU v Praze. ČZU Praha, VÚMOP. Praha: ČZU Praha, VÚMOP, 2008, s. 85-95

ROUB R.: Matematické modely. Interní materiál ČHMÚ, 2003

ROUB R.: Comparison of models DesQ-MAX Q and HEC-HMS. In , 22. 9. 2004 Česká zemědělská univerzita Praha. Czech University of Agriculture in Prague. Praha: Czech University of Agriculture in Prague, 2004, s. 145-145

ROUB, R., URBAN, F., HAVLÍČEK, V., NOVÁK, P., HEJDUK, T., BUREŠ, L. A REIL A., (2015) Vývoj softwarových nástrojů CroSolver a CroSolver for ArcGIS pro přípravu výpočetní tratě hydrodynamických modelů. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace 1/2005, ročník 57, 5-13.

ROUB R., HEJDUK T., NOVÁK P. (2012): Využití dat z tvorby nového výškopisu území České republiky metodou leteckého laserového skenování při analýze a mapování povodňových rizik. Geodetický a kartografický obzor, č. 1, roč. 58/100, ISSN 0016-7096.

ŘIČICOVÁ, P., KREJČÍ, J. (2002): Využití hydrologických modelů a perspektivy jejich rozvoje u nás. In: Počasí – moderní předpovědní metody, prevence a snižování následků katastrof, ČHMÚ, Praha, s. 36-41

SEABEAM (2000): Multibeam sonar – Theory of operation. L-3 Communications SeaBeam Instruments, 141 Washington Street, East Walpole, MA 02032-1155

SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2007/60/ES ze dne 23. října 2007 o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik (povodňová směrnice).

SMITH, M.B., KOREN, V.I., ZHANG, Z., REED, S.M., PAN, J-J., MOREDA, F. (2004): Runoff response to spatial variability of precipitation: an analysis of observed data. Journal of Hydrology, 298, s 267-286

SOBOTA, J.: Zpracování záznamu dešťů z ČR pro hydrologické modely urbanizovaných a malých povodí. Zpráva resort. úkolu. Praha, VÚV 1996.

SONTEK (2014): <http://www.sontek.com/solutionsdetail.php?Bathymetric-Surveying-3>, cit. 27.8.2014.

STANLEY, C.,D. et al. (2003): Impact of Agricultural Land Use on Nitrate Levels in Lake Manatee, Florida. Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service, IFAS, University of Florida, 9 p.

STARÝ, M. (2004): Užití umělých neuronových sítí v aplikované hydrologii – zkrácená verze habilitační práce. VÚT, Brno, 40 s.

ŠÁLEK M., BŘEZKOVÁ L., UNUCKA J.: Použití kombinované analýzy srážek z meteorologických radiolokátorů a pozemních srážkoměrných měření v hydrologických modelech. Interní materiál ČHMÚ, 2004.

ŠINDLAR (2007): Koncepce přírodě blízkých protipovodňových opatření s vazbou na revitalizaci hydromorfologického stavu vod, MŽP.

ŠILAR J. (1996): Hydrologie životního prostředí, PHARE program, VŠV Ostrava

ŠÍMA, J. (2009) Abeceda leteckého laserového skenování. GeoBusiness, roč. 2009, č. 3, s. 22–25.

ŠERCL P.: Odvození fyzicko-geografických charakteristik povodí v GIS. Interní materiál ČHMÚ, 2004.

ŠOBR, M., JENÍČEK, M., VOČADLOVÁ, K. (2009): Dam breach reconstruction of the Blažňov pond caused by extreme hydrological event. Acta Universitatis Carolinae – Geographica, 45 (1-2). ISSN 0323-0511.

TAUFMANNOVÁ, A., LANGHAMMER, J. (2007): Mapování antropogenní upravenosti toků a následků povodní v povodí Horní Litavky, In: Sborník Změny v krajině a povodňové riziko, str. 213 - 220

TESAŘ, M., ŠÍR, M., DVOŘÁK, I. J. (2003): Vliv vegetačního porostu a jeho změn na vodní režim půd v pramenných oblastech Krkonoš. In: Sborn. Mez. Věd. konference „Geologické problémy Krkonoš“, Szklarska Poręba, listopad 2003,. Str. 30-37.

UNUCKA J.: Hydrologické modely a srážko-odtokový model Hydrog. Interní materiál ČHMÚ, 2004.

UNUCKA, J. (2006): Hydrologické a vodohospodářské aspekty revitalizace Bečvy. Disertační práce. PřF OU Ostrava, 178 s.

UNUCKA, J. (2007): Modelování hydrologických procesů s podporou DPZ a GIS. In sborník workshopu Informační technologie pro modelování krizových situací – IT4DM. VŠB-TU Ostrava, 13.9.2007, 15 s., ISBN 978-80-248-1537-4

UNUCKA, J., ADAMEC, M. (2008): Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážkoodtokové vztahy v povodí Olše, Journal of Hydrol. Hydromech., 56, 2008, 4, 257–271

- 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, ISBN 80-88907-53-5
- UNUCKA, J., HORÁK, J., RAPANT, P., RAPANTOVÁ, N. (2007): Využití GIT a numerických modelů pro komplexní management povodí. In sborník konference Říční krajina 2007. PřF UP, Olomouc
- VALENTA, P. (2005) Využití numerických modelů proudění vody v protipovodňové ochraně. ČVUT v Praze, Fakulta stavební.
- VALENTOVÁ, J., VALENTA, P., AND WEYSKRABOVÁ, L. (2010) Assessing the retention capacity of a floodplain using a 2D numerical model. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 58 (4), 221–232, ISSN 0042-790X.
- VÁŠKA, J. et al. (2000): Hydromeliorace. Praha, ČKAIT, 220 s., ISBN 80-86426- 01-7
- VIEUX, B. E. (2004): Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 289 s., ISBN: 978-1402024597
- 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.
- VOŽENÍLEK, V. (2000): Geografické informační systémy I: Pojetí, historie, základní komponenty. Olomouc: Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, 2000, 174 s.
- WANG, X, S. SHANG, W. YANG, A. M. MELESSE. Simulation of an Agricultural Watershed Using an Improved Curve Number Method in SWAT. Transactions of the ASABE, 2008, vol. 51(4), p. 1323-1339.
- WARD, A., TRIMBLE, S. W. (2004):. Environmental Hydrology. 2nd. Edition. CRC Press & Lewis Publishers, 504 s., ISBN: 978-1566706162
- WEYSKRABOVÁ L., VALENTOVÁ J., VALENTA P., MYSLIVEC D., FOŠUMPAUR P., ŠEPELÁK J. (2010): Hydraulické a hydrologické přístupy ke stanovení retenční kapacity říční nivy, sborník z konference Voda a krajina 2010, 149 s., ISBN 978-80-01-04614-2
- WHOI (2014): <http://www.who.edu/instruments/viewInstrument.do?id=819>, cit. 27. 8. 2014.
- Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- ZEZULÁK Jiří. Modelování složitých říčních systémů při extrémních povodních. In, 13. 11. 2007 Bratislava. Slovenská vedeckotechnická spoločnosť. Bratislava: Slovenská vedeckotechnická spoločnosť, 2007, s. 269-278

ZEZULÁK Jiří. Simulation Analysis of the Vltava Cascade Operation during Catastrophic Flood of August 2002. In, 22. 9. 2004 Praha. Česká zemědělská univerzita Praha. Praha: Česká zemědělská univerzita Praha, 2004, s. 204-204

ŽIKULINAS, J. (2008): Hydrographic changes of the Streva Basin in the 20th century. Part 1. Water streams. Geografija, Vol. 44, No. 1, p. 26–30.

## VI. Cíle a přínosy práce

Cílem výzkumu bylo vytvoření nástrojů pro přípravu geometrických dat pro potřeby hydrodynamických modelů. Stanovit nástroje/mechanismy přispívající k lepšímu managementu povodí pro rozhodovací činnosti v oblasti hospodaření s vodou v krajině. Poskytnout metodický návod pro zvýšení bezpečnosti občanů a zajištění ochrany jejich majetku před následky krizových situací (s důrazem na povodňovou problematiku).

V práci je prezentováno využití nových technologií, poznatků a dalších výsledků aplikovaného výzkumu v oblasti geografických informačních systémů, přípravy dat pro matematické modely, včetně identifikace osob a jejich včasného varování, sdílení informací, aj. pro podporu eliminace následků živelných pohrom, či provozních havárií.

Prostřednictvím předložených publikací a posledních výsledků výzkumu informovat o nových poznatcích, týkajících zpřesnění v současnosti využívaných datových zdrojů pro přípravu výpočetní geometrie vodních toků, včetně doplnění dosavadních znalostí v související problematice, které bude možné a žádoucí uplatnit při plánování konkrétního způsobu využití krajiny a návrzích protipovodňových opatření.

## VII. Závěr

Modelování srážko - odtokových vztahů představuje základní nástroj pro předpovídání odtokových jevů. Při studiu faktorů, tvorbě modelů a definování vstupů je potřebné sledovat a hodnotit kvalitu vstupních dat, jejich vypovídací schopnosti, vhodnost použití a vliv na kvalitu výsledků. Znalost předpovědi matematického modelování srážko – odtokových modelů a modelací získaných průchodem vody korytem představuje základní předpoklad pro případné zvládnutí krizového řízení při vzniku povodně.

Danou znalostí dochází k eliminaci škod, které jsou se vznikem spjaty a to až se již jedná o škody na movitém či nemovitém majetku. Práce přináší přínos i v možnosti porovnání běžně používaných modelů a v návaznosti na získané výsledky jsou navrženy opatření, vedoucí k omezení dopadu průchodu povodňové vlny a daná opatření jsou modelem rovněž ověřena.

Mezi předpokládané poznatky lze rovněž zahrnout nové znalosti v oblasti srážko - odtokových modelů, povodňové ochrany a řízení krizových situací za povodně. Neopomenutelnou část nových poznatků rovněž tvoří modelace jakosti vody ve vodním toku, která je na našem území dosud na samotném počátku.

Získané výsledky naleznou uplatnění jak u orgánů státní správy – digitální povodňový plán, který je základním dokumentem pro ústřední řízení povodňové ochrany v České republice. Obsahuje podrobné rozdělení úkolů a činností při provádění opatření k ochraně před povodněmi na úrovni ústředních orgánů státní správy a organizací s celorepublikovou nebo významnou regionální působností. Dále pak nalezne uplatnění u správce vodního toku, tak u samotných vlastníků ohrožených nemovitostí. Získané výsledky je možné rovněž uplatnit v oblasti územního plánování, kdy mohou získané údaje sloužit jako podklady pro územně analytické podklady, územní plány či regulační plány.

## Seznam použitých zkratk

|           |                                                  |
|-----------|--------------------------------------------------|
| ČR        | Česká Republika                                  |
| ČHMÚ      | Český Hydrometeorologický Ústav                  |
| ČUZK      | Český Úřad Zeměměřičský Katastrální              |
| ČVUT      | České Vysoké Učení Technické v Praze             |
| ČZU       | Česká Zemědělská Univerzita v Praze              |
| DMT / DMR | Digitální Model Terénu / Digitální Model Reliéfu |
| GIS       | Geografické Informační Systémy                   |
| LLS       | Letecké Laserové Skenování                       |
| LU/LC     | Land Cover/Land Use                              |
| PPO       | Protipovodňové Opatření                          |
| SWAT      | Soil and Water Assessment Tool                   |
| TIN       | Triangulated Irregular Network                   |
| ZPF       | Zemědělský Půdní Fond                            |

## Seznam publikací autora

Celkem je předkládáno **15 odborných publikací** v následujícím členění: 2 impaktovaná publikace, 2 publikace vedené v databázi SCOPUS a 11 recenzovaných publikací (další 2 publikace v recenzním řízení) + dalších aplikovaných výsledků (užitný vzor, 2 x software, 3 x specializovaná mapa s odborným obsahem a 2 x v recenzním řízení posuzované výsledky typu certifikovaná metodika).

### 1. Článek recenzovaný

**HEJDUK, T.**, MAREK, J., STANČÍKOVÁ, P. (2010): Propojení digitálního povodňového plánu města Beroun s automatickým vyrozumívacím systémem. *Vodní hospodářství*, roč. 60, č. 10, s. 283-287. ISSN: 1211-0760.

NOVÁK, P., **HEJDUK, T.** (2011): Problematika návrhu ochranných pásem vodních zdrojů ve vztahu ke katastru nemovitostí. *SOVAK*, č. 6, roč. 20, s. 22 – 25. ISSN 1210-3039.

NOVÁK, P., ROUB, R., **HEJDUK, T.** (2011): Využití hydrologického měření při tvorbě hydrodynamických modelů z dat leteckého laserového skenování. *Vodní hospodářství*, roč. 61, č. 8, s. 297-303. ISSN 1211-0760.

FUČÍK, P., KVÍTEK, T., **HEJDUK, T.**, PETERKOVÁ, J. (2012): Příspěvek k vyčíslení podílů zdrojů znečištění vod ze sledovaných profilů v malém odvodněném zemědělsko – lesním povodí. *Vodní hospodářství*, roč. 62, č. 8, s. 257-264. ISSN: 1211-0760.

ROUB, R., **HEJDUK, T.**, NOVÁK, P. (2012): Využití dat z tvorby nového výškopisu území České republiky metodou leteckého laserového skenování při analýze a mapování povodňových rizik. *Geodetický a kartografický obzor*, č. 1, s. 252-268. ISSN 0016-7096.

PAVLÍČKOVÁ, L., NOVÁK, P., ROUB, R., **HEJDUK, T.** (2012): Využití geografických informačních systémů a územně plánovací dokumentace při modelování povodňového rizika. *Vodohospodářské technicko - ekonomické informace*, roč. 54, č. 4, s. 1-6. ISSN 0322-8916.

NOVÁK, P., ROUB, R., VEVEŘKA, M., **HEJDUK, T.** (2013): Geografické informační systémy pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy. *Vodní hospodářství*, roč. 63, č. 11, s. 366-370. ISSN 1211-0760.

NOVÁK, P., ROUB, R., VYBÍRAL, T., HLAVÁČEK, J., **HEJDUK, T.**, BUREŠ, L., REIL, A. (2015): Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží, *Vodní hospodářství*, roč. 65, č. 3, s. 13-20. ISSN 1211-0760.

ROUB, R., URBAN, F., HAVLÍČEK, V., NOVÁK, P., **HEJDUK, T.**, BUREŠ, L., REIL, A. (2015): Vývoj softwarových nástrojů CroSolver a CroSolver for ArcGIS pro přípravu výpočetní tratě hydrodynamických. *Vodohospodářské technicko - ekonomické informace*, roč. 57, č. 1, s. 5-13. ISSN 0322-8916.

NOVÁK, P., ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., **HEJDUK T.** KVAPIL, P., ŠURÁŇOVÁ, R., ŠUPÍKOVÁ, I., FIEDLER J.: (2015): Nové metody detekce pesticidních látek v pitných vodách, jejich hodnocení a eliminace. SOVAK – [přijat k publikování \(říjen 2015\)](#)

ROUB, R., NOVÁK, P., VEVERKA, M., **HEJDUK, T.**, BUREŠ, L., REIL, A. (2015): Propojení předpovědních hlásných profilů na mapový sklad záplavových území. *Vodní hospodářství – [přijat k publikování \(listopad 2015\)](#)*

ROUB, R., NOVÁK, P., VEVERKA, M., **HEJDUK, T.**, BUREŠ, L., REIL, A. (2015): Geografické informační systémy jako efektivní nástroj pro podporu řešení krizových situací a identifikaci osob, *Bezpečnostní teorie a praxe – [v recenzním řízení](#)*

## 2. Článek neimpaktovaný

NOVÁK, P., FUČÍK, P., NOVOTNÝ, I., **HEJDUK, T.**, ŽÍŽALA, D. (2012): An integrated approach for management of agricultural non-point pollution sources in the Czech Republic. *Acta Universitatis Carolinae. Geographica*, roč. 47, č. 2, s. 33-43. ISSN 0300-5402.

NOVÁK, P., ROUB, R., **HEJDUK, T.**, VYBÍRAL, T., HÁNOVÁ, K., URBAN, F. (2014): Comparison of the longitudinal and lateral profiles of watercourses using sonar-based methods (ADCP) and hydrological analogy. *Acta Universitatis Carolinae. Geographica*, roč. 49, č. 2, s. 111-119. ISSN: 0300-5402.

ROUB, R., KŮRKOVÁ, M., **HEJDUK, T.**, BUREŠ, L., NOVÁK, P. (2016): Comparing a hydrodynamic model from 5th generation DRM data and a model from data modified by means of CroSolver tool. *Acta Universitatis Carolinae. Geographica* - [v recenzním řízení](#)

## 3. Článek impaktovaný

ROUB, R., **HEJDUK, T.**, NOVÁK, P. (2012): Automating the creation of channel cross section data from aerial laser scanning and hydrological surveying for modeling flood events. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, roč. 60, č. 4, s. 216-231. ISSN 0042-790X.

ROUB, R., HEJDUK, T., NOVÁK, P. (2013): Optimization flood protection by semi-natural means and retention in the catchment area: A case study of Litavka river (Czech republic). *Moravian Geographical Reports*, 21, no. 1, pp. 51-66.

#### 4. Certifikované metodiky

NOVÁK, P. a kol (2015): *Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování*. Metodika. Osvědčení Ministerstvo životního prostředí Zeměměřický úřad - [v recenzním řízení](#)

ROUB, R. a kol (2015): *Geografické informační systémy pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyrozumňovací systémy*. Metodika. Osvědčení - [v recenzním řízení](#)

#### 5. Užité vzory

PECH, P., ROUB, R., HEJDUK, T., HAVLÍČEK, V., MÁCA, P. (2011): *Syntetická mapa vodního toku a přilehlé inundace*. Česká republika, UV 22507, Úřad průmyslového vlastnictví Praha 6, 26. 7. 2011.

#### 6. Specializované mapy s odborným obsahem

NYKL, L., ROUB, R., HEJDUK, T., NOVÁK, P., BUREŠ, L., REIL, A. (2014): Mapa ohrožených nemovitostí 1 - rastr hloubek, The map of endangered properties 1 – grid of depths, Mapa je sestavena tak, že v detailním výpočetním kroku povodňové události, tj. pro konkrétní průtok povodňové události na řešeném vodním toku, vyjadřují potenciální riziko pro jednotlivé nemovitosti v řešeném území, tj. v záplavovém území, Stěžejním ekonomickým parametrem je ochrana lidských životů, snižování škod na majetku obyvatel a obcí. Dále pak zefektivnění rozhodovacích procesů v rámci činnosti bezpečnostních složek státu v oblasti krizového řízení, identifikace osob a majetku, Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 1442/65, 100 10 Praha 10 - Oddělení ochrany před povodněmi, 15. 12. 2014.

NYKL, L., ROUB, R., HEJDUK, T., NOVÁK, P., BUREŠ, L., REIL, A. (2014): Mapa ohrožených nemovitostí 2 - rastr rychlostí, The map of endangered properties 2 - grids of flow rates, Mapa je sestavena tak, že v detailním výpočetním kroku povodňové události, tj. pro konkrétní průtok povodňové události na řešeném vodním toku, vyjadřují potenciální riziko pro jednotlivé nemovitosti v řešeném území, tj. v záplavovém území, Stěžejním ekonomickým parametrem je ochrana lidských životů, snižování škod na majetku obyvatel a obcí. Dále pak zefektivnění rozhodovacích procesů v rámci činnosti bezpečnostních složek státu v oblasti krizového řízení, identifikace osob a majetku,

Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 1442/65, 100 10 Praha 10 - Oddělení ochrany před povodněmi, 15. 12. 2014.

URBAN, F., ROUB, R., **HEJDUK, T.**, NOVÁK, P., REIL, A., BUREŠ, L. (2014): Syntetická mapa vodního toku a přilehlé inundace, The synthetic map of watercourse and adjoining inundation area, geodetic surveying, aerial laser scanning, photogrammetry, flood, Mapa, sestavená na podkladě syntézy dat z hydrologického měření a dat LLS vyjadřuje potenciální riziko pro jednotlivé nemovitosti v řešeném území, tj. v záplavovém území. Důležitým ekonomickým parametrem je ochrana lidských životů, snižování škod na majetku obyvatel a obcí. Aplikací postupu tvorby map do praxe dojde k výrazné úspoře finančních prostředků za geodetické zaměření., Zeměměřický úřad, Pod sídlištěm 9, 182 11 Praha 8, 2. 12. 2014.

## 7. Software

HAVLÍČEK, V., ROUB, R., PECH, P., **HEJDUK, T.** (2013): CroSolver, <http://www.kvhem.cz/vyzkum/software/>, Zdrojové kódy funkcí pro programovací jazyk R, autorizovaný software, Snížení nákladů spojených s použitím hydrologicko-geografických modelů, KVHEM, Fakulta životního prostředí, ČZU v Praze, 60460709, CZ - Česká republika, N - Využití výsledku jiným subjektem je možné bez nabytí licence (výsledek není licencován), N - Poskytovatel licence na výsledek nepožaduje licenční poplatek

URBAN, F., ROUB, R., HAVLÍČEK, V., PECH, P., **HEJDUK, T.**, BUREŠ, L., REIL, A. (2014): CroSolver\_ToolBox, <http://www.kvhem.cz/vyzkum/software/>, Zdrojové kódy funkcí pro programovací jazyk Python, autorizovaný software, freeware, Snížení nákladů spojených s použitím hydrologicko-geografických modelů, KVHEM, Fakulta životního prostředí, ČZU v Praze, 60460709, CZ - Česká republika, N - Využití výsledku jiným subjektem je možné bez nabytí licence (výsledek není licencován), N - Poskytovatel licence na výsledek nepožaduje licenční poplatek.

## 8. Ostatní

**HEJDUK, T.**, ROUB, R., NOVÁK, P., VEVERKA, M. (2014): Geografické informační systémy pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy - H neleg.