

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE, FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ



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

**TOMÁŠ HEJDUK**

DISERTAČNÍ PRÁCE  
(komentovaný soubor prací)

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

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

LHOTKA, ZÁŘÍ 2015

Prohlašuji, že jsem 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 zpracované disertační práci.....	4
II. Úvod .....	5
III. Cíle a přínosy práce.....	6
IV. Literární rešerše k řešené problematice.....	7
V. Seznam publikací předkládaných k disertaci.....	27
VI. Komentáře k předloženým pracím .....	31
VII. Závěr .....	39
VIII. Shrnutí .....	47
IX. English Summary .....	49
X. Seznam použitých zkratk .....	51
XI. Literatura .....	52
XII. Přílohy: Soubor publikací k disertaci.....	64

## I. Informace ke zpracované disertační práci

Disertační práce byla zpracována jako tzv. soubor prací. Citace na použité publikace/výsledky jsou uvedeny níže; v závorce za citací je tučně na prvním místě uveden procentuální podíl autora disertace na publikaci; hodnota tohoto podílu byla získána od prvního autora každé práce za konzultace s nejméně dvěma dalšími autory. Samotné články v plném znění jsou k dispozici v příloze.

Disertační práce je předkládána formou souboru prací k řešenému tématu. Jednotlivé práce byly zpracovány v průběhu studia a byly zaměřeny na povodňovou problematiku, zejména tematiku dopadů změn hospodaření na zemědělské půdě na průběh a účinek povodní. Hlavními tématy disertační práce byly především říční hydraulika, příprava vstupních dat pro hydrodynamické modely a využití nástrojů geografických informačních systémů (GIS) v oblasti krizového managementu.

Práce vychází z výsledků dílčích prací jednotné tematiky a klade důraz na volbu vhodných 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, dodržování, 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 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. Cíle a přínosy práce

Cílem disertační práce 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 haváriích.

Cílem této práce je prostřednictvím předložených publikací a posledních výsledků výzkumu informovat o nových poznacích, 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.

#### IV. Literární rešerše k řešení problematice

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 nejrůznější 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 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 akumulační 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 řazení 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 navrhuje 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 nevládnutelné. 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 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, tůň, 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 6000 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 svažitých pozemcích, kde trvalé travní porosty zvyšují retenční schopnost půdy, zvláště při přivalových a dlouhotrvajících deštích (HRABĚ & BUCHGRABER, 2004; HORNBECK et al. 1997).

Positivní 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 odteče 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 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 zvládnání 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 akumulací 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 akumulací 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 akumulací prvků při výskytu příčinného deště různého typu (déšť přívalový, regionální) v závislosti na velikosti zasaženého území a aktuálním fyzikálním, resp. technickém stavu retenčních prvků v době výskytu deště (MAHE et al. 2005).

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 nepoužívanějšími 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 neefektivnějších 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<sub>a</sub> 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 příbřežních 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 byla 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 hrází. 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 rozděluje na části a schematizuje se větvenou či okružovou sítí složenou z několika dílčích modelů, např. koryta 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 databází výškopisu (využití digitální stereofotogrammetrie nebo automatizované obrazové



korelace překrývajících se měřických snímků) jeví ekonomicky a produkčně nejefektivnější, o čemž svědčí i její stále častější 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 neohrazené (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 RIANalyze 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 „akademičnosti“, 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 jednoduté 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 1x1m, aby mohl vzniknout stínovaný model s rozlišením 1x1m, 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 přílehlého inundačního území. Přesnost fotogrammetrického podkladu se pohybuje v řádech 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 řádech 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 MÁČA (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 měřicích 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 nejbližších 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 odráží 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 odrážet zvuk se u různých materiálů liší. Některé typy materiálu jako jsou kovy nebo nově vzniklé sopečné horniny jsou v odražení 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 přeneše 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 vyše 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 měřící 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 publikací předkládaných k disertaci

Celkem je předkládáno **15 odborných publikací** v následujícím členění: 2 impaktovaná publikace, 2 publikace vedené v databázi SCOPUS a 11 recenzovaných publikací (další 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. **(75 %)**

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. **(40 %)**

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. **(25 %)**

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. **(3 %)**

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. **(35 %)**

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. **(20 %)**

NOVÁK, P., ROUB, R., VEVERKA, 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. **(20 %)**

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. **(20 %)**

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. (15 %)

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)*. (15 %)

NOVÁK, P., ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., **HEJDUK T.** KVPIL, 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)*. (15 %)

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*. (15 %)

## 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. (15 %)

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. (20 %)

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*. (20 %)

## 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. (40 %)

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. (40 %)

#### 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](#). (15 %)

ROUB, R. a kol (2015): *Geografické informační systémy pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy*. Metodika. Osvědčení - [v recenzním řízení](#) (15 %)

#### 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. (20 %)

#### 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. (15 %)

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. (15 %)

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. (15 %)

## 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, Snižování 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 (10 %)

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, Snižování 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. (10 %)

## 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. (30 %)

## VI. Komentáře k předloženým pracím

Dosažené poznatky jsou dokladovány níže uvedenými shrnutími odborných publikací, kterými je prokázána novost a inovativnost řešení, přínos k poznání a originalita poznatků ve srovnání s podmínkami se světem (podmínkami České republiky). Prostřednictvím tohoto souboru prací je předloženo 15 publikací, které se zabývaly zejména tematikou volby jednotlivých matematických modelů pro podmínky konkrétního povodí z pohledu nároků na vstupní data. Posledním tématem bylo vyhodnocení alternativních přístupů k přípravě vstupních dat v podobě přípravy specializovaného softwarového vybavení.

Práce jsou řazeny chronologicky podle data vydání. V závorce za citací je tučně uveden procentuální podíl autora disertace na publikaci; hodnota tohoto podílu byla získána od prvního autora každé práce za konzultace s nejméně dvěma dalšími autory. Na konci citace je uvedeno číselné označení dílčí publikace pro následný odkaz na části, ve které jsou diskutovány poznatky v ní uvedené.

Kompletní texty jednotlivých odborných publikací jsou uvedeny v přílohové části disertační práce. Ostatní aplikované výsledky jsou k dispozici na přiloženém CD na zadní straně disertační práce.

**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. **(75 %) [1]**

Příspěvek seznamuje s propojením digitálního povodňového plánu města Beroun s automatickým vyrozumívacím systémem. Toto propojení vytváří účinný nástroj v oblasti prevence před povodněmi a pro zmírňování dopadů povodně. Základem Povodňového plánu města Berouna jsou Povodňové plány vlastníků nemovitostí. Město Beroun zakoupilo v roce 2004 automatický vyrozumívací systém pro vyrozumívání při povodňových situacích. V roce 2005 byla pro datovou správu ohrožených nemovitostí městem Beroun pořízena databázová aplikace AKIS, ve které jsou veškeré údaje poskytnuté zpracovatelem podkladů přehledně spravovány. Celá aplikace AKIS je koncipována tak, aby byla v plné součinnosti s automatickým vyrozumívacím systémem. Popsán je vývoj tvorby databáze AKIS a její naplňování. Je uvedeno využití propojení aplikace AKIS s mapovou nadstavbou, která poskytuje vizuální představu o úspěšnosti varování před povodněmi.

**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. **(40 %) [2]**

Příspěvek dokumentuje problematiku vymezení hranic ochranných pásem vodních zdrojů a zápisu těchto hranic do katastru nemovitostí (KN). Provedení identifikace vlastnických vztahů dotčených parcel ochranného pásma vodního zdroje je poměrně složitý proces s ohledem na chybějící jednotný

grafický katastrální operát v digitální podobě. V současné době stále existují dvě informační vrstvy dokumentující vlastnické vztahy parcel, jedná se o parcely KN a parcely bývalého pozemkového katastru (PK), patřící do skupiny parcel zjednodušené evidence (PZE). Dalším problémem je chybějící grafická vazba mezi parcelami KN a PK. Z toho důvodu se parcely vzájemně dělí na další části. Při návrzích ochranných pásem vodních zdrojů, kdy je potřeba podle vyhlášky MŽP č. 137/1999 Sb. doložit vlastnické vztahy dotčených pozemků zpravidla na velkém území je tato podmínka obtížně realizovatelná z hlediska času i financí.

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. (25 %) [3]

Průtok vody představuje základní hydrologickou veličinu vyjadřující objem vody, který proteče daným profilem vodního toku za jednotku času. Letecké laserové skenování (dále LLS) povrchu patří k nejmodernějším technologiím pro pořizování prostorových geografických dat. Znalost těchto dvou poznatků vytváří v kombinaci vhodný předpoklad pro tvorbu relevantního digitálního modelu reliéfu (DMR) vstupujícího do hydrodynamických modelů. Vysoké finanční požadavky na geodetické zaměření příčných profilů koryta vedly k posouzení možností, jakým vhodným způsobem snížit vynakládané finanční prostředky na získání této informace. Alternována byla možnost využít kontinuálních měření průtoků vody při pořizování výškopisných dat LLS povrchu při sestavování jednotlivých simulačních epizod v hydrodynamickém modelu. Daný způsob předpokládá využít stanovené průtoky z doby pořizování výškopisných dat metodou LLS při tvorbě modelovaných scénářů, kdy je modelovaná epizoda snížena o naměřenou hodnotu průtoků z doby pořizování dat, čímž je přesně vystižená zbývající část profilu koryta, která není metodou LLS v DMR reflektována.

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. (3 %) [4]

Je představeno úvodní zpracování výsledků ze 3leté podrobné monitorovací kampaně drenážních a povrchových vod v malém zemědělsko-lesním povodí v krystaliniku Českomoravské vrchoviny v povodí VN Švihov na Želivce. Na základě vyhodnocení pravidelného i epizodního monitoringu, použití separací odtoku i regresí pro určení denních koncentrací látek v neměřených dnech, jsou porovnány hodnoty koncentrací i měsíčních látkových odnosů NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P a Pcelk z deseti podpovodí s různým způsobem využití území a různou intenzitou zemědělského odvodnění. Nejvyšší koncentrace dusičnanového dusíku ve vodách vykazují zorněná odvodněná podpovodí, pro fosfor celkový i rozpuštěný reaktivní jsou to podpovodí se sídly či vodními plochami. Měřené nebodové zdroje znečištění vod zde tvoří průměrně 23 % pro NH<sub>4</sub>-N, 45 % pro NO<sub>3</sub>-N, kolem 24 % pro PO<sub>4</sub>-P a přibližně 26 % pro Pcelk měsíčního látkového odnosu. Rozdíly v jednotlivých měsících a



podpovodích z hlediska podílů nebodových zdrojů na celkových látkových vnosech jsou podmíněné především hydrologicky. Předložené výsledky nejsou definitivní, výzkumné aktivity dále pokračují. Po vyhodnocení všech souvisejících dat dojde ke zpřesnění látkových toků, stanovení významnosti příčinných faktorů a formulování použitelných zobecnění.

**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. (35 %) [5]

Znalost míry povodňového nebezpečí patří k aktuálním problémům v celospolečenském měřítku. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES (povodňová směrnice) ukládá členským státům vytvořit plány pro zvládnutí povodňových událostí a stanovuje pevné termíny dílčích kroků řešení. K analýze a mapování povodňových rizik slouží simulace 1D a 2D hydrodynamických modelů, které poskytují detailní představu o působení povodně v konkrétním terénu. Reálnost a kvalita modelování povodňových jevů a stavů s využitím hydrodynamických modelů určují vstupní data pro tvorbu výpočetní geometrie vodního toku. Ověření a prezentace vhodnosti použití výškopisných dat získaných metodou leteckého laserového skenování realizovaného ve spolupráci Českého úřadu zeměměřického a katastrálního s Ministerstvem obrany ČR.

**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. (20 %) [6]

Povinnost analyzovat a mapovat povodňová rizika ukládá členským státům směrnice Evropského parlamentu 2007/60/ES (povodňová směrnice). Směrnice obsahuje harmonogram s pevně stanovenými termíny pro zvládnutí povodňových událostí. Zvládnutím povodňových událostí se z hlediska směrnice rozumí zanalyzovat pravděpodobnost výskytu povodně a možného nepříznivého účinku na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost, které souvisejí s povodňovým prostřednictvím map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Určujícím podkladem pro tvorbu map povodňového nebezpečí a povodňových rizik je územně plánovací dokumentace. Příspěvek seznamuje se zpracováním map povodňové ohroženosti a povodňových rizik na podkladě informací z územně plánovací dokumentace. Vyhotovené mapy ohroženosti a rizika byly v rámci zpracování koncipovány tak, aby byly použitelné nejen z hlediska samotné ochrany před povodněmi, ve fázi přípravné neboli preventivní protipovodňové ochrany, kdy slouží k předvídaní rozsahu povodňových situací, eliminují jejich potenciál a pomáhají je organizačně zvládat, ale rovněž byly zpracovány tak, aby mohli být využitelné při samotném rozhodování o funkčním využití území z hlediska vymezení nových zastavitelných ploch a to z hlediska jak různých potenciálních povodňových scénářů, tak i různých variant funkčního využití.

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. (40 %) [7]

Znalost rozsahu záplavových území pro jednotlivé N – leté povodňové události a konkrétní povodňové scénáře, včetně získané představy o hloubkách a rychlostech v podélném či příčném profilu toku, které poskytují hydrodynamické modely, zaujímá výsadní postavení z pohledu ochrany životů a zmírnění škod na majetku občanů. Stěžejním faktorem pro tvorbu hydrodynamických modelů jsou vstupní data pro vytvoření výpočetní geometrie vodního toku. 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 profily koryta, naproti tomu u dvourozměrných (2D) hydrodynamických modelů je nutné sestavit pro celé řešené území digitální model reliéfu. S ohledem na vstupní data a použitý model roste i finanční náročnost celého projektu. Nárůst finančních prostředků je způsoben především vysokými náklady na geodetické zaměření koryta toku. Cílem příspěvku bylo ověřit a prezentovat vhodnost využití hydrologického měření při tvorbě schematizace (geometrie) vodních toků na podkladě výškopisných dat získaných metodou leteckého laserového skenování, které zabezpečuje Český úřad zeměměřický a katastrální. Zohlednění hydrologického měření při schematizaci vodního toku do hydrodynamického modelu spočívá v odvození dosaženého průtoku v době pořizování dat metodou leteckého laserového skenování pomocí hydrologické analogie a takto stanovené průtoky využít jako podklad pro zhloubení digitálního modelu reliéfu z dat leteckého laserového skenování. Daný princip tak je přesně vystihuje zbývající část profilu koryta, která není metodou leteckého laserového skenování v digitálním modelu reliéfu reflektována a je tak dosaženo zcela korektní geometrie pro hydrodynamický model.

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. (15 %) [8]

Příspěvek popisuje nový, integrovaný přístup v metodách identifikace a lokalizace potenciálních kritických zdrojových oblasti plošného znečištění povrchových vod dusíkem a fosforem, který je představen na modelových povodích IV. řady Hrejkovického a Bilinského potoka v povodí vodní nádrže Orlik. Ohroženost vod plošným znečištěním je posuzována geografickou analýzou, která hodnotí geomorfologii, způsob využití a půdní podmínky území, ve vazbě na stavby zemědělského odvodnění. Vedle ploch podléhajících erozi a lokalit tzv. přímé ochrany podél vodních toků, jsou vymezovány oblasti zvýšeného potenciálního vyplavování živin do podzemních a drenážních vod, stanovené na základě syntetické mapy zranitelnosti mělkých podzemních vod. Tyto oblasti jsou klasifikovány na základě analýzy kódu bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) a zemědělské odvodnění podle podkladů bývalé Zemědělské vodohospodářské správy (ZVHS). Z

výsledků geografické analýzy vyplývá rozdíl mezi dvěma sousedními povodími a jejich potenciálem k působení plošného zemědělského znečištění. Z výsledků analýzy LULC je patrný zhruba stejný podíl zemědělské půdy pro obě povodí ovšem struktura základních dvou druhů pozemků (orná půda x trvale travní porosty) je odlišná. Vyšší podíl zatravnění je v povodí Hrejkovického potoka oproti Bilinskému, kde je zastoupení TTP relativně nízké. Z hlediska zranitelnosti vyplavování rizikových látek do povrchových a podzemních vod jsou náchylná obě povodí; povodí Bilinského potoka z důvodu převahy orné půdy na plochách se zranitelnosti 1. a 2. Kategorie v mikropovodích drenážních systémů, povodí Hrejkovického potoka pro velmi častý výskyt ploch s 1. a 2. kategorií zranitelnosti (58% ZPF). Z hlediska potenciálního rizika výskytu eroze na zemědělské půdě je ohroženější Bilinský potok, zejména v dolní části povodí.

**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. (40 %) [9]**

Povodňové situace představují na území České republiky největší hrozby přírodních katastrof. Tato skutečnost je dána polohou České republiky v kontinentálním i celosvětovém měřítku. Návrh protipovodňových opatření (PPO) v současnosti probíhá především formou technických opatření, bez ohledu na zlepšení hydromorfologického stavu vod dle požadavků Rámcové směrnice o vodách a bez ohledu na přirozenou transformaci povodňových průtoků v nivách vodních toků. Samotný způsob navrhování protipovodňových opatření dosud vychází z velmi zjednodušeného přístupu tzv. návrhové povodně, jejíž pravděpodobnost překročení je dána normativem v závislosti na charakteru chráněného území. Vychází se např. z TNV 75 2103 (Úpravy řek) a TNV 75 2102 (Úpravy potoků). Podle těchto dokumentů je doporučena návrhová míra ochrany území před povodněmi dobou opakování návrhového průtoku úpravy. Uvedený postup tak diferencuje různou míru rizika v různých typech zájmového území velmi schématicky (Fošumpaur, 2005). Příspěvek seznamuje s optimalizačním návrhem PPO v rámci pilotního povodí, kde byla navržena konkrétní opatření řešící komplexně povodí v celé jeho ploše a zároveň zajišťující dosažení dobrého hydromorfologického stavu vod.

**NOVÁK, P., ROUB, R., VEVERKA, 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. (20 %) [10]**

Geografické informační systémy představují významný nástroj pro podporu operačního a krizového řízení složek Integrovaného záchranného systému. Technologie geografických informačních systémů umožňuje přímou lokalizaci konkrétní informace v území. Integrovaný záchranný systém představuje efektivní systém vazeb, pravidel spolupráce a koordinace záchranných a bezpečnostních složek státu, orgánů státní správy a samosprávy, fyzických a právnických osob při samotném provádění záchranných prací, při jejich prevenci či přípravě na mimořádné události, ale rovněž v době odstranění

jejich následků. Cílem příspěvku je seznámit odbornou veřejnost s řešením projektu, který se zabývá využitím geografických informačních systémů v problematice krizového řízení a možností jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy. Základní otázkou je identifikace tzv. kritických míst v konkrétním území, tj. míst kde je zvýšená pravděpodobnost výskytu ohrožení osob pro různé kombinace modelových scénářů (přírodního charakteru - povodně, vítr, atd. a havárie - poruchy technické infrastruktury, dopravního propojení, atd.) pro následnou identifikace ohrožených osob a majetku, které je nutné informovat (či evakuovat), respektive v případě majetku zabezpečit proti následkům živelní či jiné pohromy, případně jeho odcizení. Důraz je kladen především na časové měřítko, které představuje klíčový aspekt krizového managementu.

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. (20 %) [11]

Jeden z rozhodujících faktorů pro získání relevantních výsledků z hydrodynamických modelů, představují vstupní data pro schematizaci koryta vodního toku (Coveney et al. 2010). Dle požadavku na vstupní data je možné kvantifikovat i použité hydrodynamické modely, které budou pro prováděné simulace použity. Jednorozměrné (1D) hydrodynamické modely se vyznačují nižšími požadavky na vstupní data, kdy výpočetní trať je tvořena souborem příčných profilů koryta vodního toku, naproti tomu u dvourozměrných (2D) hydrodynamických modelů je nutné sestavit pro celé řešené území detailní digitální model reliéfu, tj. přilehlé inundace, ale i samotného vodního toku. S ohledem na vstupní data a použitý model roste i finanční náročnost celého projektu (Roub a kol. 2012a). V řadě případů dochází k významnému transformačnímu efektu povodňové vlny v samotném korytě, a proto je znalost podélného a příčného profilu řešeného vodního toku velice významná. Pro potřeby získání takovýchto dat, které budou v požadované přesnosti tyto podmínky naplňovat, byly alternativně konvenční geodetické metody s přístupy založenými na sonaru – ADCP (SonTek) – a výsledky ze softwaru Profile Solver, který byl cíleně sestaven pro potřeby získání výškopisné informace pod hladinou vodního toku.

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. (20 %) [12]

Cílem předkládaného příspěvku je seznámit širokou odbornou veřejnost s vývojem a aplikací nových technologií pro získání relevantních informací o batymetrii vodních toků a nádrží. Prezentovány jsou dílčí výsledky z výzkumu, jehož snahou je získání ucelených datových souborů kombinujících data z měření terénů s daty z měření dna vodních toků a nádrží. Takto získaná 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 poskytnou 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 rámci daného příspěvku jsou prezentovány 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.

**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. (15 %) [13]

Povodňové situace představují na území České republiky jednu z nejvýznamnějších hrozeb přírodních katastrof. Význam těchto hrozeb se zvyšuje v důsledku narůstající extremity počasí, ke které v posledních letech dochází. Z hlediska eliminace potenciálního ohrožení a samotných následků těchto událostí jsou významné informace předpovědní povodňové služby o charakteru a o rozsahu záplavových území pro jednotlivé N-leté povodňové průtoky a konkrétní povodňové scénáře. Adekvátní představu o hloubkách a rychlostech při povodňové události, v podélném či příčném profilu vodního toku, poskytují hydrodynamické modely. Získané informace z hydrodynamických modelů tak zaujímají výsadní postavení z pohledu ochrany životů i zmírnění škod na majetku občanů. Pro získání relevantních výstupů z hydrodynamických modelů jsou rozhodující vstupní data. Ve vazbě na finanční náročnost získání relevantních dat o morfologii koryta vodního toku a přilehlé inundace je prezentován přístup založený na syntéze dat hydrologického měření a dat leteckého laserového skenování, který se snaží nahradit finančně náročné geodetické zaměření koryt vodních toků. Je uvažován postup, kdy je nejprve provedeno letecké laserové skenování vodního toku a stanoven průtok, který byl dosažen v době provádění leteckého laserového skenování (LLS). Toto měření LLS neumožňuje zahrnout část koryta pod hladinou vodního toku, zahrnuje však polohu hladiny. Následně je dopočten sklon hladiny mezi zvolenými příčnými profily a za předpokladu znalosti typu příčného profilu (v současnosti jsou uvažovány tři základní typy – obdélník, lichoběžník, parabola) a stanoveného průtoku je pomocí Chézyho rovnice dopočtena hloubka koryta. V daném příspěvku jsou prezentovány výsledky z vývoje dvou softwarových nástrojů, které slouží pro přípravu výpočetní tratě do hydrodynamických modelů (CroSolver a CroSolver for ArcGIS) a prezentovány dílčí výsledky.

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).* (15 %) [14]

Cílem příspěvku je prezentovat metody detekce, lokalizace, hodnocení rizik a vývoj sanační technologie využívaných i záložních zdrojů pitných vod negativně ovlivněných přítomností pesticidních perzistentních organických látek. Návrh projektu je cílený na řešení zhoršené kvality pitných vod, které mají přímou vazbu znečištění a lokality ovlivněné zemědělskou, lesnickou, rekultivační či průmyslovou činností. V první části řešení bude ověřena metoda identifikace zdroje znečištění na základě monitoringu jakosti vod s použitím pasivních vzorkovačů, druhá část řešení bude založena na vytvoření sanační technologie vlastního zdroje pitné vody a posledním cílem bude analýza rizik na zdravotní stav obyvatel z hlediska kontaminace vod pesticidními látkami. V průběhu řešení bude vytvořena mapa zranitelnosti zdrojů podzemních vod, metodika stanovení zranitelnosti vodního zdroje z hlediska kontaminace pesticidními látkami a ověřena technologie sanace vodních zdrojů zásobujících malá sídla. Tyto zdroje nepodléhají odpovídající kontrole jejich jakosti zejména ve vztahu k potenciálnímu znečištění přípravky na ochranu rostlin zejména dusíkatých pesticidů. V průběhu řešení bude zároveň prováděna analýza rizik na zdravotní stav populace, jejíž výsledky budou promítnuty do novelizace předpisů a směrnic nelegislativní povahy (H neleg).

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).* (15 %) [15]

Hlásná povodňová služba poskytuje informace povodňovým orgánům pro zabezpečení jejich úkolů v průběhu povodní. Povodňové orgány na jednotlivých stupních tyto informace potřebují především pro varování obyvatelstva (úroveň obcí), vyhlášení stupňů povodňové aktivity (většinou na úrovni obcí a ORP), vyhodnocení situace a řízení povodňových opatření (povodňové orgány všech úrovní). Cílem předkládaného příspěvku je prezentace dílčích výsledků výzkumu, který je zaměřen na využití geografických informačních systémů pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy. Schopnost předpovídat výšku hladiny a množství (rychlost) vody protékající korytem vodního toku pro zvolený průtok v určitém časovém úseku je v současné době na velmi vysoké úrovni a kvalita získávaných výsledků se stále zlepšuje s ohledem na používaná vstupní data vstupujících do hydrodynamických modelů. Propojení prognózních hlásných profilů na datové sklady mapových výstupů z hydrodynamických modelů, které vyjadřují rozsahy záplavových území pro volené průtoky, poskytuje adekvátní představu o působení povodně v terénu a tím i vymezuje předpokládaný rozsah území, kde hrozí povodňové nebezpečí. Příspěvek si klade za cíl seznámit odbornou veřejnost s přípravou softwarového nástroje sloužícího orgánům krizového řízení/povodňovým orgánům pro lepší organizaci prací během povodňové události.

V průběhu prováděné výzkumu byla pozornost soustředěna na ověření vhodnosti využití dat leteckého laserového skenování pro matematické výpočty v hydrodynamických modelech. Pozornost byla věnována především možnostem (polo)automatického generování nezbytných povinných hran a profilu koryta vodních toků, které tato data a priori neobsahují. [3, 5, 7, 12, 13]

V návaznosti na provedené analýzy a matematické výpočty byly konstruovány metodické návody pro přípravu výpočetní geometrie vodního toku. Metodické postupy byly vytvořeny tak, že kombinují pro finální podobu výpočetní geometrie data z hydrologického měření s daty leteckého laserového skenování. [3, 5, 7, 13]

Jak již bylo uvedeno, jedním z nejdůležitějších podkladů pro hydrodynamické modely jsou vstupní data pro schematizaci koryta vodního toku. Získaná výškopisná data jsou rozhodující i při samotné volbě hydrodynamického modelu pro prováděné simulace. Méně náročnými modely z hlediska výškopisu území jsou jednorozměrné (1D) modely, kterým pro výpočet postačí příčné profily koryta a přilehlé inundace. V případě dvourozměrných (2D) modelů výpočet již vyžaduje detailní DMR, který přesně vystihuje morfologii sledovaného území. Na základě požadavků vstupních dat 1D a 2D modelů se odvíjí i finanční náročnost na pořízení těchto dat. [3, 5, 7, 13]

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. [3, 5, 7, 13]

Uváděný způsob předpokládá využít stanovené průtoky z doby pořizování výškopisných dat metodou LLS při tvorbě modelovaných scénářů, kdy je modelovaná epizoda snížena o naměřenou hodnotu průtoky z doby pořizování dat, čímž je přesně vystižená zbývající část profilu koryta, která není metodou LLS v DMR reflektována. [3, 5, 7, 13]

Druhým testovaný přístup předpokládá využít stanovené průtoky z doby pořizování výškopisných dat metodou LLS při tvorbě již samotné výpočetní geometrie vodního toku, kdy je výpočetní trať připravena pouze z dat LLS dodatečně zahlobena o naměřenou hodnotu průtoky z doby pořizování dat, čímž je zajištěna odpovídající podoba DMR, která není metodou LLS v případě profilace vodního toku (vodní hladiny) zaznamenána. [3, 5, 7, 13]

Ze srovnání simulací, kdy je v první variantě snížena hodnota modelovaného průtoky 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. [3, 5, 7, 13]

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, je nutné hledat další možnosti využití kontinuálních měření průtoků v hydraulickém modelování. [3, 5, 7, 13]

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 bude v procesu automatizace tvorby příčného profilu zcela potlačena. [3, 5, 7, 13]

Srovnání obou variantních scénářů tvorby DMR pro hydrodynamické modely ukázalo, že je možné daný přístup založený na tvorbě DMR z dat LLS v kombinaci se snížením modelovaného průtoků o průtok dosažený v době pořizování dat LLS aplikovat v praxi. V budoucnu je nutné se zaměřit pro dosažení větší shody na definici vstupních podmínek v přechodové zóně pro přesné vystižení rozdělení rychlostí po svislici. [3, 5, 7, 13]

Rovněž byla sledována možnost využití hydrologického měření pro automatickou tvorbu příčného profilu koryta, která umožní vytvořit hydrodynamický model, u kterého budou splněny všechny hydraulické podmínky a získané výstupy budou moci být použity při tvorbě map povodňového nebezpečí a povodňových rizik či dalších rizikových analýz, bez nutnosti zahrnout do modelu další zjednodušení, jako ve sledovaném případě. Zároveň data z LLS poskytnou kvalitní výškopisný popis území nejen pro mapování povodňových rizik na velkých tocích, ale zároveň poslouží i pro stanovení záplavových území malých vodních toků s průtokem vody o malé hloubce, kde již nebude nutná kombinace s geodetickým zaměřením či kombinace dat z LLS s hydrologickými měřeními průtoků. V daném případě totiž dojde k odrazu laserového paprsku od samotného dna koryta, respektive při tvorbě vstupního DMR bude zaznamenaná úroveň břehu oproti dnu představovat tak nízkou hodnotu, že bude pro samotnou modelaci zanedbatelná. [3, 5, 7, 13]

Syntéza dat LLS a hydrologického měření využívá základní charakteristické vlastnosti dat LLS, kdy laserový paprsek není po dopadu na vodní hladinu zpět odražen, nýbrž je vodou pohlcen. Na základě dané skutečnosti dochází při zpracování dat z LLS ke ztrátě informace v místech, kde je souvislá vodní hladina. Tzv. mračno bodů, které je základním produktem LLS tak po transformaci naměřených hodnot do výškového zobrazení nepostihuje celý příčný profil koryta, ale pouze jeho část, kde došlo ještě k odrazu paprsku. Chybějící část koryta, která může s ohledem na svou kapacitu představovat významnou průtočnou plochu, může za povodňových situací převádět významný objem



povodňové vlny je vhodně doplněna na základě znalosti průtoku, který byl v době pořizování dat LLS dosažen. [3, 5, 7, 13]

Provedení technického řešení alternuje dva přístupy zpracování, kdy v prvním z případů probíhá zpracování přímo v prostředí GIS. V druhém z případů je uvažováno s přípravou schematizace geometrie vodního toku ve specializovaném softwaru. V důsledku obdobného způsobu zpracování je uvedeno provedení technického řešení v prostředí GIS, které spočívá v počáteční přípravě dat z vodoměrných stanic s hydrologickým měřením. Z daných stanic je nutné získat data o dosažených průtocích v době pořizování dat LLS, která budou následně použita pro vytvoření skutečného příčného profilu koryta v DMR z dat z LLS. [3, 5, 7, 13]

V druhém kroku technického řešení je již v prostředí GIS (ARCGIS 10) vytvořena pomocí funkcí v extenzi Spatial Analyst a 3D Analyst polygonová vrstva nad vodním tokem, kde nejsou získána data z LLS. Na základě vytvořeného DMR pouze z dat LLS je získán sklon hladiny vodního toku, který slouží jako vstupní parametr do transformační rovnice pro zahloubení koryta – uvažována je Chézyho rovnice (rovnice č. 1) v kombinaci s rovnicí kontinuity (rovnice č. 2). Pro popis zbylého parametru - hloubky vody, o který je DMR z dat LLS nutné zahloubit je možné volit z přednastavených profilů koryta – lichoběžníkový – parabolický – obdelníkový.

$$v = C\sqrt{RI} \quad \text{rovnice č. 1}$$

kde

v ...	průřezová rychlost (m.s <sup>-1</sup> )
C ...	rychlostní součinitel (m.s <sup>-1</sup> )
I ...	podélný sklon hladiny (-)
R ...	hydraulický poloměr (m)

$$Q = vS = CS\sqrt{RI} \quad \text{rovnice č. 2}$$

kde

Q ...	průtok (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
S ...	průtočná plocha (m <sup>2</sup> )

Na základě znalosti dosaženého průtoku v době pořizování dat z LLS, znalosti sklonu hladiny vodního toku (generován z DMR připraveného ze samotných dat LLS), znalosti šířky v hladině koryta (polygonová vrstva, vygenerovaná na základě nezaznamenaných dat při LLS – paprsek pohlcený vodní hladinou) a znalosti průtoku je při zvoleném přednastaveném tvaru příčného profilu dopočtena hloubka a následně je koryto v DMR z dat LLS příslušně zahloubeno a je vytvořena syntetická mapa, která je zcela korektní jak v samotných příčných profilech vodního toku, tak v meziprofilových oblastech. [3, 5, 7, 13]

Při řešení tvaru příčného profilu z Chézyho rovnice a rovnice kontinuity se vychází z vygenerované šířky v hladině B, podélného sklonu hladiny I a z průtoku Q získaného z hydrologického měření na vodním toku. Tyto tři hodnoty jsou pro tvorbu příčných profilů určující. Další charakteristika, která je uživatelem volitelná (na základě terénního průzkumu odvozená), je drsnostní součinitel  $n$  dle Manninga. Kvantifikace nejistot při volbě Manningova drsnostního součinitele a jeho vlivu na spolehlivost určení koryta byla předmětem zpracování citlivostní analýzy. Stanovení parametru  $m$  určující sklon svahů profilu (u lichoběžníkového profilu) vychází z průběhu zaznamenaného profilu v bezprostřední blízkosti hladiny vody. Metodou LLS je zaznamenána část příčného profilu koryta vodního toku, tato část následně slouží jako podklad pro určení parametru  $m$ . [3, 5, 7, 13]

Řešení obsahuje tvorbu varianty lichoběžníkového, parabolického a obdélníkového tvaru příčného profilu. Všechny varianty mají stejný postup řešení, který spočívá v postupném navyšování hloubky vody  $y$  a následném výpočtu průtoku  $Q$  pro každou zvolenou hloubku vody  $y$  až do té doby dokud není dosaženo požadovaného průtoku  $Q$ . V okamžiku dosažení shody se generují souřadnice příčného profilu pro následné doplnění polygonové vrstvy v místě, kde byl při LLS paprsek pohlcen hladinou. [3, 5, 7, 13]

Navazující pozornost byla věnována s ohledem na konstrukci hydrodynamických modelů možností zvýšení bezpečnosti občanů s využitím nejnovějších technologií a poznatků v oboru geografických informačních systémů a environmentálního modelování. Jedná se především o zkvalitnění identifikace, prevence a ochrany proti hrozbám ohrožujícím bezpečnost kritických infrastruktur obyvatelstva, včetně zmírnění jejich důsledků. Prioritou je ochrana obyvatelstva, bezpečnost měst a obcí v případě živelných pohrom a provozních havárií, zejména zajištění funkčnosti objektů při kritických stavech a zajištění základních funkcí obcí, včetně dobré informovanosti obyvatelstva. V příspěvku jsou prezentovány dosažené výsledky pro podporu rozhodování krizových manažerů, výměny zkušeností a informací v rámci krizového řízení. [1, 6, 10, 15]

Výzkum byl zaměřen na vývoj geodatabáze - evidenčního systému pro správu majetku a osob ohrožených živelnými pohromami, provozními haváriemi či teroristickými útoky. Datový sklad, který evidenční systém nabízí, je konstruován tak, aby bylo možné napojení na systém včasného varování občanů, včetně grafického zobrazení ohrožených nemovitostí prostřednictvím propojení na geografické informační systémy. Snahou je zavést do praxe novou technologii pro identifikaci a evidenci osob a zvýšit tak bezpečnost občanů v případě hrozeb ohrožujících jejich bezpečnost prostřednictvím včasného varování - tj. preventivní ochrany. Cílem je definovat nástroje pro podporu integrované činnosti bezpečnostních a záchranných složek státu, včetně zvýšení osvěty a komunikace mezi státní správou, samosprávou a veřejností. Hlavním cílem však zůstává snaha eliminovat dopady přírodních či antropogenních rizik na lidské zdraví a majetek občanů. [1, 6, 10, 15]

Cílem není zajištění ochrany pouze samotného obyvatelstva v případě živelních pohrom a provozních havárií, ale docílit bezpečnost pro celá města a obce, zejména ve vztahu k zajištění funkčnosti objektů při kritických stavech a funkčnosti stěžejních infrastruktur (vodovodní řady, elektrická síť, teplovody, atd.). Snahou je tak vytvoření a zkvalitnění podmínek pro podporu sdílení informací v oblasti bezpečnosti, zejména v oblasti identifikace ohrožených osob, nemovitostí i infrastruktury. Dílčím cílem je rovněž vytvoření jednotné geoinformační platformy, která bude napojená na vzniklou databázi ohrožených osob a nemovitostí, sloužící pro rozhodovací činnost bezpečnostních a záchranných složek státu. [1, 6, 10, 15]

Hlavním snahou je pomoc orgánům krizového řízení ke zvládnutí situací, kdy jsou ohroženy obce a města, jejich obyvatelé či jejich majetek živelnými pohromami či provozními haváriemi. Jde tedy o zvýšení bezpečnosti obyvatelstva a jeho ochrany lepší informovaností v případě mimořádných (příp. i krizových) situacích. Jak ukazují zkušenosti z různých mimořádných událostí u nás i ve světě v minulosti, poměrně často nastává situace, že zvláště odlehlé obce v oblastech s řídkým osídlením vzdálené od větších sídel (např. obce v horských oblastech a v pohraničí) s obtížnější dopravní dostupností mohou být z různých důvodů i poměrně dlouho odříznuté od možnosti vnější pomoci. Orgány místního krizového řízení se tak budou muset spolehnout na vlastní síly a možnosti preventivních opatření. Výsledky projektu výrazně zlepší současnou situaci, kdy v dnešních plánech (například povodňové plány obcí, ORP, krajů) nejsou k dispozici kontakty na osoby ohrožené či osoby v ohrožených nemovitostech, popřípadě jejich vlastníky a chybí tak zpětná vazba o přijetí krizového hlášení. [1, 6, 10, 15]

Z minulých období (např. řešení problematiky povodní, sesuvů, průmyslových havárií, aj.) a ze světa (živelné katastrofy, válečné konflikty, humanitární krize, aj.) je známo, že ve skutečně vážné situaci trvá státu a jeho příslušným složkám dlouhou dobu informovat zasažené oblasti a to především podle závažnosti mimořádné události a úrovně fungování státních složek. Pro zvýšení bezpečnosti osob a ochrany majetku je tudíž nutné vytvořit podklady pro legislativní úpravy při řešení krizových situací v souvislosti s identifikací osob, jejich včasným varováním a zajištěním zpětné vazby o vyrozumění ohrožených osob například prostřednictvím propojení s geografickým prostředím. Události z posledních let indikují, že zvýšení informovanosti občanů v procesu krizového řízení je správná cesta pro zajištění vyšší bezpečnosti občanů ČR. [1, 6, 10, 15]

Pro komplexní pojetí řešené problematiky byly v průběhu řešení posuzovány i konkrétní návrhy opatření, jejichž účinnost byla posuzována v hydrodynamických modelech. Při projektování přehrad či jiných technických opatření je nutno brát na zřetel, že hlavním problémem Čech je nedostatek vody, respektive časová rozkolísanost v plošné distribuci srážek (extrémy povodně / sucho). Proto je při jejich návrzích počítáno i s požadavkem na zadržení části povodňového objemu vody pro období sucha, které má v této oblasti víceletý cyklus. Velmi významným povodňovým opatřením je

prodloužení doby prognózy objemu srážek a povodňových průtoků s využitím nejmodernějších matematických programů a následné matematické modelování rozlivů, hloubky a rychlosti vody na tocích při konkrétní povodni. Výsledky matematického modelování, zakreslené do ortofotomap a digitalizovaných katastrálních map, jsou vynikajícím podkladem pro včasnou protipovodňovou operativní činnost v inundačním území před příchodem kulminací povodní. [9]

U některých objektů, v minulosti nevhodně postavených v zátopovém území řeky, lze v odůvodněných a ekonomicky přijatelných případech provádět jejich ochranu výstavbou ochranných hrází s utěsněním podloží, eventuálně čerpáním podzemní vody. Výstavbu povodňových hrází je však nutno realizovat uvážlivě, pokud možno v průtokově neaktivní zóně, v co nejmenším objemu chráněného území, po podrobném výzkumu ovlivnění hladin v řece nad a pod touto stavbou a ovlivnění spodních vod mimo povodňové stavy. Protipovodňové hráže zajišťují ochranu před povodní pouze do projektové velikosti průtoků. Při jeho překročení se chráněné území zatopí. Tyto pouze lokálně účinné protipovodňové stavby jsou většinou velmi nákladné, a to zejména vlivem potřeby utěsnění podloží. Řešení je často komplikováno komunikacemi, kanalizací, inženýrskými sítěmi a místními potoky. Protipovodňové hráže se sice kombinují s krátkodobě používanými mobilními stěnami, přesto se často jedná o významný zásah do vzhledu krajiny a pozemků. [9]

Pro potvrzení uvažovaných hypotéz o vlivu trasování vodního toku na transformaci povodňových průtoků a vlivu krajinného pokryvu na retenci v ploše povodí byly v prostředí hydrodynamického modelu simulovány tři scénáře. První scénář byl připraven na podkladě reálného stavu v povodí a sloužil jako referenční. Druhý ze scénářů používal shodná hydrologická data jako v prvním případě, ovšem bylo využito upraveného DMT (obr. 10). Třetí ze scénářů vycházel kromě upraveného DMT také z výsledku dosažených při srážko-odtokových simulacích při změně krajinného pokryvu. Poslední se scénářů tak vyhodnocoval celý systém navržených opatření a to jak v ploše povodí, tak opatření navržená v nivě vodního toku. [9]

Výsledky získané z hydrodynamického modelu prokazatelně ukazují na oprávněnost uvažovaných hypotéz. Přestože není vliv zatravnění při simulaci srážkové události tak markantní, jako dokládají ostatní autoři jako např. UNUCKA & ADAMEC (2008), kteří při studiu vlivu krajinného pokryvu v povodí Olše dosahovali při 100 % zalesnění povodí výsledku, který odpovídal až 56 % transformaci srážkové epizody, je doložený transformační potenciál zatravnění pozitivní. Nižší transformační schopnost zatravnění může být dána především morfologií povodí Litavky (obr.11), pro kterou je charakteristická uváděná rychlá reakce na srážkovou událost a v důsledku toho je možné, že retenční respektive infiltrační potenciál povodí je méně výrazný. [9]

V případě posouzení PPO na samotném vodním toku bylo docíleno závěrů, že kromě transformačních možností inundace dojde k výraznému posunu kulminace, což poskytuje potřebný

časový prostor pro případné evakuace ohrožených osob a zabezpečovací práce v rámci krizového řízení. [9]

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. [9]

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. [9]

Problematika řešená v rámci předkládaného příspěvku 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. [9]

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. [9]

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. [9]

Bezespору 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). [2, 4, 8, 9]

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. [9]

## 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 předpovědí 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 ať 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 naleznou 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.

## VIII. Shrnutí

Syntéza dat hydrologického měření s daty LLS podle popsaného technického řešení je charakterizována tím, že nahrazuje tvar přirozeného příčného profilu koryta a přilehlé inundace v celé délce řešeného úseku vodního toku. V současnosti lze provést nahrazení pomocí jednoho ze tří výše uvedených profilů. V dalším výzkumu se předpokládá rozšíření volených profilů o další tvary, které se postupně budou přibližovat přirozenému stavu.

Důležité jsou především získané výsledky srovnání s dodatečně geodeticky zaměřenými příčnými profily, kde je dosahována velice příznivá shoda, oproti variantě, kdy je profil koryta editován standardním postupem prostřednictvím zpracovatele. Toto jen potvrzuje hypotézu o nemožnosti přesně vystihnout meziprofilovou oblast koryta, vymezenou dvěma geodeticky zaměřenými příčnými profily, kdy dochází při zakreslování břehových hran a morfologické členitosti koryta ke zkapacitnění či naopak zmenšení kapacity profilu koryta v důsledku subjektivity zpracovatele.

Získané výsledky mají také pozitivní dopad na snížení ekonomické náročnosti, která je bezesporu spojená s pořízením výškopisu prostřednictvím geodetického zaměření pro sestavení hydrodynamického modelu. V důsledku možnosti částečného nahrazení finančně náročného geodetického zaměření syntézou dat LLS s daty z hydrologického při tvorbě hydrodynamického modelu dojde k omezení nutnosti provádět geodetické zaměření, což se promítne i do nákladů na sestavení hydrodynamického modelu.

V průběhu zpracování byla řešena rovněž otázka malých drobných vodních toků, zda je třeba provádět zahlubování či nikoliv. Odpověď nabízí využití dat LLS, které poskytují kvalitní výškopisný popis území nejen pro mapování povodňových rizik na velkých tocích, ale zároveň poslouží i pro stanovení záplavových území malých vodních toků s průtokem vody o malé hloubce, kde již nebude nutná kombinace s geodetickým zaměřením či kombinovat data z LLS s hydrologickými měřeními průtoků. V daném případě totiž dojde k odrazu laserového paprsku od samotného dna koryta, respektive při tvorbě vstupního DMR bude zaznamenaná úroveň břehu oproti dnu představovat tak nízkou hodnotu, že bude pro samotnou modelaci zanedbatelná (Novák P. a kol., 2011). Další otázkou však stále zůstává, jak vhodně provést selekci a zahrnout vodní tok do kategorie, kdy je nutné provést zahloubení či do kategorie, kdy stačí využít samotných dat LLS.

Data z LLS nabízejí ojedinělý výškopisný podklad v podmínkách ČR (Roub a kol., 2011), ve kterém je možné reflektovat lokální hloubkové deprese v podobě doprovodných příkopů podél komunikací či z hlediska potenciální protipovodňové ochrany intravilánu vtokové oblasti v podobě silničních křižení. Generovaný rastr hloubek svou zvolenou velikostí mřížky 30 cm velmi dobře vystihuje specifika v morfologii terénu sledované oblasti, čímž poskytuje nadstandardní představu o

rozsahu zaplavovaných území dle vybraného povodňového scénáře. Všechny tyto skutečnosti jsou pozitivním přínosem ve vazbě na analýzu a mapování povodňových rizik, jako stěžejního podkladu pro preventivní ochranu před povodněmi

Limitujícím prvkem se však v průběhu výpočtu ukázala objemová kapacita dat dosahující řádu několika GB (dle vrstvy reklasifikace), což se negativně promítlo především do přípravy dat. V případě zpracování rizikových analýz pro komplexní říční systémy s předpokládanými objemy dat v řádu stovek GB bude této skutečnosti nutné přizpůsobit technické a výpočetní kapacity. Nabízí se také úvaha, jak vhodně redukovat použitý TIN, aby nedošlo ke snížení objemu dat na úkor zaznamenaného detailu morfologie terénu a tím i ke snížení přesnosti a jistoty povodňových modelů.

Monitorovací síť kvantitativního hydrologického monitoringu poskytuje s ohledem na lokalizaci jednotlivých vodoměrných stanic především na významné vodní toky vhodný potenciál pro samotné využití při konečné tvorbě DMR. Komplexnost využití hydrologických dat ovšem i v daném případě naráží na pokrytí vodních toků, které již nedisponují hydrologickým měřením a přitom se nachází na rozmezí klasifikace vodních toků, pro které je nutné daný vodní tok zahlubovat či nikoliv.

Uvedený postup bude rovněž v procesu jeho zobecnění vyžadovat kvantifikaci nejistot vstupních veličin s ohledem na doložení jejich vlivu na nejistotu odvozené hloubky koryta. Jedná se především o nejistoty v podobě určení sklonu hladiny, šířky koryta v hladině, tvaru koryta, dosaženého průtoku v době laserového skenování a určení drsnosti koryta. Pro kvantifikaci nejistot jednotlivých vstupních veličin a jejich vliv na spolehlivost určení hledané hloubky koryta bylo provedeno dílčí zpracování citlivostní analýzy. Výsledky dosažené ze zpracovaných citlivostních analýz pro uvedené vstupní veličiny vypovídají, že uváděná metoda je dosti subtilní pro aplikaci při povodňových scénářích. Zpracování detailní citlivostní analýzy pro všechny vstupní veličiny bude předmětem dalšího řešení. V daném případě bylo pro verifikaci modelu využito samotných geodetických údajů.



## IX. English Summary

Data synthesis hydrological data LLS measurement according to the described invention is characterized in that it replaces the natural shape of the transversal profile of the trough and adjacent the entire length of inundation solved stretches of water. At present, the replacement can be performed using one of the above three profiles. Other research expects to expand the elected profiles of other shapes that will gradually approach the natural state.

Important are primarily the results obtained compared with the post-geodesic oriented cross sections, which is achieved very favorable results, compared to the scenario in which the profile of the channel edited the standard procedure through the processor. This only confirms the hypothesis of the impossibility of accurately capture meziprofilovou area trough defined by two geodesic oriented transverse profiles, which occurs when plotting riparian edges and morphological complexity of the channel to a capacity increase or, conversely, reduce the capacity of the channel profile as a result of subjectivity processors.

The results also have a positive impact on economic demands, which is undoubtedly associated with the acquisition of elevation through a geodetic survey to build a hydrodynamic model. Due to the possibility of partial replacement of financially demanding geodetic survey synthesis ALS data with data from hydrological when creating hydrodynamic model will reduce the need to carry out geodetic survey, which will be reflected in the cost to build a hydrodynamic model.

During processing it was addressed also the issue of small small watercourses, whether it is necessary to perform boring or not. The answer offers use of ALS data that provide quality altimetry description of the area, not only for mapping flood risk on large rivers but also serve to determine the floodplains, small streams of water flow on small depth, which will no longer be needed in combination with geodesic focus or combine data LLS from the hydrological flow measurement. In this case, because there is a reflection of the laser beam from the very bottom of the channel, respectively, when creating the input DMR will be recorded level of the banks against the bottom represent such a low value that it is negligible for the actual modeling (Novak et al., 2011). Another question still remains, how to properly perform selection and include water flow into the category where it is necessary to recess or to a category, you just have to use their own data LLS.

Data from LLS offers a unique altitudinal base in the Czech Republic (Roub et al., 2011), in which it is possible to reflect local deep depression in the form of accompanying ditches along the roads or in terms of potential urban flood control gate region in the form of road crossings. Generated grid depths of your chosen grid size 30 cm very well describes the specifics of the terrain morphology observed area, providing superior idea of the extent of flooded areas according to the selected flood

scenarios. All these facts are a positive contribution in relation to the analysis and flood risk mapping as a pivotal base for preventive flood protection

Limiting factor, however, during the calculation showed volumetric data capacity reaching of several GB (depending on layer reclassification), which had a negative impact primarily in data preparation. In the case of risk assessments for complex river systems with projected volumes of data to hundreds of GB will be necessary to adapt to this reality and technical computing capacity. There is also the consideration to appropriately reduce TIN used to avoid a reduction in the volume of data recorded at the expense of detail terrain morphology and thus reducing the accuracy and security of flood models.

Quantitative hydrological monitoring network monitoring provides with regard to the location of the individual gauging stations primarily on major rivers suitable potential for actual use in the final drafting DMR. Complexity use hydrological data but also in the event of an impact on the coverage of watercourses, which no longer have hydrological measurements while located on range classification of watercourses, for which it is necessary that the water flow counterbore or not.

This procedure is also in the process of generalization require quantification of uncertainties of input variables with respect to substantiate their influence on the uncertainty derived depth of the trough. This is essentially a determination of uncertainty in the form of gradient levels, the width of the channel at a level trough shape, flow rate achieved at the time of laser scanning and determining the surface roughness of the channel. To quantify the uncertainties of input variables and their impact on the reliability of the determination of the depth of the channel search was carried out partial processing of the sensitivity analysis. Results obtained from processed sensitivity analyzes for these input variables reveal that the stated method is rather subtle for application in flood scenarios. Processing of the detailed sensitivity analysis for all input variables will be the subject of further solutions. In this case it was used for the verification of the model itself geodetic data.

**X. Seznam použitých zkratk**

ČR	Česká <b>R</b> epublika
ČHMÚ	Český <b>H</b> ydrometeorologický <b>Ú</b> stav
ČUZK	Český <b>Ú</b> řad <b>Z</b> eměměřičský <b>K</b> atastrální
ČVUT	České <b>V</b> ysoké <b>U</b> čení <b>T</b> echnické v Praze
ČZU	Česká <b>Z</b> emědělská <b>U</b> niverzita v Praze
DMT / DMR	<b>D</b> igitální <b>M</b> odel <b>T</b> erénu / <b>D</b> igitální <b>M</b> odel <b>R</b> eliéfu
GIS	<b>G</b> eografické <b>I</b> nformační <b>S</b> ystémy
LLS	<b>L</b> etecké <b>L</b> aserové <b>S</b> kenování
LU/LC	<b>L</b> and <b>C</b> over/ <b>L</b> and <b>U</b> se
PPO	<b>P</b> rotipovodňové <b>O</b> patření
SWAT	<b>S</b> oil and <b>W</b> ater <b>A</b> ssessment <b>T</b> ool
TIN	<b>T</b> riangulated <b>I</b> rregular <b>N</b> etwork
ZPF	<b>Z</b> emědělský <b>P</b> ůdní <b>F</b> ond

## XI. Literatura

- 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 fl oodplain delineation at highway river crossings. MS, University of Texas at Austin, <http://www.crwr.utexas.edu/online.shtml>
- ANDRYSIK, 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 PpF 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., ZEZULÁK, 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): Dokumentacion 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 systému protipovodňové 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 přívalových 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>
- POBĚDINSKI, 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 zvládnání 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.

- UNUČKA, J. (2006): Hydrologické a vodohospodářské aspekty revitalizace Bečvy. Disertační práce. PřF OU Ostrava, 178 s.
- UNUČKA, 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
- UNUČKA, J., ADAMEC, M. (2008): Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážkoodtokové vztahy v povodí Olše, Journal of Hydrol. Hydromech., 56, 2008, 4, 257–271
- UNUČKA J., HORÁK J., RAPANTOVÁ N. (2005): Možnosti propojení GIS s hydrologickými a hydrogeologickými modely. In Sborník konference Hydrologické dny 2005. Bratislava, Slovensko, 21-23.9.2005. s. 198- 210, 13 stran, ISBN 80-88907-53-5
- UNUČKA, 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 Strelva Basin in the 20th century. Part 1. Water streams. Geografija, Vol. 44, No. 1, p. 26–30.

## XII. Přílohy: Soubor publikací k disertaci

(ostatní výsledky na přiloženém CD)

### 1

**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. (75 %)

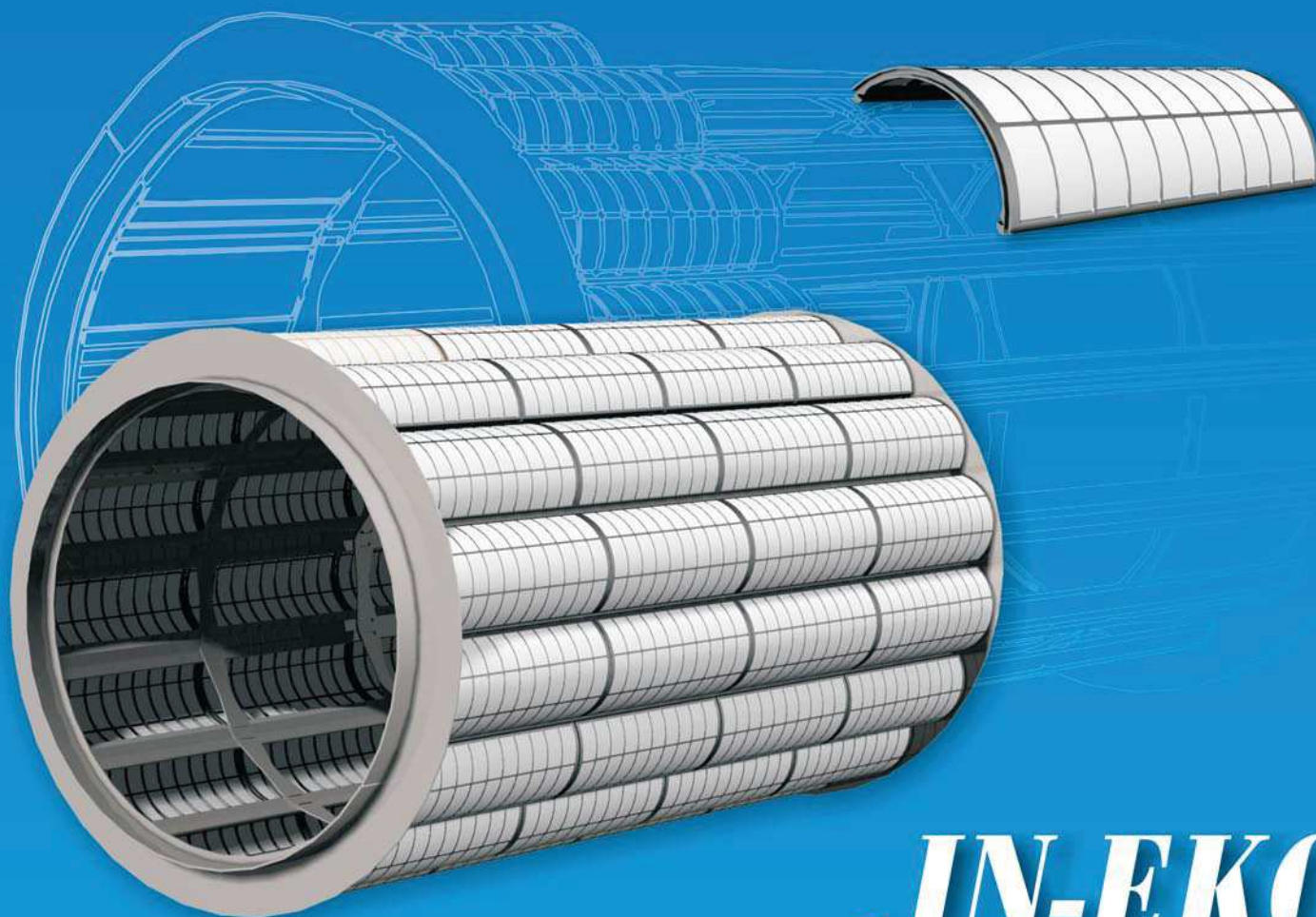




# vodní hospodářství®

www.vodnihospodarstvi.cz

10/2010



## IN-EKO TEAM

### Nová koncepce mikrosítových bubnových filtrů

IN - EKO TEAM s.r.o.

Trnec 1734, Tišnov 666 03, Czech Republic, e-mail: [trade@in-eko.cz](mailto:trade@in-eko.cz)  
tel.: +420 549 415 234, +420 549 415 589, fax: +420 549 412 383  
[www.in-eko.cz](http://www.in-eko.cz)

ISO 9001

BUREAU VERITAS  
Certification



**Vyhraje průvodce Přehrady Čech, Moravy a Slezska – str. 289**  
**Oslovte své zákazníky pomocí nástěnného kalendáře – str. 297**  
**Navštivte konferenci Mokřady 2011 – str. 288**

**PŘÍLOHA**  
**•VTEI•**

# vodní 10/2010 hospodářství®

## OBSAH

■ Informační systém ve vodním hospodářství pro ORP Hradec Králové (Michek, R.; Finfrlová, P.; Šedivá, I.).....	263
■ Studie odtokových poměrů na území Statutárního města Hradec Králové a přilehlých spádových oblastí (Suchánek, M.; Vítek, J.; Finfrlová, P.).....	267
■ V krátké době již podruhé intenzifikovaná ČOV Hradec Králové zahájila zkušební provoz (Loskot, P.; Král, P.).....	271
■ Wertach vital: Protipovodňová a revitalizační úprava řeky Wertach u Augsburgu (Just, T.).....	274
■ Rekonstrukce ČOV Trnava (Bodík, I.; Antalová, S.; Kucman, K.).....	279
■ Propojení digitálního povodňového plánu města Berouna s automatickým vyrozumívacím systémem (Hejduk, T.; Marek, J.; Stančíková, P.).....	283
■ Posouzení stokových systémů urbanizovaných povodí. Část V – Řešení funkčnosti ČOV a ovlivnění recipientu (Stránský, D.; Havlík, V.; Kabelková, I.; Metelka, T.; Sýkora, P.; Dolejš, M.; Haloun, R.; Mucha A.; Pryl, K.).....	290
Různé	
■ Náзор České společnosti krajinných inženýrů na integraci Zemědělské vodohospodářské správy do státních podniků	
■ Povodí a státního podniku Lesy ČR.....	287
■ Pozvánka na konferenci Mokřady 2011.....	288
■ Recenze: Přehrady Čech, Moravy a Slezska – průvodce (Jan Stránský).....	289
■ Představte se s pomocí nástěnného kalendáře 2011.....	297
Firemní prezentace	
■ Siemens s.r.o. ....	266
■ IN-EKO TEAM s.r.o. ....	278
■ Schneider Electric CZ, s.r.o. ....	292
■ Grundfos s.r.o. ....	293
■ SCADA Servis s.r.o. ....	295

## VTEI

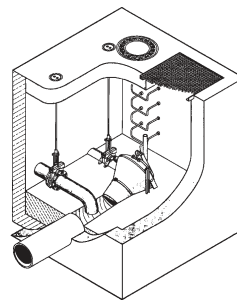
■ Vodoprávní problematika rybníků – I (Kladivová, V.; Kult, A.).....	1
■ Modelování jakosti v řece Lučině (Luzar, T.).....	6
■ Vliv vsakování předčištěných odpadních vod na povrchové vody (Eckhardt, P.; Poláková, K.).....	9
■ Retenční schopnosti malého horského povodí při extrémních srážkoodtokových událostech (Pavlásek, J.).....	12
■ Vliv vybraných induktorů na aktivaci jaterních enzymů pstruha duhového (Badurová, J.; Soldán, P.).....	14
■ Vybrané hydropedologické charakteristiky podzolů v centrální oblasti NP Šumava (Jačka, L.; Pavlásek, J.).....	17
■ Magdeburský seminář o ochraně vod 2010.....	19
■ Zasedání Rady GWP – střední a východní Evropa.....	20

## CONTENTS

■ Information system of water management under Hradec Králové municipality (Michek, R.; Finfrlová, P.; Šedivá, I.).....	263
■ Drainage area study of the city of Hradec Králové (Suchánek, M.; Vítek, J.; Finfrlová, P.).....	267
■ Waste Water Treatment Plant Hradec Králové put into test operation for the second time recently (Loskot, P.; Král, P.).....	271
■ Vital Wertach: Flood and Revitalization Treatment of Wertach River at Augsburg (Just, T.).....	274
■ Reconstruction of WWTP Trnava (Bodík, I.; Antalová, S.; Kucman, K.).....	279
■ Linking digital flood plan for the city of Beroun with automatic notification system (Hejduk, T.; Marek, J.; Stančíková, P.).....	283
■ Assessment of sewer systems in urbanized catchments. Part V – WWTP functionality and receiving waters impacts (Stránský, D.; Havlík, V.; Kabelková, I.; Metelka, T.; Sýkora, P.; Dolejš, M.; Haloun, R.; Mucha A.; Pryl, K.).....	290
■ Miscellaneous.....	287, 288, 289, 297
■ Company section.....	266, 278, 292, 293, 295

## Scientific-Technical and Economic in the Field of Water Management

■ Water rights issues of fishponds – I (Kladivová, V.; Kult, A.).....	1
■ Water Quality Modelling in the Lučina River (Luzar, T.).....	6
■ Influence of pre-treated waste water infiltration on surface water (Eckhardt, P.; Poláková, K.).....	9
■ Retention capacity of small mountain catchment during extreme rainfall-runoff events (Pavlásek, J.).....	12
■ Impact of selected inducitors on rainbow trout liver enzymes activation (Badurová, J.; Soldán, P.).....	14
■ Chosen hydropedological characteristics of podzols in the central area of the Šumava National Park (Jačka, L.; Pavlásek, J.).....	17
■ Miscellaneous.....	19, 20



Virový ventil v suché šachtě  
FluidCon

**PFT**  
Prostředí  
a fluidní technika, s.r.o.

Nad Bezednou 201, 252 61 Dobrovíz  
telefon: 233 311 302, 233 311 389  
fax: 233 311 290

www.pft-uft.cz  
e-mail: pft@pft-uft.cz

**Dodavatel vyzbrojení  
kanalizačních objektů**

- regulace odtoku z odleh. komor
- čištění dešťových zdrží
- protipovodňová ochrana
- pneumatická doprava splašků

## TECHNOAQUA

Výhradní zastoupení firmy Teledyne Isco

- automatické vzorkovače
- průtokoměry
- monitorovací stanice

**TECHNOAQUA, s. r. o.**  
U Parku 513, 252 41 Dolní Břežany  
tel.: 244 460 474, fax: 271 767 155  
e-mail: mail@technoaqua.cz  
www.technoaqua.cz



**ÚNS – Laboratorní služby, s.r.o.**  
Vítězná 425, 284 03 Kutná Hora  
Tel.: 327 511 871, Mobil: 603 826 563  
Fax: 327 511 872, E-mail: lab@unskh.cz

ANALYTICKÁ LABORATOŘ Č. 1066 AKREDITOVANÁ ČESKÝM INSTITUTEM PRO AKREDITACI, o.p.s.

- \* ANALÝZY ODPADŮ, PEVNÝCH MATERIÁLŮ A VŠECH DRUHŮ VOD
  - \* ODBĚRY VZORKŮ
  - \* ODBORNÉ POSUDKY
- \* RYCHLÉ JEDNÁNÍ – NÍZKÉ CENY

POMÁHÁME CHRÁNIT ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A ZDRAVÍ LIDÍ.

www.unskh.cz

## AQUATEAM spol. s r. o.

Nabízíme přístroje pro sledování kvality pitných technologických, odpadních vod, on-line analyzátoři pro měření TOC, CHSK, celkový dusík a celkový fosfor.



tel./fax: 461 725 306, 461 721 929, www.AQUATEAM.cz,  
e-mail: AQUATEAM@AQUATEAM.cz

of WWTP was completely reconstructed during years 2006–2008. Result of reconstruction is a state-of-the-art technology for nitrogen and phosphorus removal. The history of WWTP Trnava, the development and results from reconstruction, start-up and test operation are also presented in the contribution.

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 31. prosince 2010. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky pošlete na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

# Propojení digitálního povodňového plánu města Beroun s automatickým vyrozumívacím systémem

Tomáš Hejduk, Jan Marek, Petra Stančíková

## Klíčová slova

povodňový plán vlastníka nemovitosti – povodeň – dPP – automatický vyrozumívací systém

## Souhrn

Příspěvek seznamuje s propojením digitálního povodňového plánu města Beroun s automatickým vyrozumívacím systémem. Toto propojení vytváří účinný nástroj v oblasti prevence před povodněmi a pro zmírňování dopadů povodně. Základem Povodňového plánu města Beroun jsou Povodňové plány vlastníků nemovitostí. Město Beroun zakoupilo v roce 2004 automatický vyrozumívací systém pro vyrozumívání při povodňových situacích. V roce 2005 byla pro datovou správu ohrožených nemovitostí městem Beroun pořízena databázová aplikace AKIS, ve které jsou veškeré údaje poskytnuté zpracovatelem podkladů přehledně spravovány. Celá aplikace AKIS je koncipována tak, aby byla v plné součinnosti s automatickým vyrozumívacím systémem. Popsán je vývoj tvorby databáze AKIS a její naplňování. Je uvedeno využití propojení aplikace AKIS s mapovou nadstavbou, která poskytuje vizuální představu o úspěšnosti varování před povodněmi.

## Úvod

Problematika povodní se stává stále aktuálnější 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. Z pohledu ochrany životů a zmírnění škod na majetku občanů zaujímají výsadní postavení opatření preventivní, mezi která spadají činnosti, jako jsou povodňové prohlídky, příprava předpovědní a hlásné povodňové služby, organizační a technická příprava povodňové ochrany, ale především zpracování povodňových plánů.

## Význam zpracování povodňových plánů a jejich zakotvení v legislativě

Povodňové plány představují základní dokumenty, které obsahují údaje potřebné pro zajištění ochrany před povodněmi konkrétního územního celku, obce či objektu, pro které jsou zpracovány. V povodňových plánech jsou uvedeny jmenné seznamy, adresy a způsob nových účastníků ochrany před povodněmi, úkoly pro jednotlivé účastníky ochrany před povodněmi včetně organizace hlásné a hlídkové služby. Obsahují také zpravidla mapy nebo plány, na kterých jsou zakresleny zejména záplavová území, evakuační trasy a místa soustředění, hlásné profily a informační místa. Obsah povodňových plánů se tak dělí na část věcnou, část organizační a část grafickou.

Dle územních celků se povodňové plány dělí na:

- a) povodňové plány obcí, které zpracovávají orgány obcí, v jejichž územních obvodech může dojít k povodni,
- b) povodňové plány správních obvodů obcí s rozšířenou působností, které zpracovávají obce s rozšířenou působností,

c) povodňové plány správních obvodů krajů, které zpracovávají příslušné orgány krajů v přenesené působnosti ve spolupráci se správci povodí,

d) Povodňový plán České republiky, který zpracovává Ministerstvo životního prostředí.

Pro nemovitosti ohrožené povodněmi, které se nacházejí v záplavovém území nebo zhoršují průběh povodně, zpracovávají povodňové plány jejich vlastníci, popřípadě uživatelé. Rozsah území ohroženého povodně je stanoven v povodňovém plánu. U povodňových plánů územních celků zpracovatelé každoročně prověřují jejich aktuálnost zpravidla před obdobím jarního tání a toto prověření dokladují. U ostatních povodňových plánů zpracovatelé prověřují jejich aktuálnost při podstatné změně podmínek. Pokud z přezkoumání vyplyne potřeba úpravy nebo doplnění povodňového plánu, učiní tak zpracovatelé neprodleně.

Věcnou a grafickou část povodňového plánu územních celků a jeho změny zpracovatelé předkládají nadřízenému povodňovému orgánu k potvrzení souladu s povodňovým plánem povodňového orgánu vyššího stupně. U povodňových plánů pozemků a staveb potvrzuje soulad povodňový orgán obce. Potvrzením souladu se stává věcná a grafická část povodňového plánu závaznou. Organizační část povodňového plánu zpracovatelé průběžně aktualizují a poskytují ji k využití povodňovým orgánům a ostatním účastníkům ochrany před povodněmi.

## Ochrana obyvatelstva před povodněmi v Berouně

Základem nově zpracovaného Povodňového plánu města Beroun se staly Povodňové plány vlastníků nemovitostí, jejichž nemovitosti leží v oblasti ohrožené povodně. Oblast ohrožení byla vymezena podle největší známé povodně z roku 1872 a nachází se v ní cca 1 550 ohrožených objektů. Pro splnění zákonné povinnosti zpracovat povodňový plán nabízí město Beroun vlastníkům ohrožených nemovitostí pomoc tím, že jim poskytuje jednotný formulář s názvem Podklady pro zpracování povodňového plánu vlastníka nemovitosti, které obsahují všechny podstatné náležitosti povodňového plánu. Od roku 2001 až doposud odevzdali na Městský úřad Beroun vlastníci a uživatelé nemovitostí ležících v oblasti ohrožené povodně na 555 vyplněných formulářů v Podklady pro zpracování povodňového plánu vlastníka nemovitosti. Následně po vyhodnocení možnosti zabezpečení případně věcné či osobní pomoci a zhodnocení požadavků na evakuaci bude potvrzen soulad dodaných podkladů s Povodňovým plánem města Beroun. Potvrzením souladu se z podkladů stane dokument – Povodňový plán vlastníka nemovitosti, který bude závazný. Tento plán bude vytištěn, opatřen razítkem o potvrzení souladu a vlastníků následně doručen.

V roce 2005 byla pro datovou správu ohrožených nemovitostí městem Beroun pořízena databázová aplikace AKIS, ve které jsou veškeré údaje poskytnuté zpracovatelem podkladů přehledně spravovány. Tato aplikace umožňuje rovněž propojení s geografickým informačním systémem (GIS). Pomocí propojení s GIS dochází k napojení jednotlivých ohrožených nemovitostí na mapové podklady Digitálního povodňového plánu (dále dPP) města Beroun, což poskytuje důležitou geografickou informaci o umístění konkrétních nemovitostí v záplavovém území. Od data pořízení až po současnost probíhá odlaďování a zdokonalování funkčnosti aplikace AKIS. V návaznosti na získané zkušenosti z odzkoušování a potřeby ze strany Městského úřadu Beroun vznikla současná podoba aplikace AKIS. Celá aplikace AKIS je koncipována tak, aby byla v plné součinnosti s automatickým vyrozumívacím systémem (AVS), který byl pořízen v roce 2004.

## Aplikace AKIS

Aplikace AKIS představuje součást dPP města Beroun. Zatímco dPP města plní celou řadu funkcí a poskytuje informace mnoha uživatelům při povodních i mimo ně, jeho součástí v podobě aplikace AKIS je určena výhradně pro práci povodňové komise. Shromážděné a aktualizované údaje o ohrožených objektech jsou využívány především pro vyrozumívání obyvatel při povodni.

V aplikaci AKIS jsou na základě posledních úprav vedeny tři samostatné databáze s údaji o osobách. Jedná se o databázi zapro-

vatelů podkladů povodňového plánu vlastníka nemovitosti, databázi kontaktních osob a databázi ohrožených osob.

V databázi zpracovatelů podkladů jsou evidovány údaje o jednotlivých zpracovatelích podkladů povodňových plánů vlastníka nemovitosti pro případnou komunikaci. Správa kontaktů o jednotlivých zpracovatelích podkladů povodňových plánů vlastníků nemovitostí je vedena především ve vazbě na nutnost předkládání aktualizací odevzdaných dat. V databázi kontaktních osob jsou vedeny informace o osobách, které budou v případě povodňového nebezpečí vyzoumívány. Udržovány jsou informace týkající se především telefonního spojení na kontaktní osoby, které je nutné v důsledku možného vyzoumívání za povodňových událostí vést stále aktuální. Rovněž jsou vedeny v databázi kontaktních osob údaje o kontaktní adrese a z důvodu jednoznačné identifikace kontaktní osoby i rok narození. V databázi ohrožených osob (**obr. 1**) jsou shromažďovány údaje o osobách, které v ohrožené nemovitosti bydlí, a dané údaje slouží především pro vedení evidence při případné evakuaci.

Pomocí těchto základních databází je naplňován hlavní uživatelský formulář Nemovitost (**obr. 2**), do kterého jsou daná data z těchto tří databází provázána. Hlavní uživatelský formulář je rovněž doplněn o data z dílčích databází. V dílčích databázích jsou spravovány údaje například o umístění hlavních uzávěrů, požadavcích na evakuaci, osobní či věcnou pomoc (**obr. 3**). Pro každou nemovitost vedenou v databázi jsou vedeny informace sloužící k jednoznačné identifikaci dané nemovitosti. Těmito údaji jsou především ulice, číslo popisné (číslo evidenční) či číslo bytu. Možné je rovněž vést v evidenci popis konkrétní nemovitosti, včetně volby druhu nemovitosti (byt, rodinný dům, chata), což je důležité především při specifickém uspořádání nemovitosti. Kromě daných informací je možné shromažďovat data o terénu v blízkosti nemovitosti, zadávat fotodokumentaci či sledovat průběh či historii provedených vyzoumění pro ohroženou nemovitost.

AKIS není databázový systém pro pouhou správu dat, nýbrž umožňuje i aplikační funkce v podobě generování protokolů o provedených vyzouměních, vytváření sestav pro vyzoumívání na základě tvorby přednastavených filtrů za použití syntaxových podmínek (filtrace jednotlivých ulic, skupin ulic, konkrétních nemovitostí aj.) a především je zde možné exportovat povodňové plány vlastníka nemovitosti pro jednotlivé nemovitosti. Povodňové plány vlastníka nemovitostí jsou automaticky generovány z prostředí aplikace AKIS na základě odevzdaných údajů prostřednictvím sběrného formuláře. Údaje ze sběrného formuláře jsou v aplikaci AKIS transformovány do konkrétní podoby povodňového plánu vlastníka nemovitosti. Rozšířeny jsou o grafickou část s geografickým umístěním předmětné nemovitosti v katastrální mapě v měřítku 1 : 1 000, získané z mapové nadstavby WebMap.

## Automatický vyzoumivací systém

Automatický vyzoumivací systém je zařízení určené pro co nejrychlejší odevzdání důležité informace velkému počtu lidí prostřednictvím veřejné telefonní sítě a mobilní sítě. Při nebezpečí povodně se využívá pro vyzoumívání povodňových orgánů podle povodňového plánu a pomocí databáze AKIS také pro vyzoumívání nemovitostí ohrožených povodní v městě Beroun, pro které jejich vlastníci či uživatel zpracoval podklady pro povodňový plán vlastníka nemovitosti a údaje z takto vytvořených podkladů jsou vedeny v databázi AKIS.

- Hlavní přednosti AVS:
  - rychlý přenos hlasových informací současně několika osobám,
  - rychlý přenos SMS zpráv několika osobám,
  - záznam o proběhlém vyzoumění v podobě podrobného protokolu o vyzoumění,
  - potvrzení přijetí informace zvukovým záznamem nebo kódem (zpětná vazba),
  - archivace zanechaných hlasových odkazů v počítači.

AVS umožňuje vyzoumívání s typem události hlasem, hlasem a SMS, pouze SMS či hlasem a v případě neúspěchu SMS (**obr. 4**). První typ představuje případ, který je používán při většině prováděných vyzoumění, ať se již jedná o zkušební vyzoumění či o vyzoumění při skutečných povodňových situacích. Druhý typ události hlas + SMS je kombinace dvou způsobů vyzoumění. Zahrnuje v sobě vyzou-

ID (jméno)	Jméno	Příjmení	Rok narození	Imobily
1	Karel	Soukup	1978	<input type="checkbox"/>
2	Soukup	Karel	1942	<input type="checkbox"/>

Obr. 1. Formulář aplikace AKIS – ohrožené osoby

ID (jméno)	Ulice	Jméno	Příjmení	Rok narození	Ulice	Číslo popisné	Plomba u čísla popisného	Město	PSČ
1	Hejska	Ing.	Tomáš	Hejska	1965	132 P		Uhřetka	267 23

Obr. 2. Základní uživatelský formulář nemovitost

Obr. 3. Formulář aplikace AKIS – evakuace a zabezpečení

Obr. 4. Parametry vyzoumění

rozumění pomocí hlasového oznamu a v podobě zaslání SMS. Tento způsob nachází uplatnění při nutnosti zprostředkování dodatečných informací ke vzniklé situaci, jako jsou například upřesnění evakuačních míst a předpokládané časy kulminací, které nemusí být během hovoru přesně zaznamenány. Při vyrozumění pomocí samotné SMS dochází ke ztrátě zpětného potvrzení, kdy není možné doručení SMS nikterak potvrdit, a z tohoto důvodu není v praxi ve velké míře používáno. Posledním typem události je varianta hlasem a v případě neúspěchu SMS. Volba daného typu události představuje způsob, při němž, je-li systém neúspěšný při obvolávání konkrétní kontaktní osoby, zasílá dané osobě alespoň SMS, kde jsou uvedeny nejdůležitější informace o možném povodňovém nebezpečí.

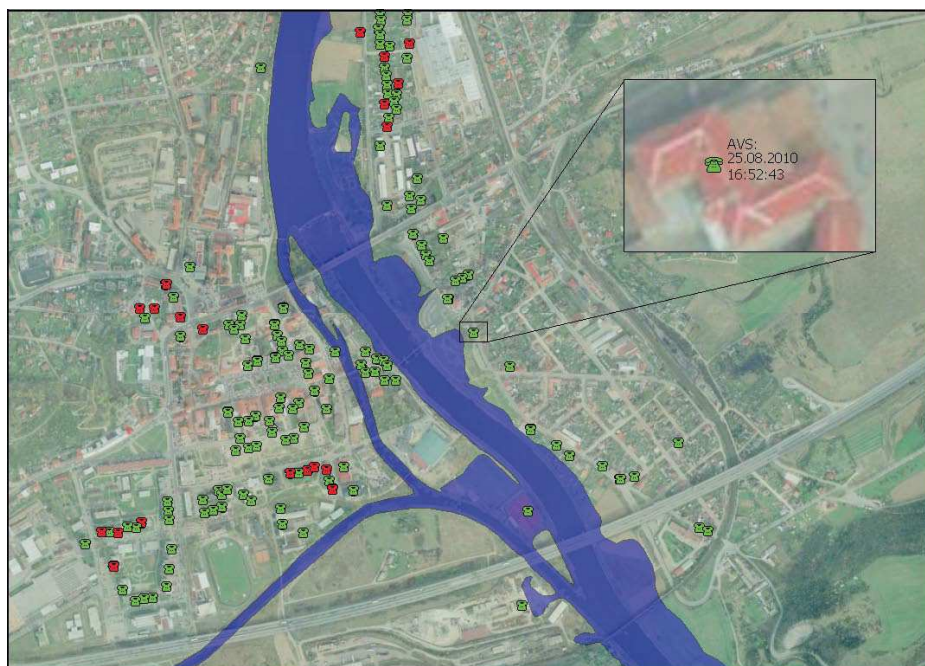
Rovněž volby potvrzení jsou variabilní. Mimo typ SMS je možné volit mezi potvrzením hlasem, potvrzením kódem či volit variantu, kdy není potvrzení příjmu hovoru vyžadováno.

Při potvrzení hlasem je za potvrzení brán hlasový záznam, který na požádání volaná osoba zanechá. Ve většině případů je vyžadováno zanechání oznamu v podobě vyslovení vlastního jména a příjmení. Tato varianta oznamu, kdy je zanecháno jméno a příjmení, navíc následně slouží i při vyhodnocení vyrozumění obsluhou systému, kdy je možné zpětně porovnávat zaznamenané jméno a příjmení v protokolech s údaji o obvolávané osobě. V praxi se využívá pouze tato varianta potvrzování.

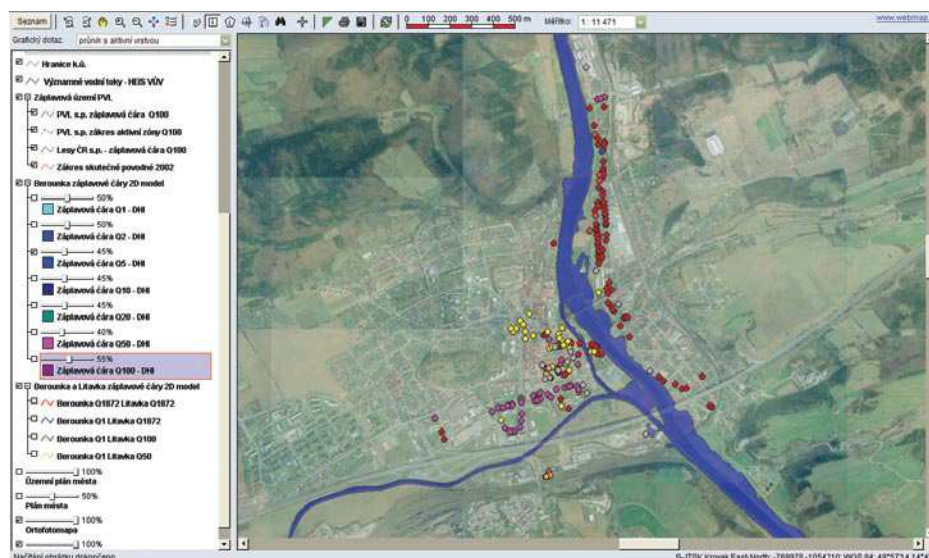
Při potvrzení hovoru kódem je volaný účastník vyzván k zmáčknutí libovolné číslice svého telefonu, čímž je následně daná osoba klasifikována jako vyrozuměná. V důsledku prováděných zkoušek bylo zjištěno, že při volbě potvrzení hlasem docházelo ke zkrácení vyhodnocení proběhlého vyrozumění. Jednalo se o situace, kdy docházelo k vyrozumění dané osoby pomocí nahrání hlásky o nedostupnosti volaného či jiné systémové hlásky operátorů.

Na základě těchto zjištění jsou v současné době používány dvě možnosti potvrzení o přijetí zprávy kódem. Jedná se o potvrzení hlasem, které ovšem na základě výše uvedených zjištění představuje potvrzení kódem, kdy je volaná osoba vyzvána, aby přijetí zprávy potvrdila stiskem libovolné číslice na svém telefonu (zkouška na hlas) s následnou nutností zanechat pro úspěšné potvrzení i své jméno a příjmení.

Druhým případem je obecná varianta potvrzení pomocí kódu, kdy je volaná osoba vyzvána, aby přijetí zprávy potvrdila stiskem libovolného tlačítka na svém telefonu, kdy již ovšem nedochází k výzvě o zanechání svého jména a příjmení. Systém samozřejmě rovněž umožňuje i nadále volbu, kdy potvrzení není vyžadováno.



Obr. 7. Zobrazení provedeného vyrozumění



Obr. 5. Mapová aplikace Webmap



Obr. 6. Tvorba přednastavených filtrů z mapy – průnik Q100

Možné je volit i další parametry vyrozumění, mezi které patří čas vyzvánění, počet opakovaných volání, intervaly mezi voláními jedné osobě atd.

Průběh vyrozumění je možné sledovat v dialogovém okně o probíhající vyrozumění a následně lze jeho průběh kontrolovat v protokolech AVS, kde jsou vedeny jednotlivé kroky, které nastaly v průběhu vyrozumění. Dané protokoly umožňují také zvukovou kontrolu zanechaných potvrzení pro přímé obvolání kontaktní osoby při zjištění vzniklé chyby.

V minulosti bylo možné zanechat pro jednu kontaktní osobu tři telefonní kontakty. Jednalo se o telefonní kontakty: mobil, pevná linka domů a telefon do zaměstnání. V důsledku neaktuálnosti některých kontaktů, především telefonů do zaměstnání, byla možnost zanechání telefonních kontaktů redukována na dva: mobil a pevnou linku domů. Dané opatření se pozitivně promítlo i do zkrácení celkové doby vyrozumívání, kdy systém již nemusel obvolávat neplatná telefonní čísla.

### Propojení aplikace AKIS a AVS

Komunikace mezi databázovou základnou aplikace AKIS a vyrozumívacím systémem AVS je uskutečňována na základě výměnného formátu .txt. Z aplikace AKIS je generován výstupní soubor, který obsahuje sestavu kontaktních osob, které mají být vyrozumívány. V exportovaném .txt souboru jsou rovněž uvedeny nastavené parametry pro vyrozumění

mění a zvolené hlasové a SMS zprávy, které mají do vyzoomění vstupovat.

Po uskutečněním vyzoomění jsou zpětně načteny .txt soubory o průběhu vyzoomění z AVS do aplikace AKIS, kde jsou uspořádány do výstupních protokolů o vyzoomění a propojeny do mapové aplikace WebMap, kde je graficky znázorněno provedené vyzoomění.

## Mapová nadstavba WebMap

Propojení aplikace AKIS s mapovou nadstavbou WebMap (**obr. 5**), která je součástí dPPP města Beroun, přináší mnoho výhod pro obsluhu systému. Základní mapovou vrstvu představují stanovená záplavová území pro průtoky  $Q_1$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ , které byly převzaty z 2D Povodňového modelu Beroun. Velkého významu nabývá vrstva ortofotomapy, která je jednou ze základních podkladových map aplikace společně s plánem města. Do prostředí mapové nadstavby je možné zařadit libovolné vrstvy, které mohou být použity při obsluze. Jedná se především o vrstvu územního plánu, která slouží jako základní přehledová vrstva využití území v záplavové oblasti. Vhodné je rovněž začlenění technických map v podobě vrstev vedení elektrického napětí, kanalizací a jiných inženýrských sítí, poněvadž je nutné mít přehled o veškerých potenciálních nebezpečích, která mohou při povodních nastat.

Město Beroun s ohledem na rychlost ohrožení přicházejícího z povodí Litavky si nechalo dodatečně na základě zpracovaného 2D modelu dopočítat scénáře pro kombinaci povodňových situací spolupůsobení Litavky a Berounky, které vychází zejména z ohrožení z Litavky (propagace Berounky Litavkou). Získané výsledky průtokových událostí v kombinaci Litavka  $Q_{1872}$  – Berounka  $Q_1$ , Litavka  $Q_{1872}$  – Berounka  $Q_{50}$ , aj., slouží nejen pro obsluhu systému v podobě poskytnutí geografické informace o záplavovém území, ale především pro výběr přednastavených filtrů, neboli k vytvoření seznamu nemovitostí nacházejících se v záplavové oblasti konkrétní N-leté vody (**obr. 6**). Tyto filtry budou následně použity při vytvoření jednotlivých scénářů pro vyzoomění.

Zároveň slouží k aplikaci postupného vyzoomění od oblastí nejdříve zasažených povodní po oblasti, které budou zasaženy povodní až při samotné kulminaci povodňové vlny. Pro tento účel je vytvořena funkce na odčítání přednastavených filtrů z mapy, aby nedocházelo k duplicitnímu vyzoomění ohrožených nemovitostí. V tomto případě by mohlo dojít k dvojímu vyzoomění ohrožené nemovitosti nacházející se v záplavové zóně pro  $Q_{50}$  a následně případně i pro  $Q_{100}$ . Z tohoto důvodu je používána funkce pro odečtení filtrů, za vzniku přednastavených filtrů, které jsou následně používány v chronologii vyzoomění v podobě  $Q_{20}$ ,  $Q_{50} - Q_{20}$ ,  $Q_{100} - Q_{50}$ ,  $Q_{1872} - Q_{100}$ .

Pomocí mapové aplikace, na kterou jsou napojeny jednotlivé nemovitosti z aplikace AKIS, které disponují zpracovanými podklady povodňového plánu vlastníka nemovitosti, je možné rovněž sledovat aktuální průběh vyzoomění již v jeho samotném průběhu. Jednotlivé nemovitosti jsou graficky vyobrazeny dle úspěšného či neúspěšného vyzoomění se zobrazenými datem a časem, kdy byla či nebyla nemovitost vyzooměna (**obr. 7**). Vizualní vyobrazení pomocí červeného telefonu (nemovitost nevyzooměna) a zeleného telefonu (nemovitost vyzooměna) poskytuje důležitou informaci o tom, kam případně poslat s dodatečnou informací hlídku městské policie. Pro tento účel jsou využívány rovněž protokoly vyzoomění z mapy, kde jsou k dispozici statistiky z provedeného vyzoomění, včetně tabulek o nevyzooměných nemovitostech s uvedenou adresou.

V prostředí WebMap je možné také vytvářet výstupní sestavy ohrožených nemovitostí dle jednotlivých výběrů. Jedná se především o výběry na základě umístění nemovitosti, kdy je možné vytvořit seznamy vyzooměných a nevyzooměných nemovitostí, seznamy dle druhů nemovitostí (byt, rodinný dům, garáž, chata), seznamy ohrožených osob v jednotlivých ulicích, sumarizační tabulky požadavků na pomoc či evakuaci atd.

## Aktualizace povodňových plánů vlastníků nemovitostí

Aktualizace povodňových plánů vlastníků nemovitostí (dále PPVN) je v současné době prováděna dvěma způsoby. Prvním je možnost vyplnit podklady povodňového plánu vlastníka nemovitosti do formuláře v tištěné podobě, který je k dispozici na podatelně Městského úřadu Beroun. Druhou variantou je vyplnění údajů do sběrného formuláře v elektronické podobě, který je možné stáhnout na webu města Beroun v sekci Ochrana obyvatelstva. Zde je možné rovněž nalézt materiály na správné vyplnění sběrného formuláře, vzorově vyplněný formulář i podklady týkající se požadavků na odstranění z databáze. Z hlediska provádění aktualizací ze strany Městského úřadu Beroun je snaha upřednostňovat sběrný formulář v elektronické podobě, který umožňuje automatické

přenesení dat do prostředí aplikace AKIS, což odstraňuje riziko chyby při přepisu telefonních čísel atd.

Obyvatelé jsou o nutnosti aktualizovat své údaje průběžně informováni prostřednictvím Radničního listu (měsíčníku, který je zdarma distribuován do všech domácností v Berouně), kde je k dispozici i příložený formulář pro vyplnění. Rovněž je využito samotného vyzoomivacího systému, kdy je kontaktním osobám již vedeným v databázi zaslána informativní zpráva o nutnosti aktualizovat své podklady, které nemusí být již aktuální a navíc v důsledku úprav formuláře podkladů povodňových plánů vlastníka nemovitosti neodpovídají nové struktury požadovaných dat pro následné vydání souladu s povodňovým plánem města Beroun a transformaci podkladů PPVN na samotný povodňový plán vlastníka nemovitosti.

Na základě prováděných zkoušek bylo zjištěno, že roste počet kontaktních osob, které nenahlásily změnu svých kontaktů ani změnu pobytu. Neaktuálnost kontaktů, které již nejsou uživateli používány, navíc výrazně snižuje výkonost systému a prodlužuje celkovou dobu vyzoomivání (každé osobě volá systém 3x, než přejde na další). Tento stav společně s výraznými změnami obsahu formuláře představují hlavní důvody, proč je potřeba provést aktualizaci podkladů.

## Závěr

Pro zajištění správnosti chodu a funkčnosti celého systému vyzoomivání je prováděna každý první čtvrtek v měsíci pravidelná zkouška systému. Pro zkoušku jsou postupně vybírány jednotlivé ulice a lokality tak, aby minimálně jedenkrát v roce měli zástupci všech ohrožených nemovitostí možnost seznámit se se systémem vyzoomivání a osobně si ověřit jak funguje.

Převážná část občanů, jejichž nemovitosti leží v oblasti ohrožené povodněmi, obdržela cvičné zprávy, a prakticky se tak na odzkoušení systému podílela. Na základě vyhodnocení všech provedených zkoušek byla vytvořena konečná podoba jednotné datové struktury. Pro tuto datovou strukturu, a zejména s ohledem na možné změny kontaktních osob a jejich telefonních čísel, byl vytvořen nový formulář podkladů, jak pro tištěnou, tak pro elektronickou podobu.

K úplnému dokončení realizované vize propojení dPPP města prostřednictvím databáze PPVN s automatickým vyzoomivacím systémem zbývá dodat aktualizované podklady podle poslední podoby nové datové struktury. Tyto aktualizace překlopit do databáze AKIS a sumarizovat požadavky na pomoc. Vyhodnotit adekvátnost požadované pomoci, tak aby odpovídala kapacitním možnostem města. Po vyhodnocení možnosti zabezpečení požadované pomoci potvrdit soulad dodaných podkladů s Povodňovým plánem města Beroun. Potvrzením souladu se z podkladů stane dokument – Povodňový plán vlastníka nemovitosti, který je závazný. Tento plán bude vytištěn, opatřen razítkem o potvrzení souladu a vlastníčkům následně doručen.

## Literatura

- [1] Zákon 254/ 2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů
- [2] Zákon 240/ 2000 Sb. o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon), ve znění pozdějších předpisů
- [3] Vyhláška MŽP 236/2002 Sb. o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území
- [4] TNV 752931 Povodňové plány

Ing. et Ing. Tomáš Hejduk (autor pro korespondenci)

<sup>1)</sup> Fakulta životního prostředí,

Česká zemědělská univerzita v Praze

Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol

tel.: 721 084 881, e-mail: hejduk@fzp.czu.cz

<sup>2)</sup> Městský úřad Beroun, Odbor životního prostředí

Husovo náměstí 68

266 01 Beroun – město

Ing. Jan Marek

Městský úřad Beroun

Odbor životního prostředí

Husovo náměstí 68

266 01 Beroun – město

Petra Stancíková

Městský úřad Beroun

Kancelář tajemníka

Husovo náměstí 68

266 01 Beroun – město

#### Key words

flood warning – dpp – automatic notification system – realty owner's flood plan

This paper was focused on the interconnection between flood plan and the automatic notification system of Beroun town. This interconnection acts as effective tool for flood prevention and flood damage mitigation. The municipal flood plan is based on landowner's plans. In 2004, Beroun municipality purchased an automatic notification

## Názor České společnosti krajinných inženýrů na integraci Zemědělské vodohospodářské správy do státních podniků Povodí a státního podniku Lesy ČR

Výbor České společnosti krajinných inženýrů projednával dne 22. 9. 2010 otázku integrace Zemědělské vodohospodářské správy do státních podniků Povodí a státního podniku Lesy ČR. Tímto vyjádřením vyslovujeme názor na transformaci této instituce.

Nejdříve však dovolte v krátkosti představit naši společnost – Českou společnost krajinných inženýrů, která byla založena v roce 1998 jako jedna z prvních odborných společností Českého svazu stavebních inženýrů. Její snahou je pozvednout na profesní úroveň veškerou činnost v biologickém, vodohospodářském, ekologickém, technickém a hospodářském zvelebování půdy, krajiny a životního prostředí ve všech oblastech činnosti. Spolupracujeme se státní správou, samosprávou a širší odbornou veřejností při řešení složitých problémů z oblasti tvorby, plánování a ochrany krajiny. Společnost sdružuje odborníky z oblasti vodního hospodářství, tvorby, plánování a ochrany krajiny, kteří pracují v oblasti oborového školství, projekce, realizace, státní správy a výzkumu.

Jsmo si vědomi, že nám nepřísluší být oponenty stávajícího institucionálního uspořádání správy vodních toků v České republice, naše obavy směřují k prosazované transformaci správy drobných vodních toků, které má v současné době ve správě Zemědělská vodohospodářská správa, a která je nástupcem Státní meliorační správy a působí tak v oboru vodního hospodářství a především v oboru „malé“ vody již několik desítek let. Veřejnost vnímá tuto organizaci především jako největšího správce drobných vodních toků zemědělského charakteru, správce hlavních odvodňovacích zařízení, ale i jako instituci, která se podílí na řešení protipovodňových opatření či opatření k zlepšení a obnově přirozeného vodního režimu krajiny a ekologické stability území.

Význam drobných vodních toků, které jsou základním stavebním prvkem naší hydrografické sítě, není stále obecně doceněn a přítom poměry v povodí drobných vodních toků jsou rozhodující pro nárůst či pokles kvantity vod stejně jako pro vývoj jejich kvality. Způsob využití povodí těchto vodních toků má zásadní vliv na vyrovnanost odtoku, hydrologickou bilanci, vývoj povodňových situací, splaveninový režim, míru protierozní stability území apod.

Zemědělská vodohospodářská správa se dlouhodobě zabývá realizací tzv. krajinných programů, podporovaných fondy MŽP ČR a MZe ČR a nyní Operačním programem životní prostředí. Vzhledem k tomu, že odtokové procesy i kvalita vody závisí na stavu povodí, je nutno v realizaci revitalizačních opatření, financovaných z těchto programů, pokračovat. Významná je i činnost této organizace v protipovodňové ochraně intravilánů obcí, kde povodňové škody vznikají zejména jako důsledek bleskových povodní. Důležitá je i činnost ZVHS v rámci údržby stávajících staveb.

Drobné vodní toky v zemědělské, ale i lesní krajině, mají svá specifika. Z hlediska funkce, v porovnání s toky vodohospodářsky významnými, je do určité míry potlačen důraz na jejich přímé hospodářské využití, naopak mimořádný význam mají funkce hydrologické, ekologické a krajinnotvorné. Význam tedy spočívá především v oblasti zajišťování funkcí obecně prospěšných, je určován naplňováním veřejného zájmu.

Drobné vodní toky jsou a budou vodohospodářskou oblastí neziskovou, uplatnění ekonomických příjmových principů je nereálné. Souhlasíme s tím, že je péče o drobné vodní toky v naší republice

flood system and in 2005 was purchased the AKIS database application which maintains all data in system. The AKIS application was designed for excellent interconnection with the automatic notification system. The development and filling of AKIS was described in the paper as well as its link with the map extension which gives visual idea about flood warning effectivity.

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 31. prosince 2010. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky pošlete na e-mail [stransky@vodnihospodarstvi.cz](mailto:stransky@vodnihospodarstvi.cz).

trvale podfinancovaná, nedomníváme se však, že řešením je zrušení instituce spravující drobné vodní toky a integrace správy těchto toků do státních podniků Povodí či státního podniku Lesy ČR. Pokud by přešly drobné toky a nádrže pod správu podniků Povodí a tam nebyl vytvořen oddělený finanční fond na údržbu, provoz a případně i výstavbu dalších zařízení, obáváme se, že podniky Povodí budou i z historických důvodů preferovat rozdělení finančních prostředků dle významnosti spravovaných vodních toků a vodních děl.

Podle našeho názoru může transformace Zemědělské vodohospodářské správy omezit činnosti, které jsou v rozhodující míře výkony veřejně prospěšnými, neziskovými, službami za majetky státu a zájmy resortu v oblastech vodního hospodářství v dílčích povodích zemědělsky využívané krajiny, její ochrany, tvorby a ekologické stability.

Velice závažnou otázkou je i zachování archivních materiálů, které jsou uloženy na jednotlivých pracovištích Zemědělské vodohospodářské správy. Pokud by došlo k případné likvidaci těchto materiálů, nebo i ztrátě některých dokumentů, bude velice obtížné v budoucnosti provádět rekonstrukce či opravy odvodňovacích zařízení zabudovaných v zemi.

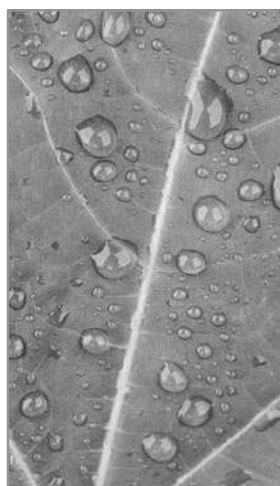
Naše společnost má velice dobré kontakty s obdobnou organizací na Slovensku – Únií krajinných inženýrů Slovenska (ÚKIS) a dále se neformálně setkáváme s kolegy ze Slovenské technické univerzity v Bratislavě a Slovenské poľnohospodárskej univerzity v Nitre. Často jsme s nimi diskutovali problém Slovenské republiky, kde po rozdělení republiky byla zrušena meliorační správa a teprve v roce 2003 byl vytvořen státní podnik Hydromeliorácie, která se správou této části vodního hospodářství zabývá. Pokud je nám známo, existují v některých zemích Evropské unie (Nizozemí, Itálie, Rakousko aj.) odborné správy, které metodicky a s kontrolní pravomocí řídí sdružení vlastníků pobřežních nemovitostí. To je zřejmě obecný trend zemí EU, kterému bychom se měli přizpůsobit.

Z uvedených důvodů se domníváme, že zrušení ZVHS by rozhodně nebylo šťastným krokem a jsme připraveni ke zvýšení efektivity její činnosti, která je nesporně nutná, přispět svými odbornými silami.

Jménem výboru ČSKI:

doc. Ing. Karel Vrána, CSc.  
předseda společnosti

Tento článek je otevřen k diskusi do 31. prosince 2010. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky pošlete na e-mail [stransky@vodnihospodarstvi.cz](mailto:stransky@vodnihospodarstvi.cz).



### PŘINÁŠÍME ŘEŠENÍ

Voda, životní prostředí a fondy EU

Komplexní poradenství čerpání dotací z fondů EU  
Finanční a technické poradenství pro PPP projekty  
Studie proveditelnosti  
Analýzy nákladů a přínosů  
Zpracování oznámení a dokumentace EIA  
Příprava a organizace zadávacích řízení na správcu stavby nebo úvěřující banku  
Přípravy koncesních projektů a organizace koncesních řízení  
Řízení a supervize staveb dle podmínek FIDIC  
Řízení investičních projektů

Kontakt: T +420 221 412 800  
Mott MacDonald Praha F +420 221 412 810  
Národní 15 E czech@mottmac.com  
110 00 Praha 1

[www.mottmac.cz](http://www.mottmac.cz)





# vodní hospodářství® water management®

## 10/2010 ROČNÍK 60

*Specializovaný vědeckotechnický časopis pro projektování, realizaci a plánování ve vodním hospodářství a souvisejících oborech životního prostředí v ČR a SR*

*Specialized scientific and technical journal for projection, implementation and planning in water management and related environmental fields in the Czech Republic and in the Slovak Republic*

**Redakční rada: prof. Ing. Jiří Wanner, DrSc., – předseda redakční rady, RNDr. Jana Říhová Ambrožová, PhD., doc. Ing. Igor Bodík, PhD., Ing. Jiří Čuba, doc. Ing. Petr Dolejš, CSc., Ing. Vladimír Dvořák, Ing. Pavel Hucko, CSc., Ing. Tomáš Just (AOPK), prof. Ing. Ivo Kazda, DrSc., doc. Ing. Václav Kuráž, CSc., JUDr. Jaroslava Nietscheová, prof. Vladimír Novotny, PhD., P. E., DEE, Ing. Bohumila Pětrošová, Ing. Václav Pondělíček, RNDr. Pavel Punčochář, CSc., prof. Ing. Jaromír Říha, CSc., doc. Ing. Nina Strnadová, CSc., Ing. Jiří Švancara, Ing. Václav Vučka, CSc., Ing. Hana Vydřová, Ing. Evžen Zavadil (ČIZP)**

**Šéfredaktor: Ing. Václav Stránský**

Redaktor: Stanislav Dragoun  
Redakce (Editor's office):  
Podbabská 30, 160 62 Praha 6  
(areál VÚV T. G. M.), Czech Republic  
stransky@vodnihospodarstvi.cz  
dragoun@vodnihospodarstvi.cz  
www.vodnihospodarstvi.cz  
Mobil (Stránský) 603 431 597  
Mobil (Dragoun) 603 477 517

Vydává spol. s r. o. Vodní hospodářství, Bohumilice 89, 384 81 Čkyně. Roční předplatné 750 Kč, pro individuální nepodnikající předplatitele 600 Kč. Ceny jsou uvedeny bez 10 % DPH. Roční předplatné na Slovensku je 24 €. Cena je uvedena bez DPH.

Objednávky předplatného a inserce přijímá redakce. Expedici a reklamace zajišťuje DUPRESS, Podolská 110, 147 00 Praha 4, tel.: 241 433 396.

Distribuci a reklamace na Slovensku: Mediaprint - Kapa Pressegrasso, a. s., oddelenie inej formy predaja, P. O. BOX 183, Vajnorská 137, 830 00 Bratislava 3, tel.: 00421 244 458 821, 00421 244 458 816, 00421 244 442 773, fax: 00421 244 458 819, e-mail: predplatne@abompkapa.sk

Sazba, lito a tisk: Tiskárna DIAN s. r. o., Vaňkova 21/319, 194 00 Praha 9 - Hloubětín, tel./fax: 281 867 716

6319 ISSN 1211-0760. Registrace MK ČR E 6319.  
© Vodní hospodářství, spol. s r. o.

Rubrikové příspěvky nejsou lektorovány  
Obsah příspěvků a názory v časopise otištěné nemusí být v souladu se stanoviskem redakce a redakční rady.  
Neoznačené fotografie - archiv redakce.

**Časopis je v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v České republice.**  
Casopis je sledován v Chemical abstract.

# NENECHTE si ujít

<p><b>2. 11. Novelizace zákona o vodách č. 150/2010 Sb.</b> Seminar, Hradec Králové, Info: Z. Bilková, marketing@emplia.cz, 495 218 875</p>	<p><b>3. 11. Povodne 2010: příčiny, průběh a zkušenosti.</b> Konference, Hotel Baník, Štrbské pleso, Info: vidova@vuvh.sk, 00421 2 59 343 255</p>	<p><b>9. 11. Rekvizice večera, dnes a zítra.</b> Seminar, CVUT Praha, Info: vokurka@fsv.cvut.cz, 224 354 750</p>	<p><b>9. 11. Nové trendy v čistěním a vodárenství.</b> XIV. ročník konference, Soběslav, Info: envi-pur@envi-pur.cz, www.envi-pur.cz, 381 203 211</p>	<p><b>14. 12. Majetková a provozní evidence.</b> Seminar Praha, Novotného lávka, Info: 221 082 346, pisova@sovak.cz, www.sovak.cz</p>	<p><b>7. 12. Vodní zákon a správní řád.</b> Seminar, Praha, Novotného lávka, Info: 221 082 386, e-mail: muller@esvts.cz</p>	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne	Po	Út								
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
						<p><b>26. 10. Vodní zákon.</b> Seminar, Praha, Novotného lávka, Info: 221 082 386, e-mail: muller@esvts.cz</p>																														
						<p><b>18. 11. Možnosti využití letectvého laserového skenování ve vodním hospodářství + Vývoj nástrojů pro hodnocení množství a jakosti vod.</b> Seminar, VÚV Praha, Info: pavel_polka@vuv.cz, 220197350</p>																														
						<p><b>22.-24. 11. Zdravotno-technické stavby – Malé vodné diela – Krajina a voda.</b> Konference, Štrbské pleso, Info: 00421-055-6420838, elsewa@netkosice.sk</p>																														
						<p><b>30. 11. – 1. 12. Vodní toky 2010.</b> Konference, Hradec Králové, Info: Sylvie Plechatá, plechata@vrv.cz, 257 325 494</p>																														
						<p><b>9.-10. 12. Analýza rizik vodárenských systémů a tvorba Water Safety Plan.</b> Seminar Brno, Info: tel.: 541 147 736, bilovska.j@fce.vutbr.cz, www.cvh.cz</p>																														
<p><b>7. 12. Plošné znečištění, způsob modelování zátěže nutrienty v Mezinárodní Komisi pro ochranu Dunaje (MIKOD).</b> Seminar, VÚV Brno, Info: pavel_polka@vuv.cz</p>																																				

Připravujeme přehled akcí pro následující rok 2011. Zařadíme do něj jakoukoliv akci týkající se oboru. Pomůžeme Vám, aby o ni mohli VĚDĚT ti, které chcete pozvat! Jen o Vámi připravovaných akcích potřebujeme VĚDĚT! Dejte nám proto o Vámi připravovaných akcích VĚDĚT co nejdříve na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.



2

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. (40 %)

SOVAK  
ROČNÍK 20 • ČÍSLO 6 • 2011

#### OBSAH:

Jiří Hruška

Chci své kolegy motivovat – rozhovor  
s generálním ředitelem akciové společnosti  
Brněnské vodárny a kanalizace  
Ing. Ladislavem Haškou..... 1

Martin Kubát

Informace o spolupráci BVK, a. s.,  
a Masarykovy univerzity ..... 3

Pavel Svoboda

Kalibrační laboratoř vodoměrů a opravy  
vodoměrů Brněnských vodáren a kanalizací..... 3

Valná hromada Sdružení oboru vodovodů  
a kanalizací ČR 2011 ..... 4

Michal Dohányos, Josef Kutil

Bioplyn – zdroj energie na ČOV ..... 10

Lenka Fremrová

Prověření norem z oboru jakosti vod ..... 15

Jan Zapletal

Optimalizace provozu hydrodynamických  
čerpadel ..... 17

Miroslav Pflieger

Posouzení stavu 100 let starých litinových  
trubek ze sléváren v Pont-à-Mousson ..... 20

Pavel Novák, Tomáš Hejduk

Problematika návrhu ochranných pásem  
vodních zdrojů ve vztahu ke katastrofám  
nemovitostí ..... 22

Zajištění zásobování pitnou vodou

po přírodních katastrofách ..... 26

Technický informační systém jako součást

podnikového řešení ..... 28

Josef Nepovím

K vlastnictví majetku vodovodu  
nebo kanalizací neznámého vlastníka ..... 29

Vybrané semináře... školení... kurzy...

výstavy... ..... 31



Titulní strana: Úpravná vody Švařec,  
ve výřezu armaturní prostor filtrů.  
Provozovatel: Brněnské vodárny  
a kanalizace, a. s.

## Chci své kolegy motivovat

Jiří Hruška

**Rozhovor časopisu SOVAK s novým generálním ředitelem akciové společnosti Brněnské vodárny a kanalizace Ing. Ladislavem Haškou.**



ROZHOVOR

**Funkce generálního ředitele Brněnských vodáren a kanalizací, a. s., jste se ujal před několika týdny. S jakými plány, návrhy a koncepcí jste nastoupil?**

Akciová společnost Brněnské vodárny a kanalizace musí naplňovat cíle, jaké představuje ve své filozofii. Její hlavní náplní je zajištění služeb v oblasti výroby a dodávky pitné vody a odvádění odpadních a dešťových vod včetně jejich čištění. Mým úkolem není zásadní korekce koncepce společnosti, ale změny ve funkci generálního ředitele chci využít k motivaci kolegů a zaměstnanců k maximálnímu úsilí a snaze vydat ze sebe co nejvíce a to nejlepší.

**Můžete čtenářům časopisu SOVAK přiblížit Vaši profesní minulost?**

Moje pracovní začátky jsou spojeny se stavebnictvím, ale nyní jsem už přes 19 let zaměstnancem Brněnských vodáren a kanalizací. Za dobu svého působení ve společnosti jsem prošel všemi stupni řízení a poslední více jak 3 roky jsem pracoval v pozici ředitele vodárenské sekce.

**Jaké cíle a priority jste si při nástupu do funkce generálního ředitele určil?**

Při svém nástupu jsem se snažil stanovit cíle, o nichž jsem přesvědčen, že máme schopnost je realizovat a které budou naši práci a společnost posunovat vpřed. Nechci detailně vyjmenovávat jednotlivé priority, nejdůležitější úkoly a cíle. Jejich hodnotu spatřuji v celku jako takovém.

**Můžete již předběžně zhodnotit krátké období od Vašeho nástupu do funkce? Do jaké míry bude činnost BVK kontinuální, nebo chystáte razantní změny?**

Na jakékoliv hodnocení je ještě příliš brzy.



Ing. Ladislav Haška

V tomto období se podrobněji seznamuji s ostatními provozy společnosti a utvářím si pohled na společnost jako celek. Nelze předpokládat, že se činnost BVK bude nějak výrazně odlišovat od předchozího období – hlavní profesní náplní BVK je provozování vodovodů a kanalizací pro veřejnou potřebu, výroba a dodávky pitné vody a odvádění a čištění odpadních vod.

Ptáte-li se na změny, nejsou po mém podrobném seznámení se s celou společností vyloučeny. Pokud přijdou, bude jejich cílem především zkvalitnění a zefektivnění poskytovaných služeb.



Úpravná vody Švařec – filtry

# Problematika návrhu ochranných pásem vodních zdrojů ve vztahu ke katastru nemovitostí

Pavel Novák, Tomáš Hejduk

**Příspěvek dokumentuje problematiku vymezení hranic ochranných pásem vodních zdrojů a zápisu těchto hranic do katastru nemovitostí (KN). Provedení identifikace vlastnických vztahů dotčených parcel ochranného pásma vodního zdroje je poměrně složitý proces s ohledem na chybějící jednotný grafický katastrální operát v digitální podobě. V současné době stále existují dvě informační vrstvy dokumentující vlastnické vztahy parcel. Jedná se o parcely KN a parcely bývalého pozemkového katastru (PK), patřící do skupiny parcel zjednodušené evidence (PZE). Dalším problémem je chybějící grafická vazba mezi parcelami KN a PK. Z toho důvodu se parcely vzájemně dělí na další části. Při návrzích ochranných pásem vodních zdrojů, kdy je potřeba podle vyhlášky MŽP č. 137/1999 Sb. doložit vlastnické vztahy dotčených pozemků zpravidla na velkém území je tato podmínka obtížně realizovatelná z hlediska času i financí.**

## 1. Úvod

V současné době probíhá druhá etapa zpracování návrhů ochranných pásem vodárenských nádrží v povodí Vltavy. Daná etapa navazuje na první část návrhů realizovaných v letech 1994–2003, která řešila rozsah bývalých PHO 1. a 2. stupně. Druhá etapa je zaměřena na zbývající část povodí (vně bývalého PHO 2. stupně) příslušné vodárenské nádrže v rozsahu bývalého PHO 3. stupně. Na základě současně platné legislativy (vodní zákon) je užíván termín ochranná pásma vodního zdroje (OPVZ), nahrazující původní pásma hygienické ochrany (PHO). Nový systém návrhu nesouvislého ochranného pásma vodního zdroje II. stupně, které je tvořeno zónami diferencované ochrany, klade důraz na cílené lokalizování jednotlivých ochranných opatření na konkrétní parcely s cílem zvýšení účinnosti těchto opatření na zlepšení jakosti, množství a zdravotní nezávadnosti povrchových a podzemních vod. Opatření jsou situována na rizikové lokality z hlediska zvýšeného vyplavování živin, zvýšené erozní činnosti a přímé ochrany vodních útvarů. Systém těchto opatření je koncipován tak, aby byl využitelný při dalších projektech v oblasti ochrany přírodních zdrojů, kterými mohou být například plány povodí, komplexní pozemkové úpravy nebo oblast územního, případně krajinného plánování. V současné době není k dispozici jednotná grafická databáze ochranných pásem vodních zdrojů, navíc promítnutí hranic ochranných pásem do katastrálního operátu se jeví jako zcela nereálný požadavek.

## 2. Vývoj legislativy v oblasti ochrany vod

Vyhláška ministerstva životního prostředí č. 137/1999, kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů a především zákon č. 150/2010 Sb., kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 200/1990 Sb., o přestupcích ve znění pozdějších předpisů, který nabyl účinnosti dne 1. srpna 2010, zásadním způsobem změnil přístup k ochraně vodních zdrojů. Ochrana jakosti povrchových a podzemních vod z hlediska plošného zemědělského znečištění je ve velké míře orientována na omezení průniku nutrientů půdním profilem a na omezení erozní činnosti v povodí. Rozdílná mocnost půdního pokryvu, skeletovitost, zrnitostní složení, svažitost, rozdílný vodní režim, vybudované odvodňovací systémy ovlivňují zcela zásadně míru ohrožení jakosti vody v povodí. Proto je potřeba k jednotlivým plochám přistupovat diferencovaně a navrhnout rozdílný způsob využívání pozemků. Ten by měl být uplatněn především v nejzranitelnějších lokalitách povodí, v tzv. zónách diferencované ochrany půdy a vody – ZDO (Kvítek a kol., 1994). Zóny diferencované ochrany půdy a vody jsou implementovány do nového systému ochranných pásem vodních zdrojů.

V současné době dle vodního zákona je systém ochrany vodních zdrojů dvoustupňový, tj. ochranné pásmo vodního zdroje I. stupně a ochranné pásmo vodního zdroje II. stupně. Cílem zpracování jednotlivých návrhů je transformace doposud platného systému třístupňového do systému dvoustupňového.

Předmětem návrhu je tzv. speciální ochrana vodních zdrojů vycházející důsledně z požadavků ustanovení § 30 vodního zákona a vyhlášky MŽP č. 137/1999 Sb. Tato ochrana je navrhována nad rámec obecné ochrany vyplývající z obecně platných předpisů v oblasti ochrany vod.

V souladu s ustanovením § 30 vodního zákona jsou zpracována v rámci návrhu ochranná pásma I. a II. stupně.

Ochranné pásmo I. stupně stanoví vodoprávní úřad jako souvislé území u vodárenských nádrží a u dalších nádrží určených výhradně pro

zásobování pitnou vodou minimálně pro celou plochu hladiny nádrže při maximálním vzduť.

Ochranné pásmo II. stupně je zpracováno podle ustanovení § 4 vyhlášky MŽP č. 137/1999 Sb. vně ochranného pásma I. stupně a je tvořeno jedním souvislým nebo více od sebe oddělenými územími, tzv. zónami diferencované ochrany (ZDOVZ) nebo souvislým územím a oddělenými územími ZDOVZ, v rámci hydrologického povodí vodárenské nádrže. Ochranné pásmo II. stupně není navrhováno, pokud území ochranného pásma I. stupně v daných podmínkách dostatečně zajišťuje ochranu vodního zdroje.

## 3. Problematika ochranných pásem vodních zdrojů v návaznosti na katastrální operát

Při zpracování návrhů ochranných pásem vodárenských nádrží vycházíme z vyhlášky MŽP č. 137/1999 Sb., kde je stanoveno (podle § 2, písm. d, odst. 2) doložení předkladatelem návrhu vlastnických vztahů dotčených parcel. Stávající stav katastrálního operátu však neumožňuje jednoduchou cestou tuto identifikaci provést s ohledem na absenci jednotného stavu vlastnických parcel. V současné době existují dva základní typy parcel, které definují vlastnické vztahy. V první řadě jsou to parcely KN, které nám určují druh pozemku dané parcely a vlastnictví pozemku, v tomto případě obsahuje položku LVCIS (číslo listu vlastnictví) rozdílné od nuly a v případě, že parcela KN nemá vlastníka, tudíž LVCIS je rovno nule, musíme nalézt odpovídající parcelu PK. Ta však již neobsahuje informaci o druhu pozemku, ale má LVCIS odpovídající příslušné parcele. Mimo parcely PK se mohou vyskytovat i jiné typy parcel zjednodušené evidence. Parcela ve zjednodušené evidenci může být původem z evidence nemovitostí, pozemkového katastru nebo z grafického přídělů.

Návrh hranic ochranných pásem vodního zdroje stanovených na základě diferencované ochrany dotčených pozemků nelze objektivně přizpůsobovat hranicím parcel KN, které v mnoha případech nemají vlastníka a tudíž položka LVCIS se rovná nule. V takovém případě je nutno přistoupit k identifikaci parcel bývalého pozemkového katastru, které odpovídají dané KN parcele, tj. jsou v ní obsaženy, či do ní zasahují. Většinou však hranice KN parcel nejsou totožné s hranicemi PK parcel a hranice parcel KN se protínají s hranicemi parcel PK. Bohužel, tento problém bude odstraněn definitivně až po vytvoření digitální verze katastrálního operátu v podobě digitální katastrální mapy pro celou ČR. Pro zpracování tohoto díla je stanoven konečný termín rok 2015. Převod katastrálních map do digitální podoby patří mezi nejdůležitější úkoly Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního (ČÚZK). Vektorová katastrální mapa může mít formu digitální katastrální mapy nebo katastrální mapy digitalizované (KMD). K dnešnímu dni přesáhl počet katastrálních území s katastrální mapou v digitální formě 50 %. Zbytek území ČR je pokryt analogovou katastrální mapou vedenou na plastové fólii, která je po skenování k dispozici v rastrové podobě (viz obr. 1: Porovnání podkladů KN a PK).

Na základě konzultace s odborníky z ČÚZK bylo jednoznačně doporučeno vedení hranic ochranných pásem vodního zdroje provádět podle skutečných potřeb ochrany vod, nikoli po hranicích parcel, ať již KN nebo PK, kde dosud neexistuje digitální katastrální mapa. V případě vlastníků PK parcel je však vhodné vzít v úvahu hranice těchto parcel s ohledem na to, že tyto parcely se s největší pravděpodobností stanou součástí budoucí podoby digitálního katastrálního operátu. Z těchto důvodů je nevhodné používat hranice KN parcel, které již v současné do-

bě často existují bez vlastnických vztahů a při tvorbě digitálního katastrálního operátu s největší pravděpodobností zaniknou.

V návaznosti na tyto skutečnosti se často potýkáme s problémem „řezání“ tzv. řemenových parcel, kdy na jednu parcelu KN bez LVCIS připadá i několik desítek PK parcel a jejich vlastníků. Tento stav je typický pro povodí největší vodárenské nádrže Švihov na Želivce v povodí Vltavy. Situační uspořádání řemenových parcel (většinou PK) je v těchto případech orientováno kolmo k vodním tokům, které jsou bezprostředními přítoky vodárenské nádrže Švihov a i z hlediska morfologie terénu vyžadují zvláštní ochranu. Navržené ochranné opatření například v podobě zatravnění podél koryta vodního toku, které je aplikováno ovšem pouze v šíři 20–25 m vyžaduje nutnost řezání řemenových parcel (viz obr. 2: Návrh vymezení ochranných pásem vodního zdroje na „řemenových“ parcelách PK).

Zásadní rozpor při zápisu do katastru je ta skutečnost, že vyhláška MŽP č. 137/1999 Sb. ukládá doložit vlastnické vztahy dotčených parcel, z toho vyplývá nutná kombinace KN a PK parcel, ale vlastní zápis je prováděn pouze na KN parcely bez ohledu, zda parcela KN má vlastníka či nikoli. Tato situace není v celé republice totožná, v některých katastrech je již vytvořena digitální katastrální mapa. V takových případech je situace jednodušší, existují zde pouze vlastnické parcely a hranice ochranných pásem vodního zdroje lze poměrně snadno vymezit a identifikovat.

V neposlední řadě je potřeba zdůraznit velkou finanční náročnost zpracování podkladů KN včetně nákupu dat ČUZK i přesto, že se jedná o veřejný zájem, kterým zajišťování zásobování obyvatelstva kvalitní pitnou vodou bezesporu je. V ustanovení § 30 odst. 1 vodního zákona je výslovně uvedeno, že stanovování ochranných pásem vodních zdrojů je veřejným zájmem.

Pro zápis do katastru podle katastrální vyhlášky č. 26/2007, § 76 písm. b a § 30 je nutno využít **záznamu podrobného měření změn** jako nástroje pro zanesení hranic ochranných pásem vodních zdrojů do katastrálního operátu. Tento způsob v podstatě katastrální vyhláška ukládá (viz níže). Touto formou se provádí vklad pouze tam, kde již je zpracována digitální katastrální mapa a tudíž digitální hranice ochranného pásma vodního zdroje lze promítnout do digitálního katastrálního operátu. Tam kde není zpracována digitální katastrální mapa se hranice ochranného pásma vodního zdroje vyjadřuje pouze pomocí typu a způsobu ochrany (typ 8 a kód způsobu 32, 33) v souboru popisných informací u parcel KN, ovšem bez vazby na vlastnictví dotčených pozemků.

Citace ustanovení § 30 a § 76 vyhlášky č. 26/2007 Sb.

### § 30

(1) Změna údajů o typu a způsobu ochrany nemovitosti se v katastru provádí podle grafických a písemných podkladů:

- o ochraně přírodních léčebných lázní, přírodního léčivého zdroje a zdroje přírodní minerální vody a jejich ochranných pásem a podle ohlášení ministerstva zdravotnictví – Českého inspektorátu lázní a zříděl,
- o ochraně části přírody a krajiny a jejím ochranném pásmu a ohlášení příslušného orgánu ochrany přírody a krajiny nebo odborné organizace ochrany přírody a krajiny, která vede ústřední seznam ochrany přírody,
- o ochraně památkově chráněné nemovitosti, památkové rezervace, památkové zóny a jejich ochranném pásmu a ohlášení příslušného orgánu nebo odborné organizace státní památkové péče, které vedou ústřední seznam kulturních památek České republiky,
- o ochraně značky geodetického bodu a chráněného území geodetického bodu a ohlášení správce bodového pole; u chráněného území dále rozhodnutí příslušného orgánu,
- o chráněném ložiskovém území, popřípadě dobývacím prostoru nebo území zvláštního zásahu do zemské kůry,

a rozhodnutí ministerstva životního prostředí, popřípadě obvodního báňského úřadu,

- o ochranném pásmu vodního zdroje a rozhodnutí vodoprávního úřadu,
- o ochranném pásmu vodního díla a rozhodnutí vodoprávního úřadu.

(2) Grafickým a písemným podkladem podle odstavce 1 je:

- kopie katastrální mapy s označením nemovité kulturní památky nebo se zobrazením průběhu hranice chráněného území a ochranného pásma mapovou značkou podle bodů 10.3 a 11.1 přílohy,
- záznam podrobného měření změn obsahující geometrické a polohové určení chráněného území, pokud jeho hranice není shodná s hranicemi parcel v katastrální mapě,
- listina, která obsahuje podle obcí a katastrálních území seznam chráněných nemovitostí označených údaji podle katastru a kódy vyjadřujícími typ a způsob ochrany nemovitosti podle bodu 6 přílohy.

(3) Jestliže jsou stejným způsobem ochrany nemovitostí dotčeny všechny parcely.

### § 76

Záznam podrobného měření změn

(1) Nově vyhotovovaný záznam podrobného měření změn je podkladem:

- pro vyhotovení geometrického plánu,
- pro zápis změn údajů evidovaných v souboru geodetických informací a v souboru popisných informací, které jsou spojeny s měřením v terénu, ale nemění hranice pozemku, obvod budovy nebo obvod vodního díla [například určení hranice chráněného území nebo jeho ochranného pásma podle § 30 odst. 2 písm. b), dalších prvků polohopisu podle § 16 odst. 6, nebo
- pro opravu chyby v katastru katastrálním úřadem.

### 4. Výchozí podklady pro stanovení ZDOVZ

Pro zpracování návrhu opatření ochranných pásem vodního zdroje je využita celá řada podkladových materiálů, mezi nejdůležitější patří:

SGI (soubor geodetických informací)

Příslušné mapové listy katastrálních map a map bývalého pozemkového katastru jsou spravovány příslušnými okresními pracovišti katastrálních úřadů.



Obr. 1: Porovnání podkladů KN a PK

SPI (soubor popisných informací)

Soubory popisných informací obsahují údaje o parcelách (výměra, druh pozemku, ochranu, atd.) a jejich vlastních. Předávací formát SPI je v elektronické podobě ve výměnném formátu vfk.

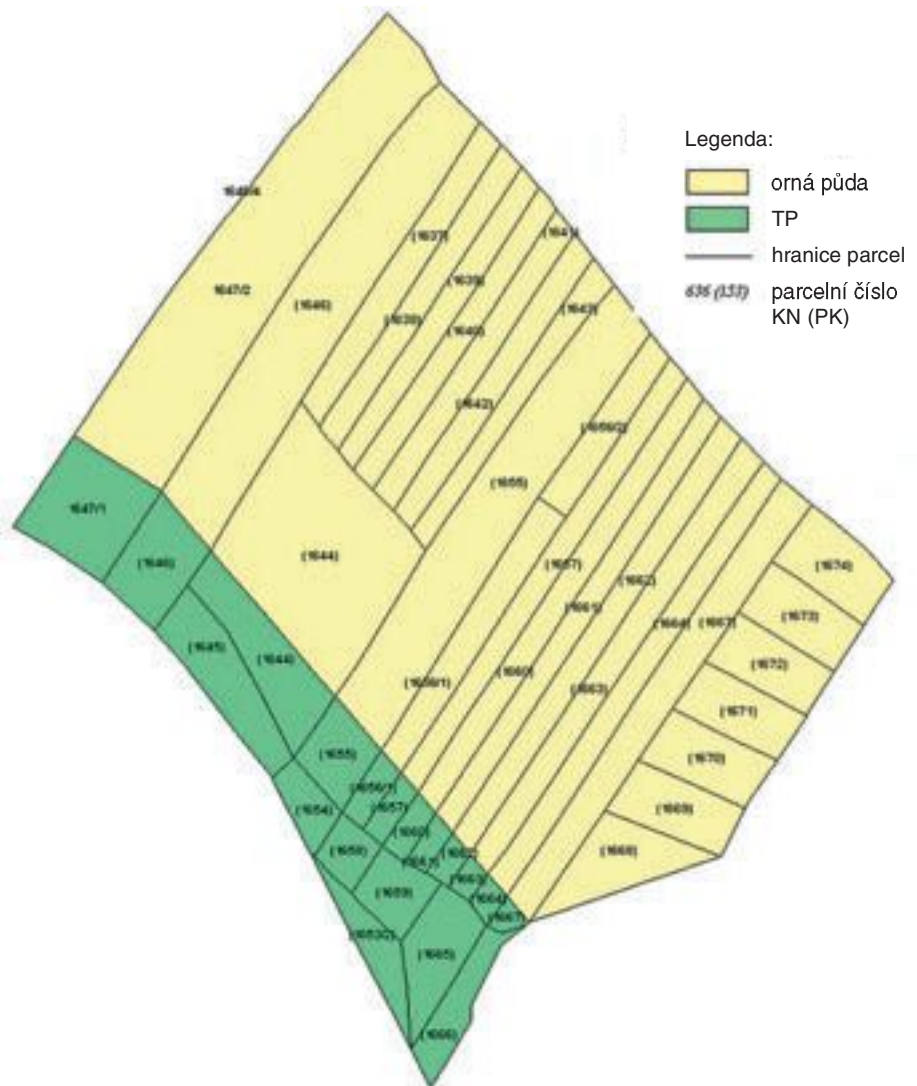
### • Podklady z terénního průzkumu

Nesoulad kultur

Nesoulad kultur je zjišťován jako rozdíl mezi evidovaným stavem a realitou na základě terénního šetření s tím, že nesoulad je vyjádřen do příslušného mapového podkladu a tento stav je dokumentován ve výsledné technické dokumentaci vlastního návrhu ochranného pásma vodního zdroje. Na mapě je vyobrazen pomocí zkratky NK a kombinací čísel, kdy první číslo označuje aktuální stav a číslo uvedené v závorce vyjadřuje kulturu uvedenou v evidenci KN.

### 5. Zpracování vlastních návrhů

Návrhy jsou zpracovávány nástroji geografické analýzy a syntézy v prostředí geografického informačního systému (GIS). Zpracování návrhů v prostředí GIS bylo zvoleno na základě potřeby vzájemného propojení podkladových materiálů (tabulky – SPI/mapy – grafické návrhy). Z důvodu vysoké kompatibility s ostatními softwary bylo vybráno prostředí geografického informačního systému ArcGIS americké firmy ESRI. Výsledkem zpracování je účelně navržený systém ochranných pásem vodního zdroje stanovený na základě speciální ochrany, převyšující rámec ochrany obecné. Zpracovávány návrhy ochranných pásem vodního zdroje dojde k účelné redukci rozsahu ochranných pásem s lokalizovanými ochrannými opatřeními do nejzranitelnějších oblastí, minimalizující riziko ovlivňující jakost povrchových a podzemních vod.



Obr. 2: Návrh vymezení ochranných pásem vodního zdroje na „řemenových“ parcelách PK

### 6. Navrhovaná opatření

V rámci ochrany vodárenských nádrží jsou v ZDOVZ navrhována opatření vedoucí k ochraně jakosti a množství vod v povodí, což přispívá k zabezpečení požadované jakosti vody v samotné nádrži. Z hlediska problematiky zanesení navržených opatření do katastru nemovitostí zaujímá specifické postavení opatření v podobě zatravnění. Při vymezování hranic ZDOVZ je při návrzích týkajících se zatravnění postupováno několika způsoby řešení dle současně platné legislativy:

- v katastru nemovitostí je veden trvalý travní porost a v terénu je trvalý travní porost.

V daném případě je předmětná parcela zahrnuta do ZDOVZ, ovšem není v rámci dané parcely navrženo žádné konkrétní opatření. Předmětná parcela je do ZDOVZ začleněna především z důvodu stabilizace současného druhu pozemku trvalého travního porostu.

- v katastru nemovitostí je veden trvalý travní porost a v terénu je orná půda.

V daném případě je také předmětná parcela zahrnuta do ZDOVZ a i nyní není v rámci dané parcely navrženo žádné konkrétní opatření a je zde pouze snaha stabilizovat současný druh pozemku trvalý travní porost dle stavu KN.

- v katastru nemovitostí je vedena orná půda a v terénu je trvalý travní porost.

Pokud je situace taková, že v terénu je z terénního průzkumu zjištěn druh pozemku trvalý travní porost a dle evidence se jedná o ornou půdu, je pozemek zahrnut do ZDOVZ a navrženo je zatravnění z důvodu provedení změny v katastru nemovitostí a převedení druhu pozemku v katastru nemovitostí na trvalý travní porost.

- v katastru nemovitostí je vedena orná půda a v terénu je orná půda.

V situaci, kdy je v terénu zjištěná orná půda a v katastru je evidován druh pozemku jako orná půda a je zde z důvodu například přímé ochrany vodního toku vhodné navrhnout zatravnění, je daný pozemek zahrnut do ZDOVZ a je na něm aplikováno opatření – zatravnění i na části parcely. Tento návrh se následně promítne do katastru nemovitostí, kde bude změněn druh pozemku z orné půdy na trvalý travní porost.

Legislativní rámec pro zanesení změn do katastru nemovitostí je určen vyhláškou č. 26/2007 Sb. a zákonem č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu dle § 2 Změny kultur zemědělské a nezemědělské půdy.

- (1) Na základě rozhodnutí vydaného v řízení o využití území na návrh vlastníka pozemku, popřípadě na návrh nájemce pozemku doloženého souhlasem jeho vlastníka může být provedena přeměna nezemědělské půdy na půdu zemědělskou (§ 1 odst. 2).
- (2) Změnu louky nebo pastviny na ornou půdu lze uskutečnit jen na základě souhlasu orgánu ochrany zemědělského půdního fondu.
- (3) Orgán ochrany zemědělského půdního fondu je oprávněn z důvodu ochrany životního prostředí uložit vlastníku či nájemci zemědělské půdy změnu kultury. Rozhodnutí o uložení změny kultury zemědělské půdy opravňuje vlastníka či nájemce, aby mu orgán ochrany zemědělského půdního fondu uhradil vzniklé náklady a ztráty z této změny vyplývající. Na úhradu výdajů podle tohoto ustanovení lze použít prostředky ze Státního fondu životního prostředí České republiky.

## 7. Závěr

Závěrem lze konstatovat, že i přes mohutný rozvoj informačních technologií a řady aplikací katastru nemovitostí je doložení a grafické znázornění vlastnických vztahů pozemků pro zpracování návrhu ochranných pásem vodních zdrojů dle vyhlášky MŽP č. 137/1999 Sb. velice obtížné a do doby vyřešení celorepublikového digitálního katastru v roce 2015 nebude možno tuto problematiku uspokojivě řešit s dlouhodobou účinností. Právě v souvislosti s vytvořením jednotného katastrálního operátu dojde k výrazné změně prostorového uspořádání parcel, která se dotkne vlastního návrhu ochranných pásem vodních zdrojů, respektive dotčených parcel tímto návrhem. Systém by měl sloužit k ochraně jakosti ve vodárenské nádrži a k identifikaci dotčených parcel a vlastnických vztahů.

Rovněž ve vazbě na zákon č. 150/2010 Sb., kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů je nutno provést i novelizaci vyhlášky MŽP č. 137/1999 Sb. s ohledem na složitost procesu prokazování vlastnických vztahů dotčených parcel.

## Poděkování:

Výsledky tohoto článku vznikly za podpory projektu NAZV č. QH 82096, QH 82098 a výzkumného záměru MZE 0002704902.

## Literatura:

1. Vyhláška č. 137/1999 Sb. Ministerstva životního prostředí ČR, Seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů.
2. Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů.
3. Kvitek T. a kol. Změna rozsahu a členění PHO. VÚMOP Praha 1994, 42 s.
4. Vyhláška č. 26/2007 Sb., kterou se provádí zákon č. 265/1992 Sb., o zápisech vlastnických a jiných věcných práv k nemovitostem, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí České republiky (katastrální zákon), ve znění pozdějších předpisů, (katastrální vyhláška).
5. Zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů.
6. Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon).

RNDr. Pavel Novák, Ing. Tomáš Hejduk  
Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i. s.  
Žabovřeská 250, Praha 5-Zbraslav  
Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze  
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6-Suchbát  
e-mail: novak.pavel@vumop.cz, hejduk.tomas@vumop.cz

	<p>VODATECH, s. r. o. Milotická 499/40 696 04 Svatobořice-Mistřín</p>
	<p>VÝROBCE ZAŘÍZENÍ PRO ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD</p> <p>FLOTACE ROTAČNÍ SÍTA SEPARÁTORY ŠNEKOVÉ LISY</p> <p>CHEMICKÉ JEDNOTKY AERAČNÍ SYSTÉMY OBSLUŽNÉ LAVKY</p>
<p>Tel.: 518 620 962-4 e-mail: vodatech@vodatech.net</p>	<p>Fax: 518 620 962 http://www.vodatech.net</p>

	<p><b>Úprava technologické a pitné vody</b></p> <p>Přemyslovců 30, Ostrava 709 00 tel. 596 632 129 (39) e-mail: purity@iol.cz http://www.puritycontrol.cz</p>
	<p>✓ Dodávky a servis dávkovacích čerpadel LMI</p> <p>✓ Návrhy a dodávky kompletních úpraven vody nebo jejich částí včetně ozonizačních systémů a jednotek RO</p>

<p>VÝROBCE ZAŘÍZENÍ PRO ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD</p> <p><b>FONTANA R, s. r. o.</b></p> <p>• MECHANICKÉ PŘEDČIŠTĚNÍ • SEPARACE A PRÁNÍ PISKU • DOPRAVA, LISOVÁNÍ A PRÁNÍ SHRABKŮ</p> <p>• HRAZENÍ, REGULACE A MĚŘENÍ PRŮTOKU • DOPRAVA A HYGIENIZACE KALU • TERCIALNÍ DOČIŠTĚNÍ</p> <p>VÍCE NEŽ 5 000 VÝROBKŮ PO CELÉM SVĚTĚ</p> <p> FONTANA R, s. r. o.; Příkop 4, 602 00 Brno; tel.: 545 175 853 fax: 545 175 852; e-mail: fontanar@fontanar.cz; http://www.fontanar.cz</p>
---

	<p><b>SEZAKO</b></p> <p>ČIŠTĚNÍ A MONITOROVÁNÍ KANALIZACE MOBILNÍ ODLUČOVACÍ ROPNÝCH LÁTEK PRÁCE SACÍMI BAGRY V ADR PŘEVODNÍ MOBILNÍ ODLUČOVACÍ KALU A TUKU</p> <p>PROSTĚJOV • PRAHA • Č. BUDĚJOVICE • TŘINEC • TRNAVA</p>
<p>SEZAKO Prostějov s. r. o. Fanderlíkova 36, 796 01 Prostějov, CZ tel. / fax: 582 338 167, tel.: 582 336 366 sezako@sezako.cz, www.sezako.cz POHOTOVOST: +420 603 546 641</p>	<p>SEZAKO Trnava s. r. o. Orešianská 11, 917 01 Trnava 1, SK tel. / fax: 033/53 440 30 sezako@sezako.sk, www.sezako.sk POHOTOVOST: +421 910 998 573</p>





**DORG, spol. s r. o.**  
 U zahradnictví 123, Česká Ves  
 Tel./Fax: 584 401 066, 584 411 203

➔ **Potrubi z tvárné litiny s polyuretanovou ochranou švýcarské firmy von Roll**

➔ **Rekonstrukce sítí bezvýkopovými technologiemi (berstlining, relining), protlaky**





čerpadla a míchadla  
 EffeX, míchadla Scaba,  
 turbokompresory HST,  
 aerační systém NOPON

dmychadla  
 a vývěvy

Teknofanghi odvodňování kalu

• jedinečná přímá zpětná klapka  
 • jednoduchá instalace do šachty  
 i do kanalizačního potrubí  
 • žádné pohyblivé části a údržba  
 • zabráňuje šíření zápachu  
 • pro průměry potrubí 80–1 500 mm

ATER s.r.o. [www.ater.cz](http://www.ater.cz)  
 Tábořská 31, 140 43 Praha 4,  
 tel. 261 102 214, fax 383 324 969, [paha@ater.cz](mailto:paha@ater.cz)  
 Volyňská 446, 386 01 Strakonice,  
 tel. 383 321 110, fax 383 324 969, [ater@ater.cz](mailto:ater@ater.cz)



Největší český výrobce plastových  
 potrubních systémů pro kanalizace,  
 vodovody, plynovody, drenáže,  
 vnitřní instalaci a ochranu kabelů.

Pipelife Czech, s. r. o.  
 Kučovaniny 1778, 765 02 Otrokovice  
 tel.: 577 111 211, fax: 577 111 227  
 e-mail: [pipelife@pipelife.cz](mailto:pipelife@pipelife.cz), [www.pipelife.cz](http://www.pipelife.cz)

**PREFA KOMPOZITY a. s.**

Pochůzná rošty – kompletní řada pro všeobecné použití




**PREFAPOR** – složené z tažených profilů  
 Protiskluzový povrch, různé výšky a rozměry. Více informací [www.prefa-kompozity.cz](http://www.prefa-kompozity.cz)

**PREFAGRID** – vyrobené litím do formy

Kotlářská 53, 656 03 Brno, 541 583 208, 292, [stryk@prefa.cz](mailto:stryk@prefa.cz)

SOVAK • VOLUME 20 • NUMBER 6 • 2011

## CONTENTS

Jiří Hruška I want to encourage my colleagues – interview with Ladislav Haška .....	1
Martin Kubát Information on cooperation between the BVK, a. s., (water company) and the Masaryk university.....	3
Pavel Svoboda Water meter calibration lab and repair workshop of the Brněnské vodárny a kanalizace (regional water company in Brno) .....	3
General Assembly of water Supply and Wastewater System Association of Czech Republic 2011 .....	4
Michal Dohányos, Josef Kutil Biogas – source of energy in WWTP .....	10
Lenka Fremrová Assessment standards in the field of water quality .....	15
Jan Zapletal Optimization of hydrodynamic pumps operation.....	17
Miroslav Pflieger Condition assessment of 100-years old cast iron pipes from the foundries in Pont-à-Mousson .....	20
Pavel Novák, Tomáš Hejduk Important issues of design methods of protective zones of water resources in relation to real estate (Land Registry) .....	22
Providing of water supply in event of natural disaster .....	26
Technical information system as a integral part of enterprise arrangement .....	28
Josef Nepovím Ownership of water supply and sewer systems facilities in case of unknown owner .....	29
Seminars... Training... Workshops... Exhibitions... .....	31

Cover page: Švařec Water Treatment Plant, in frame picture –  
 filters engine-room. Operator: Brněnské vodárny a kanalizace, a. s.

**Redakce (Editorial Office):**

Šéfredaktor (Editor in Chief): Mgr. Jiří Hruška, tel.: 221 082 628; fax: 221 082 646

e-mail: [redakce@sovak.cz](mailto:redakce@sovak.cz)

Adresa (Address): Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

**Redakční rada (Editorial Board):**

Ing. Ladislav Bartoš, Ph. D., Ing. Josef Beneš, prof. Ing. Michal Dohányos, CSc., Ing. Miroslav Dundálek, Ing. Karel Frank, doc. Ing. Jaroslav Hlaváč, CSc., Mgr. Jiří Hruška, Ing. Radka Hušková, Ing. Miroslav Kos, CSc., MBA (předseda – Chairman), Ing. Milan Kubeš, Ing. Miloslava Melounová (místopředseda – Vicechairman), JUDr. Josef Nepovím, Ing. Jan Plechatý, RNDr. Pavel Punčochář, CSc., Ing. Vladimír Pytl, Ing. Jan Sedláček, Ing. Petr Šváb, MSc., Ing. Bohdana Tláškalová.

SOVAK vydává Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1 (IČO: 6045 6116; DIČ: 001-6045 6116), v nakladatelství a vydavatelství Mgr. Pavel Fučík, Čs. armády 488, 254 01 Jilové u Prahy, tel./fax: 261 218 990, resp. 241 951 253, e-mail: [pfck@bohem-net.cz](mailto:pfck@bohem-net.cz). Sazba a grafická úprava SILVA, s. r. o., tel./fax: 261 218 990, e-mail: [pfck@bohem-net.cz](mailto:pfck@bohem-net.cz). Tisk Studiopress, s. r. o. Časopis je registrován Ministerstvem kultury ČR (MK ČR E 6000, MIČ 47 520). Nevyžádané rukopisy a fotografie se nevracejí. Časopis SOVAK je zařazen v seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik. Číslo 6/2011 bylo dáno do tisku 8. 6. 2011.

SOVAK is issued by the Water Supply and Sewerage Association of the Czech Republic (SOVAK CR), Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1 (IČO: 6045 6116; DIČ: CZ60456116). Publisher Mgr. Pavel Fučík, Čs. armády 488, 254 01 Jilové u Prahy, tel./fax: 261 218 990 or 241 951 253, e-mail: [pfck@bohem-net.cz](mailto:pfck@bohem-net.cz). Design: SILVA Ltd, tel. and fax: 261 218 990, e-mail: [pfck@bohem-net.cz](mailto:pfck@bohem-net.cz). Printed by Studiopress, s. r. o. Magazin is registered by the Ministry of Culture under MK ČR E 6000, MIČ 47 520. All not ordered materials will not be returned. This journal is included in the list of peer reviewed periodicals without an impact factor published in the Czech Republic. Number 6/2011 was ordered to print 8. 6. 2011.

3

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. (25 %)





**KUNST**  
spol. s r.o. Hranice

**JSME TU PRO VÁS**

**ČERPACÍ STANICE**

*čerpací stanice*

**ÚPRAVNY VODY**

*úpravny vody*

**ČISTÍRNÝ**

*čistírny čistírny*

**KONZULTACE**

*konzultace ko*

**PROJEKTY**

*projekty proj*

**DODÁVKY**

*dodávky dod*

**MONTÁŽE**

*montáže montáže montáže montá*



Více informací na str. 330

# vodní 8/2011 hospodářství®

## OBSAH

- Využití hydrologického měření při tvorbě hydrodynamických modelů z dat leteckého laserového skenování (Novák, P.; Roub, R.; Hejduk, T.) ..... 297
- Teplota povrchu krajiny a chemismus povrchových vod jako indikátory funkčnosti krajinného pokryvu (Chmelová, I.; Šulcová, J.; Kröpfelová, L.; Hesslerová, P.; Pechar, L.; Pokorný, J.) ..... 303
- Povodně a sucha na Třeboňsku v období let 1890–2009 (Novák, O.) ..... 307
- Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů Část V. – Ochrana recipientů z imisního hlediska: Deficit kyslíku, nerozpuštěné látky, hygienické znečištění a estetické narušení deterioration (Kabelková, I.; Havlík, V.; Kuba, P.; Sýkora, P.) ..... 312
- Prostorová interpolace srážkoměrných dat v horském povodí (Punčochář, P.; Křeček, J.) ..... 317
- Parametrické srovnání vztahu součinitele drsnosti u 1D a 2D modelů proudění vody v tocích (Dvořák, L.; Říha, J.) ..... 322
- Různé
  - Pozvánka na seminář Ekologicky orientovaná správa vodních toků ..... 306
  - Do diskuse: Znečištění vod je nám stále výzvou i příležitostí! (Lysák, F.) ..... 315
  - Po mokrých letech přicházejí suchá (Cílek, V.) ..... 316
  - Pozvánka: Řešení protipovodňové problematiky ..... 320
  - Rozhovor měsíce: Ing. Jiří Hladík, ředitel VÚMOP, v.v.i. .... 321
  - Pozvánka na konferenci Pedologické dny ..... 321
  - Funkce lesa v oběhu vody a regionálním klimatu (Pokorný, J.; Hesslerová, P.) ..... 325
  - Protipovodňová ochrana povodí Ohře ..... 328
  - Voda na konci světa (Bodík, I.) ..... 329
  - Pozvánka na seminář Rybí přechody ..... 329
- Firemní prezentace
  - KUNST, spol. s r. o. .... 330

## VODAŘ

### Různé

- Zpráva o činnosti České vědeckotechnické vodohospodářské společnosti za období květen 2010 – květen 2011 (Broža, V.; Bečvář, V.) ..... 331
- Zpráva o Národním dialogu o vodě, Medlov 2011 – „Plánování v oblasti vod – druhý pokus, nebo druhý cyklus?“ (Bouška, P.; Müller, B.) ..... 332
- Seminář „Využívání podzemních vod“ (Muzikář, R.) ..... 332

## VTEI

- Stanovení minimálních zůstatkových průtoků (Balvín, P.; Mrkvičková, M.) ..... 1
- Faktory ovlivňující populaci raka kamenáče v Zákolanském potoce (Svobodová, J.) ..... 4
- Čištění odpadních vod v oblastech povodí Moravy a Dyje a sousedních státech (Juráš, S.; Petránová, A.) ..... 8
- Porovnání účinnosti čištění biologických nádrží ve vegetačním a nevegetačním období (Mlejnská, E.) ..... 10
- Pozadové koncentrace říčních sedimentů Labe a jeho významných přítoků pro kovy a metaloidy (Lochovský, P.) ..... 14
- Procesy čištění odpadních vod ve filtračních kořenových polích (Rozkošný, M.) ..... 16
- Vznik pojmu povrchové vody v českém vodním právu (Kult, A.) ..... 23
- Různé
  - Národní dialog o vodě – Medlov 2011 (Bouška, P.; Müller, B.) ..... 24

## CONTENTS

- The use of continuous flow measurement in the development of hydrodynamic models of data from an airborne laser scanning (Novák, P.; Roub, R.; Hejduk, T.) ..... 297

- Surface temperature and hydrochemistry as indicators of land cover functions (Chmelová, I.; Šulcová, J.; Kröpfelová, L.; Hesslerová, P.; Pechar, L.; Pokorný, J.) ..... 303
- Floods and droughts in the Třeboň region in the period of 1890–2009 (Novák, O.) ..... 307
- Assessment of combined sewer overflows. Part V – Receiving waters protection from the environmental impacts point of view: Oxygen deficit, suspended solids, microbial pollution and aesthetic deterioration (Kabelková, I.; Havlík, V.; Kuba, P.; Sýkora, P.) ..... 312
- Spatial interpolation of observed precipitation in a mountain catchment (Punčochář, P.; Křeček, J.) ..... 317
- Comparison of roughness coefficient in 1D and 2D shallow flow modeling (Dvořák, L.; Říha, J.) ..... 322
- Miscellaneous ..... 306, 315, 316, 320, 321, 325, 328, 329
- Company section ..... 330

## Water Manager

- Miscellaneous...331, 332

## Scientific-Technical and Economic in the Field of Water Management

- Determination of Minimum Residual Flow (Balvín, P.; Mrkvičková, M.) ..... 1
- Factors influencing the population of stone crayfish in Zákolanský brook (Svobodová, J.) ..... 4
- Wastewater Treatment in the Morava and Dyje River Basin and Neighbouring Countries (Juráš, S.; Petránová, A.) ..... 8
- Comparison of stabilization ponds seasonal treatment efficiency (Mlejnská, E.) ..... 10
- Natural background concentrations of heavy metals and metaloids in the sediments of the Elbe River and its significant tributaries (Lochovský, P.) ..... 14
- Wastewater treatment processes in reed-beds (Rozkošný, M.) ..... 16
- The origin of the concept of surface water in the Czech water law (Kult, A.) ..... 20
- Miscellaneous ..... 24

13. 9. Systémové přístupy v problematice ochrany před negativními účinky povodní. VÚV Brno. Info: Ing. Karel Drbal, Ph.D., tel.: 541 126 300, e-mail: karel\_drbal@vuv.cz

22.–23. 9 KRAJINNÉ INŽENÝRSTVÍ 2011. Konference proběhne ve třech Vám známých odborných sekcích: pozemkové úpravy a krajinné plánování, stavby vodního hospodářství a krajinného inženýrství, stavby pro plnění funkce lesa, Info: vokurka@fsv.cvut.cz

Nenechte si ujít



## INŽENÝRSKÁ A PROJEKTOVÁ ČINNOST VE VŠECH OBORECH VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

### Pöyry Environment a. s.

Botanická 834/56, 602 00 BRNO  
tel.: 541 554 111, fax: 541 211 205 E-mail: trade.wecz@poyry.com, www.poyry.cz

**Pobočky:** Praha, Bezová 1658, 147 14 Praha 4, tel.: 244 062 353  
Ostrava, Varenská 49, 701 00 Ostrava, tel.: 596 657 206  
Břeclav, Růžičkova 5, 690 39 Břeclav, tel.: 519 322 304  
**Organizační složka Trenčín,** Jesenského 3175, 911 01 Trenčín,  
tel.: +421 326 522 600



DUIS s.r.o. se specializuje na problematiku kanalizačních sítí a čištění odpadních vod včetně řešení složitých hydrotechnických a technologických výpočtů pomocí tuzemského i zahraničního software.

- Ochrana čistoty vod
- Odkanalizování a čištění odpadních vod
- Projektové dokumentace všech stupňů
- Optimalizace provozu ČOV

DUIS s.r.o., Srbská 1546/21, 612 00 Brno, tel.: 541 244 197-8  
fax: 541 248 192, e-mail: duis@duis.cz, www.duis.cz

# Využití hydrologického měření při tvorbě hydrodynamických modelů z dat leteckého laserového skenování

Pavel Novák, Radek Roub, Tomáš Hejduk

## Klíčová slova

příčný profil – průtok vody – HEC-RAS – rozdělení rychlostí – záplavové území

## Souhrn

Průtok vody představuje základní hydrologickou veličinu vyjadřující objem vody, který proteče daným profilem vodního toku za jednotku času. Letecké laserové skenování (dále LLS) povrchu patří k nejmodernějším technologiím pro pořizování prostorových geografických dat. Znalost těchto dvou poznatků vytváří v kombinaci vhodný předpoklad pro tvorbu relevantního digitálního modelu reliéfu (DMR) vstupujícího do hydrodynamických modelů. Vysoké finanční požadavky na geodetické zaměření příčných profilů koryta vedly k posouzení možnosti, jakým vhodným způsobem snížit vynakládané finanční prostředky na získání této informace. Alternována byla možnost využít hydrologické měření při pořizování výškopisných dat LLS povrchu při sestavování jednotlivých simulačních epizod v hydrodynamickém modelu. Daný způsob předpokládá využití stanovené průtoky z doby pořizování výškopisných dat metodou LLS při tvorbě modelovaných scénářů, kdy je modelovaná epizoda snížena o naměřenou hodnotu průtoku z doby pořizování dat, čímž je přesně vystižená zbývající část profilu koryta, která není metodou LLS v DMR reflektována.

## 1. Úvod

Jedním z nejdůležitějších podkladů pro hydrodynamické modely jsou vstupní data pro schematizaci koryta vodního toku. Získaná výškopisná data jsou rozhodující i při samotné volbě hydrodynamického modelu pro prováděné simulace. Méně náročnými modely z hlediska výškopisu území jsou jednorozměrné (1D) modely, kterým pro výpočet postačí příčné profily koryta a přilehlé inundace. V případě dvourozměrných (2D) modelů výpočet již vyžaduje detailní DMR, který přesně vystihuje morfologii sledovaného území. Na základě požadavků vstupních dat 1D a 2D modelů se odvíjí i finanční náročnost na pořízení těchto dat [1,3].

Pro zpracování hydraulických výpočtů pomocí numerických modelů, pro vyhodnocení výsledků simulací i pro zpracování navazujících rizikových analýz jsou používány tři základní způsoby pořízení těchto dat:

- geodetické zaměření příčných profilů (koryto + inundace),
- letecké laserové skenování,
- fotogrammetrie.

Geodetické zaměření koryta a inundace bývá časově i finančně nejnáročnějším způsobem s ohledem na velikost zaměřeného bodového pole. Maximální vzdálenost mezi jednotlivými příčnými profily se obecně pohybuje v rozsahu od několika desítek metrů až po stovky metrů s ohledem na variabilitu tvaru říčního koryta. Standardní vzdálenost příčných profilů se pohybuje v intervalu od 50 m až do 100 m v intravilánu a 200 až 400 m v extravilánu. Důležitou podmínkou při prováděném zaměření je, aby zaměřením byla co nejvíce zachycena prostorová variabilita vodního toku a byly zachyceny všechny významné změny v geometrii koryta (změny příčného průřezu koryta, změny podélného sklonu apod.) [6].

Letecká fotogrammetrie se používá pro sběr polohopisných a výškopisných dat ve velkých a středních měřítkách s dostatečnou přesností a s výrazně nižšími náklady než při použití geodetických metod. Obvyklá forma DMR v případě letecké fotogrammetrie je tvořena základní vrstvou 3D bodů, který je doplněn vyhodnocením významných terénních hran v podobě 3D linií. Maximální krok rastru bodů

by neměl překročit hodnotu 25 metrů (optimální hodnota činí 10 až 15 m), vyhodnoceny musí být veškeré terénní hrany a lomy, jejichž relativní výška je větší než 25 cm. Požadovaná přesnost je definována maximální polohovou odchylkou 0,5 m a střední výškovou chybou 0,11 m [7].

Pokud je základem DMR letecké laserové skenování, je obvyklým výstupem mračno 3D bodů o vysoké hustotě. Značná hustota eliminuje nutnost samostatného vyhodnocení terénních lomů a hran, krok rastru však musí být dostatečně jemný. Z hlediska vystižení významných terénních tvarů (koryta, násypy komunikací apod.) numerickým modelem musí být krok rastru maximálně 2 až 3 metry [7].

Při tvorbě DMR je nutné fotogrammetrické metody a metody založené na využití laserové či radarové technologie vhodně kombinovat s geodetickými metodami. U významných vodních toků s většími šířkami a hloubkami koryta je vhodnější využít souvislé zaměření batymetrie dna pomocí speciálních měřicích zařízení [4].

### 1.1 Letecké laserové skenování

Metoda LLS je založena na principu odrazu laserových paprsků, které interpretují obraz měřených objektů laserovému paprsku. Na základě tohoto paprsku vyslaného k zemskému povrchu je změřena vzdálenost, kterou urazí směrem k povrchu měřeného území nebo objektu. GPS ve spolupráci s inerciální navigací určí směr paprsku. Zpracováním těchto parametrů dojde k výpočtu polohy daného bodu. Dílčím výstupem laserového skenování je soubor 3D souřadnic odražených bodů – takzvané mračno bodů. Na základě dalších informací o odraženém bodu – např. intenzitě odrazu – může být provedena tzv. klasifikace. Takto získané mračno bodů je možné reklasifikovat do 3 základních skupin – terén, vegetace, zástavba. Vedlejšími kategoriemi vzniklými reklasifikací mračna bodů jsou ještě chyby a mosty. LLS se vyznačuje vysokou rychlostí měření ve vazbě na množství měřených dat a informací [2]. Technologie LLS umožňuje sběr výškopisných dat, vyznačující se vysokou dosaženou přesností. Ve spojení s poměrně vysokým stupněm automatizace jejich zpracování při vytváření digitálního modelu terénu a povrchu představuje jednu z neefektivnějších metod pro získávání prostorových dat. Nachází své uplatnění v mnoha praktických disciplínách [8].

V současné době probíhá tvorba nového výškopisné ČR metodou LLS, která navazuje na současné výškopisné databáze, především na různé vývojové modifikace Základní báze geodetických dat (ZABAGED) a DMR v gesci Ministerstva obrany. Tvorba nového výškopisné České republiky je v kompetenci tří státních subjektů, kterými jsou Český úřad zeměměřičský katastrální (ČUZK), Ministerstvo zemědělství (MZe) a Ministerstvo obrany (MO). Plánovanými produkty z tvorby nového výškopisné ČR, které vzniknou po zpracování dat v různých časových obdobích, budou digitální model reliéfu 4. generace (DMR 4G) ve formě mřížky 5 m x 5 m, digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) ve formě nepravidelné sítě trojúhelníků (TIN), digitální model povrchu 1. generace (DMP 1G) ve formě TIN [2,9].

### 1.2 Hydrologické měření

Monitoring průtoků na vodních tocích je v kompetenci Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a podniků povodí. Na území ČR je v současnosti v provozu 492 stanic s hydrologickým měřením na významných vodních tocích. Kontinuita hydrologického měření na celkových 492 stanicích tak poskytuje adekvátní předpoklad k úvaze o možnosti využití zjištěných hodnot z měření průtoků při tvorbě korektní geometrie pro hydrodynamický model.

## 2. Materiál a metody

Ve vazbě na prováděné nové výškopisné mapování ČR technologií LLS a s ohledem na prováděný kontinuální hydrologický monitoring ČHMÚ a podniky povodí je sledována možnost využití stanovených průtoků v době pořizování výškopisných dat metodou LLS pro snížení hodnot modelovaných průtoků v jednotlivých simulacích. Uvažováno tak bylo nahrazení finančně náročného geodetického zaměření, které s ohledem na omezenost zaměřených příčných profilů koryta neposkytuje relevantní podklad pro meziprofilové oblasti, dostupnými údaji z hydrologického měření, které zcela přesně vystihují příčný profil koryta v celém podélném profilu. Pro posouzení tak byly modelovány scénáře jak se snížením simulovaného průtoku o naměřenou hodnotu průtoku z doby pořizování dat metodou LLS, tj. na podkladě DMR vygenerovaného pouze z dat LLS, tak scénáře bez provedení snížení simulovaného průtoku, tj. na podkladě DMR s dodatečně zahrnutým korytem vodního toku (data LLS + geodetické zaměření).

## 2.1 Popis zájmové oblasti

Vodními toky, na kterých byla posuzována možnost využití hydrologického měření při tvorbě hydrodynamických modelů z dat LLS byly vodní toky Divoká Orlice v rozsahu od obce Borohrádek po soutok s Tichou Orlicí v Týništi nad Orlicí, dále samotná Tichá Orlice od Čestic po soutok s Divokou Orlicí a vodní tok Orlice od Týniště nad Orlicí po obec Třebechovice pod Orebem. Za zájmovou oblast, kde byla uvažovaná myšlenka aplikována, tak bylo vybráno území západně od Hradce Králové, které je vymezeno obcemi Třebechovice pod Orebem – Borohrádek – Čestice (obr. 1).

Pro výběr předmětného území byl rozhodující především velký počet stanic s probíhajícím hydrologickým měřením, které se nachází buď přímo na sledovaných vodních tocích v okrajových zónách řešeného území, či na jejich přítocích, kde bylo možné na základě hydrologické analogie dopočítat konkrétní průtoky, které byly v době pořízení dat z LLS na sledovaných tocích dosaženy. Hlavní přednosti, které rovněž vedly k výběru dané lokality, byly především hydraulické a hydrologické charakteristiky.

## 2.2 Datové podklady použité na tvorbu geometrie toku

Pro tvorbu geometrie toku bylo využito dvou datových zdrojů ve vazbě na použitou variantu výpočtu. Při variantě výpočtu se sníženým simulovaným průtokem bylo využito samotných dat z LLS. Při řešení druhé varianty výpočtu bez snížení simulovaného průtoku bylo pro zpřesnění DMR, vyjma použitých dat z LLS, ještě nutné dodatečně použít zaměřené příčné profily koryta pro následnou interpolaci mezi profilového prostoru vodního toku pro zanesení do konečného DMR, z kterého již byla vytvářena schematizace koryta vodního toku.

### 2.2.1 Data z LLS

Pro posouzení simulací mezi scénářem se sníženým modelovaným N-letým průtokem a scénářem, kdy byl modelován konkrétní N-letý průtok na základě odlišných výškopisných podkladů, které byly vstupem pro tvorbu geometrie do modelu HEC – RAS, byla určující data z LLS. Data z LLS pro předmětnou analýzu byla předána již po transformaci souřadného systému v zobrazení S-JTSK v textovém ASCII formátu (X, Y, H). Byla poskytnuta v podobě klasifikovaného mračna bodů (s hustotou 1,2 bod/m<sup>2</sup>) v třídách G – terén, B – budovy, V – vegetace, H – výškové překážky (body výše jak 46 m nad povrchem), E – hluboké chyby, F – umělé generovaná mřížka 5 m x 5 m (v místech kde nebyly data), m – mosty. U použitých dat je garantována střední souřadnicová chyba – 0,18 m.

### 2.2.2 Data z geodetického zaměření

Geodeticky zaměřené příčné profily koryta pro zahloubení koryt sledovaných vodních toků byly poskytnuty podnikem Povodí Labe (PLA). Zaměření příčných profilů koryt sledovaných vodních toků bylo provedeno v rozmezí od 80 m – 250 m s tím, že interval 80 m byl použit v intravilánech dotčených obcí a vyšší interval meziprofilových vzdáleností byl použit do míst mimo intravilán (do extravilánu). Interval mezi jednotlivými zaměřenými příčnými profily poskytuje adekvátní podklad pro další operace. Především se jedná o interpolaci úseků mezi zaměřenými profily a následného zanesení do DMR z dat LLS.

## 2.3 Hydrologická data

Pro modelované scénáře byla hydrologická data získána z listů hlásných profilů ČHMÚ. Po potřeby relevantního srovnání dosažených výsledků bylo použito stanovených N-letých průtoků vody pro tři povodňové epizody  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ . Data byla získána ze čtyř stanic s hydrologickým měřením nacházejících se přímo na řešených vodních tocích. Pro zpřesnění dosažených průtoků pro jednotlivé úseky řešeného území bylo rovněž využito stanic nacházejících se na přítocích. Takto získané hodnoty dosažených průtoků v době pořizování dat LLS byly následně použity pro snížení samotných N-letých průtoků. Pro modelované simulace tak byly vytvořeny scénáře ve dvou variantách.

První varianta spočívala ve využití stanovených N-letých průtoků, jejichž hodnota již nebyla dále korigována. Pro simulaci dané varianty bylo využito pro tvorbu geometrie do modelu HEC – RAS datového podkladu, který byl připraven v kombinaci dat z LLS s daty z geodetického zaměření příčných profilů koryt (tab. 1).

Druhá varianta vycházela ze stanovených N-letých průtoků, přičemž každý modelovaný N-letý průtok byl snížen o průtok ( $Q_s$ ), který byl dosažen v době pořizování dat LLS. Na vytvoření výpočetní geometrie pro scénář dané varianty bylo využito výškopisného podkladu, který byl vytvořen pouze ze samotných dat LLS (tab. 2).

## 2.4 1D matematický model

Použitelnost 1D matematických modelů se vyznačuje relativní jednoduchostí, dobrou interpretovatelností, kontrolou výstupů a rela-

tivně malými nároky na vstupní data. Vstupní data jsou v daném případě omezena na požadavek, kdy je modelovaná oblast schematizována soustavou příčných profilů, přičemž se předpokládá, že proudění se děje ve směru spojnic mezi jednotlivými profily a lze ho zjednodušeně popsat v každém profilu pomocí polohy hladiny a střední průřezové rychlosti ve směru osy koryta. Na základě daného zjednodušení v podobě použité schematizace je aplikace 1D modelů omezená. Oblast uplatnění je limitována především ve vazbě na hydraulické náročnosti místních podmínek. 1D modely lze bez problémů aplikovat v oblastech, kdy se proudění vyznačuje převážně jedno- a rovnoměrným charakterem (paralelní proudění v toku a inundačním území, konstantní úroveň hladiny v příčném směru). Navíc 1D modely umožňují také schematizaci podélných a příčných technických objektů v korytech, která není u 2D modelů ještě plně možná (např. MIKE 21c, TUFLOW) nebo je využito hybridní 1D & 2D řešení, např. MIKE FLOOD. Použití 1D modelu tedy v tomto ohledu nepředstavuje méněcenné řešení v porovnání s 2D modely. S ohledem na charakter sledovaného území, které se vyznačuje vhodnými podmínkami pro aplikaci 1D modelu, byl jako vstupní použit 1D model [10].

## 2.5 Použitý software HEC – RAS

Sestavení hydrodynamických modelů mapujících možnost využití kontinuálních měření průtoků při schematizaci výpočetní trati bylo provedeno pomocí 1D hydrodynamického modelu v softwaru HEC – RAS. Program HEC – RAS umožňuje jednodimenzionální výpočet ustáleného i neustáleného nerovnoměrného proudění, transportu splavenin (pohyblivého dna) či modelování změn teploty proudící vody. Pro potřeby vyhodnocení, zda je možné využití hydrologického měření při přípravě geometrie toku, byl použit výpočet v ustáleném režimu proudění. Výpočetní schéma ustáleného proudění je založeno na výpočtu nerovnoměrného proudění v korytech metodou po úsecích. Program umožňuje rozdělení profilu na vlastní koryto (tzv. efektivní neboli účinná oblast proudění) a levou či pravou inundaci.

Stanovení průběhu hladin je v softwaru HEC – RAS postaveno na jednorozměrném řešení Bernoulliho rovnice (energy equation). Řešení energetických ztrát je řešeno v podobě ztrát třením (Manning's equation), přičemž místní ztráty jsou vyjádřeny pomocí koeficientů (contraction/expansion coefficients). Hydraulicky komplikovaná místa v podobě přelivů, soutoků, bifurkací, mostů či propustků jsou řešena upravenou pohybovou rovnicí.

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 (GUI). 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 vedoucím k vyhodnocení srovnání sledovaných variant modelovaných scénářů.

## 2.6 Rozdělení rychlostí v příčném profilu koryta

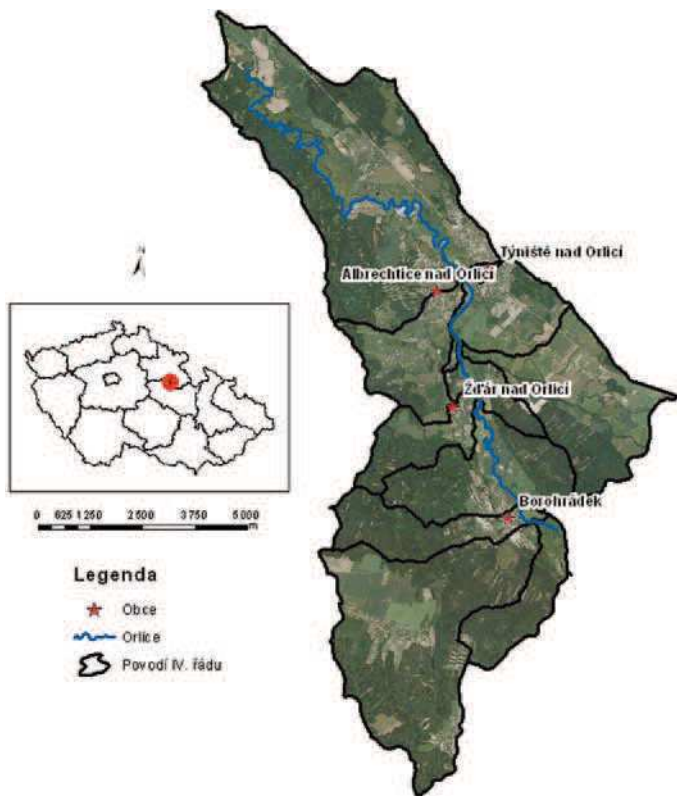
Rozdělení rychlostí v příčném profilu koryta má významný vliv na konečné výsledky získané z hydrodynamického modelu. S ohledem na vytvořenou schematizaci sledovaných vodních toků, která je v jednom případě realizována pouze na základě dat z LLS a ve druhém ze sledovaných případů v kombinaci dat z LLS + geodetického

Tab. 1. Scénáře simulace – varianta 1

Stanice	Vodní tok	$Q_{20}$	$Q_{50}$	$Q_{100}$
		[m <sup>3</sup> /s]		
Černná nad Orlicí	Tichá Orlice	163	206	242
Týniště nad Orlicí	Orlice	-	447	516
Kostelec nad Orlicí	Divoká Orlice	177	233	282
Hradec Králové	Orlice	382	471	542

Tab. 2. Scénáře simulace – varianta 2

Stanice	Vodní tok	$Q_{20}-Q_s$	$Q_{50}-Q_s$	$Q_{100}-Q_s$
		[m <sup>3</sup> /s]		
Černná nad Orlicí	Tichá Orlice	148	191	227
Týniště nad Orlicí	Orlice	-	396	465
Kostelec nad Orlicí	Divoká Orlice	153	209	258
Hradec Králové	Orlice	353	442	513



Obr. 1. Vymezení území

zaměření, bylo nutné nastavit počáteční podmínky tak, aby byly respektovány základní hydraulické zákonitosti při proudění vody v otevřených korytech.

V minulosti bylo rozdělení rychlostí ve svislici stanovováno empiricky na základě zaměřených rychlostních profilů. Byly tak uvažovány různé varianty rozdělení – přímkové (Eytelwein), parabola 2. stupně s vertikální osou (Hagen), parabola 2. stupně s horizontální osou, parabola n – tého stupně s vertikální osou (Lavale), rozdělení rychlostí eliptické či logaritmická křivka (obr. 2).

Dnes se uvažují v podstatě tři přístupy k rozdělení rychlostí ve svislici, kterými jsou logaritmické rozdělení, mocninné a eliptické. Pro vytvoření korektních podmínek v sestavovaných hydrodynamických modelech bylo nutné vhodně ošetřit vliv nepřítomnosti vazké podvrstvy v přechodové zóně výpočetní geometrie odvozené pouze z dat LLS.

Jako nejvhodnější a zároveň nejjednodušší varianta se ukázala možnost, která vycházela z vhodného nastavení drsností v korytě prostřednictvím drsnostního součinitele. Pomocí vhodného nastavení došlo k posunu (navýšení rychlosti) v příčném profilu koryta v místě přechodové zóny (obr. 3).

### 2.6.1 Tvorba DMR z dat LLS a z dat LLS + geodetického zaměření

Pro vyhodnocení možnosti využití hydrologického měření při zpracování hydrodynamických modelů bylo nutné na základě zís-

**SINDLAR**

stavby vodního hospodářství a krajinného inženýrství

SINDLAR EU s.r.o.  
Na Brně 372/2a, 500 06 Hradec Králové, tel.: 495 402 560

[www.sindlar.eu](http://www.sindlar.eu)

# Konferencia SINICE 2011 13. - 14.10.2011

Hotel SOREA Regia  
Královské údolí 6,  
811 02 Bratislava

Aktuálna problematika premnoženia  
siníc (cyanobaktérií) vo vodách  
na Slovensku a Českej republike



**sinice.sk**



Organizátor: SCAMPO s.r.o.,  
Centrum 29/34, 017 01 Považská Bystrica  
Tel.: +421 905 249 568  
info@sinice.sk  
www.scampo.sk, www.sinice.sk

## Malé vodní elektrárny v České republice 2011

Současnost a budoucí perspektivy odvětví  
13. října 2011, Praha

Ve spolupráci: Stříbrný partner: Partner: Mediální partner:

### HLAVNÍ TĚMATICKÉ OKRUHY:

- Legislativa (nový energetický zákon, nový zákon o podporovaných zdrojích energie, nový vodní zákon)
- Výkupní ceny
- Financování (Možnost získání dotací v dalších výzvách programu ekoenergie, možnosti získání úvěrů na výstavbu a rekonstrukce MVE)
- Technika (Šnekové turbíny, Vírové turbíny na nízké spády)

### POTVRZENÍ PŘEDNÁŠEJÍCÍ A TÉMATA:

Co přinese zákon o podporovaných zdrojích energie? Dají se očekávat změny v národním akčním plánu?  
Ing. Pavel Gebauer, vedoucí oddělení obnovitelných zdrojů, Ministerstvo průmyslu a obchodu

Výkupní ceny energie z OZE na rok 2012, změny ve výpočtu výkupních cen energie z MVE na ERÚ  
Ing. Rostislav Krejcar, Ph.D., Energetický regulační úřad

Vliv legislativních změn na provozování MVE  
JUDr. Jiří Vrba, předseda SPVEZ

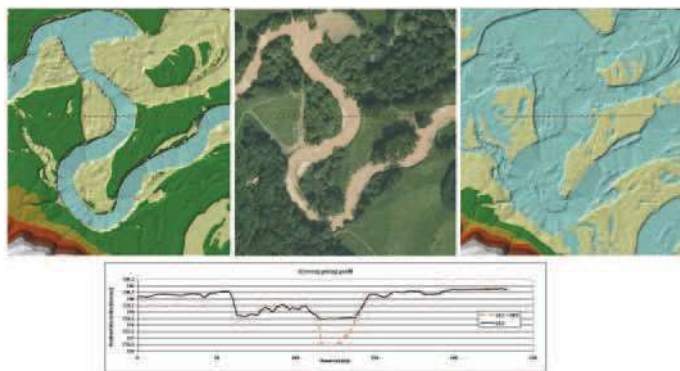
Příjoudo roku 2013 ještě výzvy programu Ekoenergie a výstavbu a rekonstrukce MVE? Jaké podmínky musí žadatel splňovat?  
Ing. František Bečvařík, vedoucí energetických programů, Czechinvest

Nevyužitý hydroenergetický potenciál v ČR  
Ing. Zdeněk Nováček, předseda asociace hydroenergetiků, Roman Adam, předseda hospodářské správy AHeČR

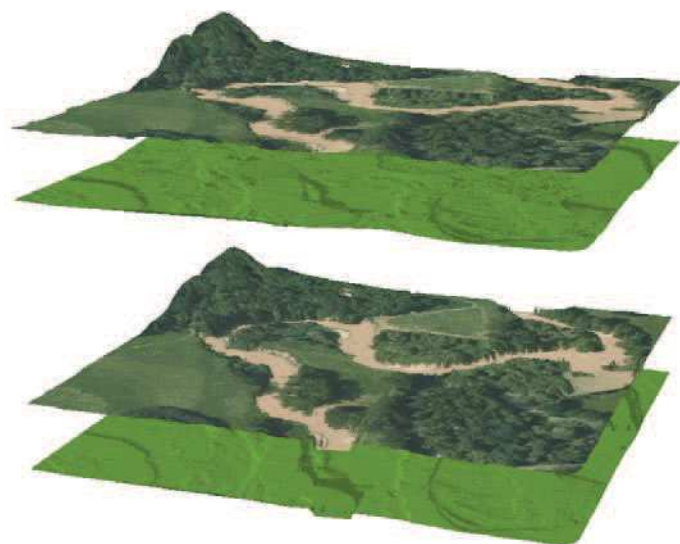
Zkušenosti a trendy s generátory pro malé vodní elektrárny  
Ing. Robert Švajka, ředitel vývoje, TES Vsetín a.s.

[www.bids.cz/mve](http://www.bids.cz/mve)

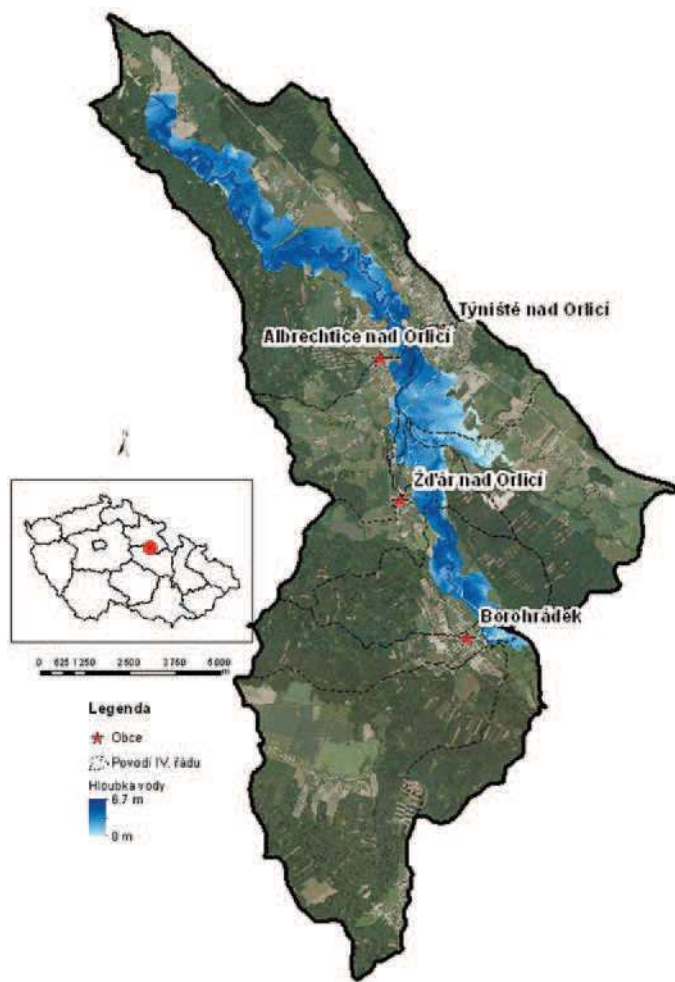
B.I.D. services s.r.o., Mlýnská 20, 130 00 Praha 3, Česká republika  
Tel.: +420 222 781 017, Fax: +420 222 780 147, E-mail: lukas.kozna@bids.cz, www.bids.cz/mve



Obr. 5. Srovnání dat z LLS a geodetického zaměření



Obr. 7. DMR z dat LLS a dat LLS + geodetického zaměření



Obr. 6. Rastr hloubek



## VODOHOSPODÁŘSKÝ ROZVOJ A VÝSTAVBA akciová společnost

150 56 Praha 5 - Smíchov, Nábřežní 4

tel: 257 110 338 fax: 257 319 394 email: vrv@vrv.cz www.vrv.cz

- řízení investičních projektů, výkon Správce stavby
- zpracování projektové dokumentace všech stupňů
- revitalizace toků, studijní a projektové práce
- zpracování komplexních pozemkových úprav dle z.č. 132/2002 Sb.
- koncepční a studijní práce v oblasti vodního hospodářství
- finanční montáže pro zajištění investic s účastí fin. zdrojů ČR a EU
- zpracování žádostí o poskytnutí finančních dotací
- organizace výběrových řízení, zpracování tendrové dokumentace
- výkon koordinátora BOZP dle z.č. 309/2006 Sb.
- zajištění koncesních projektů a organizace koncesních řízení

kaného průtoku, který byl dosažen v době pořizování dat metodou LLS, zpracovat dva DMR založené na různých datových podkladech (obr. 4).

Pro zpracování DMR bylo využito geografického informačního systému (GIS) společnosti ESRI – softwaru ArcGIS. Pro DMR, který byl generován pouze ze samotných dat LLS ve formátu TIN, bylo využito funkcí *Create TIN* a *Edit TIN* v extenzi 3D Analyst. Vytvořený DMR nebyl podroben vyhlazení povrchu z důvodu případné ztráty informací o lokálních výškových zlomech (příkopy, místní násypy, atd.) a byl použit pro vygenerování geometrických charakteristik v původní podobě.

Pro tvorbu DMR generovaného z dat LLS v kombinaci s daty z geodetického zaměření bylo nutné použít datové podklady vhodným způsobem zkombinovat pro vytvoření vstupního DMR. Takto vytvořený DMR byl použit jako základní datový vstup pro generování výpočetní geometrie do prostředí modelu HEC – RAS (preprocessing) i následné odečtení rastru hloubek na základě vyexportovaných úrovní hladin v jednotlivých profilech z modelu HEC – RAS (postprocessing), stejně jako v předešlém případě vytvořený DMR pouze z dat LLS. Rovněž daný DMR nebyl podroben vyhlazení povrchu z důvodu případné ztráty informací o lokálních terénních zlomech (příkopy, místní násypy, atd.) [11,12].

Nejprve byla při zpracování DMR provedena analýza, která spočívala ve vzájemném porovnání vstupních dat z LLS a dat z geodetického zaměření. Závěry srovnání ukazují na vysokou přesnost dat z LLS v porovnání s daty z geodetického zaměření. Pozitivním zjištěním je především vstřížím lomových terénních linií koryta až po úroveň hladiny vodního toku, odkud není výškopisná hodnota z LLS s rostoucí hloubkou v korytě již zaznamenána (obr. 5). Dané zjištění umocňuje myšlenku na zohlednění informace o průtoku z hydrologického měření při tvorbě hydrodynamických modelů. Po zhodnocení srovnávací analýzy mezi daty z LLS s daty z geodetického zaměření byla provedena editace břehových linií pod úrovní hladiny v době pořizování dat z LLS, kde již nejsou data z dané metody reflektována. Na základě vytvořených břehových linií pod úrovní hladiny byl v kombinaci dat z LLS a z geodetického zaměření profilů koryta vygenerován konečný DMR [11,12].

Takto vytvořené DMR byly vstupem pro schematizaci výpočetních tratí, na kterých následně byly modelovány vybrané scénáře s modifikovanými či oficiálními hydrologickými daty na základě zvoleného DMR.

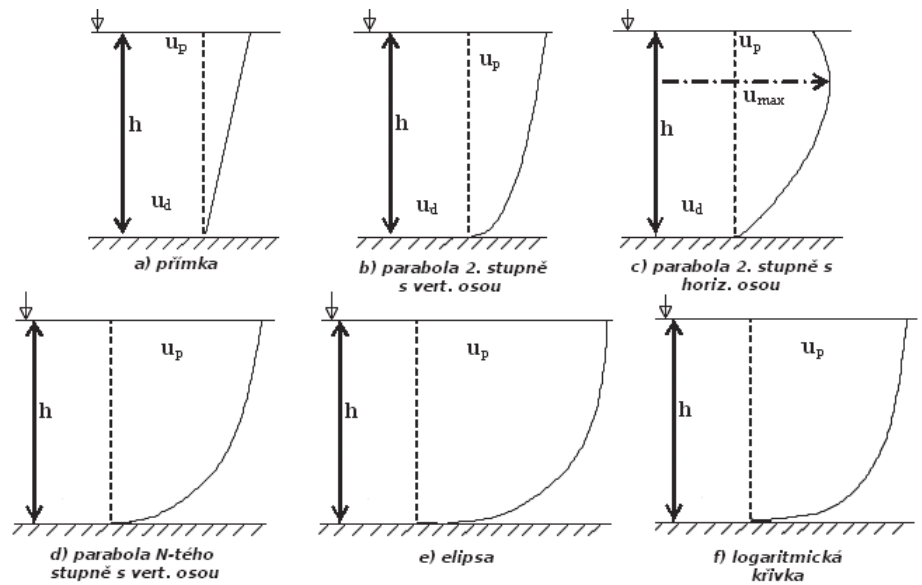
## 2.7 Stanovení záplavového území a vygenerování rastru hloubek

Výpočet záplavových území a generování rastrů hloubek v záplavovém území probíhal na základě dvou datových podkladů a byl proveden ve třech úrovních zpracování:

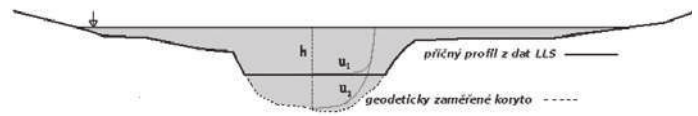
- příprava geometrických dat pomocí extenze HEC – GeoRAS (preprocessing),
- simulace vybraných scénářů v HEC – RAS (processing),
- vizualizace získaných výsledků a odečtení rastru hloubek (postprocessing).

Příprava geometrických dat byla provedena pomocí extenze HEC – GeoRAS. Prostřednictvím funkce *RAS Geometry/Create layers/All* byly vytvořeny jednotlivé prvky geodatabáze tvořící výpočetní trať, které byly následně naplněny pomocí editačního režimu. Jednalo se především o všechny povinné vrstvy nutné pro úspěšný import do prostředí 1D hydrodynamického modelu softwaru HEC – RAS. Po provedené editaci povinných vrstev bylo nutné vypočítat tabulkové atributy, které se vypočítaly v záložce *RAS Geometry*. Jednotlivé vrstvy ovšem stále neobsahovaly informace o výšce. Přiřazení výškových hodnot dílčích vrstev se provedlo pomocí volby *Elevation*, kdy byly vrstvy z 2D podoby převedeny do 3D. Až v samotném prostředí HEC – RAS byly navoleny nepovinné údaje v podobě volby *drsností*, *polohy mostů* a *překážek*. Takto připravená geometrická data mohla být následně exportována pomocí volby *Extract GIS data* z prostředí ArcGIS do dvou datových souborů s příponami *.sdf* a *.xml*.

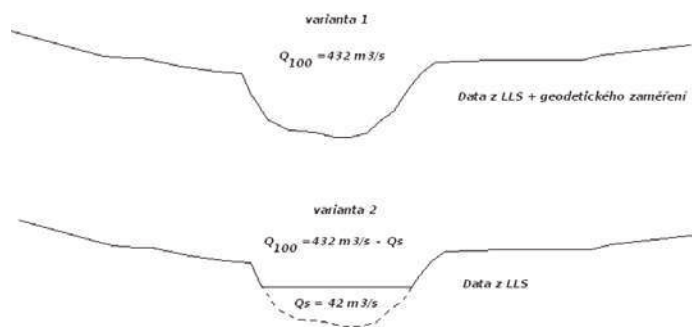
Exportní balík z prostředí ArcGIS byl následně importován do programu HEC – RAS pro realizaci samotných výpočtů. Ještě před



Obr. 2. Rozdělení rychlostí po svislici



Obr. 3. Přechodová zóna v modelu z dat LLS



Obr. 4. Příčné profily z DMR z dat LLS a dat LLS + geodetického zaměření

spuštěním samotných simulací byly nadefinovány údaje, které nebyly uvedeny při práci v ArcGIS, a byly formulovány okrajové podmínky. Po kontrole všech parametrů výpočtu byla spuštěna samotná simulace a následně byl proveden export získaných výsledků pro konečnou vizualizaci v ArcGIS.

Vizualizace získaných výsledků a odečtení rastru hloubek probíhala opět v prostředí softwaru ArcGIS s pomocí nástrojů HEC – GeoRAS. Při importu byla data nejprve pomocí funkce *Import RAS SDF File* transformována z formátu *.sdf* do výměnného formátu *.xml*, čímž byla data načtena do ArcGIS. Pomocí funkce *Layer Setup* se nastavily parametry pro odečtení rastru hloubek. Volbou funkce *Read RAS GIS Export File* se načel rastr potenciálního záplavového území (rastr spočítaných úrovní hladin v prostředí HEC – RAS), který byl protnut pomocí příkazu *Floodplain Delineation – Grid Intersection* s TIN DMR, za vzniku rastru hloubek (obr. 6) a polygonů záplavových území [5].

Výpočetní simulace s ohledem na různé datové zdroje a s tím spojená odlišná hydrologická data byly provedeny nezávisle ve dvou variantních scénářích s cílem konečného porovnání dosažených výsledků.

## 3. Výsledek

Získané konečné výsledky v podobě záplavového území a především rastru hloubek byly použity jako podkladové vrstvy pro vyhodnocení dosažené shody. Shoda byla sledována mezi výpočtem nad DMR z dat LLS a hydrologickými daty sníženými o hodnotu průtoku stanoveného v době pořizování dat z LLS a výpočtem nad DMR z dat

LLS + geodetického zaměření s modelovanými hodnotami hydrologických dat, které nebyly nikterak upravovány. Pro posouzení obou přístupů bylo využito funkce pro odečtení obou získaných rastrů, kdy byl získán rozdílový rastr, dokumentující rozdíly mezi dosaženými výsledky.

Z provedeného srovnání výsledků lze konstatovat, že využití hydrologického měření pro tvorbu hydrodynamických modelů je možné. Pozitivem je rovněž zjištění, že data LLS svou deklarovanou přesností docilují a není tudíž velký problém ohledně jejich zkombinování s daty z geodetického zaměření.

Pro dosažení celkové rovnosti výsledků by byla nutná hlubší analýza a rozšířené možnosti zadání ve vazbě na přechodovou zónu v příčném profilu toku, kde bude nutné přesně vystihnout rozdělení rychlostí po svislici v každém kroku výpočetní trati a toto dále promítnout do hydrodynamického modelu.

Další otázkou je omezenost daného přístupu pro zpracování navazujících analýz. Jedná se především o případnou tvorbu map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Přesto, že je daný přístup stejně dobře možné aplikovat i ve 2D modelech, není takto vytvořený podklad adekvátní pro další využití. Omezenost použití je dána skutečností, že získaný rastr hloubek nevystihuje reálný stav, poněvadž ve vstupním DMR z dat LLS není respektováno zahloubení profilu koryta. Obdobně ve vazbě na dosažené rychlosti, které je z 2D modelu možné získat, není takovýto výstup vhodné použít jako podklad do dalších analýz, a to i přes úpravy provedené při tvorbě modelu a promítající se do rozdělení rychlostí v příčném profilu. Z hlediska ochrany životů a majetku při povodňových událostech není ovšem předmětem ochrany samotné koryto, nýbrž přilehlá inundace, kde dosažené výstupy plně korelují se skutečností v terénu. S přihlédnutím k danému faktu je tudíž možné i v případech, kdy jsou vstupní vrstvy pro povodňové analýzy – rastr hloubek, rastr rychlostí – generovány pomocí daného přístupu, tyto podkladové vrstvy do dalších analýz zahrnout [13,14].

#### 4. Diskuse

Ekonomická náročnost spojená s pořízením výškopisů 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 (obr. 7), 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, je 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 bude v procesu automatizace tvorby příčného profilu zcela potlačena. Konkrétní specifikace procesu automatizace tvorby příčného profilu koryta je předmětem dalšího výzkumu.

#### 5. Závěr

Srovnání obou variantních scénářů tvorby DMR pro hydrodynamické modely ukázalo, že je možné daný přístup založený na tvorbě DMR z dat LLS v kombinaci se snížením modelovaného průtoku o průtok dosažený v době pořizování dat LLS aplikovat v praxi.

V budoucnu je nutné se zaměřit pro dosažení větší shody na definici vstupních podmínek v přechodové zóně pro přesné vystižení rozdělení rychlostí po svislici.

Rovněž se nabízí možnost využít hydrologického měření pro automatickou tvorbu příčného profilu koryta, která umožní vytvořit hydrodynamický model, u kterého budou splněny všechny hydraulické podmínky a získané výstupy budou moci být použity při tvorbě map

povodňového nebezpečí a povodňových rizik či dalších rizikových analýz, bez nutnosti zahrnout do modelu další zjednodušení, jako ve sledovaném případě.

Zároveň data z LLS poskytnou kvalitní výškopisný popis území nejen pro mapování povodňových rizik na velkých tocích, ale zároveň poslouží i pro stanovení záplavových území malých vodních toků s průtokem vody o malé hloubce, kde již nebude nutná kombinace s geodetickým zaměřením či kombinace dat z LLS s hydrologickými měřeními průtoků. V daném případě totiž dojde k odrazu laserového paprsku od samotného dna koryta, respektive při tvorbě vstupního DMR bude zaznamenána úroveň břehu oproti dnu představovat tak nízkou hodnotu, že bude pro samotnou modelaci zanedbatelná.

**Poděkování:** Příspěvek vznikl na základě poskytnutých dat z leteckého laserového skenování, která pro výzkumné účely zajistil Zeměměřický úřad, pracoviště Pardubice a dat z geodetického zaměření, která zapůjčil podnik Povodí Labe, s.p., se sídlem v Hradci Králové. Výsledky publikované v tomto článku vznikly za podpory projektu NAZV č. QH 82098, výzkumného záměru MZE 0002704902 a s podporou Interní grantové agentury Fakulty životního prostředí (projekt IGA, registrační číslo: 42200/1312/423142).

#### Literatura

- [1] BHARAT, L.; MASON, D. C. (2001): Application of airborne scanning laser altimetry to the study of tidal channel geomorphology, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56, 100–120
- [2] BRÁZDIL, K.: Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, 2009, ročník 55 (97), č. 7, s.145-151
- [3] COBBY, D. M.; MASON, D. C.; DAVENPORT, I. J. (2001): Image processing of airborne scanning laser altimetry data for improved river flood modelling, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56, 121–138
- [4] COOK, A.; MERWADE, V. (2009): Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping, Journal of Hydrology 377, 131–142
- [5] ČEJPEK, J.; DUCHAN, D.: Využití ArcGIS 9.x pro řešení úloh 2D proudění vody o malé hloubce. Juniorstav 2008, Vodní hospodářství a vodní stavby
- [6] DRBAL, K. a kol.: Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, 2009, Ministerstvo životního prostředí
- [7] DOLANSKÝ, T.: Lidary a letecké laserové skenování. Acta Universitatis Purkynianae, 99, Studia geoinformatica, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2004, ISBN 80 - 7044 - 575 - 0
- [8] DUŠÁNEK, P.: Tvorba digitálních modelů z dat leteckého laserového skenování a jeho využití pro aktualizaci výškopisu ZABAGED. Diplomová práce – Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze. Vedoucí dipl. práce Ing. Markéta Potůčková PhD.
- [9] DUŠÁNEK, P.: Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. In workshop září 2010
- [10] HORRITT, M. S.; BATES, P.D. (2002): Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting riverflood inundation, Journal of Hydrology 268, 87–99
- [11] 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
- [12] MERWADE, V. M.; MAIDMEND, R.; GOFF, J. A. (2006): Anisotropic considerations while interpolating river channel bathymetry, Journal of Hydrology 331, 731–741
- [13] ŘÍHA, J.; DRÁB, A. Implementation of Directive 2007/60/ EC of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks in the Czech Republic. Brno: MŽP, 2009. s. 112-124.
- [14] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2007/60/ES ze dne 23. října 2007 o vyhodnocování a zvládnání povodňových rizik (povodňová směrnice)

RNDr. Pavel Novák<sup>1,3)</sup> (autor pro korespondenci)  
Ing. Radek Roub, Ph.D.<sup>2)</sup>  
Ing. Tomáš Hejduk<sup>2,3)</sup>

<sup>1)</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze  
Fakulta životního prostředí,  
Katedra biotechnických úprav krajiny  
Kamýcká 129  
165 00 Praha 6

<sup>2)</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze  
Fakulta životního prostředí,  
Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování  
Kamýcká 129  
165 00 Praha 6



*The use of continuous flow measurement in the development of hydrodynamic models of data from an airborne laser scanning (Novák, P.; Roub, R.; Hejduk, T.)*

#### Key words

cross section – flow – HEC-RAS – velocity distribution – flood area

Discharge is a basic hydrological variable, expressing the volume of water which flows through the profile of water flow per unit time. Aerial laser scanning (hereafter LLS) surface is one of the most advanced technologies for the acquisition of spatial geographic data. Knowledge of these two findings in combination creates a suitable

condition for the creation of relevant digital elevation model (DEM) entering the hydrodynamic models. High financial requirements for geodetic surveying channel cross sections led to explore the possibility of such an appropriate way to reduce spending on getting this information. Altered been able to use continuous measurements of water flows in the procurement of the surface elevation data LLS in compiling the various episodes in the hydrodynamic model. Given the way envisaged flows down from the time of the acquisition of elevation data by LLS to create simulated scenarios, which is modeled on an episode of reduced flow rate measured from the time of data acquisition, thereby accurately capturing the remaining part of the profile channel, which is using the LLS reflected in the DEM.

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 30. září 2011. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků.

Příspěvky posílejte na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

## Teplota povrchu krajiny a chemismus povrchových vod jako indikátory funkčnosti krajinného pokryvu

Iva Chmelová, Jana Šulcová, Lenka Kröpfelová,  
Petra Hesslerová, Libor Pechar, Jan Pokorný

#### Klíčová slova

distribuce sluneční energie – povrchová teplota – Landsat TM – krajinný pokryv – elektrická vodivost vody – povodí – setrvalé udržitelné hospodaření

#### Souhrn

Článek prezentuje integrovaný pohled na funkční hodnocení krajiny z pohledu její energetické účinnosti a hydrochemické bilance. Je využívána základní koncepce vztahu krajinného pokryvu, distribuce sluneční energie, povrchové teploty krajiny a látkového obsahu z povodí, vyjádřeného pomocí elektrické vodivosti vody a vybraných hydrochemických parametrů. Tyto charakteristiky byly vyhodnoceny a analyzovány ve čtyřech různých modelových dílčích povodích na Třeboňsku.

#### Úvod

V současné době se čím dál více setkáváme s následky neuváženého hospodaření člověka v krajině, které ne vždy a zcela respektuje ekologické zákonitosti, souvislosti a principy, které se v krajinné sféře ustanovily přibližně na počátku čtvrtého tisíciletí.

Krajina je ekologicky heterogenní území složené ze specifické sestavy ekosystémů, které jsou ve vzájemné interakci a dynamické rovnováze. Ve schopnosti udržovat vlastní dynamickou rovnováhu pak spočívá podstata stability ekosystému krajiny [6, 7]. Krajinný ekosystém je podle holistického přístupu nutné sledovat jako celek. Hlavním principem holistického přístupu je pochopení toho, jak jsou jednotlivé složky krajiny vzájemně spojeny, jaké jsou jejich vzájemné vztahy, struktura a funkce [25]. Holistický koncept formuloval v 90. letech prof. W. Ripl [5]. Jeho energy-transport-reaction (ETR) model popisuje vztahy mezi energií, vodním transportem a fyzikálními, chemickými a biologickými procesy. Voda jako energetický procesor a dynamická součást krajiny se podílí na disipaci<sup>1)</sup>, (ve smyslu nerovnovážné termodynamiky) sluneční energie na úrovních:

- fyzikálních procesů – evapotranspirace a kondenzace,
- chemických procesů – rozpouštění a srážení,
- biologických procesů – fotosyntéza a dýchání.

Většina energie je disipována prostřednictvím fyzikálních procesů výparu vody (ochlazovací funkce) a kondenzace vodní páry. Skupenské teplo výparu vody je uvolňováno prostřednictvím časově a/nebo prostorově posunuté kondenzace.

Chemické děje spojené s rozpouštěním a srážením představují největší ztrátu energie v ekosystémech, a to v podobě látek odnášených vodou. Voda i energie mohou být transportovány na velké vzdálenosti. Spolu s vodou jsou transportovány rozpouštěné i nerozpouštěné látky. Bazické kationty mohou být vyluhovány z půdy v horních částech povodí a transportovány až do moře [5]. Výše nevratných ztrát látek z uvažovaného systému (povodí) určuje stabilitu společenstev a tím i celého ekosystému. Účinnost takového systému a s ním spojeného koloběhu vody je dána poměrem množství kolujících látek k jejich ztrátám při daném množství dodané energie a je nazývána ekologickou účinností krajiny [1].

ETR model [1, 2] představuje ekologický model disipace denního pulzu sluneční energie (charakterizovaném určitou frekvencí a amplitudou) ve spojitosti s odnosem látek z krajiny. Maximální disipace tohoto denního energetického pulsu je považována za hlavní funkci krajiny. Prostřednictvím vody a vegetace by energie měla být disipována tak, aby vytvořila dynamickou rovnováhu teploty, srážek, odtoku a chemických procesů. Zároveň by měly být snižovány ztráty rozpouštěných látek (živin, bazických kationtů) z horní vrstvy půdy. Okyselení půdy, snižování její úrodnosti na straně jedné a vysoký obsah živin a eutrofizace vody na straně druhé jsou propojenými jevy špatného hospodaření v krajině [23, 24].

Z úrodných zemědělských půd se ročně vyplavují s vodou řádově tuny rozpouštěných minerálních iontů z km<sup>2</sup> za rok. Vysoké ztráty minerálních iontů si vysvětlujeme rozkladnými procesy v půdě (mineralizace organických látek), při kterých vznikají silné kyseliny (sírová, dusičná), okyselující půdu. Mineralizační procesy se zrychlují v půdě odvodněné a přehřáté, což znamená, že vlastní intenzita látkového obsahu přímo souvisí s teplotou povrchu [9]. Teplota povrchu krajiny (půdy, porostů, odvodněných ploch) se za slunného počasí výrazně liší od teploty vzduchu, která se standardními metodami zaznamenává teploměry umístěnými ve stínu meteorologické budky ve 2 metrech nad zemí a následně interpoluje na větší území.

Teplotě krajiny tedy odpovídá tzv. teplota radiační (jasová), která je spojena s vlastním vyzářováním daného povrchu. Tuto teplotu lze zjišťovat pomocí termovizních skenovacích systémů, umístěných na družicových (např. Landsat, NOAA, Terra Aster, MODIS) i leteckých nosičích, pro pozemní měření jsou využívány termovizní kamery.

<sup>1)</sup>Disipace v klasické termodynamice je ztráta částí energie nevratnou přeměnou na jiný druh energie, zejména na teplo. Klasická termodynamika popisuje stroj, ve kterém se energie tepelná přeměňuje v pohyb za cenu nevratných ztrát – neužitečné disipace. Carnot popisoval účinnost stroje a rozlišoval „užitečnou“ výměnu energie a disipovanou energii, která je nevratně ztracena (entropie). Stroj spěje k termodynamické rovnováze – teploty se vyrovnají, stroj se zastaví.

Živé systémy, které jsou pod příkonem sluneční energie (otevřené systémy) jsou vzdáleny od termodynamické rovnováhy, utvářejí se, zdokonalují, propojují se ve stále organizovanější struktury. Prigogine v průběhu 60. let 20. století vytvořil novou nelineární termodynamiku k popisu samoorganizace otevřených systémů vzdálených od rovnováhy. Prigogine, Stengers zavedli pojem „disipativní struktura“, který zdůrazňuje těsné spojení, zprvu paradoxní, v těchto situacích mezi funkčním uspořádáním na straně jedné a disipací na straně druhé. V klasické termodynamice je disipace energie na tepelnou přeměnu, tření atd. vždy spojena s odpadem. Prigoginovo pojetí disipativních struktur radikálně změnilo tento názor a ukázalo, že v otevřených systémech se disipace stává zdrojem pořádku.

Prigogine, 1967, cf. F. Capra, *Tkáň života*, Academia 1997 str. 90,



**vodní  
hospodářství®**  
**water  
management®**

**8/2011 ROČNÍK 61**

*Specializovaný vědeckotechnický časopis pro projektování, realizaci a plánování ve vodním hospodářství a souvisejících oborech životního prostředí v ČR a SR*

*Specialized scientific and technical journal for projection, implementation and planning in water management and related environmental fields in the Czech Republic and in the Slovak Republic*

Redakční rada: prof. Ing. Jiří Wanner, DrSc., – předseda redakční rady, RNDr. Jana Říhová Ambrožová, PhD., doc. Ing. Igor Bodík, PhD., Ing. Jiří Čuba, doc. Ing. Petr Dolejš, CSc., Ing. Vladimír Dvořák, Ing. Pavel Hucko, CSc., Ing. Václav Jirásek, Ing. Tomáš Just, prof. Ing. Ivo Kazda, DrSc., doc. Ing. Václav Kuráž, CSc., Ing. Tomáš Kvítek, CSc., JUDr. Jaroslava Nietscheová, prof. Vladimír Novotný, PhD., P. E., DEE, Ing. Bohumila Pětrošová, RNDr. Pavel Punčochář, CSc., prof. Ing. Jaromír Říha, CSc., doc. Ing. Nina Strnadová, CSc., Ing. Jiří Svancara, Ing. Václav Vučka, CSc., Ing. Hana Vydrová, Ing. Evžen Zavadil

**Šéfredaktor: Ing. Václav Stránský**

Redaktor: Stanislav Dragoun  
Redakce (Editor's office):  
Podbabská 30, 160 62 Praha 6  
(areál VÚV T. G. M.), Czech Republic  
stransky@vodnihospodarstvi.cz  
dragoun@vodnihospodarstvi.cz  
www.vodnihospodarstvi.cz  
Mobil (Stránský) 603 431 597  
Mobil (Dragoun) 603 477 517

Vydává spol. s r. o. Vodní hospodářství, Bohumilice 89, 384 81 Čkyně. Roční předplatné 896 Kč, pro individuální nepodnikající předplatitele 672 Kč. Ceny jsou uvedeny s DPH. Roční předplatné na Slovensku je 30 Euro. Cena je uvedena bez DPH.

Objednávky předplatného a inzerce přijímá redakce. Expedici a reklamace zajišťuje DUPRESS, Podolská 110, 147 00 Praha 4, tel.: 241 433 396.

Distribuci a reklamace na Slovensku: Mediaprint - Kapa Pressegross, a. s., oddelenie inej formy predaja, P. O. BOX 183, Vajnorská 137, 830 00 Bratislava 3, tel.: 00421 244 458 821, 00421 244 458 816, 00421 244 442 773, fax: 00421 244 458 819, e-mail: predplatne@abompkapa.sk

Sazba a lito: Martin Tománek – grafické a tiskové služby, tel. 603 531 688, e-mail: martin@tomanek.cz. Tisk: Tiskárna DIAN s. r. o., Vaňkova 21/319, 194 00 Praha 9 - Hloubětín, tel./fax: 281 867 716

6319 ISSN 1211-0760. Registrace MK ČR E 6319.

© Vodní hospodářství, spol. s r. o.

Rubrikové příspěvky nejsou lektorovány  
Obsah příspěvků a názory v časopise tištěné nemusí být v souladu se stanoviskem redakce a redakční rady.  
Neoznačené fotografie - archiv redakce.

**Časopis je v Seznamu recenzovaných neimpakto-  
vaných periodik vydávaných v České republice.**  
Časopis je sledován v Chemical abstract.

**NENECHTE si ujít**

So	Ne	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne	Po
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
<p><b>4.-6. 10. PITNÁ VODA.</b> Konference, Trenčianske Teplice, Info: +421 903 268 508, buchlovicova@hydrotehnologia.sk</p> <p><b>5.-6. 10. LABOREXPO. Výstava.</b> Praha – Kongresové centrum, Info: info@laborexpo.cz, 603 211 803</p> <p><b>6.-7. 10. Městské vody 2011.</b> XI. ročník mezinárodní konference a výstava, Velké Blatovice, Info: 602 805 760, mestskévody@ardec.cz</p> <p><b>5.-7. 10. Říční krajina.</b> Konference, Olomouc Pf UP, Info: info@koaliceproroky.cz</p> <p><b>13. 09. Systémové přístupy v problematice ochrany před negativními účinky povodní.</b> Seminář VÚV Brno, Info: Ing. Karel Dřbal, Ph.D., 541 126 300, karel_drbal@vuv.cz</p> <p><b>13.-14. 9. Pozemkové úpravy.</b> Konference, ČZU Praha, Info: www.pu.tzp.cz, info@vuv.cz</p> <p><b>14.-15. 9. Anaerobie 2011.</b> Konference, Klatovy, Info: michal.dohanyos@vscht.cz, czwa@czwa.cz</p> <p><b>17.-19. 10. Hydro Power &amp; Dams Industry International Conference.</b> Praha, Info: www.hydropower-dams.com, sales@hydropower-dams.com</p> <p><b>19.-20. 10. Voda 2011.</b> 9. biennial konference a výstava CzWA, Poděbrady, Info: czwa@czwa.cz</p> <p><b>21. 09. Vývoj nových analytických metod.</b> Seminář, VUV Ostrava, Info: 595 134 820, ivana_truxova@vuv.cz</p> <p><b>22. 09. Současné evropské trendy při správě a údržbě vodních toků.</b> Seminář, Praha MZe ČR, Info: Michaela.Valentova@ekopolitika.cz, 222 828 257</p> <p><b>22.-23. 9. Krajinné inženýrství 2011.</b> Konference, ČZU Praha, Info: 224 354 750, vokurka@fsvcvut.cz</p> <p><b>20. 9. Vypouštění odpadních vod.</b> Seminář, Praha, Info: muller@csvts.cz</p> <p><b>25. 10. Ochrana vodních zdrojů.</b> Seminář, Praha, Info: V. Pišová, 221 082 346, pisova@sovak.cz</p> <p><b>25. 10. Koupací vody.</b> Seminář, Praha, Info: Ing. B. Müller, 221 082 386, muller@csvts.cz</p> <p><b>25.-27. 10. Rekonstrukce stokových sítí a čistíren odpadových vod.</b> Konference, Podbabské, Info: Ing. Dagmar Drahovská, mobil: +421-918 360</p> <p><b>25. 10. Effective Urban Waste Water Treatment.</b> 7th EWA Annual Brussels Conference, Brussels, Info: jiri.wanner@vscht.cz, 469 318 421</p>																

ZÁŘÍ

ŘÍJEN

4

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. (3 %)



## KUNST

spol. s r.o. Hranice

### JSME TU PRO VÁS

**ČERPACÍ STANICE**

*čerpací stanice*

**ÚPRAVNY VODY**

*úpravný vodárna*

**ČISTÍRNÝ**

*čistírny čistírny*

**KONZULTACE**

*konzultace konzultace*

**PROJEKTY**

*projekty projekty*

**DODÁVKY**

*dodávky dodávky*

**MONTÁŽE**

*montáže montáže montáže montáže*



Více informací na str. 256

# vodní 8/2012 hospodářství®

## OBSAH

- Povodeň 2002 byla extrémní, mohou nastat i větší?  
(Kubát, J.; Krejčí, J.) ..... 236
- Jsou a budou povodně častější? (Daňhelka, J.) ..... 240
- Dlouhodobá strategie Ministerstva zemědělství k omezování  
následků hydrologických extrémů (Punčochář, P.; Král, M.;  
Kozlová, N.) ..... 244
- Podpora opatření v ochraně před povodněmi (Reidinger, J.) ..... 247
- Proces přirozené atenuace na lokalitě kontaminované  
ropnými látkami (Jandová, V.; Huzlík, J.; Ličbinský, R.) ..... 252
- Příspěvek k vyčíslení podílů zdrojů znečištění vod  
ze sledovaných profilů v malém odvodněném  
zemědělsko-lesním povodí (Fučík, P.; Kvítek, T.; Hejduk, T.;  
Peterková, J.) ..... 257
- Protipovodňová opatření na ochranu hl. m. Prahy aneb jak  
jsme navázali na práci našich předků (Pytl, O.) ..... 265
- Různé
  - Pozvánka na konferenci Říční krajina ..... 264
  - Upoutávka na diskusní materiál: Ekologicky orientovaná  
správa vodních toků v oblasti péče o jejich morfologický stav  
(Just, T.) ..... 271
  - Pozvánka: ASIO: Semináře a webináře ..... 271
  - XXXX. konferencia hydrochémia 2012 (Hucko, P.) ..... 272
  - Nová výstavba v záplavových územích? Deset let po povodni  
žádný problém! (Šámal, V.) ..... 274
- Firemní prezentace
  - KUNST, spol. s r.o. .... 256

### Vodář

- Zpráva o činnosti České vědeckotechnické vodohospodářské  
společnosti za období květen 2011–květen 2012 (Broža, V.) ..... 276
- Přehled SŠ a VŠ zajišťujících vodohospodářské vzdělávání  
(Podsedník, O.) ..... 277
- Odborný seminář Malé vodní elektrárny dnešním pohledem  
(Vít, P.) ..... 278

### VTEI

- Využití geografických informačních systémů a územně  
plánovací dokumentace při modelování povodňového rizika  
(Pavličková, L.; Novák, P.; Roub, R.; Hejduk, T.) ..... 1
- Relevantnost využití denních dat o teplotě a srážkách pro  
testování dopadu klimatických faktorů na spotřebu pitné vody  
domácnostmi (Malý, V.; Slavíková, L.; Rost, M.; Petružela, L.;  
Vojáček, O.; Kavan, J.) ..... 6
- Sledování transportu hliníku, železa a manganu  
v kontaminované půdě po aplikaci fytoformačního  
opatření (Trakal, L.) ..... 8
- Různé
  - Nové poznatky z kalibrace atypických měřidel a vlivu teploty  
vody při kalibraci v České kalibrační stanici vodoměrných  
vrtulí (Mattas, D.; Ramešová, L.) ..... 11

## CONTENTS

- The flood in 2002 was extreme, can bigger floods occur?  
(Kubát, J.; Krejčí, J.) ..... 236
- Past and future floods: is the frequency changing?  
(Daňhelka, J.) ..... 240
- Long-term Strategy of the Ministry of Agriculture for a  
Limitation of Consequences of Hydrological Extremes  
(Punčochář, P.; Král, M.; Kozlová, N.) ..... 244
- Support for anti-flood measures (Reidinger, J.) ..... 247
- The process of natural attenuation at the site contaminated  
by oil substances (Jandová, V.; Huzlík, J.; Ličbinský, R.) ..... 252
- A contribution to quantification of water pollution sources from  
monitored profiles in a small upland tile drained agricultural  
watershed (Fučík, P.; Kvítek, T.; Hejduk, T.; Peterková, J.) ..... 257
- Prague anti-flood system: How we follow the work of our  
antecedents (Pytl, O.) ..... 265

- Miscellaneous ..... 264, 271, 272, 274
- Company section ..... 256

### Water manager

- Miscellaneous ..... 276, 277, 278

### Scientific-Technical and Economic in the Field of Water Management

- Use of geographical information systems and territorial  
planning documentation in flood risk modelling  
(Pavličková, L.; Novák, P.; Roub, R.; Hejduk, T.) ..... 1
- The use of daily data to investigate impact of rainfalls and  
temperature on drinking water consumption (Malý, V.;  
Slavíková, L.; Rost, M.; Petružela, L.; Vojáček, O.; Kavan, J.) ..... 6
- Monitoring of Al, Fe and Mn transport in contaminated soil  
after phytoremediation (Trakal, L.) ..... 8
- Miscellaneous ..... 11

Culligan®

Technologie úpravy pitných  
a průmyslových vod

Originální patentovaná filtrační technika pro:

- ◆ úpravy pitných vod
- ◆ energetiku
- ◆ dočištění odpadních vod
- ◆ chladicí a průmyslové okruhy



Culligan Czech s.r.o.  
K Šancím 50, 163 00 Praha 6  
Tel./fax: 235 300 604, 235 300 573  
praha@culligan.cz, www.culligan-praha.cz

DUIS

DUIS s.r.o. se specializuje na problematiku kanalizačních sítí a čištění odpadních vod včetně řešení složitých hydrotechnických a technologických výpočtů pomocí tuzemského i zahraničního software.

- Ochrana čistoty vod
- Odkanalizování a čištění odpadních vod
- Projektové dokumentace všech stupňů
- Optimalizace provozu ČOV

DUIS s.r.o., Srbská 1546/21, 612 00 Brno, tel.: 541 244 197-8  
fax: 541 248 192, e-mail: duis@duis.cz, www.duis.cz



Jako s.r.o.

aktivní uhlí, aktivní koks, antracit  
UV-dezinfekce

tel.: 283 980 128, 603 416 043  
fax: 283 980 127  
www.jako.cz e-mail: jako@jako.cz

PÖYRY

INŽENÝRSKÁ A PROJEKTOVÁ ČINNOST  
VE VŠECH OBORECH VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

Pöyry Environment a. s.

Botanická 834/56, 602 00 BRNO  
tel.: 541 554 111, fax: 541 211 205 E-mail: trade.wecz@poyry.com, www.poyry.cz

Pobočky: Praha, Bezová 1658, 147 14 Praha 4, tel.: 244 062 353  
Ostrava, Varenská 49, 701 00 Ostrava, tel.: 596 657 206  
Břeclav, Růžičkova 5, 690 39 Břeclav, tel.: 519 322 304  
Organizační složka Trenčín, Jesenského 3175, 911 01 Trenčín,  
tel.: +421 326 522 600

# Příspěvek k vyčíslení podílů zdrojů znečištění vod ze sledovaných profilů v malém odvodněném zemědělsko-lesním povodí

Petr Fučík, Tomáš Kvítek, Tomáš Hejduk, Jana Peterková

## Klíčová slova

malé povodí – zdroje znečištění vod – odvodnění – fosfor – dusík – látkový odnos – separace odtoku

## Souhrn

Je představeno úvodní zpracování výsledků ze 3leté podrobné monitorovací kampaně drenážních a povrchových vod v malém zemědělsko-lesním povodí v krystaliniku Českomoravské vrchoviny v povodí VN Švihov na Zelivce. Na základě vyhodnocení pravidelného i epizodního monitoringu, použití separací odtoku i regresí pro určení denních koncentrací látek v neměřených dnech, jsou porovnávány hodnoty koncentrací i měsíčních látkových odnosů  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  a  $\text{P}_{\text{celk}}$  z deseti podpovodí s různým způsobem využití území a různou intenzitou zemědělského odvodnění. Nejvyšší koncentrace dusičnanového dusíku ve vodách vykazují zorněná odvodněná podpovodí, pro fosfor celkový i rozpuštěný reaktivní jsou to podpovodí se sídly či vodními plochami. Měření nebodové zdroje znečištění vod zde tvoří průměrně 23 % pro  $\text{NH}_4\text{-N}$ , 45 % pro  $\text{NO}_3\text{-N}$ , kolem 24 % pro  $\text{PO}_4\text{-P}$  a přibližně 26 % pro  $\text{P}_{\text{celk}}$  měsíčního látkového odnosu. Rozdíly v jednotlivých měsících a podpovodích z hlediska podílů nebodových zdrojů na celkových látkových vnosech jsou podmíněny především hydrologicky. Předložené výsledky nejsou definitivní, výzkumné aktivity dále pokračují. Po vyhodnocení všech souvisejících dat dojde ke zpřesnění látkových toků, stanovení významnosti příčinných faktorů a formulování použitelných zobecnění.

## Úvod

Kvantifikace podílů jednotlivých zdrojů znečištění vod za různých hydrologicky odlišných situací je nezbytná pro přijímání konkrétních ochranných opatření v různých částech území a nastavení vhodného a účinného managementu zemědělské půdy a souvisejících antropogenních, odtokový proces spoluovlivňujících prvků v povodí. Charakteristika nebodových zdrojů znečištění zahrnuje, spolu s konstatováním o jejich časoprostorově proměnlivém působení ve vazbě na přírodní a lidské faktory v krajině, nutně rovněž řadu nejistot, a to již od použitých přístupů monitoringu a stanovování látkových toků [1] až po identifikaci a lokalizaci původu těchto znečišťujících zdrojů [2, 3]. Studie, které se různými způsoby pokoušejí vyčíslit podíly nebodových zdrojů na celkovém znečištění povrchových vnitrozemských vod mírného pásma, se v převážné většině shodují na tvrzení, že z hlediska vnosu fosforu do vod má stěžejní podíl fosfor epizodní, někdy nepřesně klasifikovaný jako erozní [4], emitovaný do vod povrchovým a podpovrchovým odtokem převážně během srážko-odtokových událostí různého rozsahu [5, 6, 7, 8]. Vnos dusičnanového dusíku do vod z plošných zdrojů probíhá v poněkud jiném režimu, i když z hlediska látkových odnosů jsou nejvýznamnější rovněž epizody, resp. období srážkové (a tudíž odtokové) bohatší [2, 9, 10].

Dosud známé a v literatuře popisované rozdíly mezi principy vyplavování dusíku a fosforu z půd [11] jsou vedle odlišných vlastností těchto látek (rozpuštěnost ve vodě, afinita k různým půdním částicím aj.), odlišných biogeochemických procesů a vlastností prostředí (landuse, půdní podmínky) připisovány také různým způsobům formování složek odtoku, různým cestám těchto složek do recipientu či do drenážního systému a různým podílům těchto složek na celkovém odtoku [9, 12, 13]. To obecně souvisí s tím, jak se „chovají“ různé segmenty povodí v různých fázích roku či během srážko-odtokových epizod ve vazbě na přírodní, antropogenní i „smíšené“ faktory. To jsou: roční období a průběh počasí, půdní pokryv (landuse, plodina/dřevina,

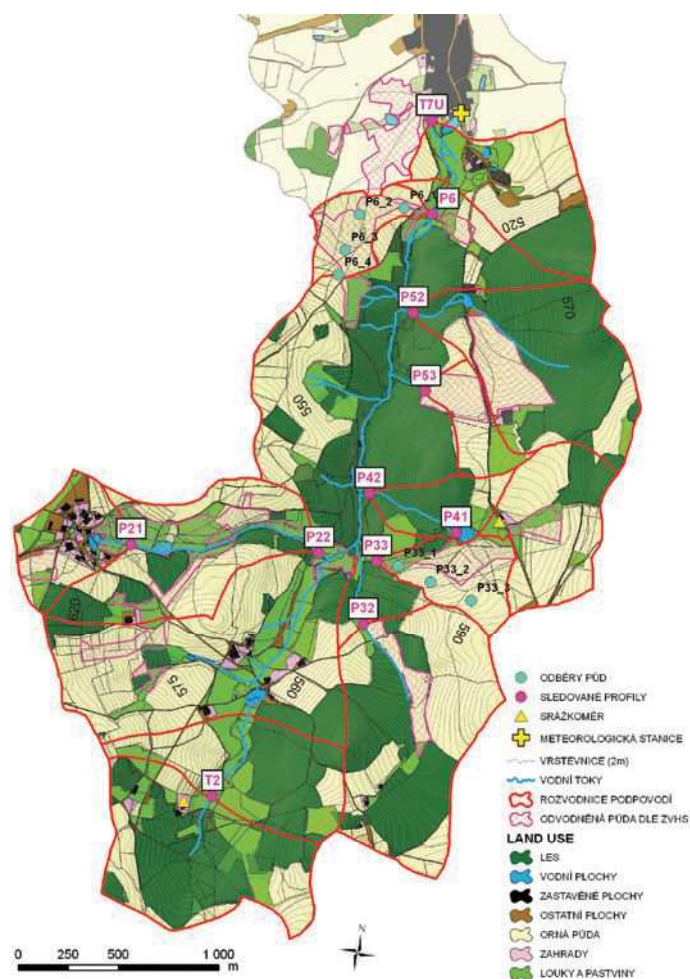
typ a načasování agrotechniky/lesnických operací), aplikace hnojiva, heterogenní fyzikální a chemické vlastnosti půdy, geomorfologické, hydrologické a hydrogeologické podmínky povodí a rozličné, více či méně vhodné a zdařilé meliorace v různých zónách území, jako např. protierozní a protipovodňová opatření, odvodnění, malé vodní nádrže, úpravy toků a hrazení bystřin, vápnění půd, trasování polních a lesních cest, krajinné úpravy, aj. [14, 15]. V případech vlhkostí půd, hladin (mělkých) podzemních vod a srážkových intenzit se navíc jedná o faktory, které mohou být časoprostorově poměrně rychle proměnlivé a které mohou ovlivňovat některé vlastnosti výše uvedeného, jako např. působení různých typů preferenčních proudění v půdách [16]. Ptáme-li se tedy, odkud, kudy a kam teče voda, když prší [17], je nutné si, a to nejen v případě drenážních systémů – a zejména těch situovaných ve svažitých podmínkách, uvědomit složitost tvorby (drenážního) odtoku v různých částech povodí během měnicích se hydrologických podmínek v území [12, 18, 19], což má klíčový vliv na krátkodobou i dlouhodobou dynamiku chemismu drenážních a povrchových vod. Tyto poznatky je při vyčíslení podílů nebodových zdrojů znečištění vod v povodích různých měřítek žádoucí zohlednit, abychom obdrželi nejen co možná nejpřesnější odhad skutečného stavu, ale byli schopni tyto zdroje lokalizovat a identifikovat podstatu jejich působení.

Cílem tohoto příspěvku je představit dílčí výsledky monitoringu kvantity a kvality povrchových a drenážních vod několika různých podpovodí o velikostech desítek ha a pokusit se hydrologicky korektně vyčíslit jejich podíly k celkovému měsíčnímu vnosu látek dusíku a fosforu do vod drobného vodního toku. Práce nemá vzhledem k dosud vyhodnoceným datům ambice na vyjádření podrobné, natož celkové hydrologické ani živinné bilance ve sledovaných povodích.

## Materiál a metody

### Popis experimentálních podpovodí a použitého monitoringu

Sledování bylo uskutečněno v povodí Kopaninského potoka, což je malé, geomorfologicky členité zemědělsko-lesní povodí na Českomoravské vrchovině o rozloze 710 ha. Půdní podmínky jsou heterogenní; nejvíce zastoupenými půdními typy jsou kambizemě (arenické, modál-



Obr. 1. Přehledná mapa sledovaných podpovodí

ní a oglejené formy), pseudogleje a glejové půdy svahových a nivních poloh. Podrobný popis povodí je uveden např. v publikacích [20, 21]. V této práci jsou popsány výsledky z monitoringu deseti podpovodí a závěrečného profilu povodí za měsíce březen–říjen v letech 2009–2011. Přehledná mapa na obr. 1 znázorňuje rozmístění monitorovacích objektů, přírodní podmínky a způsob využití území, tab. 1 uvádí popis monitorovaných podpovodí. Sledování vodních stavů probíhalo pomocí kalibrovaných měrných přelivů Thomson, ultrazvukových čidel napojených na datalogery (Fiedler-Magri) s 10minutovým (1minutovým v epizodách) krokem záznamu a následným přepočtením hladin na průtok. Výška hladiny i průtoky (kromě extrémů) byly též každých 14 dní měřeny ručně pro případnou korekci automatického záznamu. Odběry vzorků vod byly realizovány jednak diskretním způsobem ručně ve 14denním kroku – všechny sledované profily (během cca 3 hodin) a jednak pomocí automatických vzorkovačů ISCO 6712 – profily P33, P52, P53, P6 a T7U, kterými byly prováděny kontinuální odběry vzorků vod v režimech průměrný slévavý denní (2009), dvoudenní (2010–2011) a epizodní vzorek; detailní charakteristika monitoringu je uvedena v článku [21]. Sledovány byly ukazatele  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  a Pcelk. Pro analýzu všech parametrů byl v certifikované laboratoři VÚMOP, v.v.i. použit automatický přístroj „SKALAR“ za pomoci metod CFA a FIA (Flow Injection Analysis, Continuous Flow Analysis); ISO metody č. 13395 pro  $\text{NO}_3\text{-N}$ , č. 11732 pro  $\text{NH}_4\text{-N}$  a č. 15681-2 pro  $\text{PO}_4\text{-P}$  a Pcelk. Na povodí jsou umístěny 4 srážkoměry, z toho 2 automatické; 1 automatická meteostanice.

Profily P33, P53 a P6 jsou umístěny na drenážních výústích. Profil T2 se nachází v pramenné oblasti toku, který cca 50 m nad profilem zčásti protéká velmi malým rybníčkem. Podpovodí P21 zahrnuje vedle odvodňujících luk a orné půdy malou obec (76 obyvatel) se dvěma pod obcí ležícími drobnými vzájemně propojenými rybníky; voda měřená v profilu P21 pochází jednak z nižšího z obou rybníků (požerák se spodním vtokem vody) a jednak z travivodu odvodňujícího část obce. Voda z P21 přechází do podpovodí P22, přičemž v podpovodí P22 jsou situovány rovněž dvě malé vodní plochy (jeden chovný rybník s požerákem se spodním vtokem a před něj předzazená velmi malá nádrž), z převážné části dotované vodou z P21. Výtok z chovného rybníka se poté vrací do koryta napřímeného, opevněného, částečně renaturovaného toku, který je o cca 800 m níže monitorován profilem P22. Měrný profil P41 sleduje výtok z malého chovného rybníka s požerákem se spodním vtokem vody; rybník je z části dotován drenážní vodou. Úsek toku mezi profily P41 a P42 lze popsat jako poměrně přirozené bystřinné koryto, vedoucí v lesním porostu. Profil P52 je situován na pravostranném přítoku Kopaninského toku; cca 300 m nad profilem je malý rybníček s kombinovaným požerákem. Zemědělské odvodnění je v lokalitě tvořeno převážně podpovrchovou systematickou drenáží s výústími do drobných vodních toků nebo hlavních odvodňovacích zařízení. Sběrné a svodné drény jsou uloženy v hloubkách 0,9–1,1 m a mají světlosti 5–6,5, resp. 6,5–10 cm. Rozchody sběrných drénů se pohybují v rozmezí 8–18 m.

Od r. 2010 probíhaly na jaře a na podzim ve třech různých hloubkách (5–10, 15–20 a 35–40 cm) tři až čtyři vybraných zón (přibližně infiltrační, transportní, akumulací) v podpovodích P33 a P6 odběry vzorků půd na určení jejich fyzikálních a chemických vlastností, místo P33-1 je TTP, ostatní jsou na orné půdě. Z celé řady rozborů vybíráme v této práci pouze výsledky ze stanovení obsahu tzv. přístupného fosforu (Mehlich III). Na všech sledovaných podpovodích bylo zjišťováno zemědělské hospodaření; kultury, agrotechnika a hnojení. Většina ploch orné půdy v podpovodích, sloužících v této studii jako představitel výhradně plošných zdrojů, je v průměru 2x ročně hnojena převážně pomocí hadicových aplikátorů digestátem kejdy a kejdou prasat v dávkách 15–35 t/ha; z minerálních hnojiv se používá DAM, ledek amonný s vápencem, případně dolomitický vápenc.

#### Použití metody odhadu koncentrací a stanovení látkového odnosu

Vzhledem k faktu, že jednotlivé složky odtoku vody mohou ve vazbě na různé mechanismy jejich tvorby a cesty, kterými protékají, obsahovat různé koncentrace rozpuštěných i nerozpuštěných látek, bylo za účelem detailnější analýzy hydrochemické odezvy sledovaných podpovodí a pro podrobnější studium regresních vztahů průtok – hodnota koncentrace během různých odtokových situací u profilů se 14denní

Tab. 1. Přehled landuse, odvodnění a sklonitosti ve sledovaných podpovodích

Profil	T2	P21	P22	P32	P33	P42	P52	P53	P6	T7U
Plocha (ha)	60,94	23,77	78,35	78,26	19,73	52,13	64,93	14,86	15,73	710,35
Kultura	%									
Orná p.	25,3	27,2	41,7	53,8	81,7	53,1	28,3	75,6	96,3	42,5
Zahrady	1,5	11,0	3,6	0,2	0,0	0,5	0,6	0,2	2,4	1,0
Louky	16,8	30,6	27,5	2,8	12,1	12,3	4,4	19,2	0,0	14,9
Les	54,6	4,9	15,7	41,8	5,4	29,9	64,9	2,0	0,0	37,6
Vodní plocha	0,2	2,0	2,0	0,0	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0	0,6
Zastavěné plochy	0,4	5,6	1,8	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5
Ostatní plochy	1,5	18,7	7,6	1,2	0,8	2,8	1,6	2,9	1,3	2,9
Odvodněno dle ZVHS	0,0	6,7	24,9	7,1	42,5	4,6	16,0	40,2	60,4	10,5
Průměrná sklonitost (stupně)	4,5	3,9	4,2	4,3	4,5	5,8	5,4	4,8	3,2	5,2

frekvencí odběru vzorků a kontinuálním měřením průtoku (10 min.) a u profilů s kontinuálním vzorkovačem v období jeho nečinnosti přikročeno k rozčlenění hydrogramu průměrných denních průtoků na jednotlivé složky odtoku, přičemž byly zvoleny čtyři metody separací hydrogramu. Metody 1 a 2 jsou automatické digitální rekurzivní filtry; 1 podle [22] a 2 podle [23], resp. [24]. Metoda 3 - GROUND byla vyvinuta Doležalem (1997), verifikována Jainem [25] a publikována [26] a metoda 4 je modifikovaná graficko-početní metoda, MGPM [26]. Podrobný popis metod je uveden v citovaných odkazech.

Východisko použitých metod separace je založeno na platnosti bilanční rovnice:

$$Q_{celk} = Q_z + Q_p \quad (1)$$

kde  $Q_{celk}$  je celkový odtok,  $Q_z$  je základní odtok a  $Q_p$  je odtok přímý, který je vyjádřením přímé odezvy povodí na srážku [26]. Každá z použitých metod separace je schopna rozdělit odtok celkový vždy pouze na dvě složky; metoda separace 1 odděluje z celkového odtoku pouze odtok základní (pomalý), metody 2–4 potom odtok základní + odtok hypodermický (pomalý a středně rychlý) jako jednu složku. Použitím těchto metod současně lze vedle jejich vzájemného porovnání (a kontroly) docílit separace odtoku celkového na tři složky, které lze označit jako odtok základní (resp. pomalý), hypodermický (resp. středně rychlý) a povrchový (resp. rychlý). Aplikované metody separace mají empirický základ ve variabilitě (rychlosti a frekvenci změn) celkového měřeného průtoku. Přístupy 1, 3 a 4 byly úspěšně testovány a kalibrovány pomocí klasických postupů [27, 28] na malých odvodněných zemědělsko-lesních povodích krystalinika ČR nebo přímo na tamtéž situovaných drenážních systémech [9, 26, 29].

Pro modelové stanovení koncentrací látek v neměřených dnech byly zkonstruovány jednoduché (lineární i nelineární) regrese denního průměrného průtoku (z desetiminutových hodnot) ku zjištěné hodnotě koncentrací  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  a Pcelk ze 14denního vzorkování. Výsledky ze separací odtoků byly potom promítnuty do sestavování regresních vztahů tak, že pro průměrné denní průtoky, ve kterých  $Q_z > 80\%$  z  $Q_{celk}$ , byly pro regresi použity pouze odfiltrované dvojice hodnot z těchto dnů („pomalá složka odtoku –  $Q_s$ “), v případě, kdy  $Q_z < 80\%$  z  $Q_{celk}$  („rychlá složka odtoku –  $Q_r$ “ je více než 20% odtoku celkového), byly pro regresi použity všechny dvojice hodnot. Pokud nedosáhla úspěšnost regrese hodnot alespoň  $r > 0,3$  a  $R^2 > 0,4$ , byla hodnota koncentrace zjištěná během odběru použita pro celé období 14 dnů.

Pro co nejpřesnější stanovení látkových odnosů v profilech se 14denní frekvencí odběru vzorků byla použita upravená (zjednodušená) tzv. kombinovaná metoda, jejíž různé varianty jsou popsány v [13, 30], sloužící pro zpřesnění odhadu denní koncentrace té které látky. Tato metoda obsahuje jednak přístupy čisté regresních modelů (vztah průtok–koncentrace, pro pomalou a rychlou složku odtoku zvlášť, viz výše) a jednak zohledňuje variabilitu (vč. sezónnosti) ve vypočtených hodnotách koncentrací sledovaných látek prostřednictvím zpětného zahrnutí reziduálních koncentrací z regresních vztahů, které, nejsou-li sestavovány zvlášť pro různá (alespoň 2–3) roční období, což vyžaduje delší dobu měření (cca 6–10 let), sezónnost nejsou – nejen u dusičnanového dusíku – schopny postihnout. Reziduální koncentrace, v případě měřených dnů prostý to rozdíl mezi hodnotami koncentrací modelových a hodnotami koncentrací skutečně zjištěných, byly v našem případě pro období bez měřených hodnot získány lineární interpolací reziduí ze dvou po sobě následujících měřených koncentrací, za použití odpovídajících hodnot průtoků (2). Výsledná denní koncentrace v neměřených dnech je potom opět rozdílem koncentrace

**Tab. 2. Podíly složek odtoku (základní, hypodermický a povrchový, v %) za sledované období u podpovodí s výhradně plošnými zdroji a v celém povodí (T7U)**

Složka odtoku	Qz	Qh	Qpov	Qcelk
Profil	%			
T7U	46,4	28,1	25,5	100
P32	46,8	26,5	26,8	100
P33	39,3	17,2	43,5	100
P53	34,2	23,3	42,4	100
P6	50,3	30,6	19,1	100

modelované a interpolovaného reziduua (3).

$$Rdi = Rp + [(Rn - Rp) * ((Qi - Qp) / (Qn - Qp))] \quad (2)$$

$$Cdi = Cri - Rdi \quad (3)$$

*Rdi* – interpolovaná reziduální koncentrace v *i*-tý den (mg/l)

*Rp* – reziduální koncentrace v den předchozího odběru vzorku

*Rn* – reziduální koncentrace v den následujícího odběru vzorku

*Qi* – denní průměrný průtok v *i*-tý den

*Qp* – denní průměrný průtok v den předchozího odběru vzorku

*Qn* – denní průměrný průtok v den následujícího odběru vzorku

*Cdi* – výsledná koncentrace v *i*-tý den

*Cri* – koncentrace zjištěná regresí v *i*-tý den

Pro výpočet látkových odnosů z podpovodí, ve kterých byla sledována jakost vod kontinuálně (P33, P52, P53, P6 a T7U), byla použita metoda stanovení odnosu kombinací hodnot: denní (dvoudenní) průměrná koncentrace spolu s denním (dvoudenním) průměrným průtokem a aktuální koncentrace během epizody spolu s aktuálním (10–60minutový průměr) průtokem. Takto bylo možné pro všechny profily a vyhodnocované období získat denní a následně sumární měsíční látkové odnosy všech sledovaných ukazatelů, podle vztahu:

$$L = \sum_i C_i * Q_i * \Delta t \quad (4)$$

kde *L* je látkový odnos, *C<sub>i</sub>* je koncentrace látky pro časový úsek *i*, *Q* je průtok v období *i* a  $\Delta t$  je doba trvání období *i*.

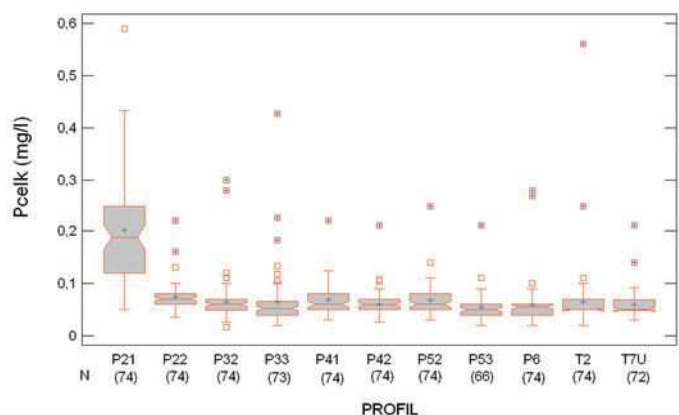
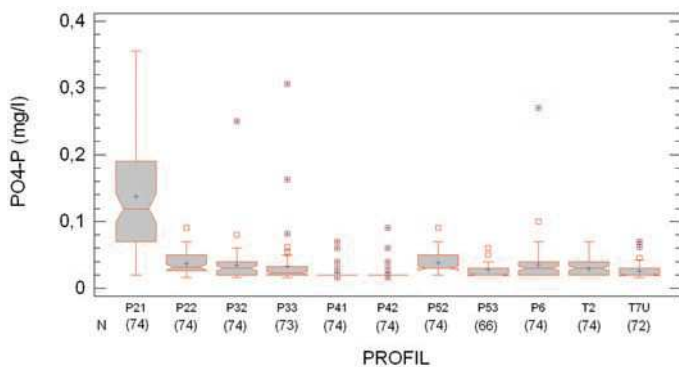
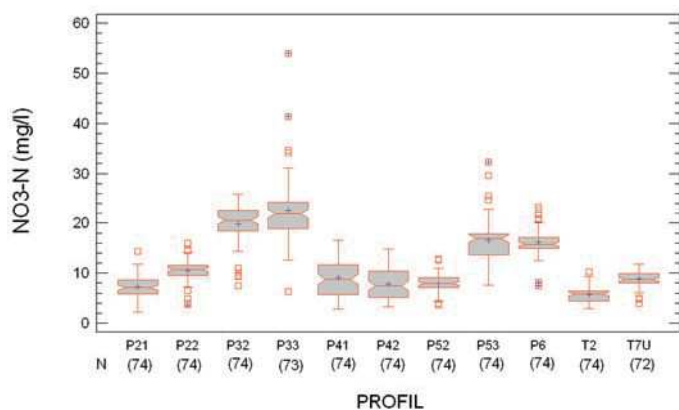
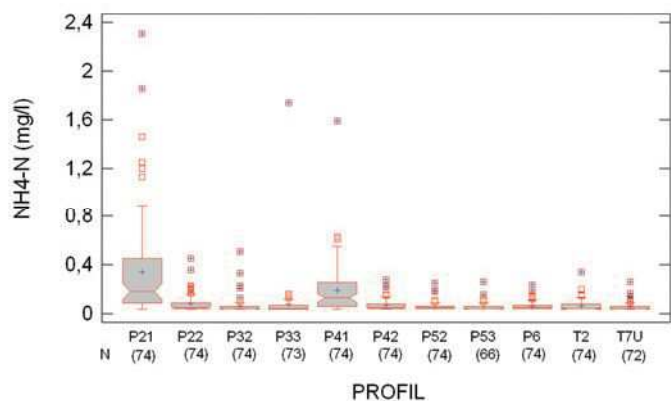
Odhad podílu látkových odnosů z nebodových (plošných) zdrojů byl vztažen k součtu měsíčních látkových odnosů pouze ze sledovaných podpovodí, tj. T2, P22, P32, P33, P42, P52, P53, P6. Jako zdroje plošné byla uvažována podpovodí bez vodních ploch a bez sídel; P32, P33, P53, P6.

Vyhodnocení dat probíhalo pomocí nástrojů Ms Excel, Statgraphics a ESRI ArcGis.

## Výsledky a diskuse

Výsledky z monitoringu jakosti vod se 14denní periodicitou (obr. 2a-d) ukázaly, že nejvyšší koncentrace  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  a *Pcelk* byly zjišťovány v podpovodích se sídlí a vodními plochami (zejména P21, P22; pro  $\text{NH}_4\text{-N}$  P21 a P41), přičemž u sloučenin fosforu se nejvyšší hodnoty vyskytovaly v jarním a letním období, u  $\text{NH}_4\text{-N}$  v létě. Koncentrace  $\text{NO}_3\text{-N}$  byly měřeny nejvyšší v podpovodích odvodněných, využívaných převážně jako orná půda (P32, P33, P53, P6), s maximy na jaře. Hodnoty koncentrací zjištěných monitoringem epizod vykazovaly pro všechny ukazatele a profily značnou variabilitu; hodnoty  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  i *Pcelk* byly potom u všech pěti profilů sledovaných kontinuálně (P33, P52, P53, P6 a T7U) v průměru cca 1,5–3x vyšší než ty z monitoringu bodového, hodnoty  $\text{NO}_3\text{-N}$  byly u většiny profilů během epizod nižší, ale více rozkolísané, viz obr. 3a-d. Nejvyšší hodnoty obou forem P z epizodního monitoringu byly změřeny v profilu P33.

Zastoupení složek odtoku, zjištěné jeho separacemi za vyšetřované období u povodí s výhradně plošnými zdroji znečištění a pro profil T7U, je uvedeno v tab. 2. Základní odtok zde tvoří 35–50 %, hypodermický 17–28 % a „povrchový“ (resp. nejrychlejší složka odtoku, zahrnující i rychlou část odtoku hypodermického) 19–43 %. Průměrně tvoří tedy středně rychlá a rychlá složka odtoku dohromady ve sledovaném období cca 50–65 %. Z analýzy separací odtoku na sledovaných odvodněných podpovodích a následného sestavení regresních rovnic v případě dusičnanového dusíku vyplývá, že po odebrání hodnot průtoků s převahou rychlé složky odtoku (tedy případů, kdy  $Qz < 80\% Q_{celk}$ ), byly nalezeny mezi Q a C korelační vztahy kladné, tj. s rostoucím průtokem mírně roste koncentrace.



**Obr. 2a-d. Boxploty hodnot koncentrací látek z pravidelného 14denního monitoringu**

Při ponechání těchto hodnot z regresních maticích byla data více rozkolísaná; byly zároveň přítomny hodnoty  $\text{NO}_3\text{-N}$  relativně vysoké při nižších průtocích i hodnoty poměrně nízké při vyšších průtocích. Tady byl zjištěn vztah inverzní, tj. korelace záporná, s nízkou průkazností. To znamená, že rychlá složka odtoku většinou ředila, resp. snižovala koncentrace  $\text{NO}_3\text{-N}$  podle toho, kterou větev hydrogramu (vzestupnou či sestupnou) zachytil moment odběru vzorku. Na začátku vzestupné větve koncentrace rostou, aby se s dalším nárůstem



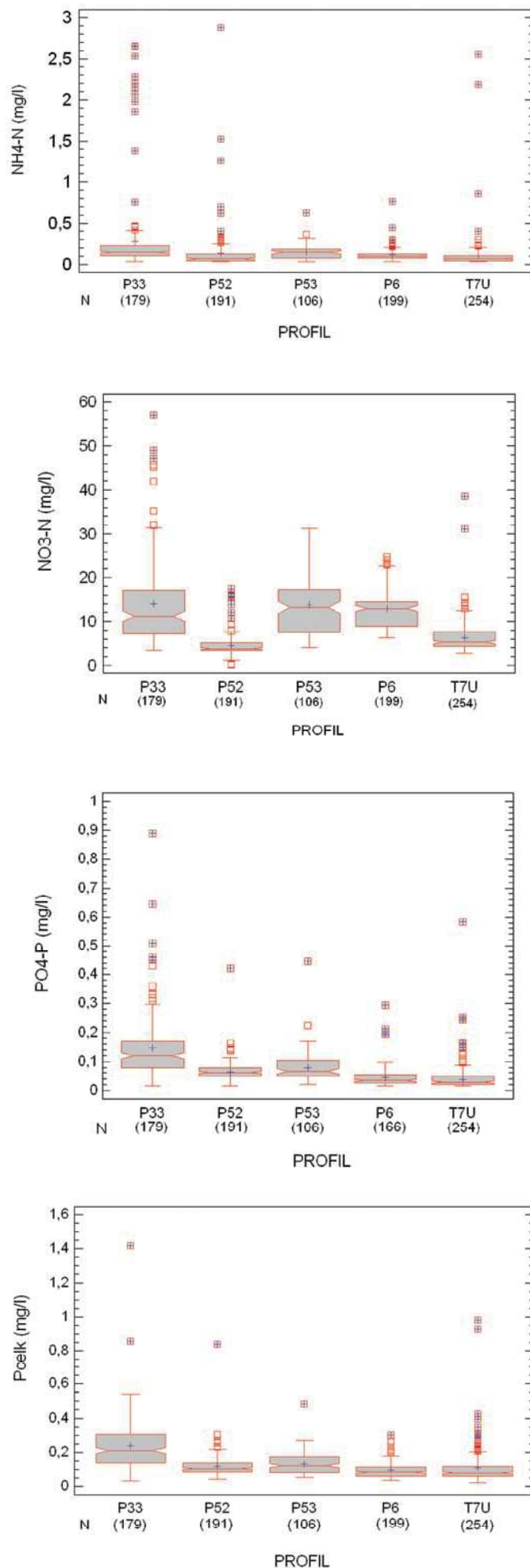
průtoků snižovaly a ředily. Několikanásobně zvýšený průtok během epizod znamenal i při nižší koncentraci  $\text{NO}_3\text{-N}$  pochopitelně mnohem vyšší látkový odnos ve srovnání s obdobími základního odtoku, kdy byla ve všech ročních obdobích (a zejména na jaře) koncentrace  $\text{NO}_3\text{-N}$  vyšší. Studie [19] poukazuje prostřednictvím analýzy teplotních režimů drenážních a podzemních vod v prostředí krystalinika ČR na specifika tvorby drenážního odtoku během epizod, kdy zpravidla „nová voda“ (z příčné srážky), rychle infiltrovaná v mělkých půdách infiltračních oblastí, putuje rychlým hypodermickým odtokem přímo do drenážního systému. Při těchto událostech dochází v některých případech k významným poklesům koncentrací  $\text{NO}_3\text{-N}$  a nárůstům koncentrací P (na vzestupné větvi), jindy ovšem patrně nová voda vytlačuje vodu starou, případně se s ní částečně mísí, což ve vazbě na charakter (množství a intenzitu) odtoku vody, roční období a stav povodí (nasycenost půdního profilu) způsobuje prvotní nárůst koncentrací  $\text{NO}_3\text{-N}$  v drenážních i povrchových vodách [31] a naopak nevzrůstající (alespoň ne dramaticky) koncentrace fosforu [10].

Protože v povodí Kopaninského toku nejsou sledována kompletně všechna podpovodí a přítoky, resp. všechny případné zdroje znečištění vod, byl odhad podílu látkových odnosů z nevodových zdrojů vztažen k součtu měsíčních látkových odnosů pouze ze sledovaných podpovodí, nikoli k celkovému změřenému látkovému odnosu v profilu T7U. Ten byl v některých měsících zjištěn jako více než dvojnásobný vzhledem k sumě odnosů z měřených podpovodí, což může být způsobeno jednak vnosem dalších znečišťujících látek do vod z neměřených částí povodí, což platí pro všechny sledované ukazatele, případně potom nadhodnocením koncentrací především celkového fosforu zejména během srážko-odtokových epizod vlivem působení resuspenze dnových splavenin, deponovaných do toku při předchozích epizodách erozí zemědělské půdy, koryta nebo dna toku [8, 32].

Z vyhodnocených výsledků vyplývá, že znečištění z plošných zdrojů (vč. odvodňovacích systémů) je pro všechny sledované ukazatele značně proměnlivé, jeho největší část (z pohledu látkových odnosů) se odehrává převážně epizodním způsobem. Z hlediska podílu na celkových měsíčních látkových odnosech ze sledovaných podpovodí tvořily tyto zdroje sumárně během období březen–říjen let 2009–2011 přibližně 7–33 %, průměrně 23 % pro  $\text{NH}_4\text{-N}$ , 36–54 %, průměrně 45 % pro  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 11–47 %, průměrně 24 % pro  $\text{PO}_4\text{-P}$  a 17–45 %, průměrně 26 % pro Pcelk; viz. **tab. 3a**. Tyto hodnoty lze považovat za spíše dolní meze skutečných podílů z nevodových zdrojů, a to především u dusičnanového dusíku, neboť podpovodí T2, P22, P42 a P52 a další nesledovaná podpovodí, která nebyla do skupiny „nevodových“ zahrnuta, rovněž z části potenciální plošné zdroje znečištění obsahují (orná půda, povrchový odtok a eroze, odvodnění). Měsíční specifické látkové odnosy, resp. rozpětí, průměr a mediány, znázorňuje **tab. 3b**. Pro dusičnanový dusík byly tyto hodnoty v průměru nejvyšší ve zorněných a odvodněných povodích (P32, P6), pro fosfor potom v povodích P21 a P22, která obsahují sídlo a několik rybníků. Z podpovodí, reprezentujících výhradně plošné zdroje znečištění, byla jako nejzávažnější z hlediska množství vnosu P do vod identifikována podpovodí P32 a P6, přestože podíl pomalé složky odtoku (základní odtok) byl v těchto podpovodích identifikován jako vyšší než u podpovodí P33 a P53 (**tab. 2**), což je odrazem odlišné geomorfologie jednotlivých podpovodí. Jako rozhodující se jeví absolutní vodnost těchto povodí v různých obdobích roku (průměrný denní specifický odtok viz **obr. 4 a, b**), daná m.j. vyšší průměrnou intenzitou drenážního odtoku, která souvisí s umístěním významné části stavby odvodnění do oblasti transportní a akumulací [18]. Podstatnou roli hraje nepochybně rovněž výskyt povrchového odtoku a erozních jevů, souvisejících se sklony a nepřerušovanými délkami svahů, jakož i spojitost různých vododvodných drah s vodním tokem.

Z hlediska podílu  $\text{PO}_4\text{-P}$  v Pcelk dosahovaly hodnoty mediánů těchto podílů 33–69 %; nejvyšší hodnoty vykazoval profil P21. Vzhledem ke složkám odtoku nebyly sledovány významné rozdíly mezi mediány těchto hodnot kromě podpovodí P32 (Man-Whitney test,  $P < 0,05$ ), kde se medián podílu  $\text{PO}_4\text{-P}$  v Pcelk v rychlé složce odtoku blížil hodnotám zjištěným u podpovodí P21; viz **tab. 4**.

Při stopování původu různých forem fosforu v drenážních vodách se vedle již klasických teorií o možném působení preferenčního proudění a vnitropůdní eroze [33] nabízí pro podmínky Českomoravské vrchoviny hypotéza formulovaná v publikacích [9, 20] a ověřená zatím na příkladu dusičnanového dusíku a teplotních režimů drenážních a podzemních vod v prostředí krystalinika [19, 34], která původ rychlé složky drenážního odtoku klade do (často zorněných) infiltračních oblastí, aniž je nutné drenážní systém v této části povodí vybudován. V některých z těchto enkláv byly v našem případě opakovaně zjišťovány



Obr. 3a-d. Boxploty hodnot koncentrací látek z epizodního monitoringu

**Tab. 3a. Rozpětí, průměry a mediány hodnot měsíčních látkových odnosů v kg ze sledovaných podpovodí za období březen–říjen, 2009–2011. Poslední řádek vyjadřuje minimum, maximum, průměr a medián procentuálního podílu z podpovodí bez bodových zdrojů znečištění (P32, P33, P53 a P6) na celkovém látkovém odnosu ze sledovaných podpovodí za hodnocené období**

Profil	NH <sub>4</sub> -N (kg/měsíc)				NO <sub>3</sub> -N (kg/měsíc)				PO <sub>4</sub> -P (kg/měsíc)				Pcelk (kg/měsíc)			
	Min	Max	Průměr	Medián	Min	Max	Průměr	Medián	Min	Max	Průměr	Medián	Min	Max	Průměr	Medián
T2	0,103	1,929	0,530	0,252	10,659	80,815	32,396	27,263	0,066	0,609	0,208	0,156	0,113	0,943	0,360	0,281
P21	0,088	8,924	1,512	0,741	7,818	131,880	37,678	20,129	0,142	1,404	0,471	0,358	0,284	2,596	0,850	0,623
P22	0,256	12,362	1,584	0,915	57,251	485,109	130,096	101,423	0,174	3,368	0,714	0,452	0,373	5,242	1,232	0,861
P32	0,097	4,990	0,669	0,353	34,566	516,785	158,013	124,285	0,065	3,821	0,371	0,152	0,114	5,701	0,804	0,429
P33	0,002	0,416	0,126	0,056	0,702	78,505	19,250	14,427	0,001	0,368	0,072	0,020	0,002	0,428	0,118	0,040
P42	0,017	6,829	0,657	0,262	2,327	259,210	62,184	52,212	0,010	0,468	0,156	0,125	0,023	1,588	0,479	0,386
P52	0,080	3,214	0,674	0,347	12,563	151,573	44,102	31,307	0,072	0,885	0,253	0,167	0,117	1,660	0,511	0,322
P53	0,000	0,555	0,058	0,009	0,066	54,333	9,208	3,129	0,000	0,168	0,022	0,004	0,000	0,281	0,043	0,011
P6	0,010	0,981	0,178	0,113	11,855	196,186	43,323	27,835	0,029	0,310	0,076	0,060	0,052	0,714	0,171	0,113
T7U	1,549	68,418	9,448	6,414	213,106	3844,137	900,918	597,076	0,619	12,011	3,007	2,055	1,670	24,261	7,461	5,489
Podíl nebodových zdrojů (%)	7,1	33,8	22,8	22,3	36,1	54,4	44,6	46,2	10,5	47,1	24,1	22,0	17,3	44,5	26,1	24,3

**Tab. 3b. Rozpětí, průměry a mediány hodnot specifických měsíčních látkových odnosů ze sledovaných podpovodí za období březen–říjen, 2009–2011**

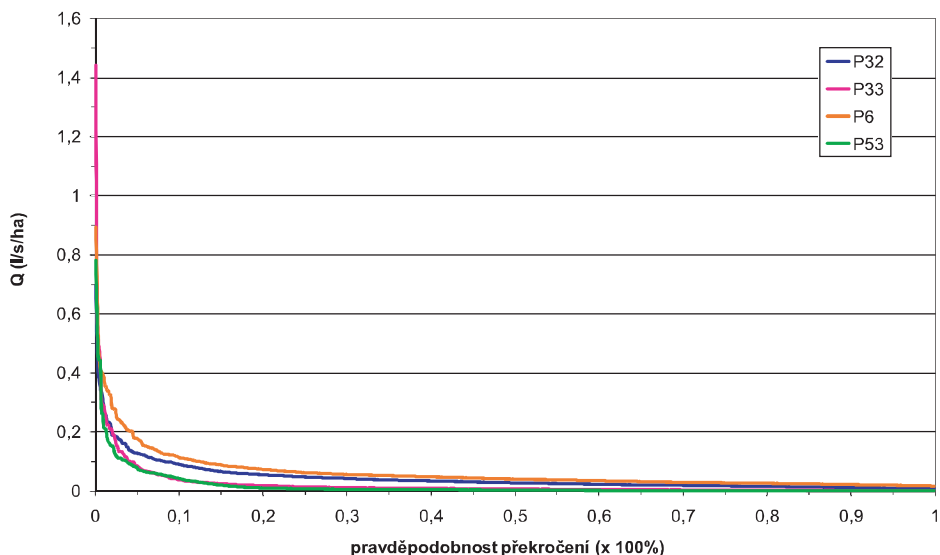
Profil	NH <sub>4</sub> -N (kg/ha/měsíc)				NO <sub>3</sub> -N (kg/ha/měsíc)				PO <sub>4</sub> -P (kg/ha/měsíc)				Pcelk (kg/ha/měsíc)			
	Min	Max	Průměr	Medián	Min	Max	Průměr	Medián	Min	Max	Průměr	Medián	Min	Max	Průměr	Medián
T2	0,0017	0,0317	0,0087	0,0041	0,1749	1,3261	0,5134	0,4474	0,0011	0,0100	0,0032	0,0026	0,0019	0,0155	0,0057	0,0046
P21	0,0037	0,3754	0,0636	0,0312	0,3289	5,5482	1,5851	0,8468	0,0060	0,0591	0,0198	0,0151	0,0120	0,1092	0,0358	0,0262
P22	0,0033	0,1578	0,0202	0,0117	0,7307	6,1916	1,6604	1,2945	0,0022	0,0430	0,0091	0,0058	0,0048	0,0669	0,0157	0,0110
P32	0,0012	0,0638	0,0085	0,0045	0,4417	6,6031	2,0190	1,5880	0,0008	0,0488	0,0047	0,0019	0,0015	0,0728	0,0103	0,0055
P33	0,0001	0,0211	0,0064	0,0028	0,0356	3,9790	0,9757	0,7312	0,0000	0,0186	0,0036	0,0010	0,0001	0,0217	0,0060	0,0020
P42	0,0003	0,1310	0,0126	0,0050	0,0446	4,9724	1,1929	1,0016	0,0002	0,0090	0,0030	0,0024	0,0004	0,0305	0,0092	0,0074
P52	0,0012	0,0495	0,0104	0,0053	0,1935	2,3345	0,6793	0,4822	0,0011	0,0136	0,0039	0,0026	0,0018	0,0256	0,0079	0,0050
P53	0,0000	0,0406	0,0043	0,0007	0,0048	3,9677	0,6724	0,2285	0,0000	0,0122	0,0016	0,0003	0,0000	0,0205	0,0031	0,0008
P6	0,0007	0,0623	0,0113	0,0072	0,7534	12,4681	2,7533	1,7690	0,0019	0,0197	0,0048	0,0038	0,0033	0,0454	0,0109	0,0072
T7U	0,0022	0,0963	0,0133	0,0090	0,3000	5,4116	1,2683	0,8405	0,0009	0,0169	0,0042	0,0029	0,0024	0,0342	0,0105	0,0077

nejvyšší hodnoty přístupného fosforu (Mehlich III, viz **tab. 5**), přičemž mějme na paměti, že toto stanovení zdaleka nemusí vyjadřovat celkový obsah labilního (zejména organického) fosforu v půdě [35]. Výše zmíněné hypotézy, jakož i metody pro zpřesňování vymezení infiltračně zranitelných oblastí [36], jsou dále podrobovány intenzivnímu šetření a ověřování [10, 37].

Podnětné je sledovat změny koncentrací mezi profily P21 a P22, a dále P41 a P42, umožňující přibližně kvantifikovat procesy, ke kterým na trasách mezi hydrologicky přímo návaznými profily dochází, a to jak v prostředí vodního toku, tak v rybníce (různé formy samočištění, ředění, retence, transformace atd.); viz **tab. 6 a, b**. Z vyhodnocených dat je u profilu P21 patrný vliv blízkých sídel, nicméně v profilu P22 zjišťujeme průměrně cca 55% pokles koncentrací Pcelk a 45% pokles NH<sub>4</sub>-N a naopak v průměru 53% nárůst koncentrací NO<sub>3</sub>-N. To si u látek dusíku vysvětlujeme jednak vlivem zornění většiny a odvodněním části zemědělské půdy v podpovodí P22 a dále oxidačními procesy, během kterých dochází k přeměně amoniakálního dusíku na dusík dusičnanový. U fosforu je patrný významný vliv rybníka na retenci P. V profilu P42 rovněž objevujeme průměrně cca 39% snížení koncentrací NH<sub>4</sub>-N vůči profilu P41, u Pcelk potom průměrné snížení přibližně o 9%. U většiny rybníků má potom na kvalitu odtékající vody (zejména fosfor) značný vliv zřejmě také typ vypouštěcího zařízení, doba zdržení vody a charakter nádrže (úživnost, hospodaření, vegetace) [38, 39]. Všechny zmíněné parametry rybníků jakož i charakter souvisejících vodních toků jsou, vzhledem k vysokému potenciálnímu významu samočisticích procesů v těchto prostředích, dále zjišťovány.

Jako nejednoznačný, resp. velice proměnlivý se jeví hydrobiologický aspekt, resp.

významnost pulzních (erozních i neerozních) vstupů vysokých koncentrací nebo velkých množství živin do vod z hlediska vývoje eutrofizace. Proměnlivé podmínky vodního prostředí, zejména potom hydrodynamické, hydrochemické a hydrobiologické vlivy – změny hodnot parametrů vody i sedimentů - pH, koncentrace dusíku, hliníku, rozpuštěného kyslíku, síranů, oxidů železa, teploty a anaerobní pochoďy i mikrobiální činnost, mohou způsobovat různou míru uvolňování fosforu vázaného na půdní částice do prostředí tekoucích nebo stojatých vod [39, 40, 41, 42, 43]. Vliv epizodních či extrémních srážko-odtokových událostí na eutrofizaci v tekoucích vodách, nádržích a jezerech (resp. druhové složení, biomasu a vertikální i horizontální strukturu planktonu) je hodnocen velmi různě, m.j. také ve vztahu



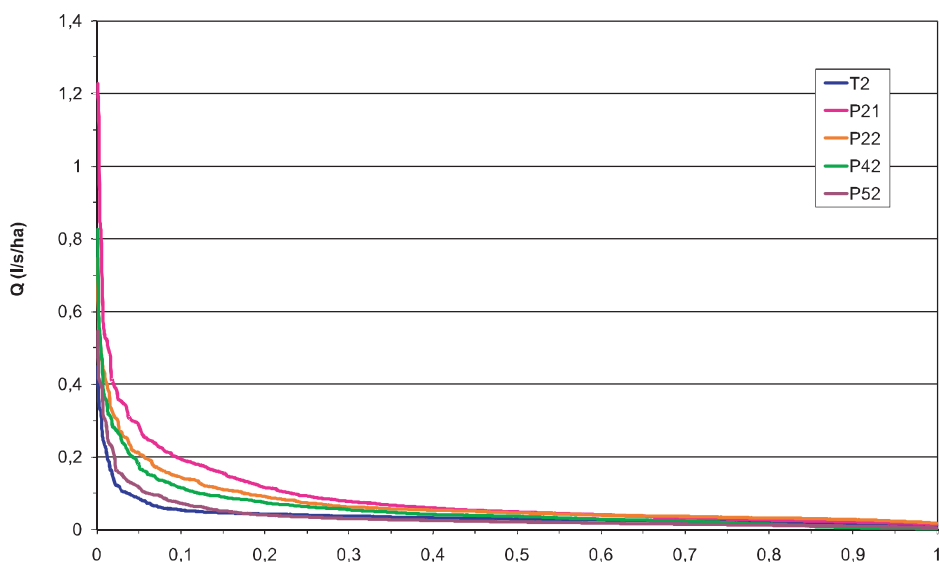
**Obr. 4a. Čáry překročení průměrného denního specifického odtoku v podpovodích P32, P33, P53 a P6 za období březen–říjen, 2009–2011**

k období výskytu epizody, její intenzitě a době trvání, podmínkám v nádrži (teplotní a živinová stratifikace, druhové a početnostní diverzité planktonních i vyšších organismů v nádrži, přírodní či technické parametry nádrže) [42, 44]. Je konstatováno, že vliv jednorázového přísunu živin či produktů eroze může tedy mít jak negativní (tj. eutrofizaci zhoršující) efekt, způsobený náhlým vnosem značného množství fosforu do vod, tak pozitivní vlivy, spočívající v možnostech sorpce rozpuštěných sloučenin P na transportovaný erozní materiál. Dále bývají zmiňovány „disturbanční“ efekty v nádrži, které mohou promíchat vytvořené vodní vrstvy a nastolit zcela nové poměry v nádrži.

Aktuálně bývá rovněž diskutována otázka potřebnosti různých variant vzorkování vod během epizod a to v zemědělských i lesních povodích, u bodových i nebodových zdrojů znečištění. Např. výsledky z intenzivního vzorkování povrchových, půdních a podzemních vod z bavorského pohoří Smrčiny (Fichtelgebirge) [45] naznačují, že pro  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  a pH postačoval 14denní interval monitoringu pro uspokojivé zachycení dynamiky koncentrací těchto ukazatelů i pro stanovení látkových toků. Na základě našich výsledků i zkušenosti jiných studií je ovšem evidentní, že z hlediska fosforu je pro rozlišení zdrojů a původu plošného znečištění vod a popis souvisejících hydrologických procesů v zemědělsky využívané krajině vzorkování epizod nezbytné [2, 8, 10, 21, 32].

## Závěr

Z dosud vyhodnocených dat jakosti a množství vod bodových i epizodním monitoringem za období března–října 2009–2011 vyplývá značná dynamika průběhu koncentrací i látkových odnosů dusíku i fosforu ve všech sledovaných podpovodích. Změřené koncentrace sledovaných látek se v jednotlivých podpovodích významně odlišovaly. Podle předpokladů, nejvyšší koncentrace  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  a Pcelk byly zjišťovány v podpovodích se sídly a vodními plochami (zejména P21, P22; pro  $\text{NH}_4\text{-N}$  P21 a P41), přičemž u fosforů se nejvyšší hodnoty vyskytovaly v jarním a letním období, u  $\text{NH}_4\text{-N}$  v létě. Koncentrace  $\text{NO}_3\text{-N}$  byly měřeny nejvyšší v podpovodích odvodněných, využívaných převážně jako orná půda (P32, P33, P53, P6), s maximy na jaře. Hodnoty koncentrací z monitoringu epizod vykazovaly pro všechny ukazatele a profily značnou, hydrologicky podmíněnou variabilitu; hodnoty  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  i Pcelk byly potom u všech pěti sledovaných profilů v průměru cca 1,5–3x vyšší než ty z monitoringu bodového, hodnoty  $\text{NO}_3\text{-N}$  byly u většiny profilů během epizod nižší, ale více rozkolísané. Podpovodí, která neobsahují žádný bodový zdroj znečištění, se na celkových látkových vnosech sledovaných ukazatelů v monitorovaných podpovodích podílela u amoniakálního dusíku průměrně 23 %, u dusičnanového dusíku kolem 45 %, u rozpuštěného reaktivního fosforu přibližně 24 % a pro celkový fosfor průměrně 26 %. Zjištěné hodnoty jsou zejména v případě dusičnanového dusíku vlivem použitého přístupu značně podhodnocené. Potvrzuje se, že klíčovým mechanismem, který určuje rozdělení podílů nebodových



Obr. 4b. Čáry překročení průměrného denního specifického odtoku v podpovodích T2, P21, P22, P42 a P52 za období března–října, 2009–2011

Tab. 4. Podíly  $\text{PO}_4\text{-P}$  v Pcelk v pomalé (Qs) a rychlé (Qr) složce odtoku sledovaných podpovodí za monitorované období

Složka odtoku	Mediány a průměry podílů $\text{PO}_4\text{-P}$ v Pcelk (%)			
	Qs		Qr	
	Průměr	Medián	Průměr	Medián
T2	51,1	50,0	47,9	42,9
P21	63,5	68,9	-	-
P22	53,0	52,4	41,2	39,9
P32	53,5	53,3	55,7	64,3
P33	51,0	46,4	52,1	51,6
P41	33,8	33,3	-	-
P42	38,4	33,3	39,2	33,3
P52	58,9	55,4	50,7	50,9
P53	54,0	53,3	53,3	53,3
P6	59,0	60,0	47,5	40,0
T7U	43,6	40,8	42,1	38,8

zdrojů v prostoru i čase, je dynamika srážko-odtokového procesu ve vazbě na geomorfologii, způsob využití území, půdní podmínky a přítomnost a stav systémů zemědělského odvodnění. Významnými faktory, působícími přímo i nepřímo na retenci vody v krajině a na procesy samočištění vod, jsou přítomnost a charakter vodních nádrží a stav vodních toků. Při případných úpravách managementu zemědělské půdy v povodí je třeba při přijímání různých variant vodochranných či protierozních opatření u území dbát na zvyšování retence vody v půdě a zohledňovat vybudované odvodňovací systémy, jejich parametry, stav a celý systém stavby, včetně souvisejících možností jejich úprav v kontextu lokality i povodí [46].

Tab. 5. Hodnoty přístupného fosforu (Mehlich III) v půdě; podpovodí P33 a P6

Datum odběru	Hloubka odběru (cm)	P33-1	P33-2	P33-3	P6-1	P6-2	P6-3	P6-4
		M3P (mg/kg)						
29.4.2010	5–10	22,8	75,7	97,2	68,6	72,8	58,9	69,8
	15–20	9,1	36,3	16,1	59,6	63,6	34,3	44,8
	35–40	4,4	5,6	2,1	2,2	2,8	2,5	3,1
7.9.2010	5–10	14,4	122,8	114,6	65,8	58,9	48,7	64,8
	15–20	6,0	88,5	62,0	50,6	40,0	24,7	43,4
	35–40	4,2	15,8	19,6	38,2	17,9	16,8	6,7
20.4.2011	5–10	43,9	195,1	125,6	64,3	80,8	28,8	64,6
	15–20	6,2	193,7	55,8	69,7	68,1	30,7	47,0
	35–40	2,0	5,7	6,8	56,8	43,4	17,9	14,3
14.9.2011	5–10	17,8	147,6	169,3	108,9	103,5	98,8	84,8
	15–20	12,7	97,1	145,0	62,6	60,2	42,3	53,3
	35–40	5,6	13,5	30,4	9,6	13,1	7,4	9,7

## Literatura

- [1] Wang, J. G.; Kuhnert, P.; Henderson, B. 2011. Load estimation with uncertainties from opportunistic sampling data – A semiparametric approach. *Journal of Hydrology*, 396, p. 148–157.
- [2] Tang, J. L.; Zhang, B.; Gao, Ch.; Zelo, H. 2008. Hydrological pathway and source area of nutrient losses identified by a multi-scale monitoring in an agricultural catchment. *Catena* 72, 374–385.
- [3] Sharpley, A. N.; Kleinman, P. J. A.; Flaten, D. N. and Buda, A. R. 2011. Critical source area management of agricultural phosphorus: experiences, challenges and opportunities. *Water Science & Technology*, 64, 4.
- [4] Csathó, P.; Sisák, I., et al. 2007. Agriculture as a source of phosphorus causing eutrophication in Central and Eastern Europe. *Soil Use and Management*, 23 (Suppl. 1), 36–56.

**Tab. 6a, b. Srovnání průměrné změny koncentrací látek (v %) v na sebe navazujících profilech P21, P22 a P41, P42 během sledovaného období. Kladná hodnota znamená snížení koncentrace v níže ležícím profilu, záporná zvýšení. Vzorky odebírány v navazujících profilech v rámci 1 hodiny**

P21 – P22	Min	Max	Průměr	Median
NH4-N	-346,2	97,0	45,3	63,9
NO3-N	-165,7	11,4	-53,0	-47,3
PO4-P	-80,0	93,6	56,8	70,2
Pcelk	-19,0	84,8	55,4	63,0

P41 – P42	Min	Max	Průměr	Median
NH4-N	-100,0	95,1	39,2	47,7
NO3-N	-18,5	64,0	11,8	11,1
PO4-P	-120,0	61,5	-0,9	0,0
Pcelk	-128,6	69,2	8,8	10,0

- [5] Beránková, T.; Vogel, R. M.; Fiala, D. & Rosendorf, P. 2010. Estimation of phosphorus loads with sparse data for agricultural watersheds in the Czech Republic. *Hydrol. Sci. J.* 55(8), 1417–1426.
- [6] Buczko, U. and Kuchenbuch, R. O. Phosphorus indices as risk-assessment tools in the USA and Europe – a review. *J. Plant Nutr. Soil. Sci.*, 2007, vol. 170, p. 445 – 460.
- [7] Fiala, D.; Rosendorf, P. 2011. Variabilita odnosu fosforu ze zemědělské půdy v měřítku mikropovodí. *Vodní Hospodářství*, 61 (12), s. 27–31.
- [8] Stutter, M. I.; Langan, S. J.; Cooper, R. J. 2008. Spatial contributions of diffuse inputs and within-channel processes to the form of stream water phosphorus over storm events. *J. Hydrol.* 350: 203-214.
- [9] Doležal, F.; Kvítek, T. 2004. The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in penplains of Central European highlands with regard to water quality generation processes. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C. Volume 29, Issues 11-12, Pages 775-785.*
- [10] Kvítek, T. a kol. 2011. Periodická zpráva projektu NAZV QH82095 "Vliv rozmístění pozemků v povodí na odtok a odnos vybraných látek." VÚMOP, v.v.i., Praha, 2011.
- [11] Gächter, R.; Steingruber, S. M.; Reinhardt, M., & Wehrli, B. 2004. Nutrient transfer from soil to surface waters: Differences between nitrate and phosphate. *Aquatic Sciences*, 66, 117–122. doi:10.1007/s00027-003-0661-x.
- [12] Švihla, V. a kol. 1992. Výzkumný objekt Ovesná Lhota. Monografie. VÚMOP Praha, 1992, 156 s.
- [13] Vanni M. J.; Renwick W. H.; Headworth J. L.; Auch J. D.; Schaus M. H. 2001. Dissolved and particulate nutrient flux from three adjacent agricultural watersheds: a five-year study. *Biogeochemistry* 54: 85–114.
- [14] Shukla, M. K. 2011. Introduction to Soil Hydrology: Processes and Variability of Hydrological Properties. In: Shukla, M.K. (ed.). *Soil Hydrology, Land Use and Agriculture – Measurement and Modelling*. CABI Publishing, 2011, Wallington, UK. ISBN 978-1-84593-797-3.
- [15] Vašků, Z. 2011. Zlo zvané meliorace. *Vesmír* 90, č. 7-8, 2011.
- [16] Allaire, S. E.; Stéphanie, R.; Roulier, S.; Cessna, A. J. 2009. Quantifying preferential flow in soils: A review of different techniques. *Journal of Hydrology*, 378, p. 179–204.
- [17] McDonnell, J. J. 2003. Where does water go when it rains? Moving beyond the variable source area concept of rainfall-runoff response. *Hydrol. Process.* 17, 1869–1875.
- [18] Kulhavý, Z.; Tlapáková, L.; Čmelík, M.; Doležal, F. 2010. Podíl drenážního odtoku na celkovém odtoku z povodí. *Vodní hospodářství*, 7, 2010.
- [19] Zajíček, A.; Kvítek, T.; Kaplická, M.; Doležal, F.; Kulhavý, Z.; Bystřický, V. and Žlábek, P. 2011. Drainage water temperature as a basis for verifying drainage runoff composition on slopes. *Hydrological Processes*, 25, 3204–3215. doi: 10.1002/hyp.8039.
- [20] Kvítek, T. a Doležal, F. 2003. Vodní a živinný režim povodí Kopaninského toku na Českomoravské vrchovině. *Acta Hydrologica Slovaca*, roč. 4, č. 2, s. 255-264. ISSN 1335-6291.
- [21] Fučík, P.; Kaplická, M.; Zajíček, A.; Kvítek, T. 2010. Vyhodnocení monitoringu jakosti vod v malém zemědělsko-lesním povodí: diskretní a kontinuální přístup. *Vodní Hospodářství*, č. 8., s. 213–217.
- [22] Chapman, T. G.; Maxwell, A. I. 1996. Baseflow separation - comparison of numerical methods with tracer experiments. *I. E. Aust. Natl.Conf. Publ.* 96/05, pp. 539-545.
- [23] Nathan, R. J., McMahon, T.A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis. *Water Resources Research*, 26 (7), 1465–1473.
- [24] Arnold, J. G. and Allen, P. M. 1999. Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records. *Journal of the American Water Resources Association*, JAWRA, vol. 35, no. 2.
- [25] Jain, S. K. 1997. Evaluation of catchment management strategies by modelling soil erosion / water quality in EPIC supported by GIS. M.Sc. thesis, Galway, National University of Ireland, Department of Engineering Hydrology.
- [26] Kulhavý, Z.; Doležal, F.; Soukup, M. 2001. Separace složek drenážního odtoku a její využití při klasifikaci existujících drenážních systémů. *Vědecké práce VÚMOP*, 12, s. 29–52.
- [27] Kille, K. 1970. Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. *Z. Deutsch. Geol. Gessell.*
- [28] Kliner, K.; Kněžek, M. 1974. Metoda separace podzemního odtoku při využití pozorování hladiny podzemní vody. *Vodohospodářský časopis SAV*, č.5 sv. 22, Bratislava.
- [29] Doležal, F.; Kulhavý, Z.; Kvítek, T.; Soukup, M.; Tipl, M., 2003. Methods of runoff separation applied to small stream and tile drainage runoff. In: Holko, L., Milánek P. (eds.) *Interdisciplinary approaches in small catchment hydrology: Monitoring and research. 9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB), Demänovská dolina (Slovakia)*, 25–28 September 2002. IHP-VI Technical Documents in Hydrology No. 67. Paris: UNESCO, s. 131-136. ISBN 92-9220-001.
- [30] Aulenbach, B. T.; and Hooper, R.P. 2006. The composite method: an improved method for stream-water solute load estimation. *Hydrol. Process.* 20, 3029–3047.
- [31] Fučík, P.; Kaplická, M.; Kvítek, T. and Peterková, J. 2012. Dynamics of Stream Water Quality during Snowmelt and Rainfall – Runoff Events in a Small Agricultural Catchment. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 40: 154–163. doi: 10.1002/clen.201100248.
- [32] Sharpley, A. N.; Kleinman, P. J. A.; Heathwaite, A. L.; Gburek, W. J.; Folmar, G. J.; and Schmidt J. R.. 2008. Phosphorus Loss from an Agricultural Watershed as a Function of Storm Size. *Journal of Environmental Quality* 37:362-368.
- [33] Sims, J. T.; Simard, R. R.; and Joern, B. C. 1998. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *J. Environ. Qual.*, no. 27, p. 277–293.
- [34] Fučík, P.; Bystřický, V.; Doležal, F.; Kvítek, T.; Lechner, P.; Váchal, J. a Žlábek, P. 2010. Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků. *Certifikovaná Metodika. VÚMOP, v.v.i., 2010, 90s., ISBN 978-80-87361-00-9.*
- [35] Matula, J. 2009. Aktuálnost efektivní zásoby fosforu v půdách. *Úroda*, 12, s. 62–65.
- [36] Janglová, R.; Kvítek, T.; Novák, P. 2003. Kategorizace infiltrační kapacity půd na základě geoinformatického zpracování dat půdních průzkumů. In *Soil and Water 2/2003 Scientific studies*, s.61-81. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha.
- [37] Duffková, R.; Brom, J.; Žížala, D.; Zemek, F.; Procházka, J.; Nováková, E.; Zajíček, A.; Kvítek, T. 2012. Určení infiltračních oblastí pomocí vodního stresu vegetace na základě dálkového průzkumu Země a pozemních měření. *Certifikovaná metodika. Vydal VÚMOP, v.v.i. 64 str. ISBN: 978-80-87361-15-3.*
- [38] Duras, J. and Hejzlar, J. 2001. The Effect of Outflow Depth on Phosphorus Retention in a Small, Hypertrophic Temperate Reservoir with Short Hydraulic Residence Time. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 86, 6, p. 585–601.
- [39] Hejzlar, J.; Duras, J.; Staňková, B.; Turek, J.; Žaloudík, J. 2008. Vliv eutrofizace na jakost vody v nádržích: Metodika hodnocení přísunu živin z povodí a protieutrofiční odolnosti nádržového ekosystému. *Sborník konference Pitná voda 2008*, s. 47-52. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978-80-254-2034-8.
- [40] Kopáček, J.; Borovec, J.; Hejzlar, J.; Ulrich, K.; Norton, S. A. Aluminium controls on phosphorus sorption by lake sediments. *Environ Sci Technol.* 2005, 39, 8784–8789.
- [41] Hilton, J.; O'Hare, M.; Bowes, M. J.; Jones, J. I. 2006. How green is my river? A new paradigm of eutrophication in rivers. *Science of the Total Environment* 365, 66–83.
- [42] Znachor, P.; Zapomělková, E.; Řeháková, K.; Nedoma, J. and Šimek, K. 2008. The effect of extreme rainfall on summer succession and vertical distribution of phytoplankton in a lacustrine part of a eutrophic reservoir. *Aquat. Sci.* 70, 77–86.
- [43] Ekholm, P.; Lehtoranta, J. 2012. Does control of soil erosion inhibit aquatic eutrophication? *Journal of Environmental Management*, 93, p. 140–146.
- [44] Reichwaldt, E. S.; Ghadouani, A. 2012. Effects of rainfall patterns on toxic cyanobacterial blooms in a changing climate: Between simplistic scenarios and complex dynamics. *Water Research*, 46, p. 1372–1393.
- [45] Alewell, C.; Lischeid, G.; Hell, U.; Manderscheid, B. 2004. High temporal resolution of ion fluxes in semi-natural ecosystems – gain of information or waste of resources? *Biogeochemistry* 69, 19–35.
- [46] Kulhavý, Z.; Fučík, P.; Tlapáková, L.; Soukup, M.; Čmelík, M.; Hejduk, T.; Marták, P.; Stehlík, M.; Pavel, M. 2012. Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině pro podporu žadatelů o PBO v Prioritních osách 1 a 6. MŽP, VÚMOP, Hydroprojekt CZ, 228s. + 43s. příloh, v tisku.

**Poděkování:** Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MZE0002704902 „Integrované systémy ochrany a využití půdy, vody a krajiny v zemědělství a rozvoji venkova“ a projektu NAZV QH82095 „Vliv rozmístění pozemků v povodí na odtok a odnos vybraných látek“. Autoři děkují Ing. Františku Doležalovi, CSc., a doc. Ing. Zbyňkovi Kulhavému, CSc., za konzultace ohledně separací odtoku, paní Haně Libichové a panu Davidu Šádkovi za pomoc při polních pracích a dvěma recenzentům za užitečné komentáře.

Ing. Petr Fučík (autor pro korespondenci)<sup>1,2)</sup>  
e-mail: fucik.petr@vumop.cz  
prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.<sup>1,3)</sup>  
Ing. Tomáš Hejduk<sup>1,2)</sup>  
Ing. Jana Peterková<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.  
(VUMOP, v.v.i.)  
Žabovřeská 250  
156 27 Praha 5 – Zbraslav

<sup>2)</sup> Fakulta životního prostředí ČZU v Praze  
Kamýcká 129  
165 21 Praha 6 – Suchbátka

<sup>3)</sup> Zemědělská fakulta Jihočeské Univerzity  
v Českých Budějovicích  
Braníšovská 1160/31a  
370 05 České Budějovice 2

#### Key words

small catchment – point and non-point pollution sources – sub-surface drainage – phosphorus – nitrogen – solute load – runoff separation

This paper brings a preliminary evaluation of results from a detailed three-year monitoring campaign focused on quantity and quality dynamics of surface and tile drainage waters in a small, 7,1 km<sup>2</sup> agricultural watershed located in the crystalline complex of the Czech Republic. Regular as well as snap-shot sampling approaches, methods of runoff separation and regression techniques were employed to compare concentration values and monthly solute loads and yields of NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P a Ptot from ten subcatchments with different landuse characteristics and proportions of tile drainage. The highest concentration values of NO<sub>3</sub>-N were detected in waters originated from plowed and tiled subcatchments, those of NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P and Ptot came from subcatchments with settlements and water ponds. In the monitored profiles within the catchment, non-point pollution sources produced on average 23 % of NH<sub>4</sub>-N, approximately 45 % of NO<sub>3</sub>-N, 24 % of PO<sub>4</sub>-P and about 26 % of Ptot monthly loads. Differences in the share of monitored subcatchments on the total load from non-point pollution sources varied from month to month and were caused mainly by miscellaneous hydrological conditions. Research activities are to be continued; an exhaustive assessment of all related data will enable to quantify the importance of causal factors as well as to express applicable and practical recommendations.

*A contribution to quantification of water pollution sources from monitored profiles in a small upland tile drained agricultural watershed (Fučík, P.; Kvítek, T.; Hejduk, T.; Peterková, J.)*

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 31. října 2012. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků.  
Příspěvky posílejte na e-mail [stransky@vodnihospodarstvi.cz](mailto:stransky@vodnihospodarstvi.cz).



## Konference Říční krajina 2012



Zveme Vás na 8. ročník konference Říční krajina, který už druhým rokem pořádá Koalice pro řeky o.p.s. Tematicky se tato konference již tradičně zaměřuje především na hodnoty, využití i problémy říční krajiny z multidisciplinárního hlediska. Jedním z jejích hlavních cílů je pokračování a prohlubování dialogu mezi přírodovědci a vodohospodáři a řešení teoretických i praktických aspektů celospolečensky důležitých témat, jakými jsou ochrana před hydrologickými extrémy, zachování biodiverzity, zlepšování kvality vody a dalších služeb ekosystémů vodních toků a okolní krajiny.

#### Datum konání:

18.–20. 10. 2012

#### Místo konání:

Praha, Přírodovědecká fakulta, budova děkanátu, Albertov 6, Praha 2

#### Pořadatelé:

Koalice pro řeky a Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta

#### Mediační partner:

Vodní hospodářství

#### Prioritní témata:

1. Biodiverzita a transformace říční krajiny
2. Hydrodynamika říční krajiny
3. Ekologická správa vodních toků za extrémních hydrologických situací
4. Říční krajina a povodňové riziko

Podrobné informace a registrace přihlášek  
na [www.koaliceproreky.cz/ricni-krajina/](http://www.koaliceproreky.cz/ricni-krajina/)





**5**

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. (35 %)

100 let

# GEODETIČKÝ a KARTOGRAFIČKÝ

# obzor

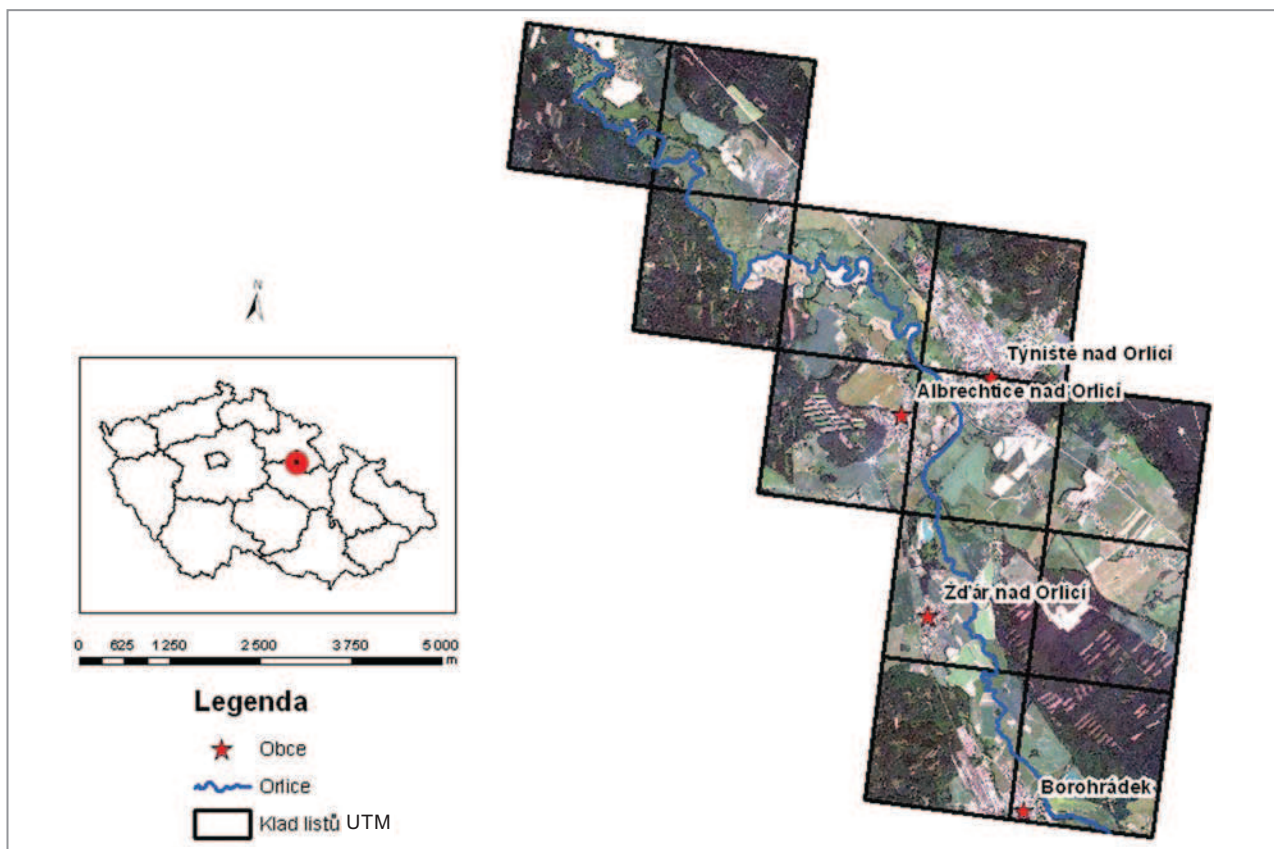
# OPZOR

Český úřad zeměměřický a katastrální  
Úrad geodézie, kartografie a katastra  
Slovenskej republiky

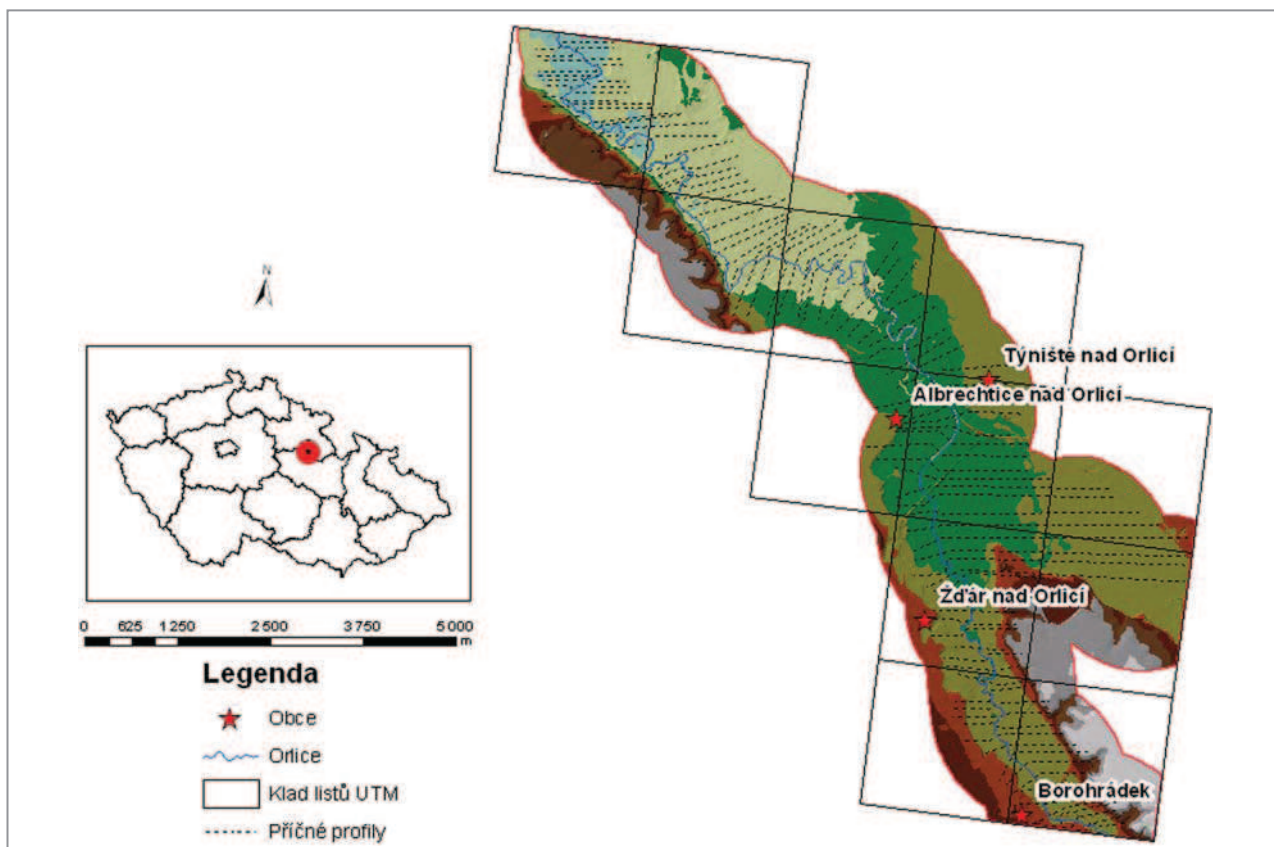
1/2012

Praha, leden 2012  
Roč. 58 (100) ● Číslo 1 ● str. 1–20  
Cena 24,- Kč  
1,- €





Obr. 1 Vymezení modelového území



Obr. 3 Geometrie vodního toku

## Obsah

Současná krize je výzvou k větší efektivitě i v naší práci . . . . . 1	Ing. Karel Večeře	Řešení vnější orientace kamery ze čtyř vličovacích bodů . . . . . 8	Ing. Rudolf Urban, Ph.D.
Na prahu roka 2012 . . . . . 2	Ing. Hedviga Májovská	ČSN EN ISO 19111:2011 – významný nástroj k terminologické harmonizaci souřadnicových systémů v ČR s Evropou a světem . . . . . 14	Doc. Ing. Jiří Šíma, CSc.
Využití dat z tvorby nového výškopisu území České republiky metodou leteckého laserového skenování při analýze a mapování povodňových rizik . . . 4	Ing. Radek Roub, Ph.D., Ing. Tomáš Hejduk, RNDr. Pavel Novák	SPOLEČENSKO-ODBORNÁ ČINNOST . . . . . 17	
		MAPY A ATLASY . . . . . 19	

## Současná krize je výzvou k větší efektivitě i v naší práci

Ing. Karel Večeře,  
Český úřad zeměměřický a katastrální

342:528

Celá Evropa a s ní i my prožíváme složité období zahájené finanční krizí v roce 2008, po které následovaly poměrně vážné ekonomické problémy, které vyústí v určitou dlouhodobější ekonomickou nestabilitu. Tyto jevy samozřejmě mají nezanedbatelný vliv jak na soukromý zeměměřický sektor, tak na veřejnou správu zeměměřictví a katastru nemovitostí (KN) v České republice (ČR). Zakázek pro soukromý sektor je méně nejen vlivem útlumu realitního trhu a nové výstavby, ale také vlivem úsporných opatření ve veřejném sektoru. Orgány veřejné správy snižují počty zaměstnanců a omezují výdaje na pozemkové úpravy, digitalizaci katastrálních map, do geografických informačních systémů. Tato omezení jsou alespoň zčásti kompenzována některými projekty spolufinancovanými z fondů Evropské unie (EU), které však mají časové omezení a nebudou trvalého charakteru. Dnes je již zcela zřejmé, že tento stav není jen krátkodobým útlumem, ale spíše středně až dlouhodobým jevem a podle toho je třeba upravit naše reakce na tuto situaci. Je dobré si připomenout, že historie zná různá složitá období, která se podařilo vždy překonat a rozvíjet zeměměřictví a KN tak, abychom dobře sloužili všem, kdo naše služby a informace potřebují pro svoji práci. A tak jsem přesvědčen, že i ty dnešní problémy mají svá pozitivní řešení, byť mohou být částečně bolestivé. Je však třeba dívat se dopředu a hledat cesty, které vedou k poskytování širšího spektra služeb, a to takových, které mají pro uživatele skutečné přínosy, neboť o takové služby bude vždy zájem.

Státní správa zeměměřictví a katastru ČR je nepříznivě ovlivňována potíží české ekonomiky, realitního a hypotéčního trhu. Rozpočtové výdaje na zajištění našich úkolů již nerostou, jako tomu bylo až do roku 2008, ale klesly meziročně v roce 2010 o 7 %, v roce 2011 o 6 % a podle zatím známého rozpočtu na rok 2012 o 2 %, ale s hrozbou dalšího snížení.

Relativně příznivou okolností pro nás je skutečnost, že vlivem poklesu aktivity na realitním a hypotéčním trhu ubylo



Předseda ČÚZK K. Večeře

přibližně 10 % návrhů na vklad práv do KN a realizace některých úsporných opatření tak byla snazší. Díky tomu dosud ekonomické problémy nijak zásadně neovlivnily postup digitalizace katastrálních map. V roce 2009 bylo dokončeno téměř 6 % katastrálních území (k. ú. - 763), v roce 2010 to bylo 8,5 % (1106) a v roce 2011 jde také o více než 1 000 k. ú., tedy cca 8 % z jejich celkového počtu, a tím dosažení 60 % k. ú. s mapou v digitální formě. Jistě pozitivní je také stále rostoucí procento zájemců o informace z KN, kteří užívají naše elektronické služby. Počet požadavků na informace z KN na přepážkách katastrálních úřadů (KÚ) poklesl na 1 mil. ročně, tedy na úroveň roku 1997 (KÚ) představuje již jen 20 % z celkového počtu požadavků, který stále roste, ale je uspokojován především elektronickými výpisy poskytovanými dálkovým přístupem.

Zatím se nám také stále daří naplňovat dlouhodobou koncepci zajišťování zeměměřických produktů a služeb ve ve-

## Využití dat z tvorby nového výškopisu území České republiky metodou leteckého laserového skenování při analýze a mapování povodňových rizik

Ing. Radek Roub, Ph.D.<sup>1)</sup>,  
Ing. Tomáš Hejduk<sup>1), 2)</sup>,  
RNDr. Pavel Novák<sup>2)</sup>,  
<sup>1)</sup> katedra vodního hospodářství  
a environmentálního modelování,  
Fakulta životního prostředí, ČZU v Praze,  
<sup>2)</sup> Výzkumný ústav meliorací  
a ochrany půdy, v.v.i., Zbraslav

528.8:631:656.085.2

### Abstrakt

Znalost míry povodňového nebezpečí patří k aktuálním problémům v celospolečenském měřítku. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES (povodňová směrnice) ukládá členským státům vytvořit plány pro zvládání povodňových událostí a stanovuje pevné termíny dílčích kroků řešení. K analýze a mapování povodňových rizik slouží simulace 1D a 2D hydrodynamických modelů, které poskytují detailní představu o působení povodně v konkrétním terénu. Realnost a kvalita modelování povodňových jevů a stavů s využitím hydrodynamických modelů určují vstupní data pro tvorbu výpočetní geometrie vodního toku. Ověření a prezentace vhodnosti použití výškopisných dat získaných metodou leteckého laserového skenování realizovaného ve spolupráci Českého úřadu zeměměřického a katastrálního s Ministerstvem obrany ČR.

### *Use of Data from the New Elevation Model of the Czech Republic Gained by Airborne Laser Scanning for Analysis and Mapping of Flood Risks*

### Summary

Knowledge of the extent of flood risks is one of the current problems in a wide-societal scale. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and Council (Flood Directive) delegated Member States to create plans for managing of flood events and fixed the terms of their step-by-step completing. For analysis and mapping of flood risks the simulation of 1D and 2D hydrodynamic models is used that provides a detailed picture of the flood effect in a particular field. Realistic and high quality results of computer flood modelling are significantly dependant on the quality of source terrain data. Evaluation and description of usability of new elevation data captured by airborne laser scanning technology provided by the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre in collaboration with the Ministry of Defence.

**Keywords:** digital elevation model, cloud of points, HEC – RAS, flood vulnerability, hazard matrix, flood plan

### 1. Úvod

Posuzování míry povodňového nebezpečí patří, po zkušenostech z posledních let, kdy zasáhla území České republiky (ČR) několikrát povodňová událost, k aktuálním vodo hospodářským problémům. Z tohoto důvodu je věnována velká pozornost opatřením k ochraně před povodněmi, která mají takové situace předvídat, eliminovat jejich potenciál a organizace je zvládat. V říjnu 2007 schválená Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2007/60/ES, o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik, ukládá členským státům splnění následujících povinností, a to v pevně stanovených termínech [8]:

- do 22. 12. 2011 dokončit předběžné vyhodnocení povodňových rizik,
- do 22. 12. 2013 zajistit dokončení map povodňového nebezpečí a map povodňových rizik,
- do 22. 12. 2015 zajistit dokončení a zveřejnění plánu pro zvládání povodňových rizik.

K analýze a mapování povodňových rizik slouží simulace 1D a 2D hydrodynamických modelů, které poskytují detailní představu o působení povodně v konkrétním terénu. Pro realnost a kvalitu modelování povodňových jevů a stavů s využitím hydrodynamických modelů jsou určující vstupní data pro tvorbu výpočetní geometrie vodního toku. Zásadní význam pak mají data výškopisná [9]. Cílem projektu bylo ověřit a prezentovat vhodnost použití výškopisných dat získaných metodou leteckého laserového skenování (LLS), které zabezpečuje Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK) ve spolupráci s Ministerstvem obrany (MO) ČR.

LLS zemského povrchu patří k nejmodernějším technologiím pro pořizování geoprostorových dat [1]. V současné době je tato technologie používána v řadě vyspělých zemí k mapování zemského povrchu a k tvorbě digitálních modelů reliéfu (DMR) nebo digitálních modelů povrchu (DMP). Významné postavení zaujímá zmíněná technologie sběru dat také v oboru hydrologie. Data získaná metodou LLS jsou aplikována při mapování rozvodnic povodí vodních toků, pro zpřesnění poloh os vodních toků, identifikaci příčných překážek v korytě a jsou zřejmě perspektivní v řadě dalších aplikací na úseku vodního hospodářství.

Od roku 2009 ČÚZK ve spolupráci s MO ČR a s Ministerstvem zemědělství ČR realizuje Projekt tvorby nového výškopisu území ČR. Plánovanými produkty z tvorby nového výškopisu ČR, které vzniknou po zpracování dat v různých časových obdobích, budou:

**DMR 4. generace** (DMR 4G) ve formě mříže 5 x 5 m s úplnou střední chybou výšky 0,30 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu (výsledek předběžného automatizovaného zpracování). Termín: konec roku 2012.

**DMR 5. generace** (DMR 5G) ve formě nepravidelné sítě bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,30 m v zalesněném terénu (finální poloautomatické zpracování dat). Termín: konec roku 2015.

**DMP 1. generace** (DMP 1G) ve formě nepravidelné sítě bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,4 m pro přesné

vymezené objekty a 0,7 m pro objekty přesně neohraňované (lesy a další prvky rostlinného půdního krytu).  
Termín: konec roku 2015.

Uvedené nové výškopisné datové sady se nabízejí k jejich aplikaci při modelování povodňových rizik a zpracování map povodňového nebezpečí a map povodňových rizik v ČR. Podrobné informace o Projektu tvorby nového výškopisu území ČR byly publikovány v roce 2009 v Geodetickém a kartografickém obzoru [3].

## 2. Ověření dat LLS pro mapování povodňových rizik

První výsledky projektu LLS byly publikovány počátkem roku 2011, kdy Zeměměřický úřad (ZÚ) zahájil distribuci DMR 4G z pásma „Střed“ ČR. Součástí dodávky byla Technická zpráva [5], ve které jsou publikovány charakteristiky dosažené přesnosti tohoto modelu. Souhrnně jsou vyjádřeny v tab. 1.

Z tab. 1 je zřejmé, že data DMR 4G značně převyšují přesnost současných výškopisných modelů ZABAGED<sup>®</sup>, a to i přesto, že byla mírně překročena střední chyba zobrazení reliéfu na hranách náspů a výkopů. Tato skutečnost je dána objektivní vlastností zobrazování modelu reliéfu metodou mříže (GRID). Dosažené výsledky z provedení ověření přesnosti DMR 4G však vypovídají, že garantovaná úplná střední chyba výšky tohoto generalizovaného modelu georeliéfu (0,30 m v terénu bez souvislé vegetace a zástavby, 1 m v terénech pokrytých hustou vegetací) je splněna a zároveň předurčují, že budou naplněny i proklamované střední chyby ostatních plánovaných produktů, tj. DMR 5G a DMP 1G.

### 2.1 Výběr modelového území

Pro posouzení možnosti využití dat z tvorby nového výškopisu ČR bylo vybráno území západně od Hradce Králové mezi

obcemi Třebechovice pod Orebem, Borohrádek a Čestice. Vodními toky, na kterých bylo posouzení možnosti využití dat LLS pro mapování povodňových rizik aplikováno, byly Divoká Orlice, Tichá Orlice a Orlice v rozsahu územního vymezení, které je zřejmé z obr. 1 (2. str. obálky). K výběru předmětného území bylo přistoupeno z několika důvodů. Tím hlavním byly především dostupné hydraulické a hydrologické charakteristiky a dále pak i skutečnost, že z této oblasti byla k dispozici data LLS včetně odvozeného modelu terénu (data GROUND) a data z geodetických měření profilů vodních toků. Pozornost na danou lokalitu byla zaměřena také na základě poznatku, že se jedná o větvenou síť vodních toků, na kterých lze modelovat jak kombinace souběhu kulminačních průtoků, tak sledovat zpětné vzduť, kdy je jeden z vodních toků ovlivněn druhým.

### 2.2 Modelované scénáře

Vstupními scénáři pro modelované simulace v hydrodynamických modelech, sloužící k ověření možnosti využití dat LLS, byly N-leté průtoky  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$  stanovené Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ), získané z evidenčních listů hlášených profilů ČHMÚ a státního podniku Povodí Labe. Hlavní údaje jsou uvedeny v tab. 2.

### 2.3 Matematický model

HEC – RAS / HEC – GeoRAS

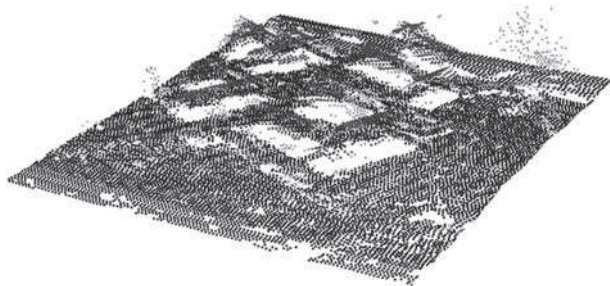
Pro modelování vybraných scénářů povodňových událostí byl použit 1D hydrodynamický model HEC – RAS. Tento model umožňuje 1D výpočet ustáleného i neustáleného nerovnoměrného proudění, transportu znečištění (pohyblivého dna) či modelování změn teploty proudící vody. Pro potřeby vyhodnocení, zda je možné pro analýzu a mapování povodňových rizik využít dat LLS, byl použit výpočet v ustáleném režimu proudění. Výpočetní schéma ustáleného proudění je založeno na výpočtu nerovnoměrného

Tab. 1 Přesnost DMR 4G

Kategorie povrchu a půdního krytu	Systematická chyba [m]	Úplná střední chyba [m]	Maximální chyba [m]
zpevněné plochy	-0,01	0,07	0,26
terénní hrany (např. na náspech silnic a železnic)	-0,25	0,34	0,77
orná půda	-0,01	0,13	0,66
louky a pastviny	-0,09	0,18	0,85
křoviny, stromořadí a lesy	-0,02	0,13	0,85

Tab. 2 Scénáře simulace

Stanice	Vodní tok	$Q_{20}$	$Q_{50}$	$Q_{100}$
		[m <sup>3</sup> /s]		
Čermná nad Orlicí	Tichá Orlice	163	206	242
Týniště nad Orlicí	Orlice	-	447	516
Kostelec nad Orlicí	Divoká Orlice	177	233	282
Hradec Králové	Orlice	382	471	542



Obr. 2 Mračno bodů v zobrazení 3D

proudění vody v korytech metodou po úsecích. Program umožňuje rozdělení profilu na vlastní koryto (tzv. efektivní, neboli účinná oblast proudění) a levou či pravou inundaci [6].

Stanovení průběhu hladin je v modelu HEC – RAS založeno na jednorozměrném řešení Bernoulliovy rovnice (Energy equation). Řešení energetických ztrát je řešeno v podobě ztrát třením (Manning's equation), přičemž místní ztráty jsou vyjádřeny pomocí koeficientů (contraction/expansion coefficients). Hydraulicky komplikovaná místa v podobě přelivů, soutoků, bifurkací, mostů či propustků jsou řešena upravenou pohybovou rovnicí [2].

HEC – GeoRAS je soubor nástrojů pro zpracování geoprostorových dat v ArcGIS pomocí grafického uživatelského rozhraní. Rozhraní umožňuje jednak přípravu geometrických dat pro import do HEC – RAS a naopak, zpětný import získaných výsledků z provedených simulací zpět do prostředí ArcGIS, kde lze dále získané výsledky přehledně vizualizovat [7].

#### 2.4 Výškopis použitý na tvorbu geometrie toku

Ke zpracování map záplavových území a rastru hloubek pro zvolené scénáře bylo využito dvou datových výškopisných podkladů, a to data z LLS a data z geodetických měření příčných profilů koryt vodních toků.

##### 2.4.1 Výškopisná data z LLS

Poskytnutá data pro předmětnou analýzu byla předána v souřadnicovém referenčním systému JTSK (S-JTSK) a ve výškovém referenčním systému Baltském - po vyrovnání (Bpv) v textovém ASCII formátu hodnot X, Y, H, v podobě klasifikovaného mračna bodů s hustotou 1,2 bod/m<sup>2</sup>, a to v třídách G – terén, B – budovy, V – vegetace, H – výškové překážky (body výškou větší než 46 m nad povrchem), E – chyby, F – uměle generovaná mřížka 5 x 5 m (v místech, kde nebyla data), M – mosty (viz obr. 2). U použitých dat je předpokládána střední souřadnicová chyba výšky  $m_H = 0,18$  m.

##### 2.4.2 Výškopisná data z geodetického zaměření

Geodeticky zaměřené příčné profily koryta vodních toků byly poskytnuty státním podnikem Povodí Labe. Zaměření profilů koryta bylo provedeno na všech sledovaných tocích. Interval vzdáleností zaměřených profilů koryt se pohybuje v rozmezí 80 až 250 m, což pro další operace poskytuje adekvátní podklad. Data byla převzata ve formě diskretních bodů výšek (v S-JTSK a Bpv), v textovém formátu ASCII hodnot X, Y, H. Data současně obsahují údaje o druhu měřeného objektu (hrana svahu, ochranná zídka apod.).

##### 2.4.3 Kombinace výškopisu z dat LLS a z geodetického zaměření při tvorbě DMR

Pro tvorbu geometrie vodních toků a přilehlé inundace bylo nutné data z LLS (třídu G) a data z geodetického zaměření vhodným způsobem zkombinovat do DMR, který byl následně použit jako základní datový vstup pro generování výpočetní geometrie do prostředí modelu HEC – RAS (preprocessing) a následně k odečtení rastru hloubek na základě exportovaných úrovní hladin v jednotlivých profilech z modelu HEC – RAS (postprocessing).

První fáze zpracování DMR spočívala v provedení vzájemného porovnání vstupních dat z LLS a geodetického zaměření. Sledována byla především dosažená shoda v úrovni břehových hran příčných profilů koryta toku z geodetických zaměření s příčnými profily koryta generovanými z dat LLS. V úsecích, kde byly k dispozici příčné údolní profily (koryto + inundace), byla sledována, kromě shody úrovní samotných břehových hran, rovněž zjištěná shoda v inundaci.

Výsledky srovnání potvrzují deklarovanou přesnost dat LLS jejich poměrně dobrou shodou s daty zaměřenými geodeticky. Pozitivním zjištěním bylo především vystižení lomových terénních linií koryta až po úroveň hladiny vodního toku, odkud nejsou výškopisná data z LLS s rostoucí hloubkou v korytě již zaznamenána [4]. Rozdíly výšek profilů vyplývají zpravidla z neidentické lokalizace „blízkých“ výškových bodů, způsobené odlišným pojetím měření, kdy geodetický postup se zaměřuje především na zaměření terénních hran a stavebních objektů, zatímco poloha výškového bodu z LLS je nahodilá a ne vždy vyjadřuje přesnou hranu objektu.

Tvorba samotného DMR probíhala v prostředí ArcGIS. Pro tvorbu výškového modelu bylo nejprve nutné vytvořit terénní linie koryta pod úrovní hladiny, která byla dosažena v době skenování povrchu (terénní linie nad úrovní hladiny a samotná břehová čára je reflektována v datech LLS). Pro vytvoření DMR ve formátu TIN bylo využito funkcí Create TIN a Edit TIN v extenzi 3D Analyst. Vytvořený DMR nebyl podroben vyhlazení povrchu (Decimate TIN) z obavy, aby nedošlo ke ztrátám informací o lokálních výškových zlomech (přikopy, místní násypy atd.) a proto byl použit pro generování geometrických charakteristik v původní podobě. Průměrná délka hran modelu TIN v okolí vodního toku je přibližně 2 m.

##### 2.5 Modelování záplavových území a odečtení rastru hloubek

Stanovení záplavových území a generování rastru hloubek v záplavovém území probíhalo ve třech úrovních zpracování, tj. příprava geometrických dat pomocí extenze HEC – GeoRAS (preprocessing), simulace vybraných scénářů v HEC – RAS (processing) a vizualizace získaných výsledků a odečtení rastru hloubek (postprocessing).

##### 2.5.1 Příprava geometrických dat pomocí extenze HEC – GeoRAS

Tvorba geometrických dat pomocí HEC – GeoRAS byla provedena nad vytvořeným DMR. Pomocí funkce *RAS Geometry/Create layers/All* byly vytvořeny jednotlivé prvky databáze tvořící výpočetní trať, které byly následně naplňovány pomocí editačního režimu. Postupně tak byly vytvořeny všechny povinné vrstvy nutné pro úspěšný import do prostředí 1D hydrodynamického modelu

HEC – RAS. Jednalo se především o vrstvu Stream Centerline, u které je nutné při provádění editaci dbát na orientaci směru editace a zakreslovat danou vrstvu směrem od pramene toku dolů. Jinou nezbytnou vrstvou, která je nutná pro úspěšný export dat, je vrstva Flowpaths, pro jejíž tvorbu byla využita již existující Stream Centerline. Dalším povinným prvkem databáze je vrstva Banks (břehových linií). K editaci břehových linií v podobě pravého a levého břehu bylo použito funkce *Copy Paralel* a již editované vrstvy Stream Centerline, kdy pomocí zvolené vzdálenosti od osy toku byly vykresleny levá a pravá břehová linie.

K vytvoření kompletní geometrie vodního toku je nutná především vrstva Cut Lines (příčné profily). Pro vykreslení příčných profilů bylo využito funkce *Construct XC Cut Lines*. Pomocí dané funkce se zvolí parametry, podle kterých jsou následně příčné profily vypočítány a vykresleny. Pro potřeby řešeného území byly parametry zvoleny s intervalem vzdálenosti mezi jednotlivými profily 50 m a šířka každého profilu 600 m. Použití této funkce zároveň zaručí i splnění podmínek, aby byl příčný profil veden zleva doprava, uvažováno směrem po proudu a zakreslen kolmo na tečnu vodního toku. Při provádění manuální kontrole byl kladen důraz především na případná křížení jednotlivých profilů a dostatečnou délku příčného profilu s ohledem na možné zaplavení. Ukázka vytvořené geometrie vodního toku je patrná z obr. 3 (viz 2. str. obálky).

Po provedené editaci příčných profilů bylo nutné vypočítat tabulkové atributy, a to v záložce *RAS Geometry – XS Cut Line Attributes*:

- *River/Reach Names* – přiřadí příčnému profilu jméno a úsek vodního toku,
- *Station* – daná položka přiřadí každému příčnému profilu vzdálenost od místa příčného profilu ke konci studovaného úseku řeky po proudu,
- *Bank Stations* – přiřadí břehové vzdálenosti mezi jednotlivými profily, čímž tak vytváří geometrii toku,
- *Downstream Reach Lengths* - přiřadí každému příčnému profilu vzdálenost k dalšímu příčnému profilu po směru toku.

Přiřazení výškových charakteristik bylo provedeno pomocí volby *Elevation*, kdy vznikla nová vrstva *XSCutLines3D* obsahující výšková data. Pro zjednodušení je v extenzi HEC – GeoRAS možné vypočítat tabulkové atributy a převést vrstvy z 2D podoby do 3D pomocí jediného příkazu *All*, který se nachází ve stejné záložce.

Obdobně jak byly konvertovány příčné profily do 3D podoby, bylo nutné provést stejnou transformaci také u vrstvy Stream Centerline. Převod byl uskutečněn pomocí volby *All* v záložce *Stream Centerline Attributes – RAS Geometry*. Nepovinné údaje v podobě volby drsnosti, polohy mostů a překážek na toku byly zvoleny až v samotném prostředí HEC – RAS.

Export geometrických dat představoval poslední operaci v rámci první etapy práce v prostředí ArcGIS. Před samotným exportem bylo nutné provést kontrolu všech databázových vrstev, které do exportu vstupují. Kontrola byla provedena pomocí volby *RAS Geometry – Layer Setup*, kde byly zvoleny všechny potřebné vrstvy včetně DMR vstupující do exportu. Po provedené kontrole již bylo možné exportovat konečný exportní balík pomocí volby *Extract GIS data*, čímž byly exportovány dva datové soubory s příponami .sdf a .xml.

### 2.5.2 Simulace vybraných scénářů v HEC – RAS

Samotné práci v prostředí softwaru HEC – RAS předcházela import dat vytvořených v prostředí ArcGIS. Import byl

proveden z pracovního prostředí *Geometric data*, kdy v záložce *File* byla zvolena možnost *Import Geometry Data*, pomocí níž byl vybrán druh importního balíku v podobě *GIS Format*. Po dokončení nastavení parametrů došlo k načtení importovaných dat. Tím byla vytvořena výpočetní geometrie vodního toku v prostředí modelu.

Protože program HEC – RAS umožňuje řešit proudění řadou objektů, jako jsou mosty, propustky a jezy, byly také jednotlivé objekty vyskytující se na vodním toku zadány do výpočetní trati.

Každý povrch, který je při povodni zaplaven, vykazuje odlišné chování. Z tohoto důvodu bylo nutné dát každému povrchu takové hodnoty, aby odpovídaly reálné situaci a aby co nejpřesněji vystihovaly chování povrchu při případném zaplavení. Formulace okrajových podmínek byla s ohledem na modelované ustálené proudění v obou uzávěrových profilech říčního úseku volena v podobě jediné hodnoty (hladina nebo průtok). Byly tak zadány tři simulace, které byly následně řešeny pro různé průtoky. Po spuštění simulací byl proveden export získaných výsledků pro konečnou vizualizaci v ArcGIS.

### 2.5.3 Vizualizace získaných výsledků a odečtení rastru hloubek

Modelace záplavových území probíhala opět v prostředí ArcGIS pomocí nástrojů HEC – GeoRAS. Při importu byla data nejprve transformována pomocí funkce *Import RAS SDF File* z formátu .sdf do výměnného formátu .xml, a následně načtena do softwaru ArcGIS. Pomocí funkce *Layer Setup* byly nastaveny parametry pro odečtení rastru hloubek.

Volbou funkce *RAS GIS Export File* byl načten rastr potenciálního záplavového území (rastr vypočítaných úrovní hladin v prostředí HEC – RAS), který byl protnut pomocí příkazu *Floodplain Delineation – Grid Intersection* s TIN DMR, za vzniku rastru hloubek (obr. 4, viz 3. str. obálky) a polygonů záplavových území (obr. 5, viz 3. str. obálky).

## 3. Výsledky a diskuse

Výsledky získané z 1D hydrodynamického modelu i z prováděných srovnávacích analýz dat z geodetického zaměření s daty z LLS ukazují, že data LLS svou deklarovanou přesností dosahují. Zajímavé jsou především reflektované lokální hloubkové deprese v podobě doprovodných příkopů podél komunikací, či z hlediska potenciální protipovodňové ochrany intravilánu vtokové oblasti v podobě silničních křížení. Generovaný rastr hloubek svou zvolenou velikostí mřížky 0,3 m velmi dobře vystihuje specifika v morfologii terénu sledované oblasti, čímž poskytuje nadstandardní představu o rozsahu zaplavovaných území dle vybraného povodňového scénáře.

Ve vazbě na deklarovanou přesnost dat z LLS byla v průběhu práce řešena i problematika vhodného navázání dat z LLS na data z geodetického zaměření koryta mimo oblast dat geodetického zaměření (akceptování koryta mimo geodeticky zaměřené příčné profily v DMR). Z vyhodnocení je zřejmé, že i přes detailní a časově náročný způsob zobrazení koryta do DMR z dat LLS ztrácel použitý způsob od geodeticky zaměřeného profilu na vypovídající hodnotě a s tím se snižovala i přesnost výpočtu. Z tohoto hlediska bude vhodné posoudit použitelnost dat LLS v širších oblastech a územích a stanovit rozsah nutného měření profilů vodních toků geodetickými metodami, případně stanovit nezbytnou nebo

optimální hustotu profilů a tím dosáhnout maximální efektivity vynakládaných prostředků na geodetická měření profilů.

Z analýzy sledující drobné vodní toky s recipientem Orlice, kde bylo provedeno dodatečné geodetické zaměření koryta pro porovnání s daty z LLS, vyplývá, že u toků s malou hloubkou vody dochází k takové shodě dat z geodetického zaměření s daty z LLS, že již není nutné dodatečné zaměření koryta. Nabízí se tak otázky, jak automatizovat mapování terénu pod hladinou, případně jak vhodně využít znalost hydraulických charakteristik v době pořizování dat pro generování profilu koryta.

Limitujícím prvkem se však v průběhu výpočtu ukázala objemová kapacita dat dosahující řádu několika GB (dle vrstvy reklasifikace), což se negativně promítlo především do přípravy dat i do konečné vizualizace. V případě rutinního nasazení technologie ve větších územích je pak nutné předpokládat objemy dat v řádu stovek GB a tomu přizpůsobit technické a výpočetní kapacity realizačních pracovišť. Nabízí se také úvaha, jak vhodně redukovat použitý TIN, aby nedošlo ke snížení objemu dat na úkor zaznamenaného detailu morfologie terénu a tím i ke snížení přesnosti a jistoty povodňových modelů.

#### 4. Závěr

Data z nového výškopisného mapování celého území ČR metodou LLS poskytnou v kombinaci s geodetickým zaměřením koryt vodních toků požadované výškopisné informace pro stanovení záplavových území a generování vstupních podkladů (rastr hloubek, rastr rychlostí), které mohou být uplatněny při analýze a mapování povodňových rizik. Bude tak zajištěn kvalitní výškopisný popis území nejen pro mapování povodňových rizik, ale zároveň data z LLS poskytnou nový výškopisný podklad pro zpracování protipovodňových studií a dokumentací.

Další výzkum tak bude zaměřen na zodpovězení výše uvedených otázek a na posouzení možnosti využití dat z LLS pro modelování ve 2D hydrodynamických modelech.

*Príspevek vznikl na základe poskytnutých dat z LLS, ktorá pro výzkumné účely zajistil ZU, zeměměřický odbor Pardubice a dat z geodetického zaměření, která zapůjčil státní podnik Povodí Labe se sídlem v Hradci Králové. Publikované výsledky vznikly za podpory projektu NAZV č. QH 82098, výzkumného záměru MZE 0002704902 a s podporou Interní grantové agentury Fakulty životního prostředí (projekt IGA, registrační číslo: 42200/1312/423142).*

#### LITERATURA:

- [1] DOLANSKÝ, T.: Lidary a letecké laserové skenování. Acta Universitatis Purkynianae, Studia geoinformatica, 99, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem 2004. ISBN 80-7044-575-0.
- [2] BÍŇOVEC, V.: Využití modelování průchodu povodňových vln v operativním řízení nádrže Orlik. [Diplomová práce.] Praha, Fakulta stavební ČVUT. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Sklenář, Ph.D.
- [3] BRÁZDIL, K.: Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, 55/97, 2009, č. 7, s. 145-151.
- [4] DUŠÁNEK, P.: Tvorba digitálních modelů z dat leteckého laserového skenování a jeho využití pro aktualizaci výškopisu ZABAGED. [Diplomová práce.] Praha 2008, Přírodovědecká fakulta UK. Vedoucí diplomové práce Ing. Markéta Potůčková, Ph.D.
- [5] BRÁZDIL, K. et al.: Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace. Zeměměřický úřad, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad 2010.
- [6] KROVÁK, F.–ZEZULÁK, J.: HEC–RAS manuál programu v. 3.1.1. [Skriptum.] Praha, Fakulta životního prostředí ČZU 2004. 20 s.
- [7] HAVLÍK, A.–SALAJ, M.–SATRAPA, L.–FOŠUMPAUR, P.–HORSKÝ, M.: Metodika mapování povodňových rizik s pomocí geografických informačních systémů. 2004. ISBN 80-01-02910-7.
- [8] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2007/60/ES ze dne 23. října 2007 o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik (povodňová směrnice).
- [9] DRBAL, K. et al.: Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Ministerstvo životního prostředí ČR 2009.

Do redakce došlo: 23. 3. 2011

Lektoroval:  
Ing. Karel Brázdil, CSc.,  
Zeměměřický úřad, Praha

## Řešení vnější orientace kamery ze čtyř vřícovacích bodů

Ing. Rudolf Urban, Ph.D.,  
katedra speciální geodézie,  
Fakulta stavební, ČVUT v Praze

528.7

#### Abstrakt

*Princip výpočtu vnější orientace kamery s využitím čtyř vřícovacích bodů na základě iteračního vyrovnání metodou nejmenších čtverců. Postup slouží k určení přibližných hodnot prvků vnější orientace iteračním způsobem před použitím svazkového vyrovnání. Navržený výpočetní postup byl porovnán s výsledky z projektivní transformace, s výsledky svazkového vyrovnání a s výpočetním postupem uvedeným v publikaci [1] pro čtyři vřícovací body umístěné v prostoru i v rovině.*

#### Solution of Outer Orientation of Camera with Use of Four Points

#### Summary

*The article describes the principle of calculating the outer orientation of camera with use of four points by iterative calculation using the method of least squares. This procedure is used to determine approximate values of outer orientation elements before bundle adjustment. The proposed calculation was compared with the projective transformation, bundle adjustment and with computational procedure [1] for four points located in spatial also in the plane.*

**Keywords:** photogrammetry, iterative calculation, method of least squares

## GEODETICKÝ A KARTOGRAFICKÝ OBZOR

odborný a vědecký časopis Českého úřadu zeměměřického a katastrálního  
a Úřadu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky

Redakce:

**Ing. František Beneš, CSc.** – vedoucí redaktor

**Ing. Jana Prandová** – zástupkyně vedoucího redaktora

**Petr Mach** – technický redaktor

Redakční rada:

**Ing. Katarína Leitmannová** (předsedkyně), **Ing. Jiří Černohorský** (místopředseda), **Ing. Svatava Dokoupilová**, **doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.**, **prof. Ing. Ján Hefty, PhD.**, **Ing. Štefan Lukáč**, **Ing. Zdenka Roulová**



Vydává Český úřad zeměměřický a katastrální a Úřad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky v nakladatelství Vesmír, spol. s r. o., Na Florenci 3, 110 00 Praha 1, tel. 00420 234 612 395. Redakce a inzerce: Zeměměřický úřad, Pod sídlištěm 9, 182 11 Praha 8, tel. 00420 284 041 415, 00420 284 041 656, fax 00420 284 041 625, e-mail: frantisek.benes@cuzk.cz a VÚGK, Chlumeckého 4, 826 62 Bratislava, telefon 004212 20 81 61 86, fax 004212 20 81 61 61, e-mail: jana.prandova@skgeodesy.sk. Sáží Petr Mach, tiskne Serifa, Jinonická 80, 158 00 Praha 5.

Vychází dvanáctkrát ročně.

Distribuci předplatitelům v České republice zajišťuje SEND Předplatné. Objednávky zasílejte na adresu SEND Předplatné, P. O. Box 141, 140 21 Praha 4, tel. 225 985 225, 777 333 370, 605 202 115 (všední den 8–18 hodin), e-mail: send@send.cz, www.send.cz, SMS 777 333 370, 605 202 115. Ostatní distribuci včetně Slovenské republiky i zahraničí zajišťuje nakladatelství Vesmír, spol. s r. o. Objednávky zasílejte na adresu Vesmír, spol. s r. o., Na Florenci 3, 110 00 Praha 1, tel. 00420 234 612 394 (administrativa), další telefon 00420 234 612 395, fax 00420 234 612 396, e-mail: vanek@msu.cas.cz, e-mail administrativa: vorackova@msu.cas.cz nebo imlafova@msu.cas.cz. Dále rozšiřují společnosti holdingu PNS, a. s. Do Slovenskej republiky dovážá MAGNET – PRESS SLOVAKIA, s. r. o., Šustekova 10, 851 04 Bratislava 5, tel. 004212 67 20 19 31 až 33, fax 004212 67 20 19 10, d'alšie čísla 67 20 19 20, 67 20 19 30, e-mail: magnet@press.sk. Předplatné rozšiřuje Slovenská pošta, a. s., Stredisko predplatného tlače, Uzbekká 4, 821 06 Bratislava 214, tel. 004212 54 41 80 91, 004212 54 41 81 02, 004212 54 41 99 03, fax 004212 54 41 99 06, e-mail: zahranična.tlac@slposta.sk. Ročné predplatné 12,- € vrátane poštovného a balného.

Toto číslo vyšlo v lednu 2012, do sazby v prosinci 2011, do tisku 10. ledna 2012. Otisk povolen jen s udáním pramene a zachováním autorských práv.

© Vesmír, spol. s r. o., 2012

**Přehled obsahu GaKO s abstrakty hlavních článků  
je uveřejněn na <http://www.cuzk.cz>  
(sekce Výzkum a vývoj/Periodika a publikace resortu)  
Kompletní čísla jsou na <http://archivnimapy.cuzk.cz>**

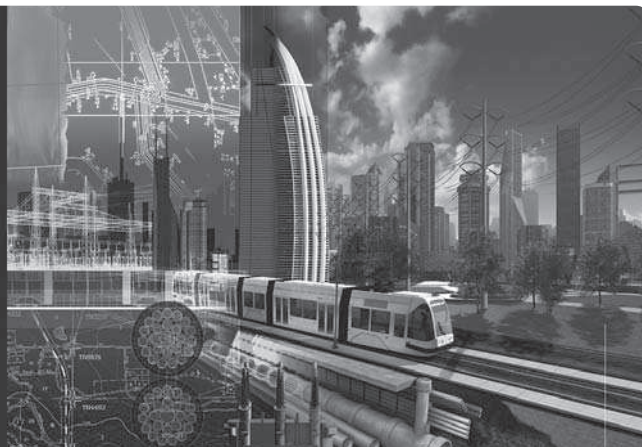
**ISSN 0016-7096  
Ev. č. MK ČR E 3093**

SPONZOREM 100. ROČNÍKU GaKO JE



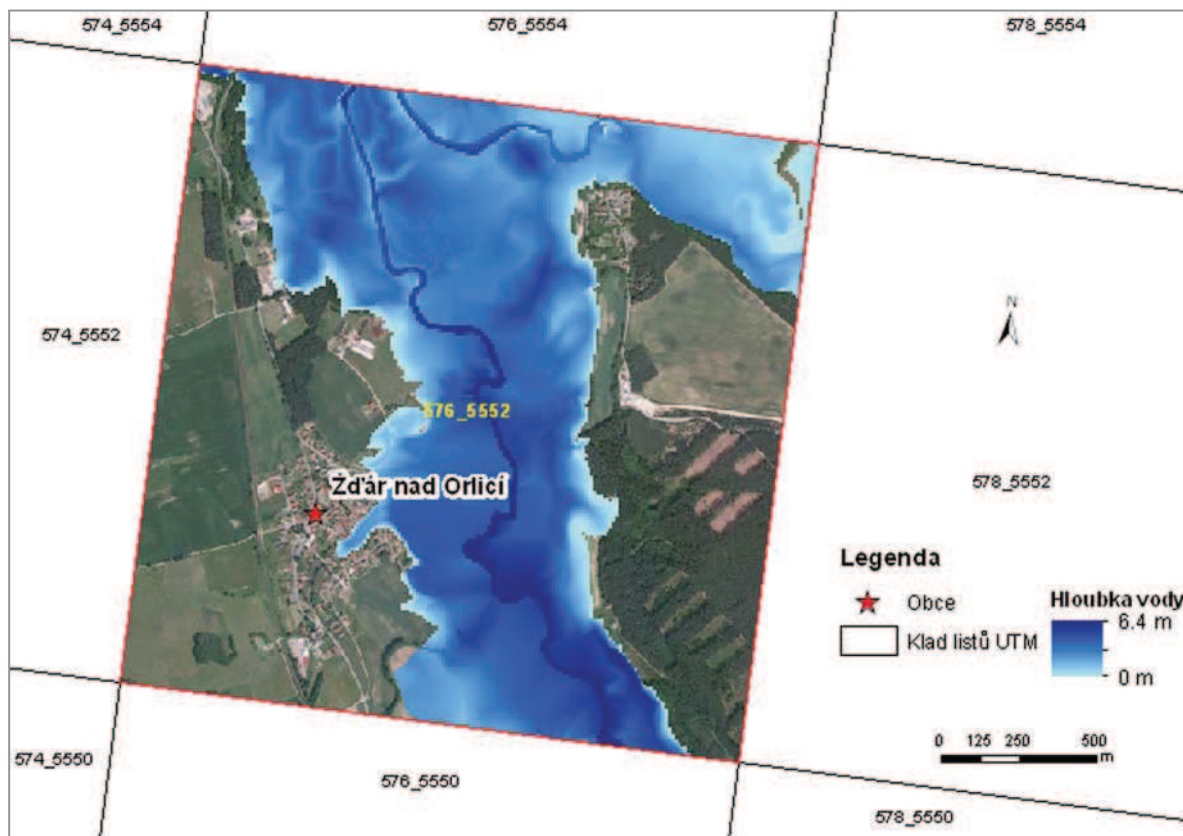
ADVANCING GIS FOR INFRASTRUCTURE

[www.bentley.cz](http://www.bentley.cz)

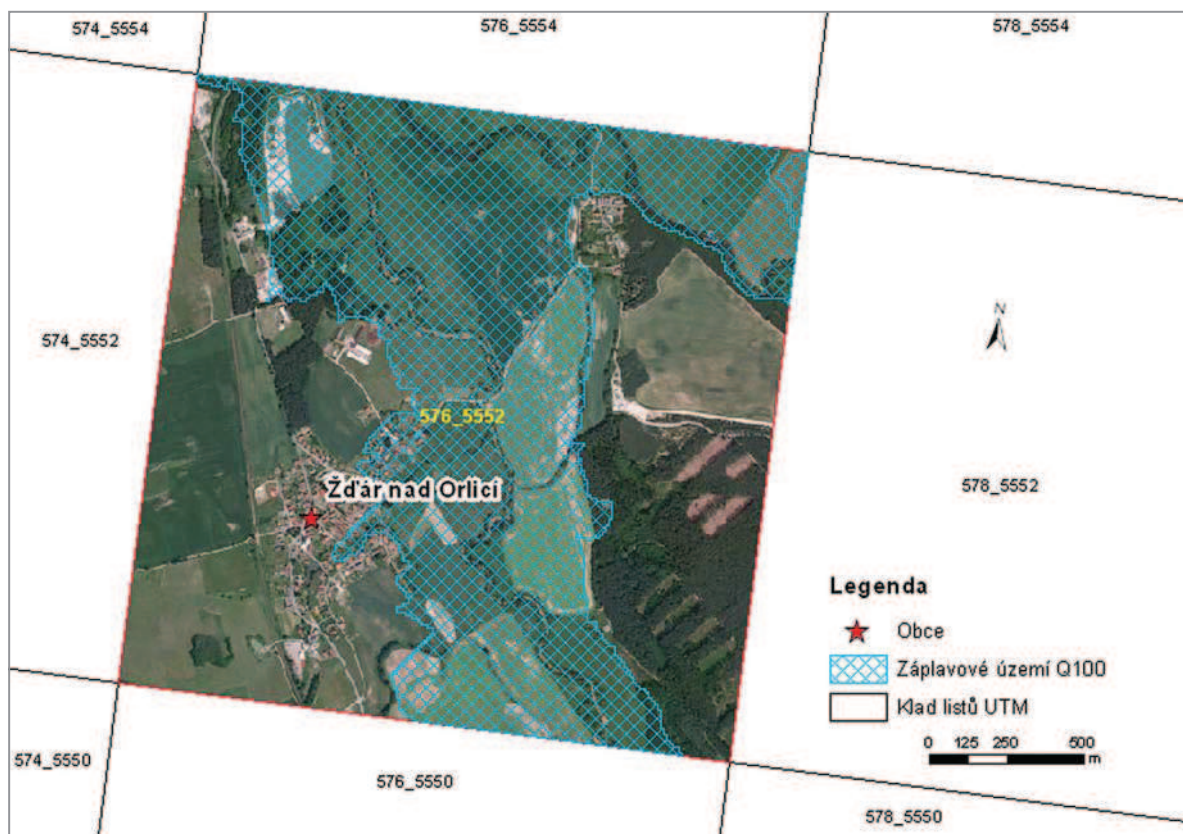




Obrázky k článku Roub, R.–Hejduk, T.–Novák, P.: Využití dat z tvorby nového výškopisu území České republiky metodou leteckého laserového skenování při analýze a mapování povodňových rizik



Obr. 4 Rastr hloubek



Obr. 5 Záplavové území  $Q_{100}$

6

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. (20 %)

## VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VYUŽITÍ GEOGRAFICKÝCH  
INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ A ÚZEMNĚ  
PLÁNOVACÍ DOKUMENTACE PŘI  
MODELOVÁNÍ POVODŇOVÉHO RIZIKA

Lenka Pavlíčková, Pavel Novák, Radek Roub, Tomáš Hejduk

**Klíčová slova**

územně plánovací dokumentace – GIS – mapa povodňové ohroženosti – mapa povodňového rizika – MIKE 21

*Souhrn*

**Povinnost analyzovat a mapovat povodňová rizika ukládá členským státům směrnice Evropského parlamentu 2007/60/ES (povodňová směrnice). Směrnice obsahuje harmonogram s pevně stanovenými termíny pro zvládnání povodňových událostí. Zvládnáním povodňových událostí se z hlediska směrnice rozumí analyzovat pravděpodobnost výskytu povodně a možného nepříznivého účinku na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost, které souvisí s povodně prostřednictvím map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Určujícím podkladem pro tvorbu map povodňového nebezpečí a povodňových rizik je územně plánovací dokumentace. Příspěvek seznamuje se zpracováním map povodňové ohroženosti a povodňových rizik na podkladě informací z územně plánovací dokumentace. Vyhотовené mapy ohroženosti a rizika byly v rámci zpracování koncipovány tak, aby byly použitelné nejen z hlediska samotné ochrany před povodněmi, ve fázi přípravné neboli preventivní protipovodňové ochrany, kdy slouží k předvídání rozsahu povodňových situací, eliminují jejich potenciál a pomáhají je organizačně zvládat, ale rovněž byly zpracovány tak, aby mohly být využitelné při samotném rozhodování o funkčním využití území z hlediska vymezení nových zastavitelných ploch, a to jak z hlediska různých potenciálních povodňových scénářů, tak i různých variant funkčního využití.**

**1 Úvod**

Přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a způsobuje škody na majetku, je definováno pojmem povodeň.

Zvládnání povodňových rizik se soustředí na zmírnění možných nepříznivých účinků povodní na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost, a to především prostřednictvím snížení pravděpodobnosti samotného zaplavení. Vhodný nástroj pro zmírnění možných nepříznivých účinků povodní představuje územně plánovací dokumentace.

Republikové priority územního plánování pro zajištění udržitelného rozvoje území vymezuje Politika územního rozvoje České republiky. Z hlediska povodňové problematiky jde o vytváření podmínek pro preventivní ochranu území a obyvatelstva před potenciálními riziky a přírodními katastrofami v území (záplavy, sesuvy půdy, eroze atd.) s cílem minimalizovat rozsah případných škod. Především se jedná o samotné vymezení vhodných ploch potřebných pro umístování staveb z hlediska minimalizace povodňového ohrožení a stanovení územní ochrany ploch určených k řízeným rozlívům povodní. Vytvářet podmínky pro zvýšení přirozené retence srážkových vod v území s ohledem na strukturu osídlení a kulturní krajinu jako alternativy k umělé akumulaci vod (Brouwer and Van Ek, 2004; Werrity, 2005).

V minulosti vznikala velká část sídel v údolních nivách podél vodních toků, ovšem byla zde respektována území, která byla z důvodu povodňového nebezpečí klasifikována jako prostor nevhodný pro osídlení (Štenclová a Vepřek, 2002). Vlivem rozvoje urbanizačních procesů v 19. století však roste tlak na

zastavení i těchto území. Tento tlak na zástavbu území i v bezprostředním okolí vodního toku byl zpomalen v důsledku zkušeností z posledních let – povodně 1997 na Moravě, povodně 2002 a 2006 v Čechách, přívalové povodně na Novojičínsku a Jesenícku 2009 či přívalové povodně v severních Čechách 2010. Přesto za poslední desítky let došlo k takovému nárůstu zastavěných ploch v těsné blízkosti břehové hrany vodního toku a v prostoru inundace, že se také rapidně zvýšil počet obcí s reálným rizikem povodní, ačkoliv tato města a obce nebyla v minulosti povodněmi ohrožována.

Proto se nyní přistupuje k realizaci takových opatření, která mají chránit před negativními účinky povodní (Dráb a Říha, 2008). Mezi taková opatření spadají i přístupy vedoucí k samotnému předcházení nebo snížení nežádoucích důsledků povodně prováděné především systematickou prevencí, zvyšováním retenční schopnosti povodí a ovlivňováním průběhu povodní. Důsledkem povodňového nebezpečí jsou povodňové rozlvy i další dynamické změny podmínek v inundačních územích, které jsou výrazem stochastického charakteru tohoto extrémního hydrologického jevu.

Způsob navrhování protipovodňových opatření (PPO) dosud vycházel z velmi zjednodušeného přístupu tzv. návrhové povodně, jejíž pravděpodobnost překročení je dána normativem v závislosti na charakteru chráněného území. Vychází se např. z TNV 75 2103 (Úpravy řek) a TNV 75 2102 (Úpravy potoků). Podle těchto dokumentů je doporučena návrhová míra ochrany území před povodněmi dobou opakování návrhového průtoku úpravy. Uvedený postup tak diferencuje různou míru rizika v různých typech zájmového území velmi schematizovaně (Fošumpaur, 2005).

Protipovodňová opatření doposud probíhala především formou technických opatření, bez ohledu na současné zlepšení hydromorfologického stavu vod podle požadavků Rámcové směrnice o vodách a bez ohledu na přirozenou transformaci povodňových průtoků v nivách vodních toků (Šindlar, 2007). Tento tradiční inženýrský přístup k řešení problematiky je v posledních letech podrobován kritické analýze a řadou autorů zpochybňován (např. Plate, 2002; Brown and Damery, 2002), a do popředí se tak dostávají přírodně blízká opatření řešící komplexně celé povodí.

Zvyšování retence vody v krajině je možné prostřednictvím správně navržených protierozních a protipovodňových opatření (Prudký, 2003). Tato opatření se v praxi nejčastěji navrhuje jako společné opatření komplexních pozemkových úprav (Podrázský a 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 a Remeš, 2005).

Efektivní formu zadržování vody v krajině představují mokřadní biotopy, prameniště, rašelinisté, tůně, litorály rybníků, říční nivy, podmáčené smrčiny, louky, meze, zasakovací pásy apod., přičemž Gallyayová a Gallyay (2006) uvádějí, že např. zapojený travní porost má průměrně o 10 % vyšší pórovitost než orná půda a má lepší půdní strukturu, což umožňuje plynulý vsak srážek. Svým působením se podílejí na tlumení průtokových extrémů a transformaci povodňové vlny.

Společné studie urbanistů a vodoehospodářů prováděné v poslední době jednoznačně prokazují skutečnost, že kromě vlivů hydrologických, klimatických nebo ekologických může povodňové ohrožení významně ovlivnit zejména právě způsob urbanizace.

Významný transformační účinek retenční schopnosti krajiny na průchod povodňových vln urbanizovaným prostředím tak nejenže eliminuje rozsah samotné povodně, ale zároveň definuje v krajině území nevhodná pro další výstavbu. Jako vhodný nástroj pro posouzení přijatelnosti vymezení dalších zastavitelných ploch v území tak mohou být využity modifikované mapy povodňové ohroženosti a povodňových rizik.

Mapy povodňového nebezpečí a mapy povodňových rizik znázorňují možné nepříznivé následky související s různými povodňovými scénáři. Představují účinný nástroj, který bude k dispozici pro zajištění informovanosti, jakož i pro stanovení priorit a přijímání dalších technických, finančních a politických rozhodnutí týkajících se zvládnání povodňových rizik (Směrnice, 2007).

Podle směrnice by měly mapy povodňového nebezpečí zahrnout zeměpisné oblasti, které by mohly být zaplaveny podle těchto scénářů:

- povodně s nízkou pravděpodobností výskytu nebo extrémní povodňové scénáře,
  - povodně se středně vysokou pravděpodobností výskytu (pravděpodobná doba opakování  $\geq 100$  let),
  - popřípadě povodně s vysokou pravděpodobností výskytu.
- Mapy povodňového nebezpečí v České republice (ČR) budou v souladu se směrnici zpracovávány pro povodňové scénáře  $Q_{500r}$ ,  $Q_{100r}$  a  $Q_{20r}$ , přičemž u každého scénáře se uvedou tyto prvky:

- rozsah povodně,
- hloubka vody nebo popř. výška vodní hladiny,
- popřípadě rychlost proudu nebo odpovídající průtok vody.

Mapy povodňového nebezpečí jsou podkladem pro zpracování map povodňových rizik, na nichž se vyznačí potenciální nepříznivé následky spojené s povodněmi podle scénářů a vyjádřené podle:

- orientačního počtu potenciálně zasažených obyvatel,
- druhu hospodářské činnosti potenciálně postižené oblasti,
- zařízení, která mohou v případě zaplavení způsobit havarijní znečištění, a potenciálně zasažených chráněných oblastí,
- dalších informací, které členský stát považuje za užitečné.

## 2 Materiál – vstupní data pro vyjádření povodňového nebezpečí

### 2.1 Data pro tvorbu geometrie vodního toku

Data pro tvorbu výpočetní geometrie jsou z hlediska kvality získaných výsledků z hydrodynamických modelů jedním z nejdůležitějších podkladů. Použitý způsob získání výškopisných dat je určující i pro samotnou volbu hydrodynamického modelu.

Modely, kterým pro výpočet postačí příčné profily koryta a přilehlé inundace a jsou tudíž z hlediska požadavků na výškopisné vyjádření vodního toku a jeho okolí méně náročné, jsou jednorozměrné (1D) modely. V případě dvou rozměrných (2D) modelů se pro výpočet již vyžaduje detailní digitální model reliéfu (DMR), který přesně vystihuje morfologii sledovaného území. Na základě požadavků vstupních dat 1D a 2D modelů se odvíjí i finanční náročnost na pořízení těchto dat, a tím i na zpracování navazujících rizikových analýz.

Pro zpracování hydraulických výpočtů pomocí numerických modelů jsou používány tři základní způsoby pořízení těchto dat, mezi která patří geodetické zaměření příčných profilů (koryto + inundace), letecké laserové skenování (LLS) a fotogrammetrie. Z hlediska tvorby finální výpočetní geometrie, která vstupuje do modelu, je nutné vstupní data pořízená z LLS a fotogrammetrie vhodně kombinovat s daty z geodetického zaměření.

Pro tvorbu modelu bylo využito dat z leteckého laserového skenování v kombinaci s geodetickým zaměřením příčných profilů koryta, čímž bylo docíleno adekvátního DMR, který je nutný pro vstup do 2D modelu. Výsledky, které jsou výpočtem ze 2D modelu získány, slouží následně jako vstupní data v podobě rastru hloubek a rastru rychlostí pro kvantifikaci povodňového nebezpečí a intenzity povodně, které jsou opět vstupními daty do navazujících rizikových analýz. V případě použití 1D modelu by nebyla s požadovanou přesností získána odpovídající vstupní data pro další analýzy.

#### 2.1.1 Data LLS

Letecké laserové skenování představuje relativně mladou technologii umožňující sběr digitálního modelu reliéfu a modelu terénu, přesto nachází své uplatnění v mnoha praktických disciplínách. V oboru urbanismu jsou získaná data využívána při tvorbě trojrozměrných (3D) modelů měst v oblasti technické infrastruktury, a to především pro modely elektrických soustav a generování jejich ochranných pásem, modely dálnic, letišť a železnic. Z hlediska uplatnění v hydrodynamických modelech lze data využít při stanovení záplavových území, vyhotovení rastrů hloubek a při použití 2D modelů i pro zpracování rastru rychlostí, které jsou nutné jako vstupní podklad pro analýzu a mapování povodňových rizik.

Metoda LLS umožňuje obecně získávání velkého objemu dat v krátkém časovém intervalu (Dolanský, 2004). Ve spojení s poměrně vysokým stupněm automatizace jejich zpracování při vytváření digitálního modelu terénu a povrchu představuje jednu z nejefektivnějších metod pro získávání prostorových dat (Brázdil, 2009).

Pro analýzu byla využita data z probíhajícího výškopisného mapování ČR, které se uskutečňuje pod záštitou tří státních subjektů, kterými jsou Český úřad zeměměřický a katastrální, Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo obrany. Samotná metoda LLS je založena na principu odrazu laserových paprsků, které interpretují obraz měřených objektů jako mračno bodů (Brázdil, 2009). 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), což poskytuje velmi kvalitní podklad pro uplatnění v hydrodynamických modelech.

#### 2.1.2 Data z geodetického zaměření

Pro zpřesnění DMR z dat LLS bylo využito geodeticky zaměřených příčných profilů koryt vodních toků v řešeném území. Data ze zaměření příčných profilů koryt vodních toků byla poskytnuta státním podnikem Povodí Labe. Interval

vzdáleností zaměřených profilů koryt se pohyboval v rozmezí 80–250 m, což pro další operace poskytovalo adekvátní podklad, přičemž interval 80 m byl použit v intravilánech dotčených obcí a vyšší interval meziprofilových vzdáleností byl použit do míst mimo intravilán.

### 2.2 Hydrologická data

Pro zpracování map povodňové ohroženosti a map povodňových rizik byla hydrologická data získána z listů hlásných profilů Českého hydrometeorologického ústavu. Pro posouzení ohroženosti a rizik v území při povodňových událostech bylo použito stanovených N-letých průtoků vody pro tři povodňové epizody  $Q_{20r}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{100r}$ . Z hlediska komplexního posouzení byly ještě základní scénáře doplněny o epizody, které odpovídaly vyšší N-letosti simulovaných průtoků. Data pro sestavení modelů byla získána ze čtyř stanic s hydrologickým sledováním, nacházejících se přímo na vodních tocích (tabulka 1).

Na analýzu mapující povodňovou ohroženost a rizika v potenciálně nově zastavitelných plochách bylo využito modelových scénářů s konkrétními průtoky. Dané průtoky byly voleny tak, aby představovaly hraniční průtok pro jednotlivé třídy povodňové ohroženosti (povodňového rizika) pro variantně volené funkční využití území.

Tabulka 1. Základní scénáře simulace  
Table 1. Základní scénáře simulace

Stanice	Vodní tok	$Q_{20r}$	$Q_{50}$	$Q_{100r}$
		[m <sup>3</sup> /s]		
Černná nad Orlicí	Tichá Orlice	163	206	242
Týniště nad Orlicí	Orlice	–	447	516
Kostelec nad Orlicí	Divoká Orlice	177	233	282
Hradec Králové	Orlice	382	471	542

### 2.3 Územně plánovací dokumentace

Územně plánovací dokumentace (ÚPD) je souborem předepsaných textových a zejména grafických dokumentů, které regulují a navrhují výstavbu ve vymezeném území. Územně plánovací dokumentace má závaznou a směrnou část. Závazná část ÚPD má podobu právní normy a každá jednotlivá územně plánovací dokumentace má tuto právní normu vypracovanou a schválenou samostatně.

Materiály ÚPD představují jeden ze základních nástrojů územního plánování, který je možné členit do několika oddílů (zásady územního rozvoje, územní plán, regulační plán), z nichž je pro analýzu a mapování povodňových rizik nejdůležitější územní plán. Bližší specifikace je uvedena v prováděcích vyhláškách ke stavebnímu zákonu, především ve vyhlášce č. 500/2006 Sb. a vyhlášce č. 501/2006 Sb.

Z hlediska komplexního vyjádření bude mít pozitivní dopad na tvorbu map povodňového ohrožení a povodňových rizik Minimální standard pro digitální zpracování územních plánů v GIS (geografické informační systémy) v prostředí nového stavebního zákona. Sjednocením digitální podoby jevů představujících „urbanistickou přidanou hodnotu“ územního plánu (tj. ploch s rozdílným způsobem využití, zastavitelných ploch a ploch přestavby, územních rezerv, zastavěného území, veřejně prospěšných staveb a opatření, asanačních úprav, územních systémů ekologické stability – ÚSES) se získají standardně zpracované vrstvy těchto jevů v GIS pro potřeby dalšího využití (např. pro spojení dat z různých obcí do souvislého prostoru, geografické analýzy, soustisky s jevy z jiných oborů, využití v územně analytických podkladech – ÚAP aj.). Pro činnost orgánů územního plánování je nutné získat od projektantů územních plánů standardně zpracovaná digitální data potřebná k zajištění jednotné digitální prezentace závazné podoby grafické části územních plánů obcí (Poláčková aj., 2007).

V současné době je možné získat grafickou část územních plánů (regulačních plánů, územních studií) ve třech možných podobách:

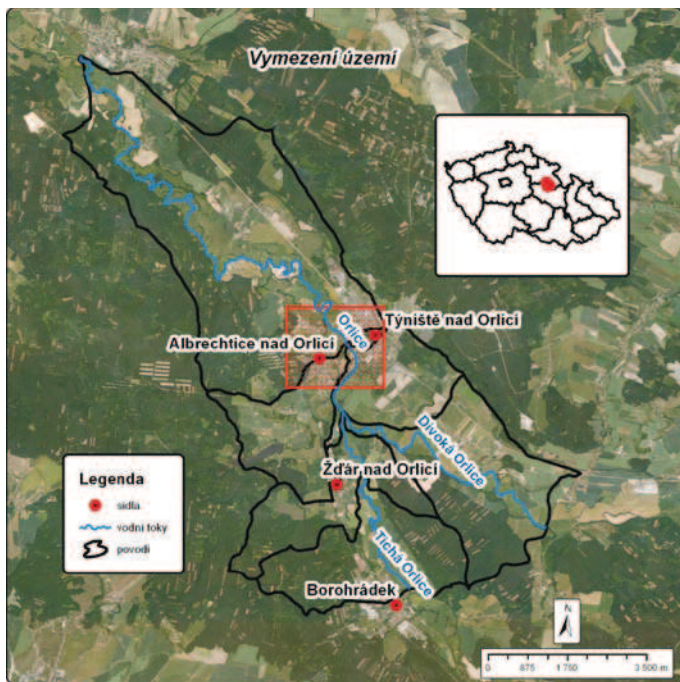
- vektorová data – představují nejvhodnější podobu pro zpracování využití území,
- rastrová data – naskenovaný hlavní výkres, u kterého je třeba zajistit georeferencování (pokud již není provedeno) a následně pak obsah hlavního výkresu digitalizací převést na vektorovou reprezentaci,
- papírová příloha ÚPD – zde je nutné papírovou přílohu ÚPD naskenovat, georeferencovat a vektorizovat.

Aktuální znění § 188 stavebního zákona uvádí, že lze ÚPD sídelního útvaru nebo zóny, územní plán obce či regulační plán, schválené před 1. lednem 2007, do 31. prosince 2015 podle tohoto zákona upravit, v rozsahu provedené úpravy projednat a vydat, jinak pozbývají platnosti. S ohledem na danou skutečnost je tak do budoucna možné počítat, že ÚPD bude zpracovávána v nejpříjemnější podobě pro tvorbu map povodňových rizik, tj. ve vektoru.

## 3 Materiál – software pro stanovení povodňové ohroženosti, popis zájmového území

### 3.1 MIKE 21

Použitý software představuje komplexní dvourozměrný matematický model pro simulace proudění vody s volnou hladinou a souvisejících jevů, jako je



**Obr. 1.** Vymezení území  
**Fig. 1.** Vymezení území

pohyb splavenin, kvalita vody, eutrofizace, šíření znečištění, cyklus těžkých kovů, včetně např. účinků větru a vlnění.

### 3.2 ArcGIS

ArcGIS je integrovaný, škálovatelný a otevřený GIS, jehož výkonné nástroje pro editaci, analýzu a modelování spolu s bohatými možnostmi datových modelů a správy dat z něj činí nekomplexnější GIS software na současném světovém trhu (Čejp a Duchan, 2008).

Pro posouzení relevance uváděných úvah bylo rovněž využito především dvou specifických nadstaveb *Spatial analyst* a *3D Analyst*. Jedná se o nadstavby, které nabízejí širokou škálu nástrojů pro prostorové modelování a analýzu. Umožňují provádět kombinované analýzy vektor–rastr, respektive nabízejí pokročilé GIS nástroje pro trojrozměrné modelování, viditelnost a modelování terénu (Rapant, 2002).

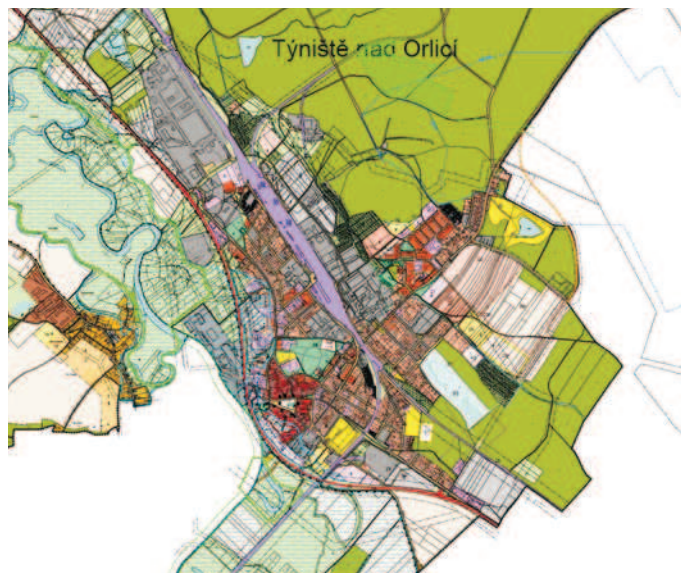
### 3.3 Popis zájmové oblasti

Pro posouzení vhodnosti územně plánovací dokumentace jako podkladu pro analýzu a mapování povodňových rizik a zároveň pro posouzení relevance úvahy o vymezení nových zastavitelných ploch na podkladě map povodňové ohroženosti a povodňových rizik byla vybrána oblast, kde již byla zpracována data z LLS pro tvorbu 2D hydrodynamického modelu, a zároveň vodní tok, na kterém leží povodně ohrožená obec, kde je již k dispozici digitální podoba územního plánu. Na základě daných podmínek bylo vybráno území západně od Hradce Králové, které je vymezeno obcemi Třebechovice pod Orebem, Borohrádek a Čestice (obr. 1).

Největší pozornost byla soustředěna na intravilán obce Týniště nad Orlicí (obr. 2), který byl vybrán záměrně z hlediska možnosti simulací různých modelových scénářů. Byly tak modelovány nad rámec N-letých povodňových událostí i další variantní povodňové události, vycházející ze souběhu kulminačních průtoků Divoké a Tiché Orlice.

## 4 Metodika

Metodika zpracování vycházela v prvním případě, kdy se jednalo o posouzení využitelnosti informací z územně plánovací dokumentace jako podkladu pro analýzu a mapování povodňových rizik, z již standardně užívaných metodik (Drbal aj., 2009). Způsob a formu zpracování předběžného vyhodnocení povodňových rizik rovněž upravuje vyhláška č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech pro zvládnutí povodňových rizik, která zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a která se do procesu přípravy rovněž promítla. Ve druhém případě byla posuzována možnost využití map povodňového rizika jako vhodného podkladu pro rozhodování o samotném funkčním využití území, a to především při vymezení nových zastavitelných ploch. V daném případě byly stanoveny scénáře pro různé způsoby využití území nad rámec vycházející z ÚPD. Přednastavené scénáře vycházely z jednotlivých kategorií funkčního využití území, které byly pro potřeby vyjádření jeho zranitelnosti definovány podle Drbala aj., 2009 (tabulka 2). Na základě takto připravených scénářů vyjadřujících zranitelnost území došlo průnikem informací o povodňovém ohrožení ke stanovení povodňového rizika, které definovalo povodňové riziko pro jednotlivé kategorie podle ÚPD.



**Obr. 2.** Územní plán Týniště nad Orlicí – hlavní výkres  
**Fig. 2.** Územní plán Týniště nad Orlicí - hlavní výkres

**Tabulka 2.** Kategorizace využití území pro potřeby vyjádření jeho zranitelnosti (Drbal aj., 2009)

**Table 2.** Kategorizace využití území pro potřeby vyjádření jeho zranitelnosti (Drbal aj., 2009)

Kategorie podle ÚPD	Kategorie zranitelnosti území	Kód kategorie
Bydlení v bytových domech	Bydlení	BY
Bydlení v rodinných domech		
Venkovské bydlení		
Plochy bydlení a služeb	Smíšené plochy	SM
Školství		
Zdravotnictví a sociální péče	Občanská vybavenost	OV
Kulturní objekty – památkově chráněné		
Veřejná správa		
Obchod a služby		
Ostatní občanská vybavenost		
Technická vybavenost		
Energetika	Technická vybavenost	TV
Vodní hospodářství		
Garáže	Dopravní infrastruktura	DO
Železniční plochy		
Parkovací domy		
Významné komunikace		
Průmyslová výroba	Výrobní plochy a sklady	VY
Smíšené plochy výroby a služeb		
Zemědělská výroba		
Rekreace a sport	Sport a hromadná rekreace	RS
Vodní plochy	Vodní plochy	VP
Veřejná zeleň, zahrádky, zahrádkářské kolonie	Zeleň	ZE

V současnosti v zahraničí nastolený trend v ochraně před povodněmi, kdy je patrná snaha omezovat ekonomické aktivity v záplavových územích namísto snah chránit tato území před povodněmi za každou cenu, byl prezentován variantou s kategorií zranitelnosti území *lesy a zeleň*. Tento trend označovaný jako „dát vodě prostor“ nemá zatím v české legislativě podporu a většina prostředků je dosud věnována obnově v záplavových územích. Prvním krokem při prosazování tohoto trendu je blíže definovat tzv. území pro řízené rozlivy a následně v těchto lokalitách omezovat obytnou a výrobní funkci. V oblastech, kde dochází k zaplavení, je žádoucí zároveň nepřipustit obnovu stavby těch objektů, které byly povodně zničeny.

Tento postup obecně předpokládá zachování zemědělských pozemků v záplavových územích s cílem posílit jímající schopnost půdy pro vodu, zejména zamezit silnému zhutňování a erozi půdy, vytvářet síť zemědělských komunikací s přihlédnutím k ekologickým požadavkům, např. obhospodařovat svahy zemědělských ploch po vrstevnici. Při výstavbě záplavových poldrů upřednostňovat jejich využití jako luk a pastvin, resp. obnovit lužní lesy tam, kde je to vhodné.

Ve vazbě na tyto skutečnosti nebyla řešena pouze otázka samotného vlivu kategorizace zranitelnosti území, ale rovněž její vliv na transformační účinek v inundaci vodního toku. Předkládaný přístup tedy tvoří pouze jediná komponenta, která má stanovit riziko pro různé kategorie definovaných funkčních

plach, ale je snahou také dokreslit vliv takto navržených funkčních ploch na transformační účinek, který širší inundace vodních toků nabízí.

Dané přístupy se opírají o Koncepti řešení problematiky ochrany před povodněmi v České republice s využitím technických a přírodních blízkých opatření (dále jen koncepce) schválenou usnesením vlády ČR ze dne 10. listopadu 2010 č. 799. Cílem koncepce je s ohledem na udržitelný rozvoj společnosti a zájmy ochrany přírody a krajiny vyhodnotit a zvládat povodňová rizika v souladu se směrnicí 2007/60/ES a v souladu s cíli směrnice 2000/60/ES.

Samotné rozšíření použitelnosti map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, užitých jako podkladu pro vymezení nových zastavitelných ploch, počítá s bližší specifikací mapy povodňového ohrožení, která je připravena pomocí matice rizika (Říha aj., 2005). Daný přístup rozdělení zájmového území podle míry povodňového ohrožení nenahrazuje funkci aktivní zóny (vymezené podle vyhlášky MŽP č. 236/2002 Sb.) jakožto platného legislativního nástroje pro regulaci funkčního využití záplavového území podle zákona č. 254/2001 Sb. V současnosti je vymezení aktivní zóny záplavového území rozhodujícím a podmiňujícím faktorem pro rozhodnutí o možném funkčním využití území z hlediska zabezpečení jeho dostatečné průtočnosti.

Využití tzv. metody matice rizika je jedním z nejjednodušších postupů pro hodnocení potenciálního ohrožení a rizika v záplavových územích. Variantně jsou získány výsledky popisující vliv kategorizace zranitelnosti území v procesu zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v plochách, kde je zamýšlena nová zástavba. Pro zpracovatele územních plánů, regulačních plánů či územních studií poskytují vhodný nástroj pro posouzení možného způsobu využití území ve vztahu k povodňovým rizikům.

Povodňové riziko se stanovuje průnikem informací o povodňovém ohrožení a zranitelnosti území. Pro jednotlivé kategorie zranitelnosti území je stanovena míra přijatelného rizika. Mapy povodňového rizika pak zobrazují plochy jednotlivých kategorií využití území, u kterých je překročena míra přijatelného rizika. Uvnitř každé takové plochy jsou vyznačeny dosažené hodnoty ohrožení v barevné stupnici. Takto identifikovaná území představují exponované plochy při povodňovém nebezpečí odpovídající jejich vysoké zranitelnosti.

Pro získání relevantních výsledků jsou rozhodující vstupní data, proto byla velká pozornost věnována především tvorbě geometrických dat, resp. vstupnímu DMR a následnému získání vstupních dat, přičemž přípravu vstupních dat v podobě rastru hloubek a rastru rychlostí je možné rozdělit do tří základních úrovní:

- příprava geometrických dat – DMR (preprocessing),
- simulace vybraných scénářů (processing),
- vizualizace získaných výsledků, tj. kompletace vstupních dat (rastrů hloubek a rychlostí) pro následné stanovení povodňového nebezpečí (postprocessing).

Pro získání výstupů v požadované kvalitě bylo zapotřebí zvolit schematizaci systému proudnic tak, aby byla postižena jak hlavní korytová část, tak také všechny proudnice v záplavovém území, tj. uliční síť a systém terénních depresí, které definují průtokové poměry při povodňových situacích (Špatka, 2005).

Po přípravě vstupních dat v podobě rastru hloubek a rychlostí byla provedena kvantifikace nebezpečí pro jednotlivé scénáře a proveden výpočet intenzity povodně. Následně již bylo postupováno podle metodiky na vyhotovení map povodňového nebezpečí a povodňových rizik (Drbal aj., 2009) a v případě posouzení využitelnosti map povodňových rizik pro rozhodovací činnost v procesu územního plánování podle výše uvedeného metodického postupu týkajícího se přípravy vstupních scénářů kategorií zranitelnosti pro potřeby vymezení nových zastavitelných ploch.

## 5 Výsledky a diskuse

Stanovení povodňového rizika bylo docíleno pro dva zvolené přístupy lišící se přednastavenými scénáři o funkčním využití území, definovaném na základě účelu, pro který bylo povodňové riziko zjišťováno. V procesu přípravy vstupních vrstev – map povodňové ohroženosti – se potvrdil pozitivní přínos dat z tvorby nového výškopisného mapování metodou LLS. Tato data poskytují v kombinaci s geodetickým zaměřením koryta požadované výškopisné informace pro stanovení záplavových území a generování vstupních podkladů (rastr hloubek, rastr rychlostí), které budou uplatněny při analýze a mapování povodňových rizik (Roub aj., 2012).

Získané dílčí výsledky z 2D hydrodynamického modelu v podobě vstupních dat pro analýzu v záplavovém území, kterými jsou rastr hloubek a rastr rychlostí, zachycují i lokální deprese a identifikují potenciální místa pro vtok povodňové vlny do intravilánu obce, čímž zaručují získání relevantních výsledků i v navazujících analýzách (obr. 3).

Pro získání základních hydraulických parametrů proudění v záplavovém území (hloubka, rychlost proudění) v řešeném intravilánu obce a přilehlého okolí se rovněž velice pozitivně osvědčilo využití zvoleného 2D numerického modelu.

Při provádění analýz v záplavovém území (obr. 4), které se týkaly posouzení možnosti pro vymezení nových zastavitelných ploch, byly získány výsledky, jež zcela jasně definovaly plochy vhodné pro novou výstavbu a plochy nevhodné pro další územní rozvoj. Zároveň však byly získány výsledky, kde nebylo zcela možné klasifikovat plochy z hlediska vhodnosti další urbanizace či ponechání



Obr. 3. Ukázka vstupních dat – rastr hloubek  
Fig. 3. Ukázka vstupních dat – rastr hloubek



Obr. 4. Záplavové území na podkladě katastrální mapy  
Fig. 4. Záplavové území na podkladě katastrální mapy

těchto ploch mimo další rozvoj. V těchto případech bude ještě nutné provést stanovení hraničních hodnot pro jasnou definici území, které je, či není vhodné zahrnout do zastavitelných ploch.

Povodňové riziko je obecně definováno nejčastěji mírou pravděpodobnosti výskytu nežádoucího hydrologického jevu – nežádoucí povodně. Vzniká za předpokladu, nastanou-li současně tři hlavní, vzájemně se ovlivňující skutečnosti, jejichž intenzita určuje jeho rozsah (Havlík a Salaj, 2008). Jde o povodňové nebezpečí, zranitelnost a expozici (obr. 5). Ve vazbě na objektivní posouzení další urbanizace území je proto nutné nalézt tzv. přijatelné riziko, neboli míru rizika, kterou je připraven přijmout každý (jednotlivec, společnost), kdo může být ohrožen povodňovou událostí.

Langhammer (2007) uvádí, že pro snížení rizika souvisejícího s daným přírodním procesem je nutné snížit alespoň jednu ze stran pomyslného trojúhelníka představujícího oblast rizika. Složka ohrožení je z hlediska povodní ve vazbě na svou stochastickou povahu jev neovlivnitelný. Druhá složka je představována expozicí prostředí vzhledem k povodňovému ohrožení. V daném případě se jedná o majetek a přírodní prostředí, které je vystavené povodni. Přestože je

snížení této složky velice obtížné, a to i ve vazbě na stále rostoucí hodnotu majetku – at' movitého či nemovitého charakteru – je právě daná komponenta přístupu vhodná pro její snížení. Vhodným nástrojem pro toto snížení mohou být jak ekonomické nástroje jako například výše pojistného či daní, tak především nástroje charakteru územního plánování, jež mohou definovat podmínky pro funkční využití území v lokalitách, které jsou z hlediska potenciálního ohrožení nevhodné. Zranitelnost jako třetí složka modelu rizika je chápána jako stav prostředí, které je vystaveno povodňovému ohrožení, ovlivňující velikost rizika.



**Obř. 5.** Složky povodňového rizika  
**Fig. 5.** Složky povodňového rizika

Jak je uvedeno ve stavebním zákoně (§ 19 odst. 1 písm. g), je jedním z úkolů územního plánování vytvářet v území podmínky pro snižování nebezpečí přírodních katastrof a pro odstraňování jejich důsledků, a to přírodě blízkým způsobem. S ohledem na danou skutečnost je nutné hledat strategii urbanistického rozvoje měst a obcí, jež bude tento bod reflektovat.

Popisovaný přístup předpokládá vyhotovení map povodňového rizika nejen podle scénářů povodňových událostí, ale rovněž ve scénářích pro jednotlivé funkční plochy využití území. Získána je tak představa o povodňovém riziku pro různé scénáře zastavění území, tj. pro alternované funkční využití v nově uvažovaných zastavitelných plochách. Zároveň je nutné kalkulovat s druhotným dopadem případného zastavění území, a to s omezením transformačního účinku území, které je plánováno zahrnout do zastavitelných ploch.

## 6 Závěr

V současnosti se nacházíme v době, kdy dochází k markantnímu rozvoji informačních technologií. Trendy tohoto rozvoje se logicky promítají i do problematiky týkající se povodní. Především jde o rozvoj informačních technologií na bázi GIS, které dnes představují neoddelitelnou součást preventivní ochrany před povodněmi.

Povodně obecně představují extrémní projevy srážko-odtokového procesu, které jsou nedílnou součástí přírodního prostředí a krajiny, na jejímž spoluvytváření se významným způsobem podílí (Langhammer, 2007).

Problematika ochrany před živelnými pohromami se dostává v důsledku událostí z posledních let stále více do popředí. V souvislosti s tím nabývá na významu i územní plánování jako vhodný nástroj pro omezení stavební činnosti v záplavovém území, který nebyl v minulosti mnohdy respektován. Tato skutečnost se rovněž stala impulzem ke změnám v legislativě i v přístupech při zpracování nových územních plánů.

Stanovení povodňového rizika na podkladě ÚPD je nyní již nedílnou součástí systémové přípravy v ochraně před povodněmi vedoucí k eliminaci dopadů povodňových situací. Aplikovaný přístup vyhotovení map povodňové ohroženosti prokázal své opodstatnění. Vzhledem k dosaženým výsledkům je nutné rovněž konstatovat, že ÚPD je vhodným podkladem pro rizikovou analýzu, která poskytuje vhodný nástroj jak pro vymezení stupně povodňového rizika v již zastavěném území, tak i pro vymezení nově zastavitelných ploch.

Při zpracování nové ÚPD je proto nezbytné usilovat o vytvoření prostorové rovnováhy mezi hospodářským rozvojem a urbanizací území na jedné straně a potřebami využít tohoto území ke zpomalení odtoku a akumulaci vody na straně druhé. Veškerá opatření na ochranu před povodněmi musí sledovat dopad na životní prostředí (Strategie, 2000).

Strategický dokument pro plánování v oblasti vod představuje Plán hlavních povodí České republiky, který vychází ze směrnice 2000/60/ES a jehož závazná část byla vyhlášena nařízením vlády č. 262/2007 Sb. Materiál definuje rámcové cíle v ochraně před povodněmi, včetně dílčích cílů pro snížení ohrožení obyvatel nebezpečnými účinky povodní a omezení ohrožení majetku, kulturních a historických hodnot při prioritním uplatňování principu prevence.

Další výzkum bude proto nutné zaměřit na provedení srovnávacích analýz map povodňových rizik s přístupem vycházejícím ze stanovení aktivních zón záplavových území. Bude nutné nalézt odpovědi na otázky týkající se především definování mezních hodnot s ještě přípustným využitím území pro konkrétní funkční plochy a zároveň definovat podmínky, za kterých je vhodné inundační prostory zařazovat do zastavitelných ploch na úkor retenčního potenciálu, který tato území nabízí.

### Poděkování

Příspěvek vznikl na základě poskytnutých dat z leteckého laserového skenování, která pro výzkumné účely zajistil Zeměměřický úřad, Zeměměřický odbor Pardubice a dat z geodetického zaměření, která zapůjčil státní podnik Povodí Labe se sídlem v Hradci Králové. Výsledky publikované v tomto článku vznikly za podpory Technologické agentury ČR, projektu TA02020139, výzkumného záměru MZe 0002704902 a s podporou Interní grantové agentury Fakulty životního prostředí (projekt IGA, registrační číslo: 42200/1312/3154).

## Literatura

- Brázdil, K. (2009) Projekt tvorby nového výskopisu území České republiky. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 55 (97), č. 7, s. 145–151.
- Brázdil, K. aj. (2010) Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace. Zeměměřický úřad, Vojský geografický a hydrometeorologický úřad, říjen 2010.
- Brouwer, R. and Van Ek, R. (2004) Integrated ecological, economic and social impact assessment of alternative flood protection measures in the Netherlands. *Ecological Economics*, 50, 1–21.
- Brown, J.D. and Damer, S.L. (2002) Managing flood risk in the UK: towards an integration of social and technical perspectives. *Transactions / Institute of British Geographers*, 27, 412–426.
- Čejp, J. a Duchan, D. (2008) Využití ArcGIS 9.x pro řešení úloh 2D proudění vody o malé hloubce. Juniorstav, Vodní hospodářství a vodní stavby.
- Dolanský, T. (2004) Lidary a letecké laserové skenování. *Acta Universitatis Purkynianae*, 99, *Studia geoinformatica*, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. ISBN 80-7044-575-0.
- Drbal, K. aj. (2009). Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Ministerstvo životního prostředí.
- Dráb, A. a Říha, J. (2008) Riziková analýza záplavových území v procesu územního plánování – aplikace na území města Brna. *Urbanismus a územní rozvoj*, roč. XI, č. 2. ISSN 1212-0855.
- Dušánek, P. (2010) Projekt tvorby nového výskopisu území České republiky. In: Workshop, září 2010.
- Fořumpaur, P. (2005) Optimalizace protipovodňové ochrany. In: Workshop VZ „Udržitelná výstavba“.
- Havlík, A. a Salaj, M. (2008) Analýza a mapování povodňových rizik.
- Gallayová, Z. a Gallay, I. (2006) Príspevek k poznaniu infiltračnej schopnosti rôzne využívaných TTP BR Polana. In: *Sborník z mezinárodní mezioborové konference Venkovská krajina*, 12.–14. 5. 2006, Slavčín u Hoštětína. ZO ČSOP Veronica, Brno. ISBN 80-239-7166-2, s. 44–47.
- Koncepce řešení problematiky ochrany před povodněmi v České republice s využitím technických a přírodě blízkých opatření (2010). Praha, schválena usnesením vlády České republiky ze dne 10. listopadu 2010, č. 799.
- Langhammer, J. (ed.) (2007) Povodně a změny v krajině. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze a MŽP ČR.
- Nařízení vlády č. 262/2007 Sb., o vyhlášení závazné části Plánu hlavních povodí České republiky.
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října 2007 o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik (povodňová směrnice).
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.
- Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky (2000). Praha.
- Šindlar, s.r.o. (2007) Koncepce přírodě blízkých protipovodňových opatření s vazbou na revitalizaci hydromorfologického stavu vod. MŽP.
- Štenclová, Š. a Vepřek, K. (2002) Územní plánování a povodně. *Urbanismus a územní rozvoj*, roč. V, č. 5. ISSN 1212-0855.
- Špatka, J. aj. (2005) Metodika stanovení aktivní zóny záplavového území. Praha.
- Plán hlavních povodí České republiky schválený usnesením vlády České republiky ze dne 23. května 2007 č. 562.
- Plate, E. (2002) Flood risk and flood management. *J. of Hydrology*, 267, 2–11.
- Podrázský, V. a Remes, J. (2005) Retenční schopnost lesních ekosystémů. Dostupné z: <http://lespace.silverium.cz/content/view/147/52/>
- Poláčková, V., Poláček, J. a Beneš, J. (2007) Minimální standard pro digitální zpracování územních plánů v GIS. Krajský úřad Středočeského kraje, odbor územního a stavebního řízení.
- Politika územního rozvoje ČR 2008, schválena usnesením vlády č. 929 ze dne 20. 7. 2009.
- Pručky, J. (2003) Analýza přirozené retence vody v povodí řeky Opavy při povodni v červenci 1997. *Acta Hydrologica Slovaca*, roč. 4, č. 2, s. 248–254.
- Rapant, P. (2002) Úvod do geografických informačních systémů. Ostrava: Vysoká škola báňská–Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut ekonomiky a systémů řízení, oddělení GIS, 110 s.
- Roub, R., Hejduk, T. a Novák, P. (2012) Využití dat z tvorby nového výskopisu území České republiky metodou leteckého laserového skenování při analýze a mapování povodňových rizik. *Geodetický a kartografický obzor*, č. 1, roč. 58/100, s. 1–5. ISSN 0016-7096.
- Vyhláška MŽP č. 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území.
- Vyhláška č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech pro zvládnutí povodňových rizik.
- Vyhláška č. 500/2006 Sb., o územně analytických podkladech, územně plánovací dokumentaci a způsobu evidence územně plánovací činnosti Ministerstva pro místní rozvoj ze dne 10. listopadu 2006.
- Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, ve znění pozdějších předpisů.
- Werritty, A. (2005) Sustainable flood management: oxymoron or new paradigm? *Area*, 38, 16–23.
- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů.
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění zákona č. 150/2010 Sb.

**Ing. Lenka Pavlíčková<sup>1)</sup>, RNDr. Pavel Novák<sup>2),3)</sup>,  
Ing. Radek Roub, Ph.D.<sup>1)</sup>, Ing. Tomáš Hejduk<sup>1),3)</sup>  
hejduk.tomas@vumop.cz**

**<sup>1)</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze, FŽP,  
katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování**

**<sup>2)</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze, FŽP,  
katedra biotechnických úprav krajiny**

**<sup>3)</sup> Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.  
Příspěvek prošel lektorským řízením.**

## Keywords

territorial planning documentation – GIS – flood hazard map – map of flood risk – MIKE 21

The obligation to analyze and map flood risks is required from the Member States by the European Parliament Directive 2007/60/EC (Flood Directive). The Directive contains a schedule with fixed dates for managing the flood events. Flood events (risks) management in terms of the Directive means to analyze the likelihood of flooding and potential adverse

effects on human health, the environment, cultural heritage and economic activity caused by flooding by developing flood hazard maps and maps of flood risk. The basis for the creation of these maps is a territorial planning documentation. The presented work introduces processing of the maps of flood vulnerability and flood risk on the basis of information obtained from the territorial planning documentation. Developed vulnerability and risk maps were processed to be applicable not only for flood protection in the preparatory, i.e. preventive stage (when they are used to predict the extent of flood situations, to eliminate their potential and help to manage them) but they were also aimed to be useful for deciding about land use in terms of defining new areas suitable for building on them from the view of different potential flood scenarios and different variants of functional use.

## RELEVANTNOST VYUŽITÍ DENNÍCH DAT O TEPLOTĚ A SRÁŽKÁCH PRO TESTOVÁNÍ DOPADU KLIMATICKÝCH FAKTORŮ NA SPOTŘEBU PITNÉ VODY DOMÁCNOSTMI

Vítězslav Malý, Lenka Slavíková, Michael Rost, Lubomír Petružela, Ondřej Vojáček, Jan Kavan

### Klíčová slova

spotřeba pitné vody – srážky – teplota – sucho

### Souhrn

Článek se zabývá otázkou, do jaké míry ovlivňují klimatické faktory krátkodobou poptávku po pitné vodě ve dvou vybraných oblastech České republiky (Hrádek, Strašice). Analýza je založena na denních hydrometeorologických a odběrových datech v období 2004–2009. V rámci hodnocení byly použity dvě dílčí statistické analýzy – metodologie CART a dekompozice časové řady založené na váhové regresi. Bez ohledu na výsledky jednotlivých analýz vyvolává šetření několik metodologických otázek, jež se týkají užití denních dat a rozsahu analýzy na těchto datech založené.

### Úvod

Spotřeba pitné vody domácnostmi<sup>1</sup> je proměnnou s významným vlivem na celkové využívání vodních zdrojů. Poptávka po pitné vodě je ovlivněna mnoha proměnnými od klimatických, přírodních, technických až po faktory socioekonomické. Studie zkoumající vliv klimatických faktorů na spotřebu domácností jsou spíše ojedinělé (např. Renwick a Green, 2000; Hewitt a Hanemann, 1995; Nieswiadomy a Molina, 1989).

Cílem článku je představit výsledky výzkumu, v rámci kterého došlo k testování vlivu klimatických podmínek na celkovou spotřebu pitné vody domácnostmi, a diskutovat některé metodologické problémy související s postupy založenými na denní struktuře dat. Analýza se zaměřila na objasnění vlivu úrovně teploty a srážek na odběry vody z veřejných zdrojů ve vytipované lokalitě ČR během celého roku, s důrazem na období „teplých měsíců“ (květen až září). K provedení analýzy bylo využito denních dat o odběru vody z veřejného vodovodu za jednotlivá spotřebišť a dále pak denních hydrometeorologických dat o úrovni průměrné denní teploty ovzduší a denním úhrnu srážek. Sledovaným obdobím byly kvůli dostupnosti dat roky 2004–2009. V rámci hodnocení a konstrukce modelu spotřeby vody domácností bylo využito neparаметrické klasifikace regresních stromů metodologie CART, analýzy sezonní složky spotřeby vody pro objasnění sezonnosti a analýzy suchých období s cílem odhalit vliv sucha na krátkodobou spotřebu vody.

### Charakteristika zájmového území a zdroje dat

Výběr území byl významně ovlivněn ochotou provozovatele vodovodu a kanalizací poskytnout data o spotřebě vody v požadovaném územním a časovém rozlišení. Výzkum byl realizován ve dvou lokalitách – obci Hrádek a obci Strašice. Demografické charakteristiky obou obcí shrnuje příložená tabulka 1.

Oblasti leží v těsné blízkosti vojenského újezdu Brdy, jež významně ovlivňuje přírodní (zejména hydrologické) podmínky obou obcí. Brdské pohoří představuje pro obce zásobárnu kvalitní a čisté vody. Dostatečné množství

<sup>1</sup> Jelikož je fakticky nemožné plně oddělit denní spotřebu domácností od spotřeby malých a středních podniků a od spotřeby veřejného sektoru, je tento termín zkrácen. Jedná se o spotřebu daného zájmového území, od které byla odečtena pouze spotřeba velkých podniků, jež byla v evidenci VaK evidována odděleně.

podzemní a povrchové vody v obou lokalitách umožňuje domácnostem využívat nejen vodu z vodovodního řadu, ale i z individuálních studní, což se děje zejména v obci Strašice.

V rámci výzkumu bylo pro potřeby ekonometrického testování závislosti spotřeby vody na teplotě a srážkách využito struktury dat uvedené v tabulce 2. Data jsou uvedena vždy za celé spotřebišť, tj. za všechny podniky a domácnosti v dané lokalitě za období 2004–2009.

**Odběr vody** z vodojemu Janov (pro oblast Hrádek) a z úpravní vody Strašice (pro oblast Strašice) je evidován v podobě denních dat ( $v \text{ m}^3$ ). Pro potřeby analýzy jsou tato data klíčová, i když je bylo zapotřebí dále očistit. Z těchto dat se odvozuje denní odběr vody pro domácnosti, malé a střední podniky a veřejné instituce. Jedná se o vodu dodanou z vodojemu nebo přímo z úpravní do příslušného spotřebišť. Tento údaj se v rámci získaných dat pro obě spotřebišť nazývá voda vyrobená (VV) a zahrnuje v sobě vodu fakturovanou (VF) u jednotlivých odběratelů, ztráty ve vodovodní síti (Zt) a vodu využitou pro úpravnu vody (Vúp). Voda vyrobená se tedy skládá podle vzorce

$$VV = VF + Zt + Vúp.$$

Rozdělení odběru vody do oblasti Hrádek a Strašice znázorňuje obr. 1<sup>2</sup>, z něhož je patrné, že odběr vody z vodojemu Janov byl takřka dvakrát vyšší než odběr vody z úpravní vody Strašice. Tento rozdíl byl dán odběrem vody pro podnik Železářny Hrádek, a.s., jež odebíral v průměru 24 % vody z celé denní spotřeby, a také většími ztrátami ve vodovodním řadu, které dosahovaly ve sledovaném období pro město Hrádek až 61 %. U obce Strašice to bylo maximálně 49 %.

Z výsledků provedených popisných charakteristik vyplývá, že 50 % hodnot odběru vody pro lokalitu Hrádek se pohybuje v intervalu 264,4 až 361  $\text{m}^3$  za den a 170,6 až 229,9  $\text{m}^3$  za den pro obec Strašice. Odběry vody v obou oblastech jsou přitom pevně ohraničeny minimálními odběry, tj. v oblasti minimálních odběrů je menší variabilita, kdežto maximální odběry v rámci rozdělení spotřeby mají variabilitu větší. To svědčí o tom, že obě spotřebišť odebírají pro svou potřebu relativně pevně stanovené minimální množství vody, které posléze roste v závislosti na faktorech ovlivňujících denní potřebu.

Klimatická data byla získána od Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ). Data o denních úhrnech srážek byla změřena ve srážkoměrné stanici Holoubkov, denní průměrná teplota byla naměřena v klimatologické stanici Plzeň-Bolevec pro období od roku 2002 do roku 2004 a v klimatologické stanici Plzeň-Mikulka pro období 2005 až 2009. Tato meteorologická stanice je blíže zájmovému území, nicméně zahájila provoz až v roce 2005, proto musela být data z jejího měření doplněna o data ze vzdálenější stanice Plzeň-Bolevec. Srážkoměrná stanice Holoubkov se nachází 5 km od zájmových oblastí, Plzeň-Bolevec a Plzeň-Mikulka ve vzdálenosti cca 25 km.

<sup>2</sup> Rozdělení bylo provedeno prostřednictvím kernelovského odhadu hustoty pravděpodobnosti s využitím gaussovského jádra a dále prostřednictvím Box-Whiskersova diagramu. Numerické vyhodnocení bylo provedeno prostřednictvím základních popisných charakteristik spolu s odhady vybraných kvantilů.

Tabulka 1. Demografické ukazatele

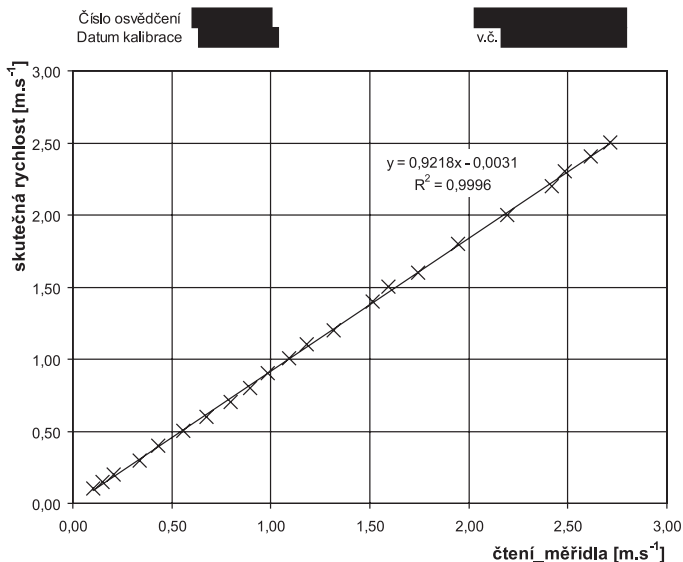
Table 1. Demographic indicators

Charakteristiky	Hrádek	Strašice
Počet obyvatel	3 003	2 436
Počet č. p.	514	606
bytové domy	6 %	4 %
rodinné domy	76 %	66 %
sezonní nemovitosti (chaty)	18 %	30 %
Průměrná spotřeba vody z vodovodu	106 l/osoba/den	83 l/osoba/den
Počet obyv. přípoj. na vodovodní síť v %	96 %	91 %
Nadmořská výška	440 m	498 m
Průměrný roční úhrn srážek (1961–1990)	501–600 mm	601–700 mm
Počet velkých podniků	1	1*

\* V rámci Strašic jsou jako velký odběratel evidována bývalá vojenská kasárna, ve kterých v současnosti působí několik firem. Ty dohromady tvoří jeden celkový odběr za kasárna.

Zdroj: Český statistický úřad (2010), Pšeničková (2006), VOSS, a.s., údaje z rozhovorů





**Obr. 4.** Kalibrační graf elektromagnetického měřidla s vychýlenými údaji  
**Fig. 4.** Calibration graph of electromagnetic flow meter with biased reading

pohledu má značné slabiny. Proto jsme z archivu ČKSVV vybrali více vrtulí – zatím pouze typu Ott C-2 – které byly v posledních letech kalibrovány s různými propelery za různých teplot (s každým propelerem nejméně třikrát) a u nichž je předpoklad řádné údržby.

Výběrem následně prošlo osm vrtulí s propelery typu 1, 2, 3, 5 a 6 (pro propeler typu 4 nebyl dostatek dat), přičemž ale ne všechny vrtule byly kalibrovány se všemi propelery. Počet kalibrací je pro propeler 1 celkem 59, pro propeler 2 celkem 83, pro propeler 3 celkem 61, pro propeler 5 celkem 60 a pro propeler 6 celkem 54. Tyto počty měření by již měly dovolit poměrně spolehlivé statistické zpracování výsledků.

Z předběžných výsledků zatím vyplývá, že vliv teploty se skutečně projevuje, přičemž ale pro každý typ propeleru je jeho velikost poněkud jiná. Současně se ukazuje, že (s jedinou výjimkou, jejíž příčinu zatím nejsme schopni objasnit) je u všech propelerů téhož typu vliv teploty prakticky totožný (obr. 5).

Kromě těchto v zásadě jen kvalitativních poznatků se snažíme též o kvantifikaci vlivu teploty pro jednotlivé typy propelerů. Zatím největším problémem bylo nalezení vhodného empirického modelu. Po řadě pokusů se ukázalo, že závislost rychlosti  $v$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] na teplotě  $t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] při daných specifických otáčkách vrtule  $n$  [ $\text{s}^{-1}$ ] poměrně nejlépe vystihuje velmi jednoduchý model

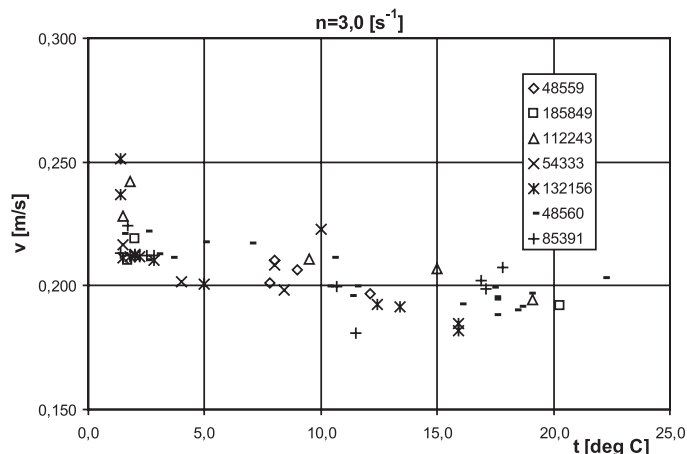
$$v = a + \frac{b}{t}$$

kde  $a$  a  $b$  jsou regresní konstanty (obr. 6). Jsme si vědomi toho, že tento model je z fyzikálního hlediska pochybný – pro teploty blízké 0 rostou hodnoty rychlosti nade všechny meze. Přesto ale pro teploty větší než  $1^{\circ}\text{C}$  dává reálné hodnoty a poměrně dobře vystihuje průběh dat, přičemž je zatím ve všech případech statisticky významný (což neplatilo o složitějších víceparametrických modelech).

Z dosavadních výsledků se zdá, že vliv teploty je prakticky zanedbatelný při teplotách větších než  $5-7^{\circ}\text{C}$ , při teplotách nižších asi bude postačovat jeho vliv zohlednit ve výpočtu nejistoty průtoku (podle ČSN ISO 748) uvažováním poněkud vyšší nejistoty kalibračních konstant (tabulka E.5 přílohy ČSN ISO 748).

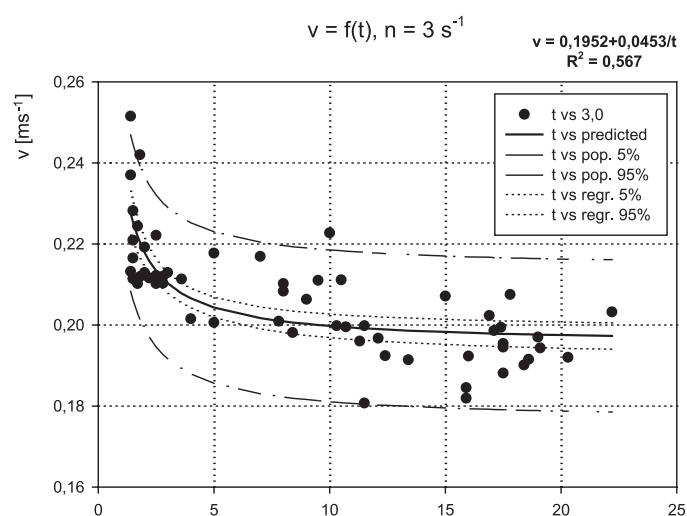
Výsledky budeme po dokončení všech prací publikovat v některém odborném časopise.

Ing. Daniel Mattas, CSc., Ing. Libuše Ramešová  
 VÚV TGM, v.v.i., Praha  
 Daniel\_Mattas@vuv.cz, Libuše\_Ramešová@vuv.cz



**Obr. 5.** Vztah  $v = f(t)$  při specifických otáčkách vrtule  $n = 3 \text{ s}^{-1}$  pro všechny vybrané vrtule s propelerem typu 1

**Fig. 5.** Relation  $v = f(t)$  at rotational frequency  $n = 3 \text{ s}^{-1}$  for all chosen current meters with impeller of type 1



**Obr. 6.** Statistické zpracování dat regresní analýzou – propeler typu 1  
**Fig. 6.** Statistical evaluation of data by regression analysis – impeller of type 1

*New findings in calibration of current meters and influence of water temperature during calibration in the Czech Calibration Station for Current Meters (Mattas, D.; Ramešová, L.)*

**Czech Calibration Station for Current Meters is operating in T. G. Masaryk Water Research Institute in Prague since 1930. It obtained the national accreditation and by its technical equipment it ranks among the best current-meters calibration laboratories in Europe. During calibration of electromagnetic current meters, new important findings were made. Another interesting topic is a research of an influence of water temperature on the result of the calibration.**

**VTEI** VODOHOSPODÁŘSKÉ  
 TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

Water Management Technical and Economical Information

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství

Redakční rada: RNDr. D. Baudišová, Ph.D., Ing. Š. Blažková, DrSc., Ing. P. Bouška, Ph.D., prof. Ing. A. Grünwald, CSc., doc. Ing. A. Havlík, CSc., prof. Ing. P. Pitter, DrSc., prof. RNDr. A. Sládečková, CSc., prof. Ing. J. Zezulák, DrSc.

Ročník 54

ISSN 0322 - 8916  
 MK ČR 6365

**VÚV  
 TGM**

Výzkumný ústav vodohospodářský  
 T. G. Masaryka, v.v.i.  
 Podbabská 30  
 160 00 Praha 6  
 IČO 00020711

Kontakt: Mgr. S. Garciova  
 tel.: 220 197 282, e-mail: garciova@vuv.cz

7

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. (40 %)

## AUTOMATING THE CREATION OF CHANNEL CROSS SECTION DATA FROM AERIAL LASER SCANNING AND HYDROLOGICAL SURVEYING FOR MODELING FLOOD EVENTS

RADEK ROUB<sup>1)</sup>, TOMÁŠ HEJDUK<sup>1,2)</sup>, PAVEL NOVÁK<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Environmental Sciences, Department of Water Resources and Environmental Modeling, Kamýcka 1176, 165 21 Praha 6-Suchbát, Czech Republic; Mailto: hejduk.tomas@vumop.cz

<sup>2)</sup>Research Institute for Soil and water Conservation, Žabovřeská 250, Praha 5, Czech Republic.

Knowing the extent of inundation areas for individual  $N$ -year flood events, the specific flood scenarios, and having an idea about the depths and velocities in the longitudinal or transverse water course profile provided by hydrodynamic models is of key importance for protecting peoples' lives and mitigating damage to property. Input data for creating the watercourse computational geometry are crucial for hydrodynamic models. Requirements for input data vary with respect to the hydrodynamic model used. One-dimensional (1D) hydrodynamic models in which the computing track is formed by cross-sectional profiles of the channel are characterized by lower requirements for input data. In two-dimensional (2D) hydrodynamic models, a digital terrain model is needed for the entire area studied. Financial requirements of the project increase with regard to the input data and the model used. The increase is mainly due to the high cost of the geodetic surveying of the stream channel. The paper aims at a verification and presentation of the suitability of using hydrological measurements in developing a schematization (geometry) of water courses based on topographic data gained from aerial laser scanning provided by the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre. Taking into account the hydrological measurement during the schematization of the water course into the hydrodynamic model consists in the derivation of flow rate achieved at the time of data acquisition using the method of aerial laser scanning by means of hydrological analogy and in using the established flow rate values as a basis for deepening of the digital terrain model from aerial laser scanning data. Thus, the given principle helps to capture precisely the remaining part of the channel profile which is not reflected in the digital terrain model prepared by the method of aerial laser scanning and fully correct geometry is achieved for the hydrodynamic model.

KEY WORDS: Aerial Laser Scanning, Cross Section, Flow Rate, GIS, Hydrodynamic Model.

Radek Roub, Tomáš Hejduk, Pavel Novák: AUTOMATICKÁ TVORBA GEOMETRIE VODNÍCH TOKŮ NA ZÁKLADĚ SYNTÉZY DAT Z LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ A HYDROLOGICKÉHO MĚŘENÍ PRO MODELOVÁNÍ POVODŇOVÝCH UDÁLOSTÍ. J. Hydrol., Hydromech., 60, 2012, 4; 25 lit., 8 obr., 5 tab.

Znalost rozsahu záplavových území pro jednotlivé  $N$ -leté povodňové události a konkrétní povodňové scénáře, včetně získané představy o hloubkách a rychlostech v podélném či příčném profilu vodního toku, které poskytují hydrodynamické modely, zaujímá výsadní postavení z pohledu ochrany životů a zmírnění škod na majetku občanů. Stěžejním faktorem pro tvorbu hydrodynamických modelů jsou vstupní data pro vytvoření výpočetní geometrie vodního toku. 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 profily koryta, naproti tomu u dvourozměrných (2D) hydrodynamických modelů je nutné sestavit pro celé řešené území digitální model reliéfu. S ohledem na vstupní data a použitý model roste i finanční náročnost celého projektu. Nárůst finančních prostředků je způsoben především vysokými náklady na geodetické zaměření koryta toku. Cílem příspěvku bylo ověřit a prezentovat vhodnost využití hydrologického měření při tvorbě schematizace (geometrie) vodních toků na podkladě výškopisných dat získaných metodou leteckého laserového skenování, které zabezpečuje Český úřad zeměměřický a katastrální. Zohlednění hydrologického měření při schematizaci vodního toku do hydrodynamického modelu spočívá v odvození dosaženého průtoku v době pořizování dat metodou leteckého laserového skenování a takto stanovené průtoky lze využít jako podklad pro zahlobnutí digitálního modelu

reliéfu připraveného z dat leteckého laserového skenování. Daný princip tak nahrazuje zbývající část profilu koryta, která není metodou leteckého laserového skenování v digitálním modelu reliéfu reflektována. Je tak dosaženo požadované geometrie koryta vodního toku, jehož kapacita je shodná s hodnotou průtoku v přirozeném korytě.

KLÍČOVÁ SLOVA: letecké laserové skenování, příčný profil, průtok, GIS, hydrodynamický model.

## 1. Introduction

Currently in the Czech Republic there is no sufficiently detailed, quality map appropriately expressing channel cross sections along the entire length of a studied water course for use in hydrodynamic models.

Elevation data are crucial for selecting hydrodynamic models for simulations (Drbal et al., 2009). From the perspective of land elevation 1-D models are less complicated, as for making calculations only the cross sections of the stream channel and the surrounding inundation zone suffice. For 2-D models in order to make calculations it is preferable to have a detailed digital terrain model (hereinafter DTM) accurately portraying the morphology of the studied area (Cobby, 2001). 1-D models allow for the schematization of longitudinal and transverse technical structures in stream channels, which is not yet possible with 2-D models. The cost of obtaining data is based on input data requirements for 1-D and 2-D models (Valentová et al., 2010).

Three basic methods for obtaining data are used in order to make hydraulic calculations using numeric models, to evaluate simulation results and for related risk analysis: geodetic transverse flow cross sections (stream channel and inundation zone), aerial laser scanning, and photogrammetry.

Geodetic stream channel and inundation zone surveying is often the most time-consuming and expensive method considering the size of the geodetic control. The maximum distance between transverse cross sections generally ranges from tens of meters to hundreds of meters based on the variability of the stream channel shape (Merwade, 2006).

Standard transverse cross section distances range from 50 m to 100 m in built-up areas to 200 m to 400 m outside of built-up areas. It is important that during surveying that the spatial variability of the water flow is obtained and that all significant changes in stream channel geometry (changes in transverse stream channel cross sections, changes in longitudinal angle, etc.) are recorded (Ramsankaran et al., 2010).

Aerial photogrammetry is used for collecting substantially accurate large- and mid-scale topographical and elevation data at a significantly lower cost than with using geodetic methods. Using aerial photogrammetry, a DTM is usually created by a basic layer of 3-D points which is supplemented by an evaluation of significant terrain edges in the form of 3-D lines (Merwade, 2008). The maximum distance between raster points should not exceed a value of 25 meters (the optimal value is from 10 to 15 m); all terrain edges and breaks must be evaluated, if their relative height is greater than 25 cm. Required accuracy is defined as having a maximum position error of 0.5 m and a standard elevation error of 0.11 m. Detailed requirements for taking measurements and creating DTMs are contained in the Guidelines for Using Photogrammetry for Defining Flood Zones (Ministry of Agriculture, no. 28181/2005-16000).

Aerial laser scanning (hereinafter ALS) of the earth's surface is one of the most modern technologies used for obtaining spatial geographic data (Dolanský, 2004). Although aerial laser scanning is a very young technology for mapping the Earth's surface and for creating DTMs or digital surface models (hereinafter DSM), it has applications in many practical disciplines. In urban planning, data can be obtained for creating 3-D city models, and in forestry for analyzing vegetation cover from the perspective of growth and development. The administrators of aboveground infrastructure use ALS data for electric transmission line models and for generating protective zones, as well as making highway, airport and railway models. This technology is also important for collecting data in hydrology. Data obtained using ALS can be applied for mapping drainage divides, for specifying the position of axes of water courses, and for identifying transverse obstacles in stream channels (Uhlířová, Zbořil, 2009).

### 1.1 The creation of a new hypsography of the Czech Republic using LLS

ALS generally enables a large volume of data to be obtained in a short interval of time. Considering

its relatively high level of data analysis automation for creating digital terrain and surface models, it is one of the most effective methods for obtaining spatial data (Dušánek, 2008).

Work on creating a new hypsography of the Czech Republic using the ALS method has been underway since the start of 2009. Three state agencies are in charge of it: the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre (COSMC), the Ministry of Agriculture, and the Ministry of Defense (Brázdil, 2009). The Ministry of Defense is responsible for ensuring the flights of a L 410 aircraft specialized for photogrammetry, and is also responsible for analyzing data for 1/4 of the territory of the Czech Republic. The Ministry of Agriculture is responsible for renting the aerial laser scanner including related equipment, and for providing reference elevation data from measured water course cross sections. COSMC is responsible for the completion of the project and is also the main coordinator. Last, but not least, COSMC is responsible for ensuring the permanent administration of the data in the future.

The creation of a new hypsography of the Czech

Republic follows up on already existing elevation databases, restricted to the ZABAGED database (Fundamental Base of Geographic Data), created using vectorized contour lines of 1:10,000 scale basic maps (ZM 10 maps) stored as 3-D objects in DGN format. Another constantly maintained source is the ZABAGED database with perfected elevation, which is labeled with current and accurate ZM 10 contour lines, as well as terrain edges of embankments, ditches, banks, reservoirs, etc. The last ZABAGED elevation database was derived by using ZABAGED in a 10m x 10m grid. The Ministry of Defense maintains the DTM 2.5 database using 100m x 100m grids. The latest elevation database covering the entire territory of the Czech Republic is the 3<sup>rd</sup> generation DTM, which is also maintained by the Ministry of Defense of the Czech Republic. In this case it is an elevation model in the form of a triangulated irregular network (TIN) obtained using stereophotogrammetry methods. A DSM for the entire territory of the Czech Republic has yet to be created (Dušánek, 2010). The accuracy of elevation databases used until now in the Czech Republic is presented in Tab. 1.

Table 1. Elevation accuracy of databases currently used in the Czech Republic.

Data source	Mean error [m]		
	exposed terrain	ranked	forested areas
ZABAGED	0.7 – 1.5	1 – 2	2 – 5
ZABAGED updated	0.7 – 1.5	1 – 2	2 – 5
ZABAGED GRID	1.5 – 2.5	2 – 3	3 – 7
DMR 2.5 generation GRID	3 – 5	5 – 8	10 – 15
DMR 3. generation	1 – 2	1 – 2	3 – 7

After the analysis of elevation data in various time intervals, the following planned products will be created:

*Fourth generation digital terrain model (DTM 4G)* as a 5m X 5m grid with standard elevation error of 0.30 m in open terrain and 1 m in forested terrain (the result of preliminary automated analysis). Deadline: by the end of 2012.

*Fifth generation digital terrain model (DTM 5G)* in the form of triangular irregular network (TIN) with a complete standard elevation error of 0.18 m in open terrain and 0.30 m in forested terrain (final semi-automatic data analysis). Deadline: by the end of 2015.

*1<sup>st</sup> generation digital surface model (DSM 1G)* in the form of a triangular irregular network (TIN) with a complete standard elevation error of 0.4 m for exactly defined objects and 0.7 m for objects that are not exactly defined (forests and other vege-

tation cover elements). Deadline: by the end of 2015.

The schedule for meeting these established goals is based on application zones, which have the working titles West, Center, and East based on territorial location. At the current moment (to October 31, 2010) data sets for DTM 4G have been created for the entire Center zone, with the exception of incomplete spaces on State Maps, i.e. spaces where the interaction between data from neighboring zones has yet to be adjusted, i.e. the Center zone boundaries with the West zone and East zone, where ALS will be done in 2011 and 2012 (Dušánek, 2010).

The ALS method is based on the principle of laser beam reflections, which are interpreted as cloud point images. The advantage of this method is measurement speed, accuracy and the amount of measured data and information. A laser beam

aimed at the surface measures the distance covered towards the surface of the measured territory or object. GPS working together with inertial navigation guide the beam. An analysis of these parameters results in the calculation of the position of the given point. Output of laser scanning includes a set of 3-D coordinates of reflected points, a so-called point cloud. Classification can be made on the basis of other information about the reflected point, e.g. the intensity of reflection. A cloud point obtained in this way can be reclassified into 3(4) basic groups: terrain, vegetation, built-up areas, (errors).

The main scanning parameters for the creation of a new hypsography of the Czech Republic are: point density greater than 1.2 points/m<sup>2</sup>, standard region measurement error of  $\sigma < 0.03$  m, average height of flight above the terrain 1400/1200 m, absolute height of the flight in relation to relative height and hilliness of the terrain, photo strip distance 830/715 m, side lap from 35 % to 50 % (Brázdil, 2009).

Table 2. Accuracy of fourth generation digital terrain model.

Category surface and land cover	Systematic error [m]	Complete medium error [m]	Maximum error [m]
Paved surfaces	-0.01	0.07	0.26
Field edges (eg mounds of roads and railways)	-0.25	0.34	0.77
Arable land	-0.01	0.13	0.66
Meadows and pastures	-0.09	0.18	0.85
Shrubs, trees and forests	-0.02	0.13	0.85

### 1.2 Hydrological surveying

Hydrologic surveying is the second part of the technical schematization of water courses for hydrodynamic models. The Czech Hydrometeorologic Institute (CHMI) and watershed authorities are in charge of hydrological surveying in the Czech Republic. Hydrological monitoring can be divided into two different programs, which are of course very closely related and mutually influence each other. The first program is the qualitative monitoring program, which of course is not applicable for the schematization of water courses for hydrodynamic models. The second program, which can be applied to the geometrics of hydrodynamic models, is quantitative monitoring. The quantitative monitoring of surface waters program includes the monitoring of water courses and select stationary bodies of water, but for hydrodynamic model applicability the surveying of water courses is most important.

Although small water courses make up the majority of the hydrographic network of the Czech Republic (78 % of its total length), there has been

The first results from validation and defining accuracy characteristics of ALS data were obtained from the thus far only output of DTM 4G at the start of 2011, when the Land Survey Office started distributing the DTM 4G of the Central zone of the Czech Republic. Evaluation methods for assessing the accuracy of ALS data are described in the Technical Report for the Fourth Generation Digital Model (2010), in which accuracy characteristics of this model are also published (Tab. 2).

The findings from DTM 4G accuracy validity testing indicate that the guaranteed standard elevation error of this generalized geo-terrain model (0.30 m in terrain without continuous vegetation cover and built-up areas, 1 m in terrain with dense vegetation cover) has been fulfilled, and that ALS data meet their declared accuracy, and it is also predetermined based on ALS data that other guaranteed standard errors for DTM 5G and DSM 1G will be met (Brázdil et al., 2010).

little systematic hydrological monitoring of them (Hrádek, Sobota, 1999), which is nonetheless positive taking into account possible applications of the hypothesis about ALS and hydrological survey data, as hydrological monitoring is focused mainly on significant water courses, on which data synthesis can be applied.

The scope of the water course monitoring network does not cover all surface water bodies, of which there are 1070 proposed in the Czech Republic, nor is its expansion to include all bodies of water in the near future realistic. The structure of this network however does cover significant water courses and their watersheds so that with the help of hydrological analogy (Hladný, 2002; Plate, 2002; Giannoni et al., 2003; Fowler et al., 2005) the hydrological characteristics of all places in the stream network can be determined.

Currently there are 494 operational hydrological survey stations on significant water courses on the territory of the Czech Republic. An overview of the number of water course quantitative monitoring sites is listed in Tab. 3.

Table 3. Monitoring network of surface water flowing in the Czech Republic.

River basin	Number of stations measuring water level	Number of stations with rated flow	Number of stations compares basin
Horní and střední Labe	112	112	1
Horní Vltava	47	47	–
Berounka	40	40	2
Dolní Vltava	40	39	–
Ohře and dolní Labe	49	49	8
Odra	61	61	–
Morava	75	75	–
Dyje	70	69	–
Total	494	492	11

The continuity of hydrological surveying at a total of 494 stations provides adequate information for considering the applicability of determined flow rates for the creation of correct geometry for hydrodynamic models.

The necessity of combining data collection methods for creating hydrodynamic models significantly increases project costs. In the case of transverse stream channel cross section geodetic surveying for including stream channel information in a final DTM, the inter-cross section parts of the water course are not expressed and these sections are entered by the user directly.

In connection with the creation of a new topographic map of the Czech Republic using ALS technology and the hydrological surveying of the CHMI and watershed authorities there is an alternative possibility for synthesizing these data for the schematization of water courses for hydrodynamic models, wherein an original combination of information about the established flow rate at the time of elevation surveying using ALS with the actual ALS data is used.

## 2. Materials

The possibility of synthesizing hydrological survey data and data from the new hypsography of the Czech Republic was verified on a section of the Orlice water course (Divoká Orlice, Tichá Orlice), to the west of Hradec Králové in Eastern Bohemia (Fig. 1), which is delimited by the municipalities of Třebechovice pod Orebem – Borohrádek – Čestice.

The study area was selected primarily for the large number of monitoring stations conducting hydrological surveying, and for subsequent flow rate evaluation and ALS data analysis, which has already undergone a manual check including the derived terrain model (GROUND data) and data from the geodetic surveying of water course cross

sections. Hydrological stations are located either directly on the monitored water courses in marginal zones of the studied territory where it is possible to derive the flow rate. To verify flow rates established in this way, there was the possibility of using hydrological monitoring stations located on the tributaries of studied water courses. Hydraulic and hydrological characteristics were another important reason for selecting the locality.

The data from the new topographic mapping were critical, which were accessed in the S-JTSK coordinate reference system and in the Baltic vertical datum system in ASCII text format with X, Y, H values in the form of classified cloud point with a density of 1.2 points/m<sup>2</sup>, and in the following classes: G – terrain, B – buildings, V – vegetation, H – height barriers (elevation points greater than 46 m above the surface), E – errors, F – artificially generated 5 m x 5 m grids (in places where there were no data), M – bridges. A standard coordinate elevation error of mH = 0.18 m was assumed for the data.

Hydrological data for the modeled scenarios were obtained from the Czech Hydrometeorology Institute's water gauge records. In order to compare the results, established *N*-year flow rates were used for three flood episodes  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$ , and  $Q_{100}$ . Data about *N*-year flow rates were obtained from four hydrological surveying stations located directly on the studied water courses. Hydrological data about maximum flow rates during ALS data acquisition were obtained for four hydrological surveying stations located directly on the studied water courses and were obtained from the water management control system of the Povodí Labe s.p. watershed authority, headquartered in Hradec Králové. For more exact flow rates obtained during ALS, stations located on tributaries in the study area were also used.

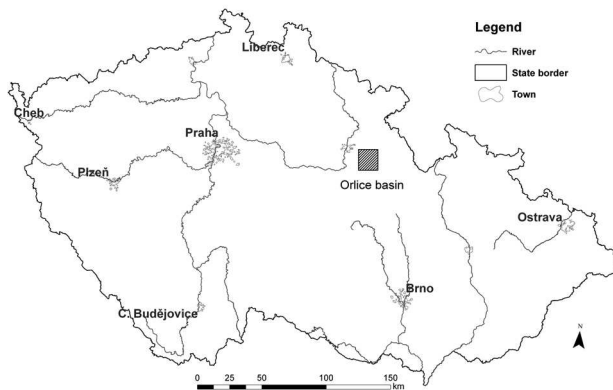


Fig. 1. Experimental area.

Geodetically surveyed stream channel cross sections of the Orlice, provided by the Labe watershed authority, were used for objective comparison. Distance intervals between measured stream channel cross sections ranged from 80 to 250 m, which provided ample information for further operation. Data were taken in the form of discrete elevation points measured in the S-JTSK coordinate reference system and in the Baltic vertical datum system, in ASCII text format with X, Y, and H values. The data also contained information about the type of surveyed object (slope edge, protection wall, etc.).

In relation to the new topographic mapping of the Czech Republic using ALS technology and with respect to the continuous monitoring of the Czech Hydrometeorological Institute and watershed authorities, possibilities for applying the established flow rate during the acquisition of elevation data using ALS were monitored as an input factor in the creation of hydrodynamic models. In connection to accuracy and the principle of obtaining ALS data the applicability of using hydrological measurements for creating water course schematization was verified. Based on the synthesis of elevation data obtaining using ALS and hydrological surveying, the idea of deepening the transverse and longitudinal cross sections of the stream channel by the flow profile (determined by flow rate during ALS) was tested (deepening the DTM only using ALS data).

Applicability of the mentioned data synthesis was verified using a 1-D hydrodynamic model, which suitably predefined the character of study areas indicating appropriate conditions for the application of 1-D models (Horritt, Bates, 2002). 1-D models allow for the schematization of longitudinal and transverse technical structures in stream channels, which is not yet possible with 2-D models.

The freely available HEC-RAS model was used, which allows for one-dimensional calculations of steady and non-steady, non-uniform flow, sediment transport (movable bed) or the modeling of temperature changes in flowing water. In order to assess whether it is possible to use hydrological surveying for the creation of flow geometry, a steady flow calculation was used. The calculation of steady flow is based on a calculation of non-uniform water flow in the stream channel in sections. The program can divide the cross section into the actual stream channel (i.e. the effective area of flow), and the left and right inundation zones. Determining water surface profiles with HEC-RAS is based on a one-dimensional method using Bernoulli's principle. Energy losses are calculated by friction loss using Manning's equation, while local losses are expressed with contraction and expansion coefficients. Areas that are more hydraulically complex such as overfalls, confluences, bifurcations, bridges and culverts are dealt with using modified equations of movement.

For working with geometric data and for final visualization the HEC-GeoRAS extension was used, which is a set of tools for working with geospatial data in ArcGIS with the help of a graphic user interface (GUI). The interface makes working with geometric data in the form of a calculated track schematization possible as well as exporting this data to the HEC-RAS environment, where the actual simulation is made, and output can then be imported back into ArcGIS, where they can serve as input for related analyses such as mapping flood risks, etc.

For assessing applicability of the synthesis of ALS data and hydrological survey data, an integrated, scalable and open GIS in the form of ArcGIS from the company ESRI was used. It has powerful editing, analysis, modeling and data administration tools, which makes it the most comprehensive GIS software on the world market today (Čejp, Duchan, 2008). Two extensions were also used: *Spatial Analyst* and *3D Analyst*. The first of these extensions offers a wide range of tools for spatial modeling and analysis with which raster data can be created, displayed, queried and analyzed. With ArcGIS *Spatial Analyst* combined vector-raster analyses can also be done. With the use of the ArcGIS *Spatial Analyst* extension it is possible to obtain information from data, define spatial relationships, search out suitable areas, and calculate costs for moving from one location to another. *3D Analyst* gives users the possibility to effectively visualize



and analyze representative data. Using ArcGIS *3D Analyst*, you can view large sets of data in three dimensions from multiple viewpoints, query a surface, and create a realistic perspective image that drapes raster and vector data over a surface. *3D Analyst* also offers advanced GIS tools for three-dimensional modeling, and terrain visibility and modeling.

### 3. Methods

The methodology for ALS and hydrological survey data has already been published in other works (Roub et al. 2012, Novák et al. 2011). In the first publication output from assessing the applicability of ALS data for analyzing and mapping flood risks was presented, the conclusion of which was that based on comparative analyses of data from geodetic measuring and ALS data, as well as from the findings of 1D hydrodynamic models, that ALS data meet their declared accuracy and that they can serve as a suitable data source for determining the elevation of inundation zones of water courses for the creation of hydrodynamic models. Reflected local depth depressions in the form of roadside ditches are interesting as are inflow areas in the form of road crossings from the perspective of potential anti-flood protection in built-up areas.

The second publication dealt with possibilities for using established flow rates at the time of elevation data acquisition through ALS for lowering flow rate values in simulations. The partial replacement of costly geodetic surveying was also considered with available data from flow rate hydrological surveying that accurately resemble transverse channel cross sections along the entire longitudinal profile, which, taking into consideration limitations on measuring transverse stream channel cross sections, does not provide relevant information for inter-cross section areas. For assessment, scenarios were modeled with both simulated flow rate lowered to the measured value of flow rate at the time data was acquired with ALS, i.e. on the basis of the DTM generated only from ALS data, as well as scenarios without lowering the simulated flow rate, i.e. on the basis of a DTM with additional water course channel data (ALS data + geodetic measurements). From the findings it can be stated that using hydrological surveying for lowering model scenarios in hydrodynamic models is possible, however it is necessary to define input conditions in the transition zone in order to accurately determine perpendicular speed differences

along every step of the calculated track, and this must be expressed in hydrodynamic models. The most suitable and at the same time simplest variant was when the channel roughness was set appropriately using the roughness coefficient. Using an appropriate setting led to a change in increased speed in the transverse channel cross section in the transition zone.

During the geometric surveying of transverse cross sections and the interpolation of inter-cross section areas, i.e. during the drawing of bank edges and stream channel morphology, there are increases or even decreases in channel cross section capacity as a result of surveyor subjectivity.

The process of automating the creation of transverse cross sections will reduce this. This technical approach describes transverse stream channel cross sections with the required accuracy along the length of the entire water course. It is essentially based on the use of data from hydrological surveying for drawing transverse stream channel cross sections in areas where ALS data are not reflected.

The synthesis of ALS and hydrological survey data uses a basic characteristic of ALS data, where in the laser beam is not reflected after striking the water's surface, but instead is absorbed by the water (Fig. 2). On the basis of this during the analysis of ALS data there is a loss of information in areas where there is a continuous water surface. The basic product of ALS, cloud points, thus after the transformation of measured values into elevation figures, do not depict the entire transverse cross section of the stream channel, but only the part of it where the beams reflected from. The capacity of a missing part of the stream channel may be a significant flow area, and may during flood events carry a significant volume of the flood wave, and therefore should be filled in using data about flow rate from the time of ALS data acquisition. Fig. 3 shows how the transverse channel cross section data from ALS data were inserted into the DTM, without which this part of the stream channel would not be reflected.

Two approaches for analysis were used; in the first case data was analyzed directly in GIS. The second approach involves the use of specialized software for the schematization of water flow geometry.

As a result of this similar method being used, GIS is used for initial data analysis from hydrological survey stations. It is necessary to obtain data about flow rates during ALS data acquisition from relevant stations, as they will be used for creating

the actual transverse channel cross section in the DTM using ALS data. In the second step of the technical analysis done in GIS (ARCGIS 10) a polygon layer is created over the water course in areas where there are no data from ALS using the *Spatial Analyst* and *3D Analyst* extensions. Based on the DTM created only from ALS data the water course surface slope is obtained, which is then used as an input parameter in the transformation formula for deepening the stream channel – the Chézy formula (Eq. 1) is considered in combination with the continuity equation (Eq. 2). For describing the remaining parameter – the water depth by which the DTM must be deepened using ALS data – predefined stream channel profiles can be selected – trapezoidal – parabolic – rectangular.

$$v = C \sqrt{RI}, \quad (1)$$

where  $v$  – mean velocity [ $\text{m s}^{-1}$ ],  $C$  – Chézy coefficient [ $\text{m}^{0.5} \text{s}^{-1}$ ],  $I$  – longitudinal surface slope [–],  $R$  – hydraulic radius [m].

$$Q = vS = CS\sqrt{RI}, \quad (2)$$

where  $Q$  – flow rate [ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ],  $S$  – flow area [ $\text{m}^2$ ].

On the basis of flow rate data at the time of ALS, water course surface data (generated from the DTM created from ALS data), data about channel surface width (polygon layer generated on the basis of data not recorded during ALS, i.e. where the beam was absorbed by the water surface) and flow rate data a predetermined transverse cross section shape is selected and the required depth is calculated, and subsequently the stream channel is accordingly deepened in the DTM using ALS data, and a synthetic map is created which depicts correct water

course transverse cross sections and inter-cross section areas.

The generated width on surface B, the longitudinal surface slope  $I$ , and the flow rate  $Q$  obtained from hydrological surveying on the water course were used in the Chézy formula and the continuity equation to calculate the shape of the transverse cross section. These three values define the creation of transverse cross sections. Another characteristic, which can be selected by user (derived from field research) is Manning's roughness coefficient  $n$ . The quantification of uncertainty during the selection of Manning's roughness coefficient and its impact on the reliability of determining the stream channel was the subject matter of a sensitivity analysis that was conducted. Establishing an  $-m$  value determining the angle of the cross section slope (for trapezoidal cross sections) is based on the course of the surveyed cross section in the immediate vicinity of the water surface. A part of the transverse stream channel water course is recorded using ALS, and this part is then used as a base for determining the  $m$ -value.

It includes variants for creating trapezoidal, parabolic, and rectangular shaped transverse cross sections. All variants follow the same procedure, involving gradually increasing water depth  $y$  and the subsequent flow rate calculation  $Q$  for each selected water depth  $y$  until the required flow rate  $Q$  value is reached. Once this point has been reached the coordinates of the transverse cross section are generated for subsequently adding a polygon layer in places where ALS beams were absorbed by the surface.

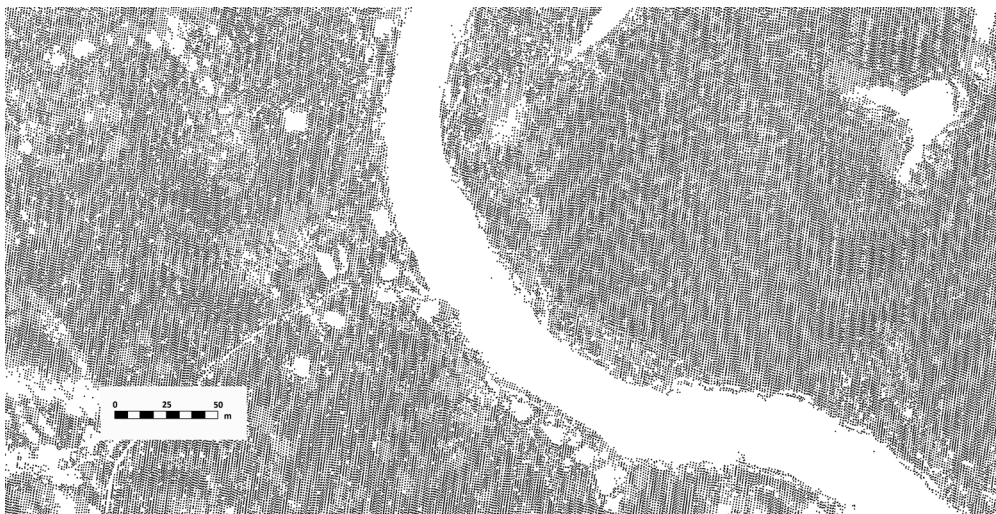


Fig. 2. Sample data ALS.

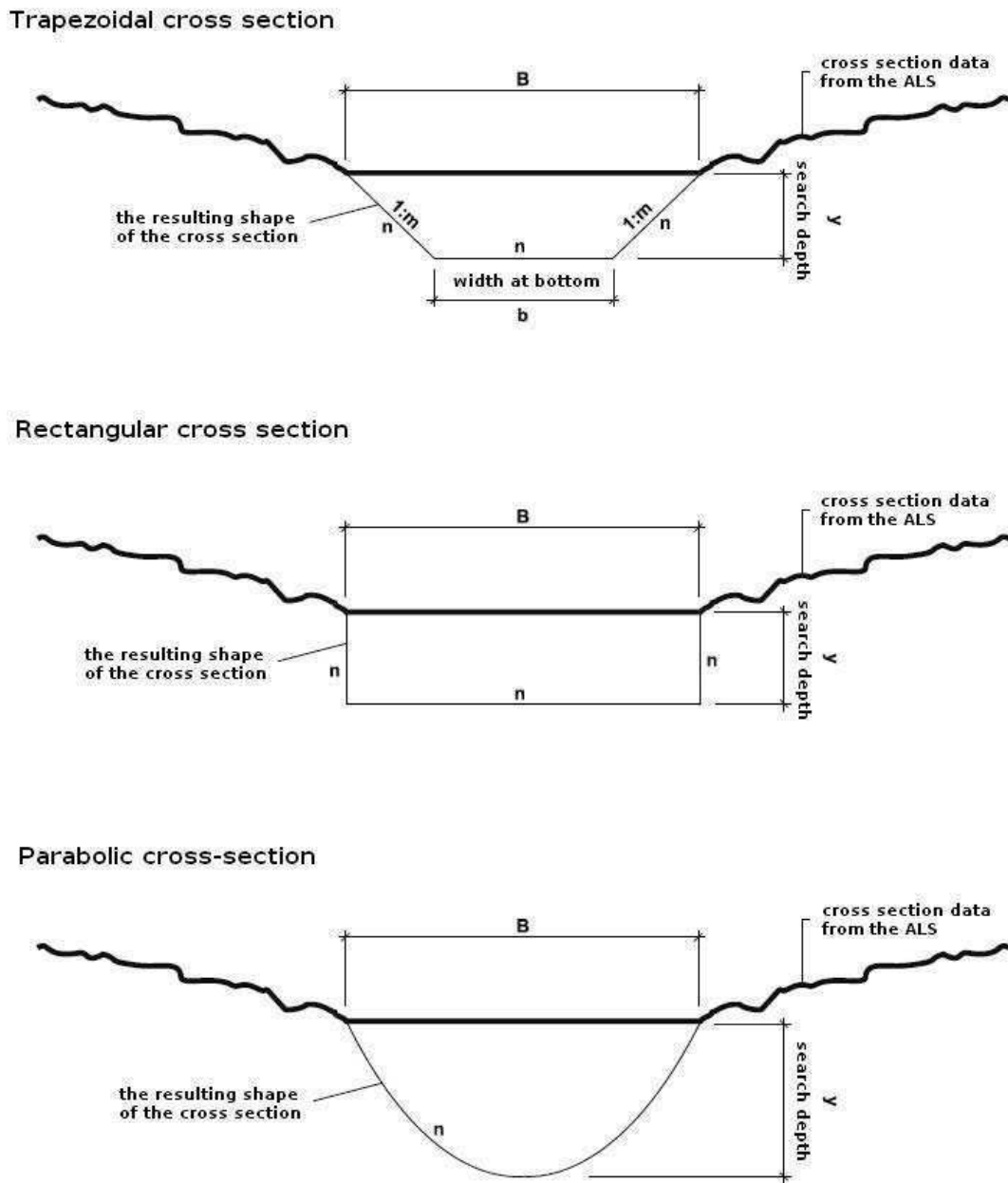


Fig. 3. Inserted into the channel cross-section of the DMR data ALS.

#### 4. Results

Two model scenarios were used for evaluating the relevance of hydrological survey data used for creating a DTM for the schematization of water course geometry in hydrodynamic models.

A comparison of transverse cross sections generated from the final DTM after deepening based on flow rate during ALS data acquisition with geodetically surveyed transverse cross sections was first done. During this analysis in places where trans-

verse cross sections were geodetically surveyed new transverse cross sections from the DTM were drawn in created from the synthesis of ALS data with hydrological survey data, which were then compared with the geodetically surveyed transverse cross sections (Fig. 4).

The level of correspondence (Fig. 5) is in such cases quite satisfactory. Despite the fact that the depicted cross sections are not completely identical, in this case there is a flow cross section difference of max.  $4.1 \text{ m}^2$ , which equates to water flow rate of

6.8 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> under these conditions. For the determined flow rate  $Q_{100}$  of 516 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> in Týnište nad Orlicí this is 1.31 % of the maximum flow rate of a 100-year flood. Findings from each transverse cross

section (from geodetic surveying, and from the DTM cross sections created based on the synthesis of ALS data and hydrological survey data) can be found in Tab. 4.

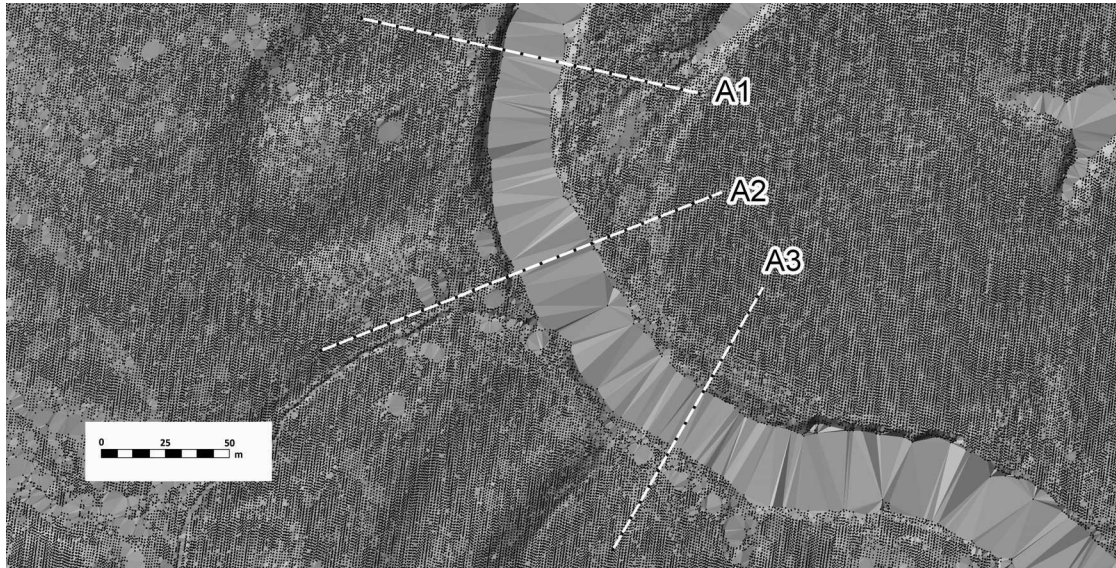


Fig. 4. Scenario 1. variants.

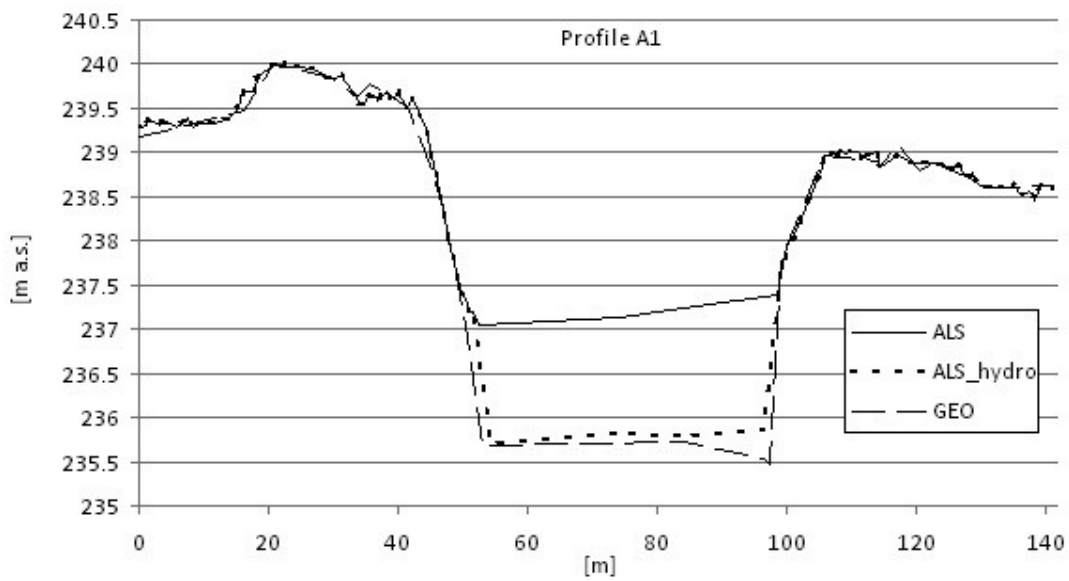


Fig. 5. Results of the first scenario variety.

Table 4. The achieved results geodetically focused cross sections.

Indication	Reference - geodetic focused (Source: PLA)		DMR data from LLS and hydrological measurements	
	flow profile [m <sup>2</sup> ]	flow profile [%]	flow profile [m <sup>2</sup> ]	flow profile [%]
A1	173	100	169	97.69
A2	202	100	199	98.51
A3	182	100	186	102.20

For the second model scenario additional geodetic surveys of transverse cross sections were used, which were located in between the geodetic surveys of transverse cross sections available from the Povodí Labe s.p. watershed authority. The goal of this analysis was to evaluate the accuracy of the fit between the deepened DTM with the geodetically surveyed cross sections (model scenario 1), where the main intent was to observe transverse cross sections obtained from a DTM created with the standard method of interpolating the inter-cross section areas from ALS data (inundation zones) and the geodetically surveyed transverse cross sections provided by the Povodí Labe s.p. watershed authority (stream channel) with subsequent transverse cross section surveying (Fig. 6).

The results indicate high fluctuation when comparing geodetically surveyed transverse cross sections with the cross sections obtained from the DTM, where the stream channel cross section was edited manually (Fig. 7). This results in excessive increases and decreases in the capacity of stream channel cross sections in comparison with the cross sections obtained via geodetic surveying (for the analysis of cross sections subsequently surveyed). The extremes of the fluctuations grow with the distance from geodetically surveyed cross sections, which were used for this analysis as a reference (meaning the geodetically surveyed cross sections of the Povodí Labe s.p. watershed authority), wherein at the halfway point between neighboring cross sections differences are the highest, and sub-

sequently decrease as the next geodetically surveyed (reference) cross section is approached, as indicated in Fig. 8. The results of the comparison between subsequent geodetic cross section surveying and cross sections from the DTM created on the basis of the synthesis of ALS data with hydrological surveying indicate that the accuracy of the cross sections from the DTM are in the same range as in the first model scenario. The values obtained from transverse cross sections (from subsequent cross section geodetic surveying vs. cross sections obtained from DTM based on the synthesis of ALS data with hydrological survey data vs. cross sections from the manually edited DTM) can be found in Tab. 5.

In connection with the comparative analysis and with the help of the HEC – GeoRAS extension a geometric schematization of the entire study section of the water course was created, which was the base for the HEC – RAS hydrodynamic model. The ArcGIS export package was subsequently imported into the HEC – RAS program for the purpose of making calculations. Visualization of the results, the generation of depth rasters and the determination of flood zones was also done using ArcGIS software with the help of HEC – GeoRAS tools. The results were compared with surface levels records from actual flood events that occurred in the past on the Orlice. This comparison was approached objectively outside of the framework of the model flood episodes  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$ , and  $Q_{100}$ .

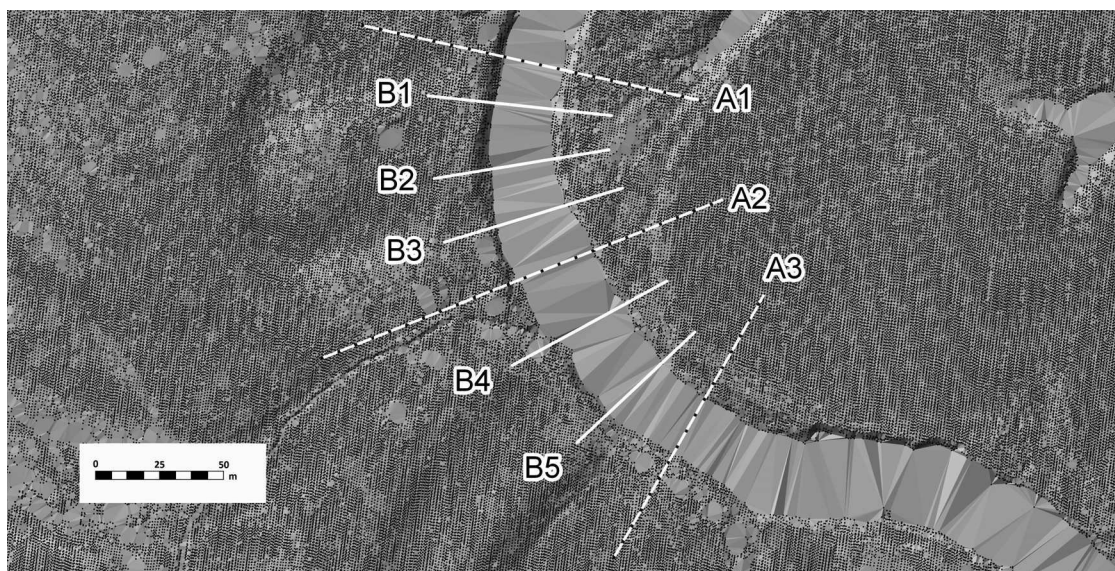


Fig. 6. Scenario 2. variants.

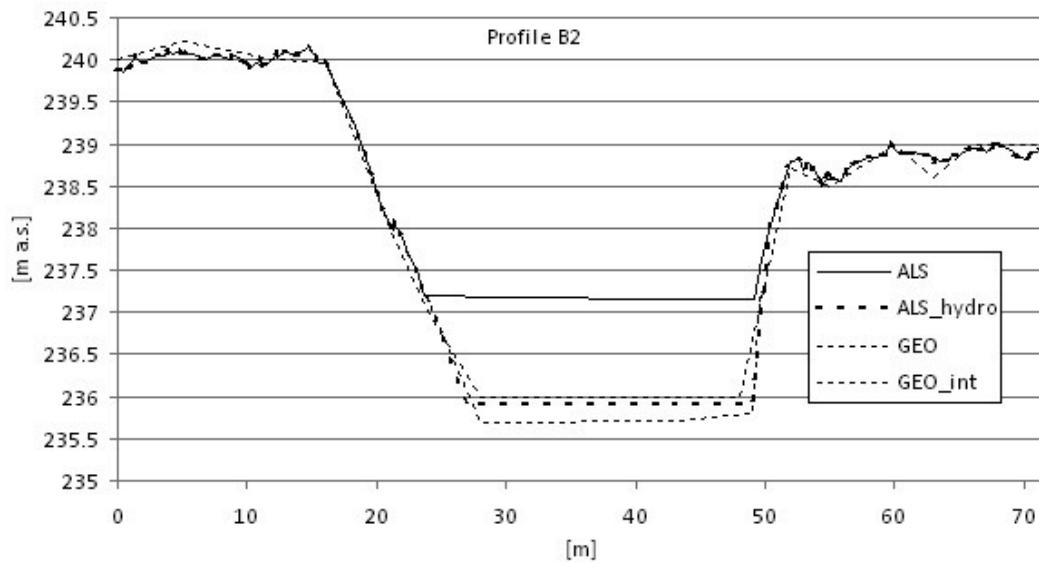


Fig. 7. Results of the second scenario variaty.

T a b l e 5. The achieved results with additional geodetically focused cross sections.

Indication	Reference - geodetic focused (Source: additionally targeted for analysis)		DMR data from LLS and hydro-logical measurements		DMR data from LLS and geodesic interpolation of the measured profiles from PLA	
	flow profile [m <sup>2</sup> ]	flow profile [%]	flow profile [m <sup>2</sup> ]	flow profile [%]	flow profile [m <sup>2</sup> ]	flow profile [%]
B1	180	100	182	101.11	170	94.44
B2	178	100	181	101.69	191	107.30
B3	183	100	180	98.36	189	103.28
B4	186	100	184	98.92	178	95.70
B5	191	100	193	101.05	198	103.66

For modeling specific flow rates ( $Q_k$ ) from actual flood events, the relevance of the results to reality was monitored, or if the accuracy of the synthesis of ALS data with hydrological survey was met. The findings indicate the validity of the synthesis of ALS data with hydrological survey data, where established inundation lines correspond very well with preserved records (flood records, photography, etc.) and high water marks.

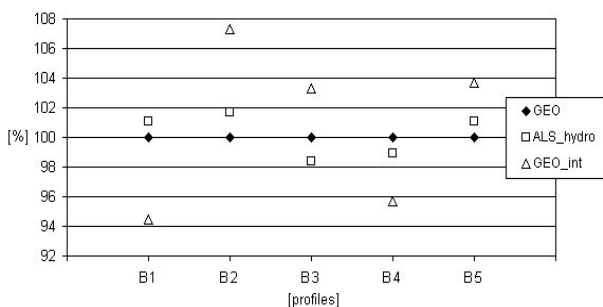


Fig. 8. Achieved by variation in profiles B1 to B5.

For the simulation of  $N$ -year flood episodes  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$ , and  $Q_{100}$  results were compared with the results of the model of water course geometry made based on the manually compiled DTM. The goal of this comparison was to describe the concurrence between resulting rasters from the DTM made based on mentioned sources of data. For evaluating concurrence a function was used for subtracting both rasters, from which a differential raster was obtained, documenting the differences in results. The differential raster indicates mainly local variability, which can be attributed to various methods of working with data. However, further conclusions cannot be specified from the results, because claims about the accuracy or inaccuracy of the DTM are groundless as there is no reference data.

The comprehensive comparisons include a comparison of determined flood zones. During analysis not only were inundation lines from the DTM used (DTM made with the manual editing of stream channel cross sections vs. DTM made on the basis of the synthesis of ALS data with hydrological sur-

vey data), but also official inundation lines of the PLA. Results indicate the variability of inundation lines, which is especially marked outside of built-up areas, whereas in built-up areas they concur relatively well with each other. Inundation lines are very similar, especially inundation lines that are to serve as background data for ALS of the inundation area. In comparison with the inundation lines of the PLA, where photogrammetry is used, there is less concurrence, which can surely be attributed to differing background data in the inundation zone, and not just as a result of the manual modification of the stream channel cross section.

## 5. Discussion

The synthesis of hydrological survey data with ALS data using the described technical method is characterized by the fact that it replaces the shape of the natural stream channel cross section and the surrounding inundation zone along the length of the entire studied water course. Currently, one of the three above described cross sections can be used for these replacements. It is assumed that further research will expand the selected cross sections to include other shapes which will make them closer to natural conditions.

The results from the 1D hydrodynamic model and from the comparative analysis of geodetic survey data with ALS data indicate that these findings may be useful in practice.

The results of comparison with subsequent transverse cross section geodetic surveying are important as they indicate favorable concurrence as opposed to the variant where the stream channel cross section has been edited by the user. This only serves to confirm the hypothesis about the impossibility of accurately describing inter-cross section areas of the stream channel, delimited by two geodetically surveyed transverse cross sections, where when depicting the bank edges and the morphology of the stream channel the stream channel cross section capacity is either increased or decreased as a result of the subjectivity of the analyst.

The results have a positive impact on cost reduction, which is unarguably connected to the creation of a hypsography using geodetic surveying for compiling a hydrodynamic model. As costly geodetic surveying can be partially replaced by the synthesis of ALS data with hydrological survey data for the creation of hydrodynamic models, the necessity to conduct geodetic surveying is limited,

which is reflected in costs for compiling the hydrodynamic model.

During the analysis the question of whether small water courses should be deepened or not was addressed. The use of ALS data offers an answer, as it provides a quality description of the elevation of the area, not only for mapping flood risks on large water courses, but it can also be used for determining the flood zones of small water courses with flow in small depths, where it is not necessary to combine with geodetic surveying or combine ALS data with data from hydrological survey data. In such cases the laser beam is reflected from the bottom of the stream channel, or during the creation of a DTM the level of the bank compared to the bottom represents such a low value that it is negligible for the purpose of modeling (Novák et al., 2011). However one question remains and that is how to appropriately select and include water courses in a category where it is necessary to deepen the channel or in a category where using ALS data is enough.

Data from ALS offer special elevation data for the Czech Republic (Roub et al., 2011) which can reflect local depth depressions in the form of roadside ditches or inflow areas in the form of road crossings from the perspective of potential anti-flood protection in built-up areas. The generated depth raster with a selected 30 cm grid can describe the morphology of the terrain of the study area quite well, which offers up an above average idea of the area of the flood zone according to various flood scenarios. All of these things are positive benefits for the analysis and mapping of flood risks as crucial background information for preventive flood protection.

However, it was shown that a limiting factor during calculation was the volume capacity of data reaching up to several GB (depending upon the layer of reclassification), which had a negative impact on data analysis. For creating risk analyses of complex river systems and assuming data volumes of several hundred GB, this fact will have to be adjusted to the technical and IT capacity. There is also the consideration about how to appropriately reduce TIN use so that data volume is not reduced at the expense of recorded terrain morphology, thus leading to a loss in accuracy and certainty in flood models.

The quantitative hydrological monitoring network, with hydrological surveying stations mainly on significant water courses, offers the potential to be used for the creation of a final DTM. The com-

plexity of using hydrological data however in this case causes problems with covering water courses for which hydrological surveys are not available, yet are borderline cases of water courses that need to be deepened or not.

The described procedure, once in the process of being generalized, will also require the quantification of the uncertainty of input variables in order to determine their influence on the uncertainty of derived stream channel depth. This uncertainty primarily deals with determining the slope of the surface, the width of stream channel at the surface, the shape of the stream channel, maximum flow rate during laser scanning, and determining the roughness of the stream channel. Partial sensitivity analyses were conducted in order to quantify the uncertainty of each input variable and their impact on the reliability of determining the sought after stream channel depth. The results of the sensitivity analyses for the described input variables indicate that the described method is sufficiently subtle for application during flood scenarios. Conducting detailed sensitivity analysis for all input variables should be the subject of further study. In this case geodetic data was used to verify the model.

## 6. Conclusion

This method of creating hydrodynamic model geometry meets the required values for validity as a result of its combination of information on the value of determined flow rate at the time of elevation data acquisition using ALS with ALS data. The required accuracy was achieved using GIS tools, and could not have been achieved using other existing methods or materials. If the established elevation error of 0.18 m is adhered to using ALS, then this procedure will be significantly sped up and the costs of predicting the extent of the flood zones will be reduced. In the watersheds of important water courses whose cross sections have been surveyed this method will undoubtedly be advantageous. The accuracy of the described manner of creating the geometry for hydrodynamic models is dependent on the established elevation error of 0.18 m. With the development of technology for scanning the surface of the Earth, this margin of error will subsequently drop. In addition the accuracy of this manner of geometry creation will also be increased along with the possibility of wider practical use.

The acquisition of partial data is relatively clear and accurate, which predetermines reaching appropriate results for final water course geometry for

the needs of hydrodynamic modeling. In order to generalize this approach however, in the future it will be necessary to conduct the above mentioned detailed sensitivity analysis of the quantification of the uncertainties of input variables.

Another positive are the findings that data from the new elevation mapping of the entire territory of the Czech Republic using ALS provide requested background data for flood analysis, either in combination with water course stream channel geodetic surveying (Novák, et al. 2011), with the use of hydrological surveying for reducing flow rate in model scenarios (Roub et al. 2012), or with the possibility of additional water course channel deepening in the DTM using ALS data in combination with hydrological surveying data. At the same time another definite benefit is that newly acquired elevation data has found an application for being used for dealing with water management issues, and in other fields where knowledge about the vertical division of the land is decisive.

Hydrological data leading to the deepening of the DTM from ALS data provide the ability to create a hydrodynamic model for which all hydraulic conditions will be met and output from which will be able to be used for creating flood danger and flood risk maps or for related risk analysis without the necessity of further simplifying the model, as is necessary for example for modeling flood scenarios with lowered flow rate.

The newly obtained hypsography data will be used as a complex background for solving problems requiring knowledge about vertical segmentation of the landscape in water management and many other fields.

The method described for the automatic creation of water course geometry using ALS in combination with information about current flow rates in each water course is slightly applicable outside of the Czech Republic in relation to the use of laser scanning in the world. Large scanned areas, for example in Bavaria, France, etc. where scanning has been conducted using much greater point density per m<sup>2</sup> than in the entire Czech Republic, present a base for the claim that the synthesis method could become important in science in the world.

Further research will be focused on determining marginal conditions for which it is still necessary to deepen the DTM or to use a DTM created only from ALS data. Possibilities for greater variability in predetermining stream channel cross sections (widening and multiple cross sections, etc.) will also be studied. For wider application in the future



it will also be necessary to take into consideration the identification of transverse objects (weirs, locks, etc.). The identification of transverse objects in water courses using ALS has already been studied by the authors, and it seems that the localization of objects should be problem-free, which is supported by other authors (Uhlířová, Zbořil, 2009). Nonetheless for creating correct water course geometry for water courses containing objects, it is necessary to suitably define conditions for their inclusion.

*Acknowledgements.* This article was written using data from aerial laser scanning, which was provided by the Land Survey Office's office in Pardubice and from geodetic survey data from the Povodí Labe, s.p. water authority in Hradec Králové.

This contribution was supported by the Research Programmes of the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, No. MZE 0002704902 and by the Project No. TA02020139 of the Technology Agency of the Czech Republic.

#### REFERENCES

- ARCDATA PRAHA, 2001: Seznamte se s ARCGIS, uživatelská příručka.
- BRÁZDIL K., 2009: Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, 55, (97), č. 7, 145–151.
- BRÁZDIL a kol.: Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. Generace. Zeměměřický úřad, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, říjen 2010.
- DOLANSKÝ T., 2004: Lidary a letecké laserové skenování. Acta Universitatis Purkynianae, 99, Studia geoinformatica, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, ISBN 80-7044-575-0.
- COBBY D. M., MASON D. C., DAVENPORT I. J., 2001: Image processing of airborne scanning laser altimetry data for improved river flood modeling. ISPRS J. Photogrammetry & Remote Sens., 56, 121–138.
- ČEJP J., DUCHAN D., 2008: Využití ArcGIS 9.x pro řešení úloh 2D proudění vody o malé hloubce. Juniorstav, Vodní hospodářství a vodní stavby.
- DRBAL K. a kol., 2009: Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Ministerstvo životního prostředí, 87 s.
- DUŠÁNEK P., 2008: Tvorba digitálních modelů z dat leteckého laserového skenování a jeho využití pro aktualizaci výškopisu ZABAGED. Diplomová práce – Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze.
- DUŠÁNEK P., 2010: Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. In workshop září 2010.
- 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. J. Hydrol., 300, 212–233.
- GIANNONI F., SMITH J.A., ZHANG YU and ROTH G., 2003: Hydrologic modeling of extreme floods using radar rainfall estimates. Advances in Wat. Resour., 26, 2, pp. 195–203.
- 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.
- HLADNÝ J., 2002: Meteorologické a hydrologické syndromy povodňové situace v srpnu 2002. In Workshop Extrémní hydrologické jevy v povodích. Praha, ČVUT, ČVHS, 12. 11. 2002, s. 13–26. ISBN 80-01-02686-8.
- HORRITT M. S., BATES P. D., 2002: Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. J. Hydrol., 268, 87–99.
- HRÁDEK F., SOBOTA J., 1999: Prognózy maximálních průtoků v nepozorovaných profilech povodí drobných vodních toků. In Workshop Extrémní hydrologické jevy v povodích. Praha, ČVUT, ČVHS, 25. 10. 1999, s. 82–85. ISBN 80-01-02072-X.
- 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., MAIDMEND. R., GOFF J. A., 2006: Anisotropic considerations while interpolating river channel bathymetry. J. Hydrol., 331, 731–741.
- NOVÁK P., ROUB R., HEJDUK T., 2011: Využití hydrologického měření při tvorbě hydrodynamických modelů z dat leteckého laserového skenování. Vod. Hospodář., 61, 8, 297–302.
- PLATE E. J., 2002: Flood risk and flood management. J. Hydrol., 267, pp. 2–11.
- Program kvantitativního monitoringu povrchových vod v ČR, Úsek hydrologie, Český hydrometeorologický ústav, Praha, 2007.
- RAMSANKARAN R., MAERKER CH., MALCHEREK A., 2010: Numerical modelling of hydrodynamics and sediment transport processes during storm events in a non-perennial river. J. Hydrol. Hydromech., 58, 1, 36–48.
- 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, 58/100, 1.
- UHLÍŘOVÁ K., ZBOŘIL A., 2009: Možnosti využití Laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. Vod. Hospodář., 59, 12, 11–15, ISSN 1211-0760.
- VALENTOVÁ J., VALENTA P., WEYSKRABOVÁ L., 2010: Assessing the retention capacity of a floodplain using a 2D numerical model. J. Hydrol. Hydromech., 58, 4, 221–232.
- Metodický pokyn (28181/2005-16000) k zadávání fotogrammetrických činností pro potřeby vymezení záplavových území v souvislosti s aplikací ustanovení § 66 odst. 1 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a vyhlášky č. 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území.

Received November 3, 2011  
Accepted March 13, 2012

8

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. (15 %)

# AN INTEGRATED APPROACH FOR MANAGEMENT OF AGRICULTURAL NON-POINT POLLUTION SOURCES IN THE CZECH REPUBLIC

PAVEL NOVÁK<sup>1,2</sup>, PETR FUČÍK<sup>1,2</sup>, IVAN NOVOTNÝ<sup>1</sup>,  
TOMÁŠ HEJDUK<sup>1,2</sup>, DANIEL ŽÍŽALA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research Institute for Soil and Water Conservation

<sup>2</sup>Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Environmental Sciences

## ABSTRACT

We report a new, integrated approach to the identification and localization of potential critical areas of non-point agricultural water pollution in the Czech Republic. The methodology is presented in model catchments of IV. order, namely the Hrejkovický and Bilinský brooks in the water reservoir Orlik watershed. The risk rate of non-point source pollution is evaluated with the help of GIS tools, integrating the assessment of geomorphology, land use and soil conditions within a territory in conjunction with the agricultural tile drainage systems. Besides the areas prone to erosion and 'direct protection localities' along water courses, spots with increased potential of nutrient leaching into groundwater and drainage water are delineated, based on a synthetic map of shallow groundwater vulnerability. These spots are classified using analysis of the Valuated Soil Ecological Units (VSEU) code, while agricultural drainage systems are identified according to the documents of the former Agricultural Water Management Authority of the Czech Republic. Results from geographical analysis show differences between intrinsic parameters of model catchments, which influence the vulnerability potential towards diverse types of non point pollution. The potential pollution threat of surface and groundwater by leaching is relatively high in both catchments, in the Bilinský brook catchment due to prevailing arable land on first and second vulnerability classes within the tile drainage subcatchments and in the Hrejkovický brook catchment due to dense occurrence of first and second vulnerable classes in the catchment area, though comprised from a third by grassland. Water erosion potential jeopardy is bigger within the Bilinský brook catchment with 10% of arable land having the average soil loss  $4-10 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ , contrary to 2% within the Hrejkovický brook catchment. Presented approach can help in prioritizing protective measures and management strategies in a catchment to curtail the negative impacts of non point agricultural pollution in water bodies and in the whole environment.

**Key words:** water vulnerability, infiltration areas, tile drainage, erosion, non-point pollution sources, GIS

## 1. Introduction

The quality of surface and groundwater is significantly influenced by pollution from point sources (settlements, waste-water treatment plants, fish ponds and industrial or agricultural works) and also by non-point pollution sources from prevalingly agricultural activities, causing elevated leaching of nutrients into waters and increased erosion (Macleod et al. 2007). The significance of non-point pollution sources will probably grow with continually decreasing pollution from the point sources (Haygarth and Jarvis 2002; Langhammer et al. 2009). Its contribution is important especially in the case of nitrogen and phosphorus, varying in the regions of the Czech Republic according to the land use, farming intensity and methods, morphological and hydrological characteristics of the territory, and the level of atmospheric deposition. While assessing the contribution of individual pollution types by evaluating the solute loads based on the data acquired by non-continuous monitoring approaches, however, the amounts of phosphorus fractions, originating from erosion or re-suspension of e.g. stream bed sediments, as well as for nitrogen compounds, which are not detectable by point monitoring of water with monthly (or fortnightly) periodicity, are probably strongly underestimated (Kronvang et al. 2005; Hejzlar et al. 2008, Fučík et al. 2010a).

The causality between land use in a catchment and quality of surface and ground water represents a principle documented by many authors (Haygarth and Jarvis 2002; Žížala et al. 2010) with larger or smaller impacts and differences, this principle is valid for various types and scales of catchments. The main factors influencing the nitrogen burden in waters, in conditions of the (not only) Czech Crystalline Complex, are the percentage of arable land within an area and the artificial drainage systems (Lexa et al. 2006; Fučík et al. 2008; Kvítek et al. 2009; Wade et al. 1998). Agricultural land drainage together with ploughing causes a general change in oxidation-reduction conditions in the soil profile; mineralization of organic nitrogen is accelerated and denitrification activity decreases. In contrast to permanent grasslands (further referred to as PGL), arable land lacks nitrogen-reducing vegetation, so that especially in winter and spring months nitrogen is leached into lower soil horizons, vadose zone, drainage and groundwater (Haberle et al. 2009; Kvítek and Doležal 2003).

Export of phosphorus compounds from non-point agricultural sources, occurring mainly through surface runoff, erosion processes and partly also via subsurface runoff, e.g. tile drainage (see e.g. Buczko et al. 2007; Deasy et al. 2008), is generally dependent on the slope gradients and their lengths in catchments, rainfall intensity, crop rotations, agronomical practices, soil types (namely soil

texture, soil profile depth) and their actual conditions (wetness, bypass flow) and on the percentage of arable land in a catchment as well (Ekholm et al. 2000; Kronvang et al. 2003; Janeček 2007).

In recent years, research in the Czech Republic and abroad has focused on the effects of fluctuating ratio of various runoff components on pollutant loads from non-point sources (e.g. Hermann et al. 2008; Tomer et al. 2010; Zajíček et al. 2011). The validity of the hypothesis postulating the dominant effect of land use in the 'source areas' on surface and shallow groundwater quality in the conditions of Czech Crystalline Complex (Doležal and Kvítek 2004), has been verified experimentally. So far, this hypothesis has only been validated for nitrates (Fučík et al. 2010b) and thermal regime of different drainage runoff components (Zajíček et al. 2011); however, the hypothesis may be applied more extensively, namely to the pollutant-transporting medium – water; to its behaviour in the soil and hydro-geologic environment of the unsaturated zone of the Crystalline Complex. While testing this hypothesis it has been found that the drainage systems situated in the soils with crystalline bedrock and built in slopes only rarely receive water infiltrated directly from rainfall or ground water accumulated under the drainage system (Zajíček et al. 2011). In such cases the drainage system is often connected to a distant spring effluent or a shallow aquifer supplied from a source located outside the drainage system itself (Kvítek and Doležal 2003). The total runoff of the Bohemio-Moravian Highlands consists in ca 40% of shallow interflow and in ca 30% of baseflow (Doležal and Kvítek 2004).

By 1990, more than 1,078,000 ha have been drained in the Czech Republic (Kulhavý et al. 2007). Investigation of non-point pollution sources was therefore focused on the drainage systems that could significantly contribute to the nutrient load of surface waters. The presence of drainage systems modifies the natural pathways of water circulation and runoff – depending on soil characteristics and morphological conditions of a locality, weather course and parameters of the drainage system, the drainage usually shortens water cycle and retention time in the soil-rock environment (Doležal et al. 2000). Due to the characteristic shallow pattern of water circulation in the Crystalline Complex, the morphologically higher situated localities are hydrologically connected with the drainage system and have essential impact on the formation of runoff and the quality of drainage water. The soils located in upper parts of the landscape are typically shallow with little sloping, and so prone to accelerated infiltration (Kvítek and Doležal 2003). It is therefore reasonable to expect that the landuse within the most vulnerable enclaves due to infiltration – critical source areas of the catchments – will significantly influence the

hydrology and hydrochemistry dynamics of tile drainage systems built on the territory of the Czech Crystalline Complex.

Although transformation processes of both major nutrients (nitrogen and phosphorus) occurring in agriculturally exploited land have been relatively well documented, it is difficult to predict and quantify the loss of nutrients from agricultural non-point pollution sources and precisely localize their origin. A number of studies have confirmed the validity of the method of identifying the 'critical source areas' in a catchment as an appropriate approach to the description of nutrient loss pathways. This principle has been recognized and used in various modifications worldwide (see e.g. Pionke et al. 2000; Heathwaite et al. 2005; Lyon et al. 2006; Srinivasan et al. 2005; Strobl et al. 2006).

There are several ways of perception and usage of the term „vulnerability“ across the scientific field, very often being addressed exclusively to vadose zone, aquifers or groundwater (Gogu et al. 2000) or to a whole environment, as a result of all factors which may mutually affect the dynamics of surface and groundwater quality in an area. The definition of the latter interpretation describes the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2001) as a function of exposure, sensitivity and adaptive capacity, where exposure means a system's degree of exposure to external impacts, sensitivity is the degree to which a system responds to external impacts and adaptive capacity is defined as “the degree to which adjustments in practices, processes, or structures can moderate or offset the potential for damage or take advantage of opportunities created by a given change in climate” (IPCC 2001). In this study, vulnerability is considered as a fusion of exposure and sensitivity, being expressed in a qualitative (shallow groundwater vulnerability and direct protection) and quantitative (erosion) conception.

The main goal of this work is to document the methodology of defining the three types of critical source areas on the example of two closely situated, but different catchments of the Water Reservoir Orlík, with the purpose to reduce the nutrient leaching into surface and groundwaters.

## 2. Study area

The model catchments of the Hrejkovický and Bilinský brooks in the watershed area of Water Reservoir Orlík (Fig. 1) were selected as both best representing and distinctive the land cover species and built tile drainage systems. Both the catchments also contained monitoring objects (profiles).

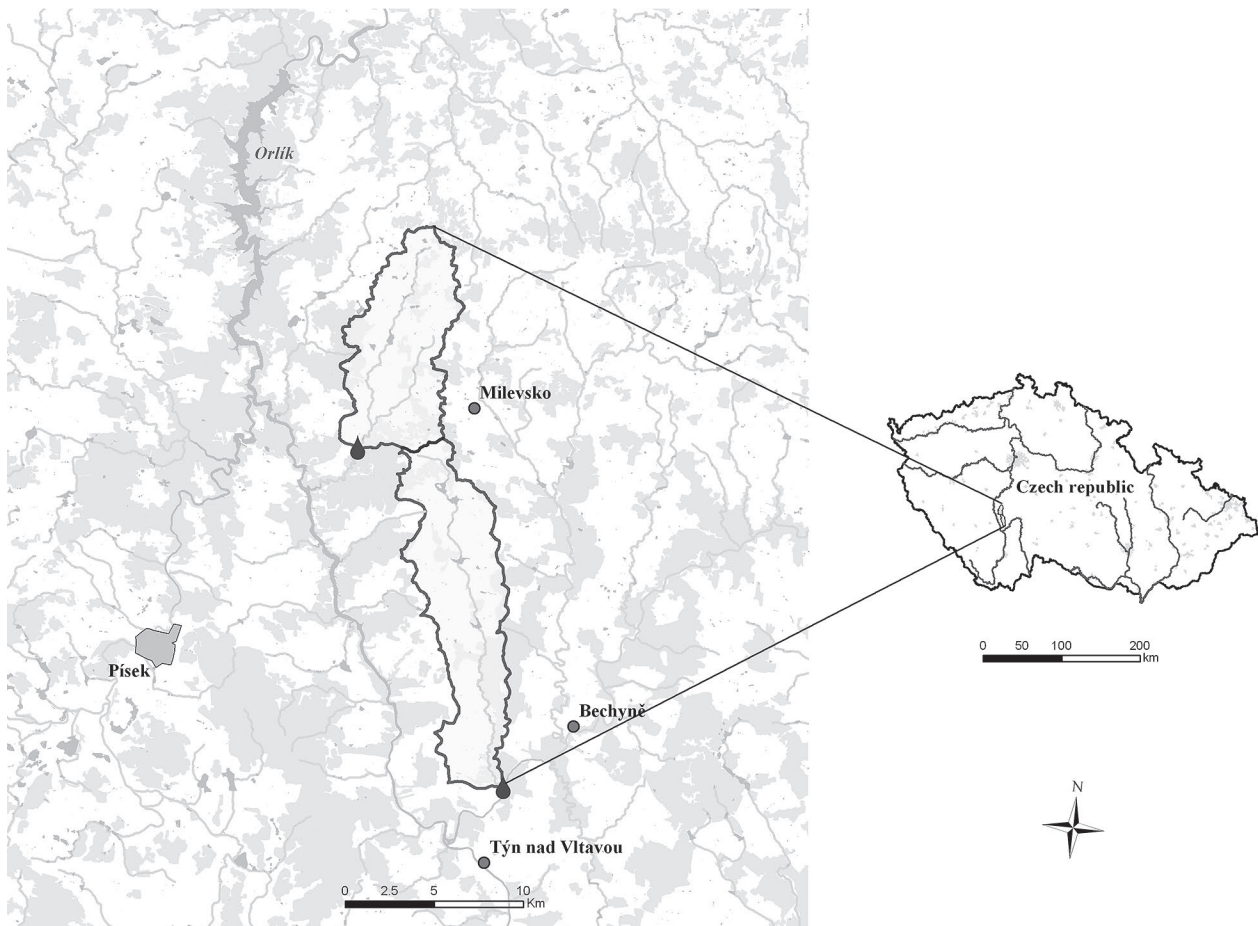


Fig. 1 Study area

### Hrejkovický Brook

Profile number 211 008

Catchment area – 58.21 km<sup>2</sup>

Slope: average – 3.63°  
maximum – 28.43°

Altitude: minimum – 420.30 m a.s.l.  
maximum – 608.32 m a.s.l.

The dominant evaluated soil types were mesobasic and eubasic modal Cambisols on coarse weathered rocks (30.33%), weakly gleyic Regosols and Cambisols (24.16%), and brown Gleysols (16.85%).

Hydrogeological region – Crystalline complex in the catchment of the central Vltava River

By its geomorphologic distribution, the southern part of the catchment belongs to the Milevsko Hills and its northern part to the Kovářov Uplands. The Milevsko Hills display broken topography, sitting mostly on granitoids of the Central Bohemian Pluton, with articulated erosion-denudation relief broken by structural ridges and monadnocks. The Kovářov Uplands are flat uplands sitting on granitoids of the Central Bohemian Pluton with articulated erosion-denudation relief.

The brook is a right-hand affluent of the Vltava River.

Of demographic importance in this catchment is the Hrejkovice municipality with 465 inhabitants.

### Bilinský Brook

Profile number 211 064 (211 063)

Catchment area – 71.46 km<sup>2</sup> (211 064)

Slope: average – 2.97°  
maximum – 40.15°

Altitude: minimum – 379.41 m a.s.l.  
maximum – 570 m a.s.l.

The dominant soil types were arenic, weakly gleyic Regosols and Cambisols (23.33%), modal eubasic to mesobasic Cambisols, medium-textured (14.58%), and modal Luvic Pseudogleys and gleyic Cambisols (12.91%).

Hydrogeological region – Crystalline complex in the catchment of the central Vltava River

By its geomorphologic distribution, the catchment belongs to the Bechyně Hills, represented by an erosion-denudation relief disturbed by faults in the N-S direction, with structural monadnocks displaying remnants of tabulated surfaces and deeply cut valleys.

The brook is a right-hand affluent of the Lužnice River.

Sources of geographical data used in this work:

– Valuated Soil Ecological Units (VSEU) – graphical and numerical database of soil data in original mapping scale 1 : 5000; these data were originally intended for soil pricing

- Land Parcel Identification System (LPIS)
- CORINE Land Cover
- Digital Elevation Model (DEM 10 × 10 m)
- Digital Base of Water Management Data (DIBAVOD)
- Principal Base of Geographic Data 1 : 10,000 (ZABAGED)
- Synthetic map of ground water vulnerability (Novák et al. 2010)

As an additional source we used information of the drainage systems placement from the mapping documentation of the former Agricultural Water Management Authority of the Czech Republic scaled 1: 10,000 on the Basic Map of the Czech Republic.

### 3. Methods

Critical source areas of non-point agricultural pollution are generally represented by agricultural land enclaves with high potential risk associated with fast export of nutrients and pollutants or soil particles (Pionke et al. 1996). In our work, the critical source areas were classified using three criteria. First, they represent source areas of increased potential leaching of pollutants into drainage and groundwaters, determined according to the vulnerability of ground water with shallow circulation (Janglová et al. 2003; Novák et al. 2010); second, they represent areas prone to erosion defined by the USLE method (Wischmaier-Smith 1978) in combination with DEM analysis; and third, they are defined as direct protection localities of water courses, represented by districts closely associated with the embankment zones of water courses. The classification of critical source areas of non-point agricultural pollution was done in the ARC GIS environment.

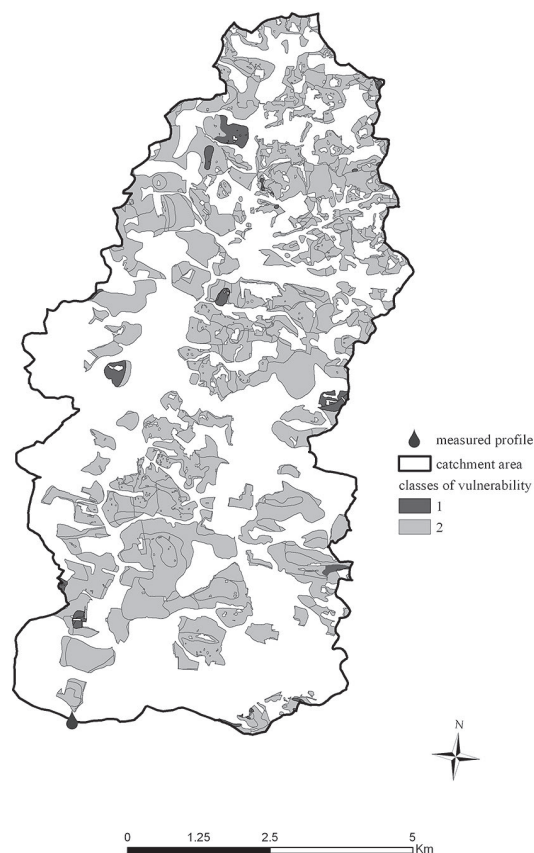
The initial analysis of LULC (Land Use Land Cover) development was done using the CORINE Land Cover data layer, recording the representation of land cover species in the model catchments in 1990, 2000, and 2006. The classification system assigns individual categories to the land type groups (211 – non-irrigated arable land, 231 – meadows and pastures, 243 – agricultural areas with natural vegetation, 312 – coniferous forests). The impact of LULC on the quality of surface water is reflected mainly in the proportion of arable land and PGL in the total area of agricultural land. Due to the 1 : 200,000 scale of the background source, the classification of some land types into categories in this background suffers a certain extent of bias and ambiguity (Hanzlová et al. 2007).

A more detailed LULC background is provided by the LPIS 2010 system (colour appendix Figs IV–V) operated by the Czech Ministry of Agriculture. This is a system of graphic records of farming sections based on cadastral records, with links to complex information including data on the land type (culture). This material keeps records of only registered land users receiving various fundings within the

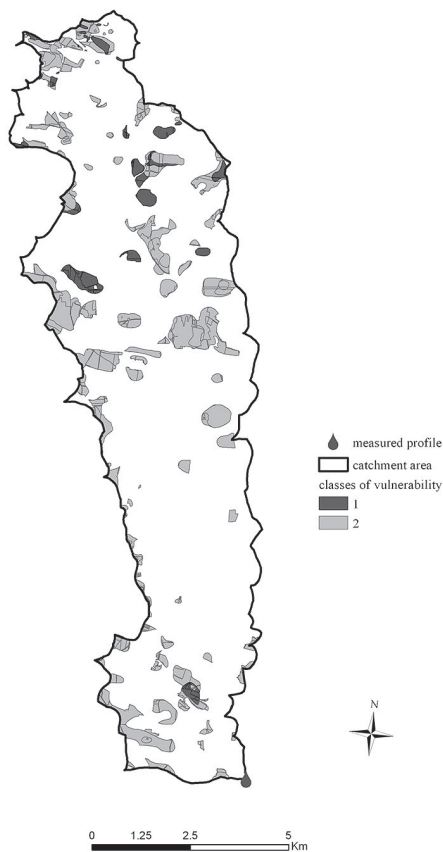
State agricultural policy, so that the system leaves uncovered areas. It is the faithful representation of the current situation of agricultural land fund containing information on the allocation of agricultural State funding. The only disadvantage of its use is the difficulty of obtaining retrospective data. Data are distributed in the \*.shp format.

#### 3.1 Definition of shallow groundwater vulnerability

The layer of shallow groundwater vulnerability was generated using an analysis of VSEU codes. The graphical and numerical VSEU database is unique by the precision of its processed data scale – 1 : 5000 (Mašát et al. 2001). To assess the infiltration process we used the last four code digits – main land unit, slope, exposure, skeleton content and soil depth, which were classified into categories 1–5 (category 1 = highest infiltration capacity, 5 = lowest infiltration capacity). The individual code elements were then assigned weights expressing the significance of particular criteria for the infiltration process. Multiplication of category values by weight of the criterion and their mutual addition gave five categories of vulnerability in relation to the potential infiltration of precipitation water into the soil and rock environment (Figs 2–3), where categories 1 and 5 express the maximum and the minimum infiltration rates, respectively (Janglová et al. 2003). The method is protected by Utility Model No. 20352 registered with the Office of Industrial Property of the Czech Republic.

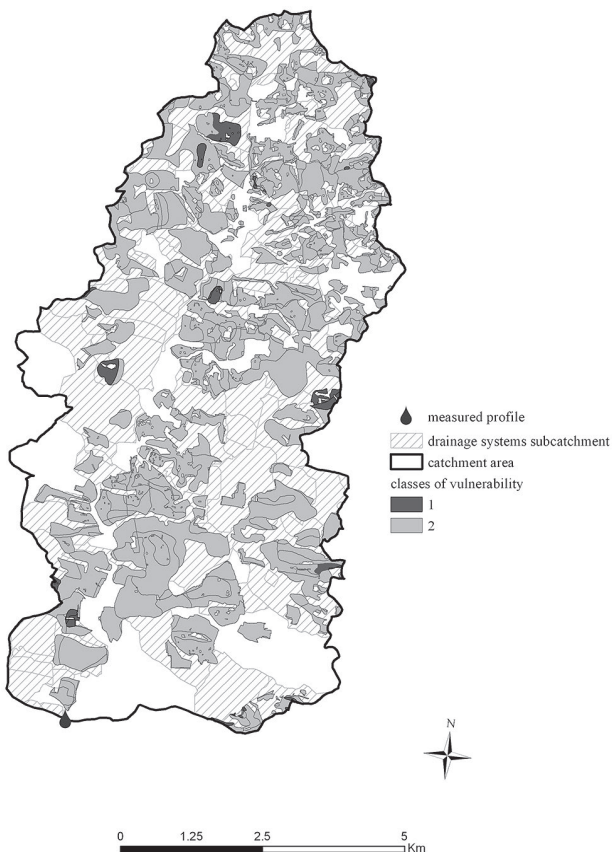


**Fig. 2** Categorization of shallow groundwater vulnerability (Hrejkovický brook)

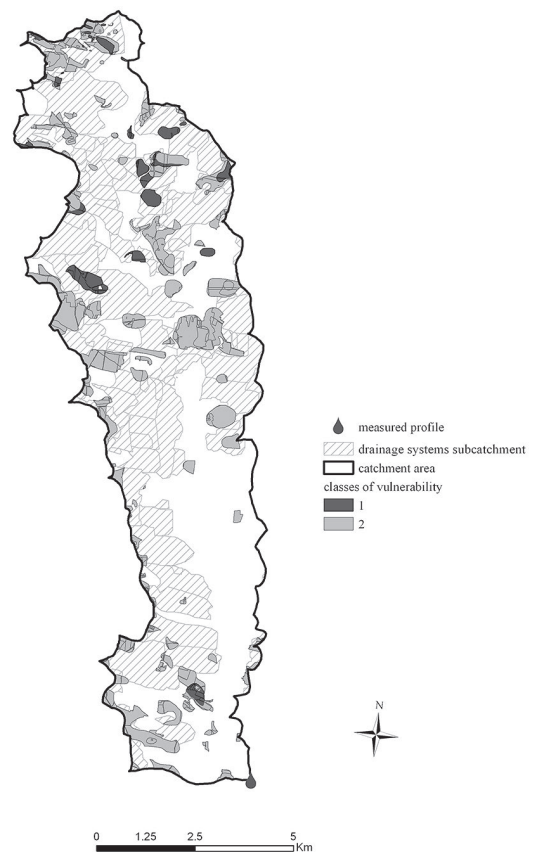


**Fig. 3** Categorization of shallow groundwater vulnerability (Bilinský brook)

To obtain information about hydrological connectivity between the enclaves with different vulnerability levels of shallow groundwater and the agricultural drainage systems we used the GIS layer of the former Agricultural Water Management Authority of the Czech Republic with locations of the built drainage systems scaled 1 : 10,000, to which we generated subcatchments taking into account the local soil conditions and morphology using DEM. In the ARC GIS environment we then intersected the vulnerability categories 1 and 2 with these subcatchments and subsequently delineated the areas most vulnerable to leaching of risk compounds into shallow groundwater (Figs 4–5).



**Fig. 4** Drainage systems subcatchment (Hrejkovický brook)



**Fig. 5** Drainage systems subcatchment (Bilinský brook)

### 3.2 Definition of vulnerability to erosion

Selection of the risky localities due to erosion was done based on the long-term average soil loss using the Universal Soil Loss Equation, USLE (Wischmeier et al. 1978).

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

G = Computed soil loss per unit area  
(t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>)

R = Rainfall factor

K = Soil erodibility factor

L = Slope length factor

S = Slope gradient factor

C = Cropping management factor

P = Erosion control management factor

The map of long-term average soil loss is presented as a raster layer with 10 m pixel resolution, containing the computed values of long-term soil loss per unit area (Novotný et al. 2010).

The erosive effect of a rain is determined by qualitative characteristics of the rainfall (kinetic energy, intensity, or their combination). For computing we used the recommended average value for the Czech Republic  $R = 20 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ cm h}^{-1}$  (Janeček et al. 2007).

The soil erodibility factor represents the vulnerability of soil to erosion, i.e. the ability of soil to resist the erosive factors (precipitation, surface runoff). For computing we used the VSEU data scaled 1 : 5000, which were assigned updated values of K factor (Vopravil 2006).

To determine the LS factor we used GIS tools, establishing the LS factor separately for each square of the raster digital terrain model (DTM). The uninterrupted slope length was substituted with the runoff source area in square meters (micro-catchment) established separately for each land point (DTM square) (Desmet et al. 1996). The input data for computing were digital terrain model at the resolution corresponding to the scale and the layer of land use. These data serve to determine the slope and the area of a subcatchment substituting the length of runoff pathways. The S factor value is established for each point separately based on its local slope according to McCool approach (1987, 1989).

The cropping management factor (C) was defined based on the climate regions (Kadlec, Toman 2002).

The value of P was set 1, expressing the absence of any erosion-protective measures. Identification of land vulnerable to erosion was done by overlaying the map of long-term average soil loss with the LPIS database and selection of the areas with above-limit erosion (over 4 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) in general conditions. In this way the land is assessed in relation to the long-term average soil loss – according to its area, slope gradient, morphology (convergence of surface runoff), local precipitation effect, soil characteristics, and protective cover effect (colour appendix Figs VI–VII). For selected soil sections we identified the relevant landowner plots.

When applying the methodology for selecting vulnerable areas relevant to protection of drinking water sources these limits are stricter, and the values of 0.5–2 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> were considered as safe soil loss depending on the catchment characteristics (Janeček et al. 2007).

### 3.3 Definition of vulnerability from the aspect of direct protection

The areas for ‘water course direct protection’ are defined using generated soil representatives typical for alluvial localities, predominantly the Fluvisol soil group. Genetically, this soil group just corresponds to the area of recent floodplains, i.e. long-term and repeatedly waterlogged areas (Němeček et al. 2001). Sections of this vulnerability group are defined in more detail using the DEM data. The resulting information layer provides sufficient data to establish inundations, as ‘direct protection localities of water courses’ from the aspect of the water protection integrated system. In the flood plains, if not represented by natural floodplain forest, the proposed measures in the form of grassing or forestation must be strictly observed (including appropriate management) because of potential intensive leaching of risk compounds associated with fluctuations of groundwater level or presence of surface runoff (Kvítek et al. 2009). Flood plains are defined by the law as important landscape elements (Act No. 114/1992 of the Collection of Czech Laws).

### 3.4 Integrated approach to the definition of critical source areas

Combination of the three types of critical source areas defined in sections 3.1., 3.2., and 3.3. enables identification and global delineation of all potential source localities of non-point agricultural pollution. Their subsequent association with the LULC layer provides a current survey of the use of areas with potential non-point agricultural pollution in the territory of interest. The priority in this system poses an application of targeted grassing.

## 4. Results

Using the ArcGIS 10 software we evaluated the land use based on the CORINE layers and LPIS 2010 system. The investigated catchments were categorized according to CORINE classification in all stages of data processing (1990, 2000, 2006). Analysis of representation of the individual CORINE classes in the agricultural land fund (further referred to as ALF) in the particular years of data processing shows that both investigated catchments undergo gradual reduction of arable land proportion at the expense of PGL, and that in the Hrejkovický brook catchment the growth of PGL is more pronounced compared to the Bilinský brook, which shows a slower increase (Table 1).



**Tab. 1** Development of arable land vs. PGL ratio in the catchments – CORINE

Hrejkovický brook [%]					Bilinský brook [%]									
CORINE	Profile No.	arable			PGL	Profile No.	arable			PGL	Profile No.	arable		
		211	231	243			211	231	243			211	231	243
1990	211 008	57.02	1.22	16.60	211 063	69.34	0.85	2.09	211 064	68.64	0.99	3.27		
2000	211 008	53.85	4.39	16.60	211 063	69.34	0.85	2.09	211 064	68.52	1.10	3.27		
2006	211 008	50.09	10.59	13.67	211 063	65.59	2.21	3.64	211 064	65.33	1.90	4.80		

#### 4.1 Assessment of shallow groundwater vulnerability

The proportions of arable land and PGL were analysed within the shallow groundwater vulnerability classes 1, 2 according to the LPIS and CORINE classifications, see Tables 2 and 3. LPIS data showed the proportions of arable land and PGL to be 49.5% and 33%, respectively. CORINE classification showed the following ratios in the Hrejkovický brook catchment: in 1990, the proportion of arable land was 73.97% vs. 21.36% PGL, in 2000 the ratio changed to 69.75% vs. 25.58% at the expense of PGL, and in 2006 the ratio was 65.27% vs. 30.35%, which around 9% decrease of ploughed land ratio compared to the initial situation. A similar analysis was performed for the Bilinský brook catchment, with the proportion of arable land 80.13% vs. 6.44% of PGL according to LPIS. More detailed analysis based on the CORINE classification did not bring such marked differences in these land proportions in the investigated years as in the Hrejkovický brook catchment, but the changes of landuse in vulnerability classes 1, 2 – from arable land to PGL – was also noticeable.

In the second phase of data processing, using the methodology for definition of shallow groundwater vulnerability, we performed an intersection of the areas with vulnerability classes 1, 2 with drainage system subcatchments to define the surfaces most vulnerable to leaching of risk compounds into surface and groundwater.

The analysis of vulnerability classes 1, 2 in drainage system subcatchments of the Hrejkovický brook shows that the vulnerability classes 1, 2 are present in the surface area of 18.89 km<sup>2</sup>, representing 56.92% of ALF. In contrast, the drainage system subcatchments of the Bilinský brook show the presence of these vulnerability classes only in the surface area of 8.16 km<sup>2</sup>, the percentage of vulnerability 1, 2 in ALF being 22.31% (Table 5).

We also analysed the proportion of arable land and PGL in vulnerability classes 1, 2 according to LPIS classification (Table 5). In drainage system subcatchments of the Hrejkovický brook we found the proportion of arable land and PGL to be 57.84% vs. 28.56%. A similar analysis was performed for the drainage system subcatchments of the Bilinský brook, showing that the proportion of arable land vs. PGL according to LPIS is 83.68% vs. 6.63%.

**Tab. 2** Proportions of arable land and PGL within groundwater vulnerability classes 1, 2 (LPIS 2010)

LPIS				
Stream name	Profile No.	% vulnerability in ALF	Ratio arable x PGL [%]	
			arable	PGL
Hrejkovický brook	211 008	57.44	49.50	33.07
Bilinský brook	219 063	21.97	79.76	6.52
Bilinský brook	219 064	22.01	80.13	6.44

**Tab. 3** Development of arable land and PGL ratios in groundwater vulnerability classes 1, 2 (CORINE)

Hrejkovický brook 211 - 008			Bilinský brook 219 - 063		Bilinský brook 219 - 064	
CORINE processing	Ratio arable x PGL [%]		Ratio arable x PGL [%]		Ratio arable x PGL [%]	
	arable	PGL	arable	PGL	arable	PGL
1990	73.97	21.36	94.97	0.59	94.16	0.78
2000	69.75	25.58	94.97	0.59	93.96	0.98
2006	65.27	30.35	91.34	3.86	90.95	3.66

**Tab. 4** Area of drainage system subcatchments and the area of ALF in drainage system subcatchments

Stream name	Profile No.	Subcatchment area [ha]	ALF in subcatchment [ha]	% ALF in subcatchment
Hrejkovický brook	211 008	4139.67	3319.40	80.19
Bilinský brook	219 063	3629.20	3152.27	86.86
Bilinský brook	219 064	4153.08	3661.03	88.15

**Tab. 5** Proportion of groundwater vulnerability classes 1, 2 on arable land and PGL (LPIS 2010) within drainage system subcatchments

LPIS				
Stream name	Profile No.	% vulnerability in ALF	Ratio arable x PGL [%]	
			arable	PGL
Hrejkovický brook	211 008	56.92	57.84	28.56
Bilinský brook	219 063	22.91	83.46	6.89
Bilinský brook	219 064	22.31	83.68	6.63

#### 4.2 Assessment of land vulnerability to water erosion

The assessment of land vulnerability to water erosion based on computing the acceptable soil loss by water erosion brought different results for the investigated catchments (Table 6). While in the Hrejkovický brook catchment the situation corresponded with the results of slope gradient determination, and land plots with G value exceeding  $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  included only 2% of arable land, in the Bilinský brook catchment these land plots comprised 10% of arable land due to the higher length of uninterrupted slopes.

#### 4.3 Assessment of vulnerability related to direct protection

The results of direct protection analysis corresponded with the hydro-morphology of the investigated catchments. While in lateral profiles the Hrejkovický brook catchment shows features typical for flat catchments, and thus higher representation of floodplain soils, the Bilinský brook catchment is characterized by lower mean width of the catchment, reflected in lower proportion of floodplain soils in the catchment. The proportion of the floodplain soil group in the Hrejkovický brook catchment is 3.15% vs. 1.43% in the Bilinský brook catchment.

## 5. Discussion and Conclusions

The potential source areas of agricultural non-point pollution were defined by combining all the three described principles of delineating critical source areas, while subsequent association with the LULC layer led to determination of the current extent and distribution of the source areas of non-point agricultural pollution in the territory of interest.

Concerning the distribution of land use types, both catchments showed a high proportion of agricultural land, Hrejkovický brook with 72.76% and Bilinský brook with 74.25% (CORINE 2006). Detailed analysis based on LPIS revealed the current ratio of PGL vs. arable land to be 33.07% vs. 49.50% in the Hrejkovický brook catchment and PGL vs. arable land to be 6.44% vs. 80.13% in the Bilinský brook catchment (the remaining percentage excluding LPIS), while in the long-term perspective we can notice a reduction of arable land compared to PGL growth in both investigated catchments.

Assessment of shallow groundwater vulnerability brought very diverse results for the particular catchments, which is mainly due to the second criterion for vulnerable area definition, i.e. an interaction with drainage systems.

**Tab. 6** Percentage of classes of acceptable soil loss by erosion in individual types of land use

Acceptable soil loss – G – percentage [%]									
Hrejkovický brook 211-08				Bilinský brook 211-063			Bilinský brook 211-064		
G [t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> ]	Arable land	PGL	Soil sections total	Arable land	PGL	Soil sections total	Arable land	PGL	Soil sections total
Less than 1	59	98	73	50	99	59	45	97	54
1–2	27	1	17	26	1	21	24	1	20
2–4	12	1	9	18	0	15	20	1	16
4–10	2	0	1	6	0	5	10	1	9
Over 10	0	0	0	0	0	0	1	0	1

Much higher occurrence of tile drainage is found in the Hrejkovický brook catchment with 56.92% of ALF within drainage subcatchments being situated in first and second vulnerability classes, but only by about 58% covered by arable land. In comparison, the Bilinský brook catchment had the ratio of ALF within drainage subcatchments on first and second vulnerability classes 22.31 and 22.91%, respectively, used nearly by 84% as arable land.

Analysis of the potential soil loss due to erosion in Hrejkovický and Bilinský brook catchments corresponded to the slope characteristics and land use. The Bilinský brook catchment thus showed relatively high vulnerability to erosive effects namely in the lower part of the catchment, where as much as 10% of arable land was found in the interval 4–10 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Contrary to that, the Hrejkovický brook catchment may be characterized as significantly less threatened by erosion, in accord with its geographic characteristics.

The vulnerability associated with direct protection of water courses is defined according to the soil types in the immediate environment of the water courses. Its extent directly correlated with the morphology of alluvial location of these catchments. The direct protection should be implemented in 3.15% of the area of Hrejkovický brook catchment compared to 1.43% in the Bilinský brook catchment.

The described methodology serves for detailed definition and delineation of individual types of critical source areas of non-point agricultural pollution in the particular catchment zones. It is an appropriate tool for proposing measures to reduce the proportion of non-point sources of surface and shallow groundwater pollution with nutrients and risk compounds. A great advantage is that protective measures can be proposed for the particular landowner plot. There is a range of various methods which deal with the assessment of potential of non point pollution sources in agricultural catchments of different scales. However, predominance of these approaches usually do not encompass all the possible runoff pathways and potential contaminants in a landscape; they either focus separately on leaching (nitrate) or on overland flow and erosion processes (suspended solids and phosphorus). The most widespread approach for evaluation of groundwater vulnerability is the DRASTIC model (Aller et al. 1987; Murray and Rogers 1999), even though a number of other techniques have been developed and used in this field (Civita 2010).

Compared to other approaches, the originality of presented method is provided by the precision of the used data, scaled 1 : 5000 for pedology data and the layer of production sections representing landowner plots integrated into higher units with uniform culture. The generally used scales for pedology data are in the range of 1 : 50–200,000.

This work was aimed to document the differences in results obtained by the used methodology for definition of the critical source areas at two closely situated catch-

ments with different natural conditions and land management. Our future efforts will be oriented towards collection of hydrological and water quality data for verifying the accuracy and applicability of the described approach using hydrology and nutrient balance, or optionally mathematical modelling in the field of hydrology and hydrochemistry in the territories of interest.

The presented methodology for defining the critical source areas of non-point agricultural pollution has been employed during designing of projects dealing with water protection, particularly in protection zones of water supply reservoirs, and by its complex approach is applicable to the large practice of natural resource preservation. The approach is further elaborated and modified in ongoing research projects.

## Acknowledgements

Supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, Projects No. MZE 0002704902 and the Projects No. QH82098, QI91C200.

## REFERENCES

- ALLER, L., BENNETT, T., LEHR, J. H., PETTY, R. J., HACKETT, G. (1987): A standardized system for evaluating ground water able water pollution potential using hydrogeologic settings. EPA-600/2-87-35. USEPA, Ada, OK.
- BU CZKO, U., KUCHENBUCH, R. O. (2007): Phosphorus indices as risk-assessment tools in the USA and Europe – a review. *J. Plant Nutr. Soil. Sci.*, vol. 170, 445–460.
- CIVITA, M. V. (2010): The Combined Approach When Assessing and Mapping Groundwater Vulnerability to Contamination. *J. Water Resource and Protection* 2010, 2, p. 14–28.
- DEASY, C., HEATHWAITE, A. L., BRAZIER, R. E. (2008): A field methodology for quantifying phosphorus transfer and delivery to streams in first order agricultural catchments. *Journal of Hydrology* 350 (3–4), 329–338.
- DESMET, P. J. J., GOVERS, G. (1996): A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS-factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51 (5), 427–433.
- DOLEŽAL, F., SOUKUP, M., KULHAVÝ Z. (2000): Poznámky k hydrologii drenážního odtoku. *Vědecké práce VUMOP*, 11, 5–27.
- DOLEŽAL, F., KVÍTEK, T. (2004): The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in peneplains of Central European highlands with regard to water quality generation processes. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C.* 29 (11–12), 775–785.
- EKHOLM, P., KALLIO, K., SALO, S., PIETILÄÈ INEN, O. P., REKOLAINEN, S., LAINE, Y., JOUKOLA, M. (2000): Relationships between catchment characteristics and nutrient concentrations in an agricultural river system. *Wat. Res.* 34 (15), 3709–3716.
- FUČÍK, P., KVÍTEK, T., LEXA, M., NOVÁK, P., BÍLKOVÁ, A. (2008): Assessing the Stream Water Quality Dynamics in Connection with Land Use in Agricultural Catchments of Different Scales. *Soil & Water Res.*, 3, 98–112.

- FUČÍK, P., KAPLICKÁ, M., ZAJÍČEK, A., KVÍTEK, T. (2010a): Vyhodnocení monitoringu jakosti vod v malém zemědělsko-lesním povodí: diskrétní a kontinuální přístup. *Vodní Hospodářství*, vol. 8., 213–217.
- FUČÍK, P., BYSTRICKÝ, V., DOLEŽAL, F., KVÍTEK, T., LECHNER, P., VÁCHAL, J., ŽLÁBEK, P. (2010b): Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků. *Certifikovaná Metodika. VÚMOP, v.v.i.*, 90 pp.
- GOGU, R. C., DASSARGUES, A. (2000): Current and future trends in groundwater vulnerability assessment. *Environ Geol* 39 (6), 549–559.
- HABERLE, J., KUSÁ, H., SVOBODA, P., KLÍR, J. (2009): The Changes of Soil Mineral Nitrogen Observed on Farms between Autumn and Spring and Modelled with a Simple Leaching Equation. *Soil & Water Res.*, 4, (4): 159–167.
- HANZLOVÁ, M., HORÁK, J., UNUCKA, J., HALOUNOVÁ, L., ŽÍDEK, D., HELLER, J. (2007): Klasifikace pokryvu území a jeho dopady na hodnocení srážko-odtokových poměrů. *Symposium GIS Ostrava 2007*, 14. ročník.
- HAYGARTH, P. M., JARVIS, S. C. (eds) (2002): *Agriculture, Hydrology and Water Quality*, 528 pp. CAB International.
- HEATHWAITE, A. L., QUINN, P. F., HEWETT, C. J. M. (2005): Modelling and managing critical source areas of diffuse pollution from agricultural land using flow connectivity simulation. *Journal of Hydrology*, 304, 446–461.
- HEJZLAR, J. et al. (2008): Fosfor jako hlavní příčina současného nepříznivého stavu eutrofizace a jakosti vody v nádrži Orlick. In: *Revitalizace Orlické nádrže. Odborný seminář. 6. října 2008, KD Písek. Sborník příspěvků.*
- HERRMANN, A., DUNCKER, D. (2008): Runoff Formation in a Tile-drained Agricultural Basin of the Harz Mountain Foreland, Northern Germany. *Soil & Water Res.*, 3, 83–97.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): *Climate Change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability, Contribution of working group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press.
- JANEČEK, M. et al. (2007): *Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika VÚMOP, v.v.i. Praha*, 76 pp.
- JANGLOVÁ, R., KVÍTEK, T., NOVÁK, P. (2003): Kategorizace infiltrační kapacity půd na základě geoinformatického zpracování dat půdních průzkumů. In *Soil and Water 2/2003 Scientific studies*, pp. 61–81. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha.
- KADLEC, M., TOMAN, F. (2002): Závislost faktoru protierozní účinnosti vegetačního pokryvu C na klimatickém regionu. In: *Bioklima – Prostředí – Hospodářství*, 544–550.
- KRONVANG, B. et al. (2005): *Catchment Report: Zelvka, Czech Republic. Trend Analysis, Retention and Source Apportionment. Euroharp report 17 – 2005, NIVA report SNO 5086-2005, Oslo, Norway*, 23 pp.
- KRONVANG, B., BENCHMANN, M., PEDERSEN, M. L., FLYNN, N. (2003): Phosphorus dynamics and export in streams draining micro-catchments: Development of empirical models. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 166, 469–474.
- KULHAVÝ, Z., SOUKUP, M., DOLEŽAL, F., ČMELÍK, M. (2007): *Zemědělské odvodnění drenáží – Racionalizace využívání, údržby a oprav. Metodika. VÚMOP v.v.i., Pardubice.*
- KVÍTEK, T., DOLEŽAL, F. (2003): Vodní a živinný režim povodí Kopaninského toku na Českomoravské vrchovině. *Acta Hydrologica Slovaca*, vol. 4 (2), 255–264.
- KVÍTEK, T., ŽLÁBEK, P., BYSTRICKÝ, V., FUČÍK, P., LEXA, M., GERGEL, J., NOVÁK, P., ONDR, P. (2009): Changes of nitrate concentrations in surface waters influenced by land use in the crystalline complex of the Czech Republic. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34 (8–9), 541–551.
- LANGHAMMER, J., KLIMENT, Z. (2009): Water quality changes in selected rural catchments in the Czech republic. *Ekologia Bratislava*, 28 (3), 312–322.
- LEXA, M. (2006): *Vyhodnocení koncentrací dusičnanů v drobných tocích povodí Želivky a analýza povodí těchto toků. Kandidátská disertační práce, Př.F UK Praha*, 175 pp.
- LYON, S. W., MCHALE, M. R., WALTER, T. M., STEENHUIS, T. (2006): The impact of runoff generation mechanisms on the location of critical source areas. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, June 2006, 793–804.
- MACLEOD, C. J. A., SCHOLEFIELD, D., HAYGARTH, P. M. (2007): Integration for sustainable catchment management. *Science of the Total Environment* 373, 591–602.
- MAŠÁT, K., NĚMEČEK, J., TOMIŠKA, Z. (2002): *Metodika vymezení a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek. 3. vyd. Praha: VÚMOP Praha*, 113 pp.
- MC COOL, D. K., BROWN, L. C., FOSTER, G. R., MUTCHLER, C. K., MEYER, L. D. (1987): Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. *Transactions of the ASAE* 30, 1387–1396.
- MC COOL, D. K., FOSTER, G. R., MUTCHLER, C. K., MEYER, L. D. (1989): Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE* 32, 1571–1576.
- MURRAY, K. S., ROGERS, D. T. (1999): Groundwater vulnerability, brownfield redevelopment and land use planning. *J. Environ. Plann. Manage.* 42, 801–810.
- NĚMEČEK, J. et al. (2000): *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. 1. vyd. Praha: ČZU Praha spolu s VÚMOP Praha*, 78 pp.
- NOVÁK, P., DVOŘÁKOVÁ, E., MICHLIČEK, E., SLAVÍK, J., HARTLOVÁ, L. (2010): *Metodika konstrukce syntetických map potenciální zranitelnosti podzemních vod pro území České republiky. Geodetický a kartografický obzor. Ročník 56/98, vol. 9*, 189–193.
- NOVOTNÝ, I. et al. (2010): *Potenciální ohroženost zemědělské půdy vodní erozí – vyjádřená dlouhodobým průměrným smyvem půdy. Mapa dostupná z www: <http://ms.sowac-gis.cz/mapserv/dhtml\_eroze/>. VÚMOP v.v.i.*
- PIONKE, H. B., GBUREK, W. J., SHARPLEY, A. N. (2000): Critical source area controls on water quality in an agricultural watershed located in the Chesapeake Basin. *Ecological Engineering*, 14, 325–335.
- PIONKE, H. B., GBUREK, W. J., SHARPLEY, A. N., SCHNABEL, R. R. (1996): Flow and nutrient export patterns for an agricultural hill-land watershed. *Water Resources Research*, 32 1795–1804.
- SRINIVASAN, M. S., GÉRARD-MARCHANT, P., VEITH, T. L., GBUREK, W. J., STEENHUIS, T. S. (2005): Watershed Scale Modeling of Critical Source Areas of Runoff Generation and Phosphorus Transport. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 41 (2), 361–375.

- STROBL, R. O., ROBILARD, P. D., SHANNON, R. D., DAY, R. L., McDONNELL, A. J. (2006): A Water Quality Monitoring Network Design Methodology for the Selection of Critical Sampling Points: PART I. Environmental Monitoring and Assessment, 112, 137–158.
- TOMER, M. D., WILSON, C. G., MOORMAN, T. B., COLE, K. J., HEER, D., ISENHART, T. M. (2010): Source-Pathway Separation of Multiple Contaminants during a Rainfall-Runoff Event in an Artificially Drained Agricultural Watershed. J. Environ. Qual., 39, 882–895.
- VOPRAVIL, J. (2006): Stanovení erodovatelnosti půd České republiky, dizertační práce, ČZU Praha.
- WADE, A., NEAL, C., SOULSBY, C., SMART, R., LANGAN, S., CRESSER, M. (1998): Impacts of land use and flow on nitrate concentrations and fluxes in an upland river system in North East Scotland. In: Haigh M., Krecjek J. (eds): Headwaters: Water Resources and Conservation. IASWC, 127–136.
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58 pp.
- ZAJÍČEK, A., KVÍTEK, T., KAPLICKÁ, M., DOLEŽAL, F., KULHAVÝ, Z., BYSTRICKÝ, V., ŽLÁBEK, P. (2011): Drainage water temperature as a basis for verifying drainage runoff composition on slopes. Hydrological Processes. 25, 3204–3215 DOI: 10.1002/hyp.8039.
- Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších změn a doplňků.
- ŽÍŽALA, D., NOVÁK, P., FUČÍK, P. (2010): Analýza vývoje jakosti povrchových vod v souvislosti se změnami využití krajiny v povodí horní Vltavy. Vodní hospodářství, vol. 12, 334–338.

## RÉSUMÉ

### Integrovaný přístup k řešení problematiky plošného zemědělského znečištění v ČR

Příspěvek popisuje nový, integrovaný přístup v metodách identifikace a lokalizace potenciálních kritických zdrojových oblastí plošného znečištění povrchových vod dusíkem a fosforem, který je představen na modelových povodích IV. řádu Hrejkovického a Bilinského potoka v povodí vodní nádrže Orlík. Ohroženost vod plošným znečištěním je posuzována geografickou analýzou, která hodnotí geomorfologii, způsob využití a půdní podmínky území, ve vazbě na stavby zemědělského odvodnění. Vedle ploch podléhajících erozi a lokalit tzv. přímé ochrany podél vodních toků, jsou vymezovány oblasti zvýšeného potenciálního vyplavování živin do podzemních a drenážních vod, stanovené na základě syntetické mapy zranitelnosti mělkých podzemních vod. Tyto oblasti jsou klasifikovány na základě analýzy kódu bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) a zemědělské odvodnění podle podkladů bývalé Zemědělské vodohospodářské správy (ZVHS).

Z výsledků geografické analýzy vyplývá rozdíl mezi dvěma sousedními povodími a jejich potenciálem k působení plošného zemědělského znečištění. Z výsledků analýzy LULC je patrný zhruba stejný podíl zemědělské půdy pro obě povodí ovšem struktura základních dvou druhů pozemků (orná půda x trvalé travní porosty) je odlišná. Vyšší podíl zatravnění je v povodí Hrejkovického potoka oproti Bilinskému, kde je zastoupení TTP relativně nízké. Z hlediska zranitelnosti vyplavování rizikových látek do povrchových a podzemních vod jsou náchylná obě povodí; povodí Bilinského potoka z důvodu převahy orné půdy na plochách se zranitelností 1. a 2. kategorie v mikropovodích drenážních systémů, povodí Hrejkovického potoka pro velmi častý výskyt ploch s 1. a 2. kategorií zranitelnosti (58% ZPF). Z hlediska potenciálního rizika výskytu eroze na zemědělské půdě je ohroženější Bilinský potok, zejména v dolní části povodí.

*Pavel Novák*  
*Research Institute for Soil and Water Conservation*  
*Department of hydrology and water protection*  
*Žabovřeská 250*  
*156 27 Prague 5*  
*Czech Republic*

*Faculty of Environmental Sciences*  
*Czech University of Life Sciences Prague*  
*Kamýcká 129*  
*165 21 Praha – Suchdol*  
*Czech Republic*  
*E-mail: novak.pavel@vumop.cz*  
*Phone: +420 257 027 210*

2

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. (40 %)

# OPTIMIZATION OF FLOOD PROTECTION BY SEMI-NATURAL MEANS AND RETENTION IN THE CATCHMENT AREA: A CASE STUDY OF LITAVKA RIVER (CZECH REPUBLIC)

Radek ROUB, Tomáš HEJDUK, Pavel NOVÁK

## Abstract

*Of all natural disasters, floods represent the most serious threat to the territory of the Czech Republic. This is given by the situation of the Czech Republic at the continental as well as the worldwide scale. At present, the design of anti-flood measures is mostly based on technical measures, without considering improvements in the hydromorphological status according to the Framework Directive on Water Management and without considering the natural transformation of flood discharge in the alluvial plains of water courses. This report presents a design for the optimization of anti-flood measures in the pilot catchment of the Litavka River, in which we propose particular measures for the catchment for its entire surface while providing a good hydromorphological status. We also wanted to quantify the proposed measures leading to the increased retention and accumulation capacities of the catchment area.*

## Shrnutí

### **Optimalizace protipovodňové ochrany formou přírodě blízkých opatření a retencí v ploše povodí: případová studie Litavky (Česká republika)**

*Povodňové situace představují na území České republiky největší hrozby přírodních katastrof. Tato skutečnost je dána polohou České republiky v kontinentálním i celosvětovém měřítku. Návrh protipovodňových opatření v současnosti probíhá především formou technických opatření, bez ohledu na zlepšení hydromorfologického stavu vod dle požadavků Rámcové směrnice o vodách a bez ohledu na přirozenou transformaci povodňových průtoků v nivách vodních toků. Příspěvek seznamuje s optimalizačním návrhem protipovodňových opatření v rámci pilotního povodí, kde byla navržena konkrétní opatření řešící komplexně povodí v celé jeho ploše a zároveň zajišťující dosažení dobrého hydromorfologického stavu vod.*

**Key words:** retention, GIS, measures, HEC-RAS, floods, HEC-HMS, Litavka River, Czech Republic

## 1. Introduction

Water retention in the landscape can be increased by using appropriately designed anti-erosion and anti-flood measures. In practice, these measures are mostly designed as common measures of complex land adaptations (Podrázský and Remeš, 2006). Appropriately designed and quantified anti-erosion measures have multifunctional effects. Along with limiting soil washout they slow down surface runoff and increase water retention in the landscape (Podrázský and Remeš, 2006).

At present, the design of anti-flood measures (AFM) is mostly based on technical measures, without considering improvements of the hydromorphological

status according to the Framework Directive on Water Management and without considering the natural transformation of flood discharge in the alluvial plains of water courses. Careless interventions into alluvial plains may cause decreased retention in these inundation territories. Vopálka (2003) reported that without the existence of an elaborated information system and a complex concept of the landscape, no serious solution of flood protection can be found.

The occurrence of a number of disastrous floods in Europe in the last 15 years (affecting Bulgaria and Romania) has led to a significant focus in water management policies on improving anti-flood protection and the implementation of anti-flood

measures in order to decrease the flood damage (Munzar et al., 2008). Following these disastrous events, the European Parliament and Council adopted a Directive (2007/60/ES of October 23, 2007) on the evaluation and management of flood risks.

Even in the conditions of the Czech Republic (CR), the issue of floods represents an increasingly pressing problem with regard to the experience from recent years – 1997 floods in Moravia, 2002 and 2006 floods in Bohemia, 2009 rainstorm floods in the region of Nový Jičín and Jesenice, and 2010 rainstorm floods in North Bohemia. For these reasons, great attention is paid to flood prevention measures, which should anticipate these events, eliminate their potential and manage them organizationally. According to their characteristics we classify the anti-flood measures into three different groups - preventive measures, measures in danger of floods or during the floods, and measures after the floods (Act No. 254/2001 of the Collection of Czech Laws).

One of the often cited reasons for the occurrence of runoff extremes in relation to the increased frequency of extreme hydrologic situations that have affected the Czech Republic in several recent years is the decreased retention and accumulation function of the landscape. The reduced retention capacity of a territory is manifested as a consequence of the growing compactness of soil and long-lasting adverse exploitation of the territory, which mostly results from the growing pressure for building in the inundation areas with otherwise standard retardation and accumulation of runoff (Bičík et al., 2008; Trimble, 2003). Analysis of changes in land use development is of interest to a number of authors (Skaloš et al., 2011; Shalaby and Tateishi, 2007). Inundations, retardation and accumulation elements in the landscape together form the 'retention potential' of the landscape, which influences the capacity of the territory to transform the causative rainfall into runoff, determines its course and culmination together with further transport of substances released mainly by e.g. erosive processes (Magunda et al., 1997). Retention in a catchment is mostly determined by different involvement and function of retention and accumulation elements during the occurrence of causative rainfall of various types (rainstorm, regional rainfall), depending on the size of the affected area and the current physical or technical status of the retention elements in the course of rainfall occurrence (Mahe et al., 2005).

From the hydrologic point of view, 'small water circulation' should be promoted in the landscape. This circulation means water evaporation from the surface and its deposition in the form of rainfall occurring

within one territory of the landscape. The significance of this small water circulation mainly lies in water retention, contributing to the microclimate balance (Petříček and Cudlín, 2003).

Petříček and Cudlín (2003) also reported that the retention capacity of a landscape itself is given by the landscape's capability of retaining water and in this way retarding rainfall runoff from the territory. This term should mean temporary retention of water in the vegetation, objects located in the catchment, water retention in the layer of soil covering the surface, in the soil itself, micro depressions, dry retention reservoirs, and in the 'runoff-less' phase of the rainfall-runoff process. Additionally, this landscape function contributes to a more balanced hydrologic cycle (lower occurrence of extreme conditions – floods, droughts) and to lower washout of nutrients.

An important role in the retention capacity of a landscape is played by landscape elements such as forest ecosystems, natural water courses and alluvial plains, meadows, soaking belts, etc. Elimination of these elements from the landscape results in fast water runoff, erosion, the loading of water courses with washed out soil containing high nutrient content, but also in a significant drop in the supply of underground water. An effective form of retaining high water quantities in the landscape is also represented by wetland biotopes, spring areas, peat bogs, pools, pond littorals, river alluvial plains, waterlogged pine woods, etc. (Mauchamp et al., 2002). By their action they contribute to suppression of the flow extremes and to transformation of the flood wave. Wetlands protect the landscape against floods because they create spaces for retaining and accumulating water at the time of flood discharge, when they act as water reservoirs. Studies have reported that 0.4 ha of wetland can retain more than 6,000 m<sup>3</sup> of water (Klementová and Juráková, 2003).

Similarly, grasslands limit the surface runoff by their retention capacity. Besides, non-compacted, humous and structured soils of grasslands possess a high infiltration capacity. This effect plays a role mainly in sloped lands, where permanent grass covers increase the soil retention capacity, particularly during rainstorms and long-lasting rains (Hrabě and Buchgraber, 2004; Hornbeck et al., 1997).

A positive role is also played by forests, which reduce the volume of out-flowing flood water. The transformation effect of woodlands is most visible namely at the beginning of flood events. Runoff formation mainly depends on the structure, thickness, form, degree of looseness and integrity of litter in



forest ecosystems. Křovák et al. (2004) described their results from hydrogeologic observation in the Šumava National Park, showing that forest soil is capable of retaining 30 to 50 mm of precipitation. With higher daily values or repeated rainfall in short time intervals, water runoff occurs regardless of the catchment forestation or its species structure. Similar results were obtained by other authors, for example Chlebek and Jařabáč (1988), Tesař et al. (2003), Adamec et al. (2006), Adamec and Unucka (2007), and Jeníček (2009). The retention capacity of forest soils plays significant geomorphologic, hydrologic and environmental roles. The amount of water retained in forest soils represents a key factor in forest fire forecasts, forming a significant water supply for plants, and evaporation from the forest soil contributes to the transport of water and energy in the landscape (Kosugi et al., 2001).

In the conditions of the Czech Republic, the soils are capable of receiving and retaining much higher amounts of water than the volume in all Czech water reservoirs. Soil is an important filtration, retention and transport environment with values of 50–320 l.m<sup>-3</sup> (Prospective and Situation Report of the Ministry of Agriculture on the Soil from 2006). Water retention capacity reflects the capability of soil to absorb and retain rainfall water before leaving the landscape (Hall et al., 1977).

Retention of soil is positively correlated with the organic mass content in the soil and negatively correlated with the soil volumetric mass, content of particles exceeding 100 μm and with the decreasing thickness of the upper soil layer (Hall et al., 1977).

Based on the above-mentioned facts, we described the possibility of employing an alternative approach to technical anti-flood measures in the form of semi-natural measures and retention in the catchment area. To date, quantification of the retention effect of technical anti-flood measures (AFM) has already been well-elaborated, as reported by Weyskrabová et al. (2010). The aim of our work was therefore to quantify the retention potential of the designed measures in the landscape enabling for example augmentation of water infiltration in the soil, reduction of surface runoff, or definition of the area for directed surface spill (controlled flood areas).

## 2. Study area

As a pilot area we selected the catchment of the Litavka River (1-11-04), which represents a large area South-West of Prague. The Litavka R. drains water from a large part of the Brdy Uplands, springing between the peaks of Tok (865 m a.s.l.) and Praha (862 m a.s.l.) at 765.66 m of altitude. Litavka is a right-hand affluent of the Berounka River, with its mouth near the town of

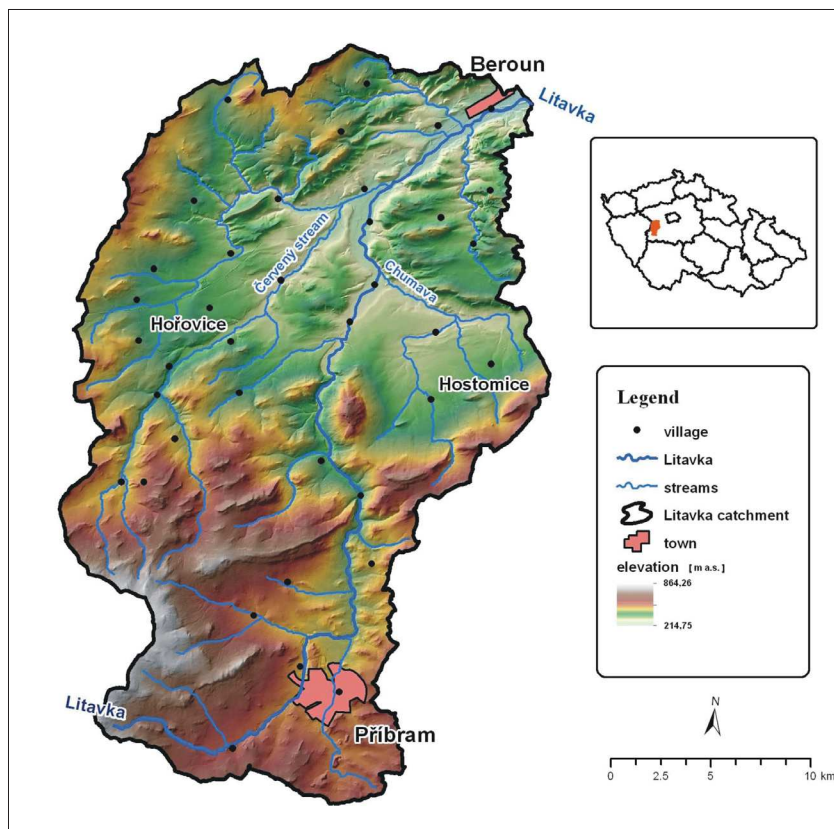


Fig. 1: Study area

Beroun at its 33.96 km. The catchment, which is mostly formed by two partial catchments of the main affluents Chumava and Červený potok, covers the surface of 628.75 km<sup>2</sup>. The catchment contains 538 water surfaces with a total area of 225.11 ha. The largest of them are water reservoirs Pílská (20.54 ha), Láz (15.01 ha), Obecnice and Zászkalská. The main factor determining the local climate is the altitude. With the increasing altitude the temperatures drop and precipitation increases. According to Quitt (1971), the catchment belongs to the climatic regions CH7 (spring part), MT3, MT5 (Březové hory Mts.), MT7, MT11 (Hořovická brázda Furrow), T2 (Zdícká brázda Furrow). The area of interest is delineated in Fig. 1.

### 3. Material

#### 3.1 Data for schematization of the stream channel and inundation of the Litavka water course

Among the most relevant data for hydrodynamic models are the entry data for schematization of the stream channel and water course inundation (Giannoni et al., 2003; Havlík et al., 2004; Fowler et al., 2005; Drbal et al., 2009). Data for schematization of the water course also determine the choice of the hydrodynamic model itself (Merwade et al., 2006; Merwade et al., 2008), while with regard to the requirements of altigraphic description of the water course, there are less demanding are one-dimensional (1D) models required for calculating only lateral stream channel profiles and adjacent inundations. In the case of two-dimensional (2D) models, the calculations already require a detailed digital model of the terrain precisely describing the morphology of the studied area.

To create the hydraulic model we utilized data from aerial laser scanning (ALS) in combination with geodetic surveying of the lateral stream channel profiles and objects located at the water course.

The 2 m DMT resolution was used to obtain relevant results from the hydrodynamic model.

##### 3.1.1 Data from aerial laser scanning

Aerial laser scanning represents a relatively recent technology enabling the collection of large amounts of data within a relatively short time interval (Dolansky, 2004). The obtained altigraphy data may be applied to a number of practical disciplines.

Brázdil (2009) defined the principle of ALS as a method based on the reflection of laser rays interpreting the image of measured objects as a cloud of points. Brázdil (2009) also described the ALS method as one of

the most effective methods for obtaining spatial data characterized by a relatively high degree of automation of processing during the creation of a digital model of the terrain (DMT) or a digital model of the surface.

For assessments in our alternative approach to AFM we employed data from the ongoing altigraphy mapping of the Czech Republic using the ALS method, which is conducted under the auspices of the Czech Office for Mapping, Surveying and Cadastre with the participation of the Ministry of Agriculture and Ministry of Defence (MD). The advantage of this method lies in the fast measurements, achieved precision, and amounts of the measured data and information. The new altigraphic record of the Czech Republic has achieved point density higher than 1 point/m<sup>2</sup> and total mean altitude error of 0.18 m in the open terrain and 0.30 m in the forested terrain (Brázdil, 2009).

The ALS data provide a high-quality background for applications in hydrodynamic models, and the usability of these data for mathematical modelling is presented in the publications by Novák et al. (2011), Roub et al. (2012), Uhlířová and Zbořil (2009).

##### 3.1.2 Data from geodetic location

For a more detailed DMT prepared from the ALS data, i.e. for completing its relevant image in the area of the stream channel itself, we employed geodetically surveyed lateral profiles of the water course stream channels in the studied area (the ALS ray is absorbed by the water surface during the data acquisition). Geodetically surveyed lateral profiles of the water course stream channels were provided by the company Povodí Vltavy, s.p. – affiliation in Pilsen. The distance interval of the surveyed stream channel profiles was in the range from 50 m to 250 m. A shorter interval of 50 m was applied in residential areas of villages situated at the water course, while a longer interval of inter-profile distances was used outside these residential areas, providing an adequate background for further operations, as also reported by Novák et al. (2011).

##### 3.2 Programming means for assessing AFM optimization

The choice of the models and software for optimization of the designed flood-control measures was based on high compatibility with the ESRI products. For these reasons, we selected the products of HEC (Hydrologic Engineering Center) developed by the US Army.

The geographic information systems (GIS) were defined by Rapant (2002) as computer systems for geographic data processing. Voženílek (2000) defined GIS as an analytical tool serving to link the geographic information (data on the situation, localization of the

object) with the descriptive information (data on the object characteristics) by computer programmes. A more detailed explanation of the GIS notion defined at the level of relevant application was given by Rapant (2005), describing GIS as a functional unit formed through the integration of technical and programming means, geodata, working processes, user operation, and organizational context.

### **HEC-HMS**

The HEC-HMS model (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelling System) represents a successor to the HEC-1 model (already developed since the 1960s). It is a representative of lump semi-distributed models, but great attention is currently paid to the development of components with distributed parameters. At present, this software is the most extensively used rainfall-runoff model in the USA and among freeware programmes, probably in the world as well. The model offers an advanced user interface and high flexibility in parametric representation of the rainfall-runoff model.

Its native complements are HEC-GeoHMS, an extension for ArcGIS 10 (required Spatial Analyst) serving for pre-processing and schematization of the catchment from the digital terrain model, and software managing the time rows of meteorological data and results of HEC-DSSVue simulations.

To prepare the geometric data and final visualization we also used the HEC-GeoHMS, representing a set of tools and aids for processing the hydrologic characteristics of the catchment in ArcGIS using the graphic user interface (GUI). The HEC-GeoHMS extension is associated with another extended upgrade, ArcHydro Tools (Maidment, 2002), and both extensions enable acquisition of data on the catchment border, runoff directions, water accumulation, etc., all this based on the initial DMT.

### **HEC-RAS**

The hydraulic computing system HEC-RAS – River Analysis System is intended for complex modelling of surface water courses. The HEC-RAS programme enables one-dimensional computing of both steady-state and irregular flow, sediment load transport (moving bed) or modelling of temperature changes of streaming water. The computing scheme for steady-state flow is based on the calculation of irregular water flow in stream channels using the sectional methods. The programme enables distribution of the profile into the stream channel itself ('effective' discharge area) and the left and right inundations.

Establishment of the level course in the HEC-RAS software is based on the one-dimensional solution of Bernoulli's equation (energy equation). Energetic loss is determined in the form of friction loss (Manning's equation), where local losses are expressed by coefficients (contraction/expansion coefficients). Hydraulically complicated locations such as spills, confluences, bifurcations, bridges or culverts are solved by the adapted motion equation.

To prepare geometric data and final visualization, we also used the HEC-GeoRAS extension, which represents a set of tools and aids for processing geospatial data in ArcGIS using a graphic user interface (Anderson, 2000; Colby et al., 2000; Andrysiak and Maidment, 2000). The interface enables preparation of geometric data in the form of schematization of the computing track followed by export into the HEC-RAS environment. The HEC-RAS programme was used to perform the required simulations and the results were imported back to the ArcGIS environment, where they were further visualized and underwent additional analyses (Novák et al., 2011).

### **ArcGIS**

To assess the design of AFM for the Litavka R. catchment we used integrated, scaleable and open GIS in the form of ArcGIS made by ESRI, which offers robust tools for editing, analysis and management of data, making it the most complex GIS software on the market worldwide (Čejp and Duchan, 2008).

Particularly for the preparation of entry data and for the final visualization of the obtained results we used two specific upgrades, Spatial Analyst Tools and 3D Analyst. Spatial Analyst Tools offers a large array of tools for spatial modelling and analysis, which enable creating images, enquiring and analysing raster data. 3D Analyst provides users with effective visualization and analysis of representing data.

In the context of utilization of hydrologic models this software offers a number of functions (namely of the group Spatial Analyst Tools, 3D Analyst Tools) and particularly further extensions (HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS).

## **4. Methods**

Taking into account novel data in the field of flood protection, semi-natural flood-control measures and retention in the catchment area are understood by the professional community not only as a merely complementary technical anti-flood measures, but

also as one of the possible alternatives. This is due to their additional potential to effectively transform the surface runoff to groundwater runoff, replenishing the supply of underground water, creating important landscape-forming elements, eliminating erosion, and positively influencing water quality.

During the optimization of AFM in the pilot catchment of Litavka R. we proposed specific measures for complex management of the catchment in its entire surface and at the same time for ensuring a good hydromorphologic status of water.

The proposed measures in the catchment area were based on the changes in the character of vegetation and soil cover in the catchment. The influence of the vegetation on the rainfall-runoff process, and thus on the quantity of water for potential runoff from the catchment, was described by Likens and Bormann (1974); Pobědinskij and Krečmer (1984), Kantor et al. (2003), Unucka (2008), and Unucka and Adamec (2008).

Reactions of the catchment to the changes in vegetation cover were prepared in two scenario variants. Modelling of changes in runoff regime in the first variant assumed 50% grassing of land with the protection of the agricultural soil fund (ASF). In the second variant, the mathematical representation of the rainfall-runoff process was carried out on the basis of assuming as much as 100% land grassing with ASF protection in the catchment.

Because of the low demand for entry data the calculation of runoff volume was done using the SCS CN Soil Conservation Service Curve Number method (Mishra and Singh, 2003) employing CN curves to calculate the runoff loss (Janeček, 1992; Holý, 1994; Boonstra and Ritzema, 1994; Ponce and Hawkins, 1996; Feldman, 2000; Trizna, 2002; Trizna and Kyžek, 2002). Alternatively, the method of exponential decrease, constant infiltration, and the Green-Ampt method may also be used, which will be implemented in our further research.

The effective precipitation is determined by the SCS CN method employing the function of precipitation sum, soil properties, vegetation cover and previous saturation, and is calculated by using the following equation (1):

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

where  $Q$  is surface (Horton) runoff in time  $t$  [mm],  $P$  is cumulative rainfall in time  $t$  [mm],  $I_a$  is Initial Abstraction [mm].

$S$  is potential maximum retention defined by equation (2):

$$S = 25.4 \times (1000 / CN - 10) \quad (2)$$

where  $CN$  is the CN curve number [-].

Potential maximum retention is calculated from the CN curve, determined by Janeček (2002) in relation to the hydrologic group of soil (Novák, 2003) and landscape cover.

Regarding the characteristics of the Litavka River catchment and its saturation, the  $CN$  values between 65–80 were used. To determine the value of direct runoff one can choose from various modifications of unit hydrogram (Clark, Snyder, SCS). We selected the Clark's method of unit hydrogram in our assessment.

To calculate the underground runoff, as stated by Jeníček (2008) the user can choose from various approaches. They include the model of linear reservoir (O'Connor, 1976) and exponential decrease (Chow et al, 1988). To create this model we used the method of exponential decrease defining the amount of underground runoff in the given period of time based on the initial underground runoff.

Monitoring the effect of hydromorphology of the water course itself was based on significant contrast intensity of anthropogenic interventions into the Litavka R. catchment. The spring area and the upper profile of Litavka R. display a relatively natural character in contrast to intensive industry, extensive agriculture and higher proportion of urbanization in the middle and lower parts of the water course. Langhammer (2007) described adaptations to the river network and alluvial plain as a significant factor influencing the runoff process during the floods. In general, adaptations to the river network and alluvial plain have significant impact on the course of flood wave, transformation effect of the alluvial plain as well as effectiveness of utilization of the retention potential of the territory (Žikulinas, 2008).

Taufmannová and Langhammer (2007) described the stream channel of Litavka R. in almost all its length as directionally balanced in the requirements of the residential areas of settlements and employment of agricultural streamside land. Of the total length of the Litavka water course, 88% have been adapted to some extent. A purely natural stream channel can only be found above the Láz water reservoir and between river km 20.5–18.8. A number of adapted sections have spontaneously revitalized and their character has become semi-natural. The occurrence of such semi-natural sections at the Litavka River has been assessed

as ca 45%. The most significant human interventions were recorded in the upper Litavka R. between Bohutín-Příbram-Lhota, near Čenkov and Jince, and from Lochovice the river is led through a trapezoidal stream channel to its mouth in Beroun (Havlová, 2001). Kaiml (2000) classified most adaptations into the group of fortifications dating from the 1970s.

With respect to the transformation effect of flood events, the most significant role is played by the geometry of the lateral and longitudinal profiles. For these reasons we adapted the initial DMT, in which we changed the lateral profile in locations of the water course with high stream channel capacity, and the longitudinal profile was modified in order to promote forking and surface spill into the alluvial plain.

Outside the residential area of settlements, the AFM were therefore designed to decrease the capacity of the stream channel and to augment the frequency of surface spill into alluvial plains, contributing to the natural transformation of flood discharge. In the territories inside the residential area of settlements, DMT was modified with the aim to increase the capacity of the stream channel and accelerate the runoff; we also proposed a composed profile with mobile cunette, including the possibility of damming the built-up areas or installing movable dams. While planning the AFM we also found locations with favourable profiles for the transformation of the flood wave in dry retention reservoirs or polders, which however were not included into this stage of assessment.

The setup of the hydrodynamic models for comparative analyses of the present state after AFM design was made using a 1D hydrodynamic model in HEC-RAS software.

## 5. Results and Discussion

The goal of our report was to set up rainfall-runoff models for modelling the retention measures in the area of the catchment and for the design of a new lateral profile of the Litavka River, i.e. adaptation of

its present layout. The design of AFM was followed by the setup of hydrodynamic models for the assessment of the proposed measures. We compared the present state with conditions reflecting the retention measures in the area of the catchment, including hydromorphologic measures at the water course itself. The comparison of particular scenarios was focused on verifying the contribution of the suggested semi-natural flood-control measures, including measures in the catchment area aimed at transforming flood waves and eliminating the extent of flood threats.

A significant step to calibration of the real event model was represented by the setup of the initial layer of landscape cover, which was delineated in a combination of data sources from CORINE (COOrdination of INformation on the Environment), see Fig. 2, and LPIS (Land Parcels Information System), see Fig. 3. For higher resolution we also considered including data from digital cadastral maps (DCM) or digitized cadastral maps (CMD) into the final image; however, with regard to the stage of their processing (1/3 of the catchment) we abandoned this idea.

The simulation itself of the effect of landscape cover was based on a selected event related to the rainfall-runoff episode of August 2–26, 2002. The sum of precipitation for the period of August 6–12, 2002 exceeded the values of 150 mm in all precipitation gauge stations in the catchment. The culmination flow in the closing profile (Beroun profile) reached the value of  $244 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , corresponding to a 10-year flood event ( $Q_{50} - 263 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). The precipitation sums reached at individual gauge stations are given in Table 1.

The modelled flood event (Fig. 4) discussed here represents a characteristic reaction of the Litavka R. catchment to a precipitation event. Typically there is a very fast response of the catchment, which in this case reacted namely to the precipitation in the period of August 11–12, 2002, reflected in the hydrogram in the form of two separate culmination flows with values of  $244 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  and  $214 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , respectively.

Date	Total precipitation amount [mm]			
	Láz	Obecnice	Pilská	Záskalská
6.8.2002	18.3	17.1	18.1	–
7.8.2002	21.1	23.5	4.1	38.0
8.8.2002	2.4	39.0	4.1	0.4
9.8.2002	–	–	–	–
10.8.2002	–	–	3.1	–
11.8.2002	35.0	40.0	31	64.0
12.8.2002	106.3	76.9	52.0	58.0

Tab. 1: Precipitation at stations

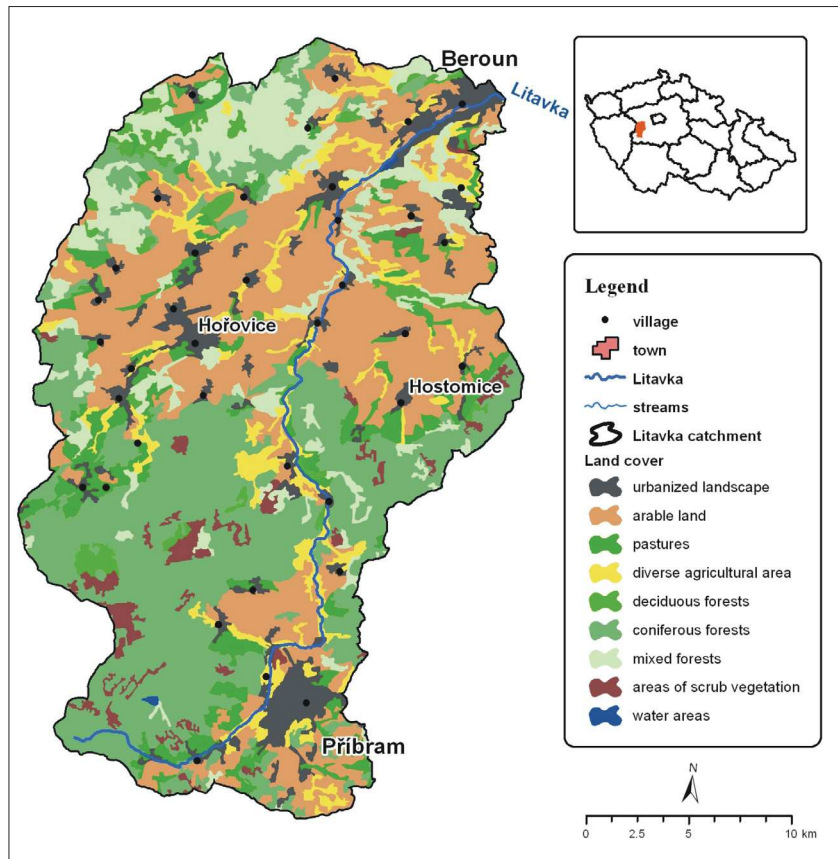


Fig. 2: Land cover (CORINE)

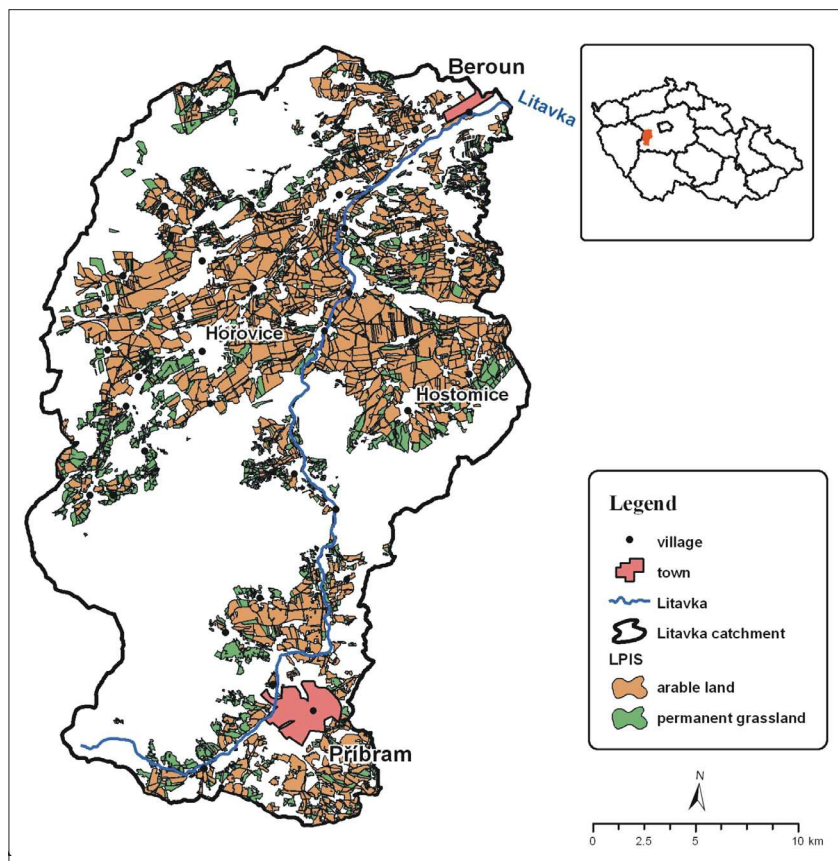


Fig. 3: Land cover (LPIS)

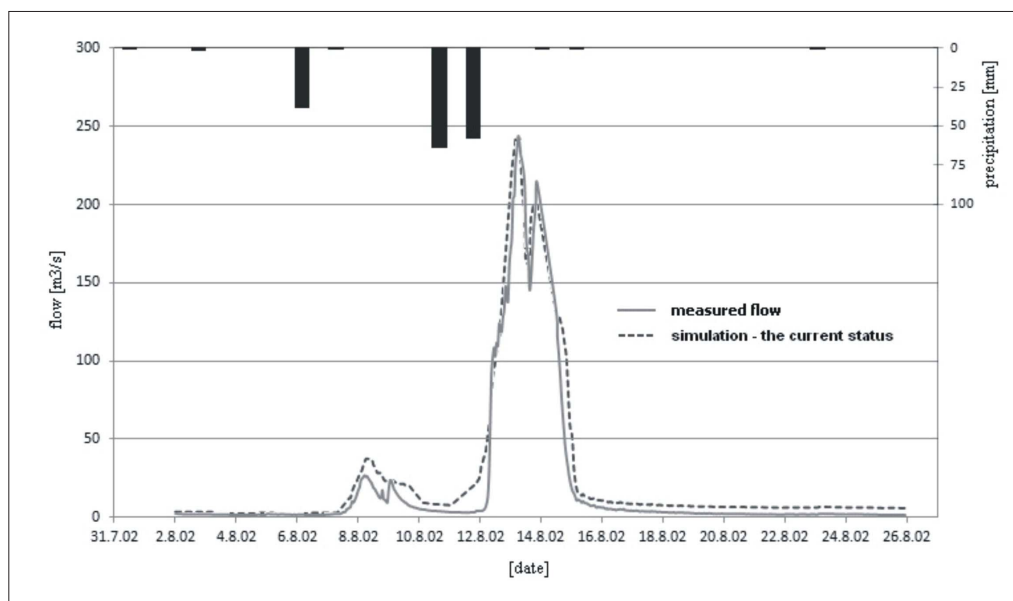


Fig. 4: Flood event (simulated flood event) in August 2002

For the event simulation itself (August 2–26, 2002) in the programme HEC-HMS we succeeded in recording both culmination values (Fig. 4), and mainly in the case of the first one we achieved a very satisfactory correlation. The recording of the second culmination was not so successful, which was already caused by a partial drop between the culminations.

The results obtained by simulation of the landscape cover adaptations for the scenario of total grassing of ALF (Fig. 5) are demonstrated by the transformation of the flood event to the culmination flow of  $184 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , representing a 15% drop compared to real conditions. The scenario based on 50% grassing was not further analysed because we did not obtain evidence for an effect

of the landscape cover on the monitored flood event. In case of 100% ALF grassing, we can also see a shift of culmination itself, which in this simulated scenario reached only one culmination value. The hydrograms of the measured flows, including simulation of the current state of landscape cover and simulation with 100% ALF grassing, can be seen in Fig. 6.

To prepare the hydrodynamic model for assessment of the semi-natural measures we used two DMTs. For the first variant we used the DMT reflecting the real state of the territory. For the second variant, the initial DMT was adapted according to the given methodology. To achieve relevant results we used ALS data for DMT construction and the preparation of computation

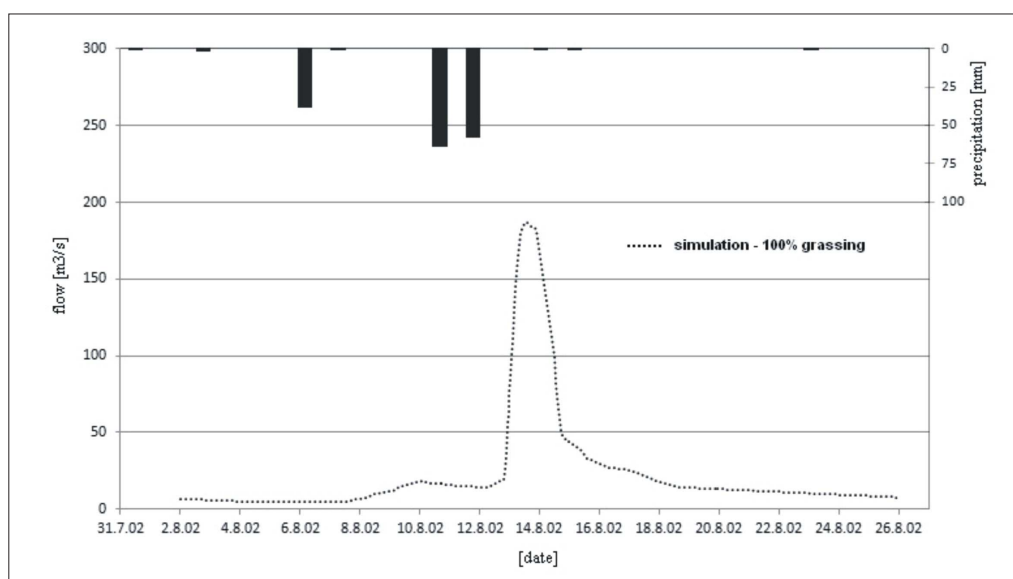


Fig. 5: Influence of grassing basin

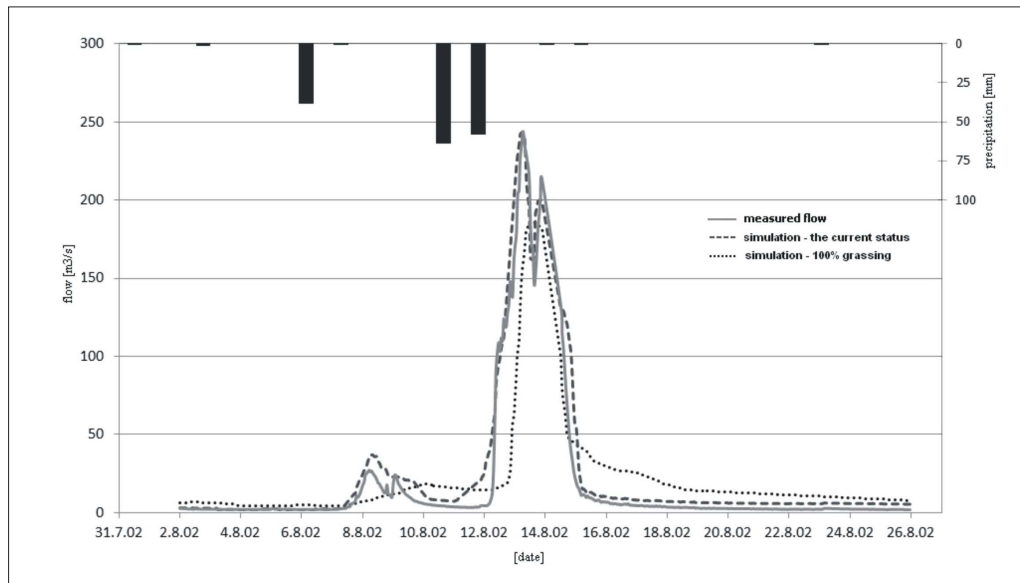


Fig. 6: All scenarios for flood events in August 2002

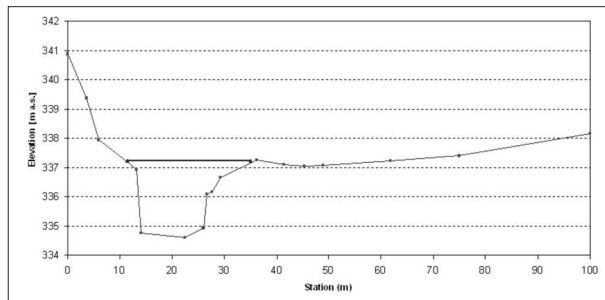


Fig. 7: Crosssection variations a

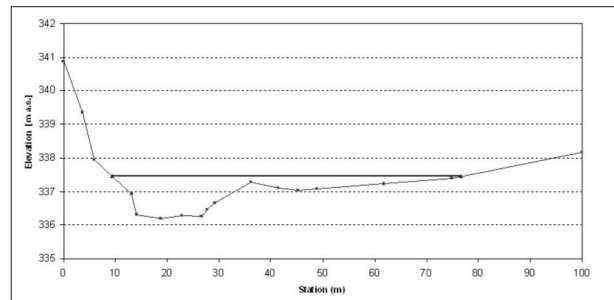


Fig. 8: Crosssection variations b

geometry of water courses, which were elaborated in more detail by subsequent surveying and existing data stores (geodetically surveyed lateral profiles). This approach is shown in Fig. 7 and Fig. 8.

The main goal of flood-control measures is to provide for the discharge capacity of the river bed and adjacent river inundation in order to divert the excess volume of the flood water with the least problems possible. Principally this means the removal of deposits from the river bed, an appropriate structure of vegetation and agricultural management in the inundation, minimal building in the active river inundation and other measures. The second goal is to decrease the extent of flood wave culmination and deceleration of its progress. This can be achieved by building dams and, to a lesser extent, polders by using ponds with flood pre-manipulation and namely by enabling natural lateral surface spills of the flood wave into the inundation.

While designing dams we must take into account that the main problem in Bohemia is lack of water. This means that the dams must retain part of the flood volume for dry periods, which in this region

occur in multiple-year cycles. Of high significance among flood-control measures is prolongation of the prognosis time for the precipitation volume and flood discharge using the most recent mathematical programmes and subsequent mathematical modelling of surface spills, depth and speed of water in the courses during the particular flood. The results of the mathematical modelling recorded in the orthophotocharts and digitized cadastral maps represent an excellent background for early anti-flood operations in the inundation area before the onset of flood culminations.

For some objects, unfavourably built in the past in the submersion area of the river, in justified and economically acceptable cases, protection can be provided by building protective dams and compacting the subsoil, or optionally by draining the underground water. The construction of flood dams, however, must be performed with caution, when possible in an inactive flow zone, in the least possible volume of the protected area, and after detailed investigation of the effect on the river levels upstream and downstream from this construction and of the effect on underground water outside the flood construction.



The flood-control dams provide protection against floods only to the extent of the designed flow capacity. When this extent is exceeded, the protected area is flooded. These only locally effective flood-control constructions are very costly, mostly because of the need to compact the subsoil. The solution is often complicated by communications, sewage, distribution systems, and local brooks. Although the flood-control dams are often combined with short-term-use movable walls, the intervention into the landscape and land appearance is significant.

To confirm the proposed hypotheses about the effect of water course tracing on the transformation of flood discharge and on the effect of the landscape cover on the retention in the catchment area we simulated three scenarios in the environment of the hydrodynamic model. The first scenario was prepared based on the real state of the catchment and served as a reference. The second scenario employed identical hydrologic data as in the first case but used an adjusted DMT. The third scenario was based on the adjusted DMT, but also on the results obtained during rainfall-runoff simulations with changed landscape cover. The last scenario thus evaluated the entire system of the proposed measures, in the catchment area as well as in the alluvial plain of the water course.

The results obtained using the hydrodynamic model clearly point to the justification of the assumed hypotheses (Fig. 9). Although the effect of grassing during the simulation of the precipitation event was not so marked as shown by other authors, e.g. Unucka and Adamec (2008), (who studied the effect of landscape cover in the Olše River catchment and achieved as high as 56% transformation of the precipitation event with 100% catchment forestation, the transforming potential of grassing observed in this project was positive. The lower transforming capacity of grassing may be caused primarily by the morphology of the Litavka R. catchment (Fig. 10), characterized by the documented fast reaction to the precipitation event, and this may lead to a less noticeable retention, i.e. infiltration potential.

The assessment of AFM on the water course itself led to the conclusion that beside the transforming potential of inundation there is a significant shift of the culmination, which provides the time needed for possible evacuations of threatened persons and protective work during the crisis management of the crisis.

## 6. Conclusion

In the Czech Republic, there is still a tendency to manage the hydrological problems using technical

measures, which offer fast but only one-sided solutions. Preference is given to the measures of the type of protective reservoirs, dams, or increased river bed capacities, which result in further water management problems lower downstream however, and cause serious ecological problems.

This report contributed to the validation of the transforming effect of semi-natural flood-control measures and retention measures in the catchment area. In addition, we also found a positive contribution of the ALS data to the creation of hydrodynamic models in variant conditions of DMT formation.

In view of the disastrous floods observed in the recent decade, the issue discussed in this report is very pressing, also with regard to the Floods Directive adopted by the European Parliament and Council at that time (2007/60/ES of October 23, 2007) on the assessment and management of flood risks. Our project offers an alternative approach to the problems of flood protection, leading not only to a better status for the landscape and the migration permissiveness of water courses, but also to important saving of costs. This approach also enables larger numbers of flood analyses to be processed, and consequently leads to secondary application of the results to the protection of citizens' lives and property, crisis management, or complex land adaptation design.

The main measures considered in the catchment area should reduce water erosion and eliminate the nutrient load of water, increase water retention in the landscape and at the same time preserve the productive capacity of the soil. These measures are associated with the implementation of adequate agricultural practices. The measures in the landscape should not be underestimated because they represent an important part of the preventive measures.

In terms of the economic effectiveness of the proposed measures, a large number of flood-control measures should be implemented, with significant consequences for the crisis management, as well as their incorporation into the flood-control plans of settlements, larger villages and regions, thus eliminating the impact of flood events on human health, the environment, cultural heritage and agricultural activities.

Another highly positive effect is the use of the territory for developing the quality of surface and underground water. The fact that the territory exploitation and especially grassing positively influences water quality has been demonstrated in many research reports: see, for example, Klimeš and

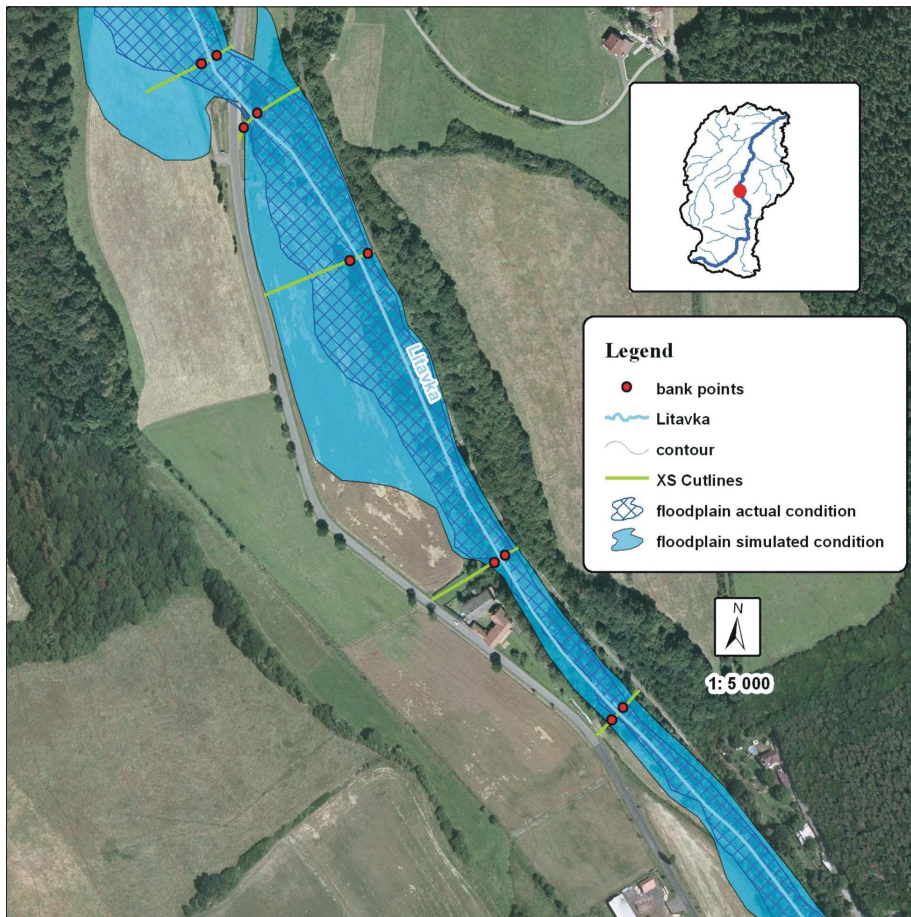


Fig. 9: Floodplain

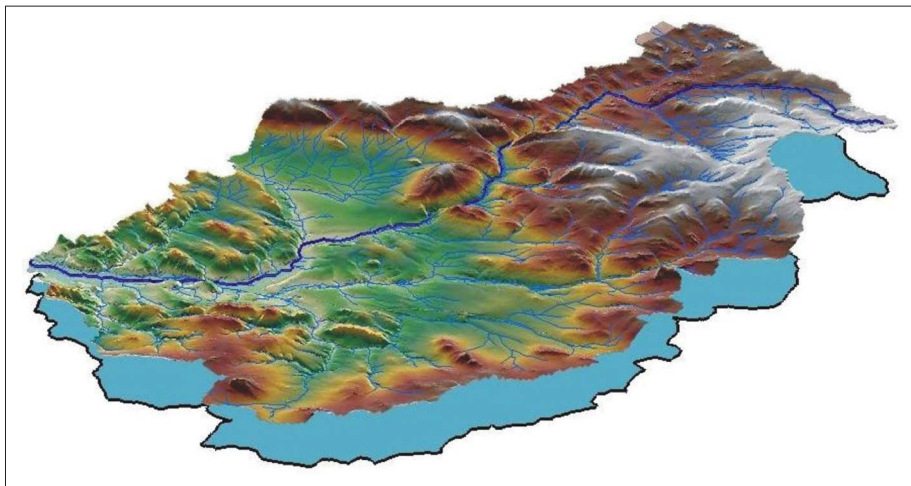


Fig. 10: Morphology of the catchment

Kužel (2004), Klimeš et al. (2004), Kvítek (2002), Poor and McDonnell (2007), and Stanley et al. (2003).

Although we cannot generalize these partial results, we can conclude that our proposed AFM will improve conditions of life for water organisms, the self-cleaning capacity of the water course, and namely increase flood protection both at the water course and in the alluvial plain.

### Acknowledgement

*This contribution was supported by the Research Programmes of the Ministry of Agriculture of the Czech Republic No. MZE 0002704902, by the Project No. TA02020139 of the Technology Agency of the Czech Republic and with the support by the Project No. QH QI91C200 of the National Agency for Agricultural Research of the Czech Republic.*

**References:**

- 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, p. 335–350.
- ADAMEC, M., UNUCKA, J. (2007): Modelování vlivu land use na erozní procesy s podporou GIS. In: sborník konference Říční krajina 2007. PŘF UP, Olomouc, 10 pp.
- ANDERSON, D. J. (2000): GIS-based hydrologic and hydraulic modeling for floodplain delineation at highway river crossings. MS, University of Texas at Austin, URL: <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. Available at: URL: <http://www.crwr.utexas.edu/online.html>.
- BIČÍK, I., LANGHAMMER, J., ŠTYCH, P., KUPKOVÁ, L. (2008): Long-term land-use changes in Czechia as a flood risk influencing factor. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, Vol. 45, No. 1–2, p. 29–52.
- 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*, Vol. 55 (97), No. 7, p. 145–151.
- COLBY, J. D., MULCAHY, K. A., WANG, Y. (2000): Modeling flooding extent from Hurricane Floyd in the coastal plains of North Carolina. *Environmental Hazards*, Vol. 2, p. 157–168.
- DOLANSKÝ, T. (2004): Lidary a letecké laserové skenování. *Acta Universitatis Purkynianae*, Vol. 99, *Studia geoinformatica*, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 100 pp.
- DRBAL, K. et al. (2009): *Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik*. Ministerstvo životního prostředí, 84 pp.
- FELDMAN, A. D. (2000): *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual*. USACE, Davis, 155 pp.
- 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* No. 300, p. 212–233.
- GIANNONI, F., SMITH, J. A., ZHANG, Y., ROTH, G. (2003): Hydrologic modeling of extreme floods using radar rainfall estimates. *Advances in Water Resources*, Vol. 26, No. 2, p. 195–203.
- HALL, D. G. M., REEVE, M. J., THOMASSON, A. J., WRIGHT, V. F. (1977): *Water retention porosity and density of field soils*. Soil Survey Technical Monograph No. 9: Soil Survey of England and Wales. (Lawes Agricultural Trust: Harpenden), 75 pp.
- HAVLÍK, A., SALAJ, M., SATRAPA, L., FOŠUMPAUR, P., HORSKÝ, M. (2004): *Metodika mapování povodňových rizik s pomocí geografických informačních systémů*. Praha, ČVUT, Fakulta stavební, 34 pp.
- HAVLOVÁ, J. (2001): *Ekologická studie Litavky*. Hydroprojekt. Praha, 332 pp.
- HOLÝ, M. (1994): *Eroze a životní prostředí*, Vydavatelství ČVUT Praha, 383 pp.
- 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*, No. 93, p. 73–89.
- HRABĚ, F., BUCHGRABER, K. (2004): *Pícninářství, Travní porosty*, Brno, MZLU (Skriptum), 151 pp.
- CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M. (1988): Důsledky porostních obnov na odtok vody z beskydských experimentálních povodí, *Zprávy lesnického výzkumu*, No. 4, p. 7–12.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. (1998): *Applied hydrology*, McGraw-Hill, New York, 570 pp.
- JANEČEK, M. et al. (1992): *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika UVTIZ* No. 5, 110 pp.
- JANEČEK, M. et al. (2002): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 1. vyd. Praha, ISV, 201 pp.
- 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*, Vol. 57, No. 3, p. 154–161.
- KAIML, P. (2000): *Kvalita povrchových vod v povodí Litavky*. Diplomová práce. KFGG PŘF UK, Praha, 142 pp.
- KANTOR, P., KREČMER, V., ŠACH, F., ŠVIHLA, V., ČERNOHOUS, V. (2003): *Lesy a povodně: Souhrnná studie*; Praha, Národní lesnický komitét a Ministerstvo životního prostředí, p. 48.

- KLEMENTOVÁ, E., JURÁKOVÁ, M. (2003): Mokradě v systéme protipovodňovej ochrany. Životné prostredie, Vol. 37, No. 4. Available at: URL: <http://www.seps.sk/zp/casopisy/zp/2003/zp4/index.htm>.
- KLIMEŠ, F. et al. (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, Vol. 21, No. 1, p. 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., Vol. 50, No. 3, p. 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, No. 246, p. 96–108.
- KŘOVÁK, F., PÁNKOVÁ, E., DOLEŽAL, F. (2004): Vliv lesních ekosystémů na hydrický režim krajiny. In: Aktuality šumavského výzkumu II, Srní 4.–7. října 2004, p. 44–48.
- KVÍTEK, T. et al. (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“, VÚRPV Praha, 20.3.2002, p. 113–220.
- LANGHAMMER, J. (2007): Upravenost toků a údolní nivy jako faktor ovlivňující průběh a následky povodní, In: Langhammer, J. [ed]: Sborník Změny v krajině a povodňové riziko, p. 129–142.
- 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.
- 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, p. 33–43.
- MAIDMENT, D. R. (2002): ArcHydro – GIS for Water Resources. Publisher: ESRI Press, DVD-ROM, 220 p.
- 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 Technology, Vol. 10, No. 1, p. 57–67.
- MAUCHAMP, A., CHAUVELON, P., GRILLAS, P. (2002): Restoration of floodplain wetlands: Opening polders along a coastal river in Mediterranean France, Vistre marshes. Ecological Engineering, p. 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, Vol. 23, p. 1300–1311.
- MERWADE, V. M., MAIDMENT, R., GOFF, J. A. (2006): Anisotropic considerations while interpolating river channel bathymetry. Journal of Hydrology, No. 331, p. 731–41.
- MISHRA, S. K., SINGH, V. P. (2003): Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 511 pp.
- MUNZAR, J., ONDRÁČEK, S., ELLEDER, L., SAWICKI, K. (2008): Disastrous floods in Central Europe at the end of July 1897 and the lessons learnt. Moravian Geographical Reports, Vol. 16, No. 3, p. 13–26.
- NOVÁK, P., ROUB, R., HEJDUK, T. (2011): Využití hydrologického měření při tvorbě hydrodynamických modelů z dat leteckého laserového skenování. Vodní hospodářství, Vol. 61, No. 8, p. 297–302.
- NOVÁK, P. et al. (2003): Zpracování digitálních map hydropedologických charakteristik půd České republiky. Závěrečná zpráva a výstup 02 projektu QD 1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“, VÚMOP, Praha, 11 pp.
- O’CONNOR, K. M. (1976): A discrete linear cascade model for hydrology. Journal of Hydrology, Vol. 29, p. 203–242.
- PETŘÍČEK, V., CUDLÍN, P. (2003): Máme bojovat proti povodním? Životné prostredie, Vol. 37, No. 4, p. 177–179. Available at: URL: <http://www.seps.sk/zp/casopisy/zp/2003/zp4/index.htm>.
- POBĚDINSKIĀ, A. V., KREČMER, V. (1984): Funkce lesů v ochraně vod a půdy, 1. vyd. Praha, Státní zemědělské nakladatelství, 256 pp.
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J. (2006): Retenční schopnost lesních ekosystémů. Lesnická práce, Vol. 85, No. 7, p. 232, URL: <http://lesprace.silvarium.cz>.
- PONCE, V. M., HAWKINS, R. H. (1996): Runoff Curve Number: Has it Reached Maturity, Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 1, No. 1, ASCE, USA (p. 11–19).
- POOR, C. J., MCDONNELL, J. J. (2007): The effect of land use on stream nitrate dynamics. Journal of Hydrology, No. 332, p. 54–68.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Studia Geographica 16, Brno, Academia, Geografický ústav ČSAV, 73 pp.

- RAPANT, P. (2002): Úvod do geografických informačních systémů. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut ekonomiky a systémů řízení, oddělení GIS, Ostrava, 110 pp.
- RAPANT, P. (2005): Geoinformační technologie. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut geoinformatiky, Ostrava, 125 pp.
- 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, Vol. 58/100, No. 1, p. 4–8.
- SHALABY, A., TATEISHI, R. (2007): Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. Applied Geography, Vol. 27, No. 1, p. 28–41.
- SKALOŠ, J., WEBER, M., LIPSKÝ, Z., ŘEPÁKOVÁ, I., ŠANTRŮČKOVÁ, M., UHLÍŘOVÁ, L., KUKLA, P. (2011): Using old military survey maps and orthophotograph maps to analyse long-term land cover changes: case study (Czech Republic). Applied Geography, No. 31, p. 426–438.
- SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2007/60/ES ze dne 23. října 2007 o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik (povodňová směrnice).
- STANLEY, C. D., CLARKE, R. A., McNEAL, B. L., MACLEOD, B. W. (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 pp.
- TAUFMANNOVÁ, A., LANGHAMMER, J. (2007): Mapování antropogenní upravenosti toků a následků povodní v povodí Horní Litavky. In: Langhammer, J. [ed.]: Změny v krajině a povodňové riziko, p. 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: Sborník mezinárodní vědecké konference „Geologické problémy Krkonoš“. Szklarska Poręba, listopad 2003, p. 30–37.
- TRIMBLE, S. W. (2003): Historical hydrographic and hydrologic changes in the San Diego creek watershed, Newport Bay, California. Journal of Historical Geography, Vol. 29, No. 3, p. 422–444.
- TRIZNA, M. (2002): Runoff modelling and its spatial variability in dependence on land use. Moravian Geographical Reports, Vol. 15, No. 3, p. 41–58.
- TRIZNA, M., KYZEK, F. (2002): Modelovanie špecifických zrážkovo-odtokových situácií vo vybranom povodí. In: Balej, M., Jančák, V., Jeřábek, M., Oršulák, T. [eds.]: Česká společnost a krajina, Sborník s XX. Sjezdu České geografické společnosti, Ústí nad Labem, p. 56–72.
- UHLÍŘOVÁ, K., ZBORIL, A. (2009): Možnosti využití Laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. Vodní hospodářství, Vol. 59, No. 12, p. 11–15.
- UNUCKA, J., ADAMEC, M. (2008): Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážkoodtokové vztahy v povodí Olše. Journal of Hydrol. Hydromech., Vol. 56, No. 4, p. 257–271.
- UNUCKA, J. (2008): Modelování vlivu lesa na srážkoodtokové vztahy a vodní erozi s pomocí GIS. Vodní hospodářství, Vol. 58, No. 7, p. 225–231.
- VOPÁLKA, J. (2003): Přístup ministerstva životního prostředí k problematice povodní. In: Celostátní seminář Lesy a povodně. Praha, ČLS, MŽP, MZe, 25.6.2003, p. 8–11.
- VOŽENÍLEK, V. (2000): Geografické informační systémy I: Pojetí, historie, základní komponenty. Olomouc, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, 174 pp.
- WEYSKRABOVÁ, L., VALENTOVÁ, J., VALENTA, P., MYSLIVEC, D., FOŠUMPAUR, P., ŠEPELÁK, J. (2010): Hydraulické a hydrologické přístupy ke stanovení retenční kapacity říční nivy. In: sborník konference Voda a krajina. Praha, Katedra hydromeliací a krajinného inženýrství, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, p. 134–141.
- Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).
- ŽIKULINAS, J. (2008): Hydrographic changes of the Streva Basin in the 20<sup>th</sup> century. Part 1. Water streams. Geografija, Vol. 44, No. 1, p. 26–30.

### Authors' addresses:

Ing. Radek ROUB, Ph.D., e-mail: [roub@fzp.czu.cz](mailto:roub@fzp.czu.cz)  
Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Environmental Sciences  
Department of Water Resources and Environmental Modeling  
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6–Suchdol, Czech Republic

RNDr. Pavel NOVÁK, e-mail: *novak.pavel@vumop.cz*  
Research Institute for Soil and Water Conservation  
Žabovřeská 250, 156 27 Prague 5–Zbraslav, Czech Republic

Ing. Tomáš HEJDUK, e-mail: *hejduk.tomas@vumop.cz*  
Research Institute for Soil and Water Conservation  
Žabovřeská 250, 156 27 Prague 5–Zbraslav, Czech Republic

**Initial submission** 30 June 2012, **final acceptance** 10 March 2013

**Please cite his article as:**

ROUB, R., HEJDUK, T., NOVÁK, P. (2013): Optimization of Flood Protection by Semi-natural Means and Retention in the Catchment Area: Case Study of Litavka River in the Czech Republic. *Moravian Geographical Reports*, Vol. 21, No. 1, p. xxxxxxx

10

NOVÁK, P., ROUB, R., VEVERKA, 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. (20 %)



# *vodní hospodářství*

www.vodnihospodarstvi.cz

ročník 63

**11**  
2013



**inženýring • projektování • konzultace**

**PŘÍLOHA  
KRAJINNÝ  
INŽENÝR**

**!!! V tomto čísle je vložen zálohový list na předplatné časopisu Vodní hospodářství pro rok 2014 !!!**

Předejte jej prosím účtárně k proplacení.

Další info na 3. straně kuléru.

**PŘÍLOHA  
LISTY  
CzWA**



# vodní 11/2013 hospodářství®

## OBSAH

- Otázky porušení nesoudržných zemin vnitřní erozí při vzestupném proudění (Julínek, T.; Khaddour, A.; Říha, J.)..... 359
- Geografické informační systémy pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyznamovací systémy (Novák, P.; Roub, R.; Veverka, M.; Hejduk, T.)..... 366
- Experimentální zjištění míry transformace povodňové a látkové vlny v upraveném korytě malého vodního toku (Dostál, T.; Zumr, D.; Rosendorf, P.; Strauss, P.; Říha, V.; Krása, J.; Devátý, J.; Fiala, D.; Bauer, T.) ..... 373
- TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami 3. část: Dimenzování objektů a zařízení (Bareš, V.; Kabelková, I.; Stránský, D.)..... 383
- Různé
  - Vodní koridor Dunaj – Odra – Labe z hlediska vodního hospodářství (Kubec, J.) ..... 354
  - Počítáme s vodou (Vančurová, L.) ..... 364
  - Za bavorskými revitalizacemi – zájezd sdružení Arnika, 2013 (Just, T.) ..... 370
  - Ohlasy: Možnosti zelené infrastruktury a nádrží (Havlíček, T.) ..... 372
  - Co s diskusí o funkci přehradních nádrží za povodní? (Punčochář, P.) ..... 379
  - Jak se osvědčila protipovodňová opatření za letošní povodně? (Kozlová, N.) ..... 380
  - Rozhovor měsíce s Mgr. Františkem Korbelem Ph.D o dopadech nového Občanského zákoníku na některé oblasti vodního hospodářství (Stránský, V.) ..... 382
- Firemní prezentace
  - Alfa Laval spol. s r.o.: Alfa Laval rozšířila nabídku zařízení pro čištění odpadních vod ..... 365

### Krajinný inženýr

- Představení České společnosti krajinných inženýrů (David, V.; Vokurka, A.) ..... 387
- Odborné akce ČSKI pořádané v roce 2013 (David, V.) ..... 387
- Konference Krajinné inženýrství 2013 (David, V.) ..... 388
- Konference Voda a krajina 2013 (David, V.) ..... 388
- Exkurze do Podyjí (David, V.) ..... 389
- Komentář k hodnocení publikační činnosti v rámci výzkumu (David, V.) ..... 390

### Listy CzWA

- První ohlédnutí za konferencí VODA 2013 (Stránský, V.) ..... 391
- 1. česko-slovenský workshop Nejnovější trendy v odstraňování dusíku – kam dál? (Bartáček, J.; Švehla, P.; Drtil, M.) ..... 391

## CONTENTS

- On the local internal erosion of non-coherent soils due to upward seepage (Julínek, T.; Khaddour, A.; Říha, J.) ..... 359
- Geographical information systems to support crisis management and their links to the automatic alerting/warning systems (Novák, P.; Roub, R.; Veverka, M.; Hejduk, T.) ..... 366
- Experimental determination of flood wave and sediment flow transformation in a regulated stream (Dostál, T.; Zumr, D.; Rosendorf, P.; Strauss, P.; Říha, V.; Krása, J.; Devátý, J.; Fiala, D.; Bauer, T.) ..... 373
- TNV 75 9011 Sustainable stormwater management. Part 3: Dimensioning of structures and devices (Bareš, V.; Kabelková, I.; Stránský, D.) ..... 383

- Miscellaneous ..... 354, 364, 370, 372, 379, 380, 382
- Company section ..... 365

### Landscape Engineer

- Miscellaneous ..... 387, 388, 389, 390

### Letters of the CzWA

- Miscellaneous ..... 391

## HUBER TECHNOLOGY WASTE WATER Solutions

### HUBER CS spol. s r.o.

Cihlářská 19, 602 00 Brno, tel.: 532 191 545  
602 711 961, fax: 532 191 575, e-mail: info@hubercs.cz  
[www.hubercs.cz](http://www.hubercs.cz)

**Dodávky technologických zařízení  
pro ČOV z nerezové oceli**

## EUROWATER PURE WATER TREATMENT

- odkyselování, odželezování, odmanganování, odstranění amonných iontů a další procesy úpravy surové vody na pitnou
- návrh technologie, dodávka, montáž, servis
- vlastní výroba automatických tlakových filtrů
- 20 roků na trhu v Čechách a na Slovensku
- více o nás a našich metodách úpravy vody **bez použití chemikálií** na tel. čísle **321 727 745** a na [www.eurowater.cz](http://www.eurowater.cz)



## ÚPRAVA VODY

## REKUPER®

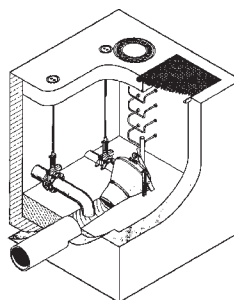
### Efektivní regulace a usměrňování průtoků vod v kanalizacích

komplexní vystrojování odlehčovacích komor a dešťových zdrží  
štitové česle • plovákové regulátory • štitové oddělovače

### REKUPER SYCHROV, s.r.o.

Husa 28 • CZ - 463 44 Sychrov, e-mail: info@rekuper.cz  
tel.: +420 482 464 611, fax: +420 482 464 630

**Návrh • dodávka • montáž • servis**



Vírový ventil v suché šachtě  
FluidCon

## PFT Prostředí a fluidní technika, s.r.o.

Nad Bezednou 201, 252 61 Dobrovíz  
telefon: 233 311 302, 233 311 389  
fax: 233 311 290  
[www.pft-uft.cz](http://www.pft-uft.cz)  
e-mail: pft@pft-uft.cz

### Dodavatel vystrojení kanalizačních objektů

- regulace odtoku z odleh. komor
- čištění dešťových zdrží
- protipovodňová ochrana
- pneumatická doprava splašků

# Geografické informační systémy pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy

Pavel Novák, Radek Roub, Michal Veverka, Tomáš Hejduk

## Klíčová slova

geografické informační systémy – technická infrastruktura – živelní pohromy – identifikace osob

## Souhrn

Geografické informační systémy představují významný nástroj pro podporu operačního a krizového řízení složek Integrovaného záchranného systému. Technologie geografických informačních systémů umožňuje přímou lokalizaci konkrétní informace v území. Integrovaný záchranný systém představuje efektivní systém vazeb, pravidel spolupráce a koordinace záchranných a bezpečnostních složek státu, orgánů státní správy a samosprávy, fyzických a právnických osob při samotném provádění záchranných prací, při jejich prevenci či přípravě na mimořádné události, ale rovněž v době odstranění jejich následků.

Cílem příspěvku je seznámit odbornou veřejnost s řešením projektu, který se zabývá využitím geografických informačních systémů v problematice krizového řízení a možností jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy. Základní otázkou je identifikace tzv. kritických míst v konkrétním území, tj. míst, kde je zvýšená pravděpodobnost výskytu ohrožení osob, pro různé kombinace modelových scénářů (přírodního charakteru – povodně, vítr atd. a havárie – poruchy technické infrastruktury, dopravního propojení, atd.) pro následnou identifikaci ohrožených osob a majetku, které je nutné informovat (či evakuovat), respektive v případě majetku zabezpečit proti následkům živelní či jiné pohromy, případně jeho odcizení. Důraz je kladen především na časové měřítko, které představuje klíčový aspekt krizového managementu.



## Úvod

Využitím geografických informačních systémů v problematice krizového řízení se v současnosti věnuje řada zahraničních i českých autorů [1, 2, 3, 4, 5]. V literatuře je krizové řízení definováno jako soubor aktivit zaměřených na přípravnou, operační a nápravnou fázi vypořádání se s procesy v krajině, ohrožujícími lidské životy a hmotné statky [6]. Krizovým řízením se tak rozumí souhrn řídicích činností věcně příslušných orgánů zaměřených na analýzu a vyhodnocení bezpečnostních rizik, plánování, organizování, realizaci a kontrolu činností prováděných v souvislosti s řešením krizové situace [7]. Podle zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů [8] je koordinačním orgánem v přípravě na krizové stavy ministerstvo vnitra. Podle § 39 odst. 2 tohoto zákona v případech, kdy je v době povodní vyhlášen stav nebezpečí nebo nouzový stav, se povodňové komise stávají součástí krizového štábu kraje a Ústřední povodňová komise pak součástí Ústředního krizového štábu. Řízení ochrany před povodněmi tak přechází z režimu zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů do režimu zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů.

V České republice je budován již od roku 1991 jednotný systém varování a informování. Tento systém tvoří síť poplachových sirén, které zabezpečují bezprostřední varování obyvatelstva, a dále pak soustava vyrozumívacích center, soustava dálkového vyrozumění (doprava signálu a informací mezi vyrozumívacími centry), soustava místního vyrozumění (infrastruktura pro ovládání poplachových sirén a vyrozumění osob). Kromě jiného má HZS ČR rovněž právo vstoupit do sdělovacích prostředků a informovat obyvatelstvo prostřednictvím televize a rozhlasu. Obyvatelstvo je v případě hrozby nebo vzniku mimořádné události varováno především prostřednictvím varovného

signálu „Všeobecná výstraha“. K poskytování této tísňové informace se využívá i koncových prvků varování, které jsou vybaveny modulem pro vysílání hlasové informace.

Provázanost systému varování a informování s hromadnými informačními prostředky umožňuje plošné informování osob o hrozcím nebo vzniklém nebezpečí (živelná pohroma, závažná havárie, teroristický útok apod.), přesto je nutné počítat se situacemi, kdy nebude možné tyto prostředky pro podání informace o hrozcím nebezpečí do inkriminovaného místa doručit. Jedná se především o situace, kdy nebude možné tyto nástroje varování a informování použít. V takových případech je nutné hledat jiné možnosti pro předání požadované informace. Navíc v okamžiku, kdy se nejedná o ochranu samotných osob, nýbrž je předmětem ochrany i movitý či nemovitý majetek je nutné počítat i se skutečností, že se vlastník či uživatel nezdržuje v místě svého bydliště. V takových případech sice není v ohrožení lidský život, ale majetek osob, který je nutné na příchod živelné pohromy či provozní havárie zajistit, respektive přemístit či odvést v rámci tzv. zabezpečovacích prací.

V současnosti jsou k dispozici havarijní plány, povodňové plány aj. materiály, které obsahují celou řadu důležitých údajů, umožňují snadnější distribuci informací, jejich správu a mnoho dalších výhod. Přesto nenabízí možnost zpětné vazby např. o tom, zda byl či nebyl občan, který se vyskytl v nebezpečí, informován či nikoliv. Navíc velký problém představuje přenos informací během krizové situace, kdy nebyl dosud v řadě oblastí postup standardizován a nebyla jasně definována odpovědnost při zpracování a přenosu těchto dat. Problémem je rovněž skutečnost, že velké množství dat vzniká v papírové formě, která není vhodná pro rychlé předání, čímž vzniká prodleva v přenosu informací za krizové situace.

V provozu je jen málo takových nástrojů, které by uplatnění zpětné vazby poskytovaly. Jedním takovým je systém spravovaný ve městě Beroun, který zpětnou vazbu o informování či neinformování ohroženého občana nabízí [9]. Jedná se o systém pro potřeby povodňové prevence, který je součástí digitálního povodňového plánu (dPP) města Beroun. Daný systém je připraven na podkladě hydraulických výpočtů zpracovaných právě jedním z řešitelů projektu a to DHI, a.s.

Snahou projektu Geografické informační systémy pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy je zvýšení bezpečnosti občanů a zajištění ochrany jejich majetku před následky krizových situací (požáry, povodně, hromadná neštěstí). Je předpokládáno využití nových technologií, poznatků a dalších výsledků aplikovaného výzkumu v oblasti geografických informačních systémů, identifikace osob a jejich včasného varování, sdílení informací aj. pro podporu eliminace následků živelných pohrom, provozních havárií či teroristických útoků.

Úsilím řešitelského týmu je na základě tříletého výzkumu vytvořit strukturu geodatabáze – evidenčního systému pro správu majetku a osob ohrožených živelnými pohromami, provozními haváriemi či teroristickými útoky. Datový sklad, který bude evidenčním systémem řízen, bude konstruován tak, aby bylo možné napojení na systém včasného varování občanů, včetně grafického zobrazení ohrožených nemovitostí prostřednictvím propojení na geografické informační systémy.

Záměrem projektu je rovněž zavést do praxe nový metodický návod pro identifikaci a evidenci osob a zvýšit tak bezpečnost občanů v případě hrozeb ohrožujících jejich bezpečnost prostřednictvím včasného varování – tj. preventivní ochrany. Definovat nástroje pro podporu integrované činnosti bezpečnostních a záchranných složek státu, včetně zvýšení osvěty a komunikace mezi státní správou, samosprávou a veřejností. Hlavním cílem však zůstává snaha eliminovat dopady přírodních či antropogenních rizik na lidské zdraví a majetek občanů.

Cílem není zajištění ochrany pouze samotného obyvatelstva v případě živelných pohrom a provozních havárií, ale docílit bezpečnost pro celá města a obce, zejména ve vztahu k zajištění funkčnosti objektů při kritických stavech a funkčnosti stěžejních infrastruktur (vodovodní řady, elektrická síť, teplovody atd.). Snahou je tak vytvoření a zkvalitnění podmínek pro podporu sdílení informací v oblasti bezpečnosti, zejména v oblasti identifikace ohrožených osob, nemovitostí i infrastruktury. Dílčím cílem je rovněž vytvoření jednotné geoinformační platformy, která bude napojena na vzniklou databázi ohrožených osob a nemovitostí, sloužící pro rozhodovací činnost bezpečnostních a záchranných složek státu.

## Materiál

Pro potřeby projektu bude ve velké míře použito geografických dat na bázi WMS a IMS služeb, tj. volně dostupných geografických dat pro sdílení, a to z důvodu minimalizace finančních nákladů na řešení projektu.

Pro řešení projektu je předpokládáno využití především následujících dat:

- výškopisná data pro tvorbu výpočetní geometrie hydrodynamických modelů;
- hydrologická data pro přípravu povodňových scénářů – budou zakoupena (ČHMÚ), případně odvozena hydrologickou analogií;
- data leteckého snímání – historická data (ÚAZK);
- data katastru nemovitostí pro generování vlastníků ohrožených nemovitostí;
- data BPEJ (VÚMOP), data LAND USE/LAND COVER (VÚMOP);
- ortofoto, evidence půdních bloků – LPIS (Mze/LPIS);
- data DIBAVOD – Digitální báze vodohospodářských dat;
- data ZABAGED – Základní báze geografických dat.

Přičemž pro reálnost a kvalitu modelování povodňových jevů a stavů s využitím hydrodynamických modelů jsou určující vstupní data pro tvorbu výpočetní geometrie vodního toku [10, 11]. Řešení projektu vychází z využití výškopisných dat získaných metodou leteckého laserového skenování (dále LLS), které v současnosti rovněž zabezpečuje Český úřad zeměměřický a katastrální (dále ČÚZK) ve spolupráci s Ministerstvem obrany ČR [12].

Letecké laserové skenování (dále LLS) povrchu patří k nejmodernějším technologiím pro pořizování prostorových geografických dat [13, 14]. Výškopisná data získaná metodou LLS poskytují dostatečně přesné a kvalitní podklady pro modelování krajiny, přírodních, průmyslových a socioekonomických jevů, plánování a projektování či v samotných oblastech krizového řízení [12, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

Pro získání informací o podélných a příčných profilech vodních toků je předpokládáno využití konvenčních geodetických metod, které budou alternativně s metodami založenými na sonaru, ADCP (SonTek) a s výsledky z programu PROFILE SOLVER, jenž slouží na přípravu příčných a podélných profilů na základě principu syntézy dat LLS s daty z kvantitativního hydrologického monitoringu [16, 18].

Pro dosažení stanovených cílů je předpokládáno využití softwarových produktů ArcGIS Desktop (včetně extenzí Spatial analyst a 3D Analyst), MIKE 11 (21), HEC-RAS, včetně kompatibilních open source SW a především MIKE GeoFES.

GeoFES je software založený na technologii ESRI ArcGIS (geografický informační systém), který pomáhá v rozhodovacím procesu při krizovém řízení, např. u požárních sborů apod. GeoFES podporuje efektivní opatření v případě požáru, přírodní katastrofy (vichřice, záplavy), antropogenních změn životního prostředí, jaderné, biologické a chemické události (NBC), epidemie a nehod. Lze jej využít také pro plánovací a přípravné účely. Podrobnosti najdete v dokumentech na <http://bit.ly/18eGeW9> a <http://bit.ly/1hRrgqx>.

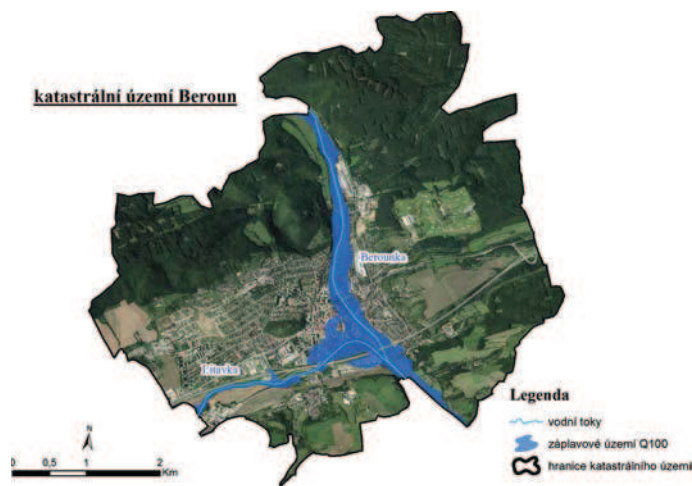
GeoFES je zaměřen na následující hlavní témata:

- Velmi snadná a rychlá identifikace nouzové situace několika nástroji jako jsou adresy, ulice, přechody, vodní a silniční úseky, objekty, hráze a možnost využití interaktivní mapy.
- Rychlý a snadný přístup ke všem dostupným a požadovaným informacím, které poskytnou komplexní přehled o všech aktuálních rizicích. Tyto informace umožní lepší přípravu a poskytnou dobrý podklad pro rozhodování.
- Vymezení ohrožených oblastí a jejich vyhledávání podle předem definovaných podmínek a modelování (nebezpečné látky v ovzduší a záplavy).
- Podrobný rozbor a hodnocení ohrožené oblasti, jako je počet obyvatel, seznam adres, seznam budov.
- Operativní řízení záchranných složek podle různých snadno použitelných kritérií, jako základ pro rozhodování o dostupných a potřebných zdrojích.
- Vytvoření mapky a tabulkového přehledu pro všechny hasiče bez digitálního zařízení

Pro potřeby řešení projektu byla vybrána dvě zájmová území, kterými jsou město Beroun a obec Lety u Dobřichovic, se kterými byla uzavřena smlouva o spolupráci na řešení projektu Bezpečnostního výzkumu. Řešená území spadají do povodí Berounky, pro kterou je charakteristické, že se na vodním toku nenachází žádná vodní nádrž (kaskáda nádrží), která by byla schopna regulace kulminačních průtoků během povodňových událostí, jako je typické např. pro Vltavu (Vltavská kaskáda).

### Město Beroun

Délka zpracovávaného úseku je vymezena vodním tokem Berounka cca od 31,5 ř. km do 38,5 ř. km a vodním tokem Litavka cca od 0,0 ř. km do 4,5 ř. km (**obr. 1**). Poněvadž nejsou pro město Beroun povodně z konvektivních srážek (tzn. *flash floods*) pouze okrajovou záležitostí, je předpokládán návrh systému, který bude otevřen i simulacím a hodnocení těchto hydrologických procesů (např. napojení na MIKE SHE



Obr. 1. Pilotní území Beroun



Obr. 2. Pilotní území Lety u Dobřichovic

či open source alternativu jako GSSHA apod.). V Berouně je ohroženo povodní na 1 550 objektů (odpovídá vymezení podle největší známé povodně z roku 1872) [9].

### Obec Lety u Dobřichovic

Délka zpracovávaného úseku v obci Lety u Dobřichovic je cca od 16 ř. km do 19 ř. km vodního toku Berounka. Rovněž zde budou monitorovány lokální dráhy soustředěného odtoku z přívalových povodní (**obr. 2**).

### Metody

Předpokládán je klasický postup řešení projektu typu aplikovaný výzkum, jenž bude pragmaticky směřovat ke splnění stanovených hlavních výsledků, jednotlivých aktivit a celkového cíle projektu.

Standardní struktura navrhovaného výzkumu zahrnuje zpracování rešerše, analýzu dostupných podkladů, formulaci metodických přístupů, jejich ověření v rámci pilotních lokalit, finální formulaci hlavních a dílčích výsledků projektu a rozšíření výsledků projektu do praxe.

Je třeba uvést, že hlavní zacílení projektu je na ochranu osob, jejich majetku a vytvoření a zkvalitnění podmínek a podpory pro rozvoj metod, technologií a postupů pro podporu sdílení informací v oblasti bezpečnosti, zejména v oblasti identifikace osob. Především se jedná o možnost napojení na GIS, které se dostávají stále ve větší míře do popředí zájmu.

Předkládaný projekt pokrývá eventuality typu přírodních katastrof (sesuvy, povodně, laviny aj.), včetně havarijních situací, násilných akcí (válečný konflikt, teroristické útoky apod.). Tyto různé typy mimořádných událostí budou identifikovány, popsána jejich rizika pro obyvatelstvo a připraveno metodické řešení pro jejich zvládnutí.

Jak již bylo uvedeno, bude hlavním cílem projektu vytvoření informačního systému pro správu a evidenci ohrožených osob a nemovitostí pro potřeby napojení na automatické vyrozumívací systémy (AVS) a v plné kompatibilitě s GIS. Tento systém bude napojen na Integrovaný záchranný systém či jiné nadřazené systémy pro zajištění

bezpečnosti občanů. V rámci projektu bude vytvořen centrální systém pro správu dat krizového řízení. Tento systém bude disponovat přídatnými moduly pro evidenci údajů k jednotlivým potenciálním hrozbám přírodního či antropogenního charakteru. S ohledem na definici konkrétních specifik bude pozornost věnována především přírodním rizikům, a to s ohledem na narůstající extremitu v distribuci srážek – povodňové problematice.

Povodně představují pro Českou republiku největší přímé nebezpečí v oblasti přírodních katastrof a jsou příčinou závažných krizových situací, které provázejí nejenom rozsáhlé materiální škody, ale rovněž ztráty na životech obyvatel postižených území a rozsáhlé devastace kulturní krajiny včetně ekologických škod [21].

Prioritou je podpora systematické prevence před povodněmi. Abychom mohli nebezpečí povodně účinně čelit, je třeba využívat spolehlivé informační kanály, které budou nápomocny ve složitých rozhodovacích procesech.

Včasné, kvalitní a aktuální informace jsou jednou ze základních podmínek zlepšení ochrany před povodněmi. Mají zásadní význam pro řízení ochrany a přispívají k podstatnému snížení povodňových škod.

Dosud nebyl přenos informací během povodně (na úrovni obyvatel) standardizován a nebyla jasně definována zodpovědnost při jejich zpracování a přenosu. Velké množství dat vzniká v papírové formě, která není vhodná pro rychlé předání agregovaných zázpisů, proto existuje významná prodleva v přenosu informací za povodňové situace. Chybějí aktuální informace z jednotlivých zasažených obcí. Neexistuje souhrnná informace o vyhlášeném povodňovém stupni v obcích v tabelární ani grafické podobě. Chybějí informace o přehledu evakuovaných obyvatel. Není k dispozici souhrn o poskytované a požadované pomoci. Nelze jednoduše sumarizovat vývoj aktuální situace a sledovat její historický vývoj. Chybí možnost jednoduchého filtrování požadovaného druhu informací.

Ve vazbě na již prováděné činnosti v problematice povodňové prevence ve městě Beroun, jejichž vývoj je zajišťován ve spolupráci s firmou Hydrossoft Veleslavín, s.r.o., je z důvodu využití dosavadních výsledků navázána spolupráce jak s městem Beroun, tak s firmou Hydrossoft Veleslavín, s.r.o., která bude do projektu vstupovat formou subdodávky.

Samotné místo soutoku řek Litavky a Berounky (město Beroun) bude pro potřeby řešení projektu klasifikováno jako referenční z pohledu zobecnění dosažených poznatků projektu. Ve vazbě na skutečnosti z posledních let, kdy ČR zasáhla řada přívalových povodní, budou další pilotní území volena především do těchto lokalit. V těchto případech se jedná navíc o místa, která jsou odlehlá, nacházejí se především na drobných vodních tocích a protipovodňová prevence nedosahuje požadované kvality.

V důsledku toho bude vytvořen softwarový prostředek – evidenční systém, který bude sloužit jako podpora pro komunikační, koordinační a rozhodovací činnosti na všech organizačních úrovních, které jsou ze zákona povinny povodňovou situaci řešit. Zajistí včasné a adresné informování všech zainteresovaných složek veřejné správy o aktuálním stavu a historickém vývoji povodňové situace v jakémkoli místě České republiky.

Přínosem systému v průběhu povodně i mimo ní je zabezpečení základní platformy pro kvalitní komunikaci mezi všemi odpovědnými subjekty, zjednodušení a zrychlení přenosu informací a v neposlední řadě zajištění jednotných formátů předávaných informací. Jedná se o modulární systém, který nad centrálním skladem dat vytváří koordinační a přístupové aplikace.

Základem nově zpracovaného evidenčního systému se stanou Povodňové plány vlastníků nemovitostí, jejichž nemovitosti leží v oblasti ohrožené povodní. Oblast ohrožení bude vymezena pomocí hydraulického modelu, který bude v rámci řešení projektu sestaven. Bude připraven na podkladě dat z nového výškopisného mapování ČR metodou LLS a podle největší známé povodně – retrospektivní přípravy povodňových scénářů.

Pro splnění zákonné povinnosti zpracovat povodňový plán bude v průběhu řešení nabídnuta vlastníkům ohrožených nemovitostí pomoc tím, že vlastníkům bude poskytnut jednotný formulář pro zpracování povodňového plánu vlastníka nemovitosti, který bude obsahovat všechny podstatné náležitosti povodňového plánu. Následně po vyhodnocení možnosti zabezpečení případně věcné či osobní pomoci a zhodnocení požadavků na evakuaci bude ve spolupráci s příslušnou obcí s rozšířenou působností potvrzen soulad dodaných podkladů s Povodňovým plánem města (povodí).

Pro jednotnou datovou správu ohrožených nemovitostí bude vytvořena databázová aplikace, ve které budou veškeré údaje poskytnuté

zpracovatelem podkladů přehledně spravovány. Tato aplikace bude umožňovat rovněž propojení s GIS. Pomocí propojení s GIS dojde k napojení jednotlivých ohrožených nemovitostí na mapové podklady, což poskytne důležitou geografickou informaci o umístění konkrétních nemovitostí v záplavovém území. Celá aplikace bude koncipována tak, aby byla v plné součinnosti pro napojení na AVS.

Cílem je standardizovat formu spravovaných dat, jejich obsah, včetně požadavků na aktualizaci dat a jejich samotnou evidenci.

## Výsledky

Řešený projekt se snaží zajistit odborné zázemí a navrhnout koncepci institucionálního a legislativního uspořádání v problematice jednotného postupu pro podporu sdílení informací v oblasti bezpečnosti. Stěžejním výsledkem bude proto certifikovaná metodika, která bude řešit odpovídající postup pro ekonomicky efektivní a technicky jednoduchou správu dat a vyvinutý software – model evidence ohrožených osob a nemovitostí, plně komunikující s geografickým uživatelským rozhraním. Další – vedlejší výstupy projektu také směřují k dostupnosti potřebných odborných informací pro malé obce (články, příspěvky, semináře apod.). Budou navrženy i potřebné úpravy předpisů nelegislativní povahy, které dnes situaci vesměs upravují jen rámcově a krátkodobě, aby účinněji řešily specifika, a to nejen na překrytí nejkritičtějších několika prvních dnů, ale ve druhém sledu na dobu alespoň několika měsíců. Významným přínosem projektu bude i ekonomický dopad, protože navrhovaná řešení budou důsledně posuzována z hlediska ekonomické efektivity v porovnání s dalšími možnostmi řešení. Náklady na řešení projektu jsou tak neporovnatelně menší než hrozící škody a další materiální dopady.

Hlavním přínosem projektu je tedy zvýšení bezpečnosti občanů vytvořením podmínek pro zajištění efektivního krizového managementu prostřednictvím včasného varování občanů, ale i vytvořením scénářů predikujících vývoj krizové situace, včetně alternativ postupů vedoucích k zajištění bezpečnosti občanů na území České republiky. Ekonomické přínosy výsledků řešení navrhovaného projektu nelze konkrétně vyčíslit, je ale zřejmé, že mnohonásobně převyšují náklady na řešení projektu již při výskytu např. nejběžnější živelné pohromy na území ČR, tj. povodně.

Rovněž standardizovaná forma spravovaných dat o ohrožených osobách a majetku, obsah evidovaných dat, včetně požadavků na aktualizaci těchto dat a jejich samotnou evidenci budou široce uplatnitelné pro praktické využití.

Plánované hlavní výsledky jsou v těchto třech oblastech:

- metodika;
- software;
- výsledky promítnuté do směrnic a předpisů nelegislativní povahy závažných v rámci kompetence příslušného poskytovatele.

## Diskuse

Výskyt řady katastrofálních povodní v Evropě v posledních 15 letech (postiženo Bulharsko a Rumunsko) vede k výraznému zaměření vodohospodářských politik na zlepšení ochrany před povodněmi a realizaci protipovodňových opatření ke snížení povodňových škod. V návaznosti na tyto katastrofické povodně byla přijata směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropské unie (2007/60/ES z 23. října 2007) o vyhodnocování a zvládnutí 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 průběhu povodně a opatření po povodni. Z pohledu ochrany životů a zmírnění škod na majetku občanů zaujímají výsadní postavení opatření preventivní, mezi která spadají činnosti jako jsou povodňové prohlídky, příprava předpovědní a hlásné povodňové služby, organizační a technická příprava povodňové ochrany, rizikové analýzy záplavových území, ale především zpracování povodňových plánů v rámci systematické prevence.

Stejně jako v dalších státech Evropy postižených povodněmi byla také v ČR zpracována Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky, kterou zpracovalo Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí a byla schválena usnesením vlády ČR č. 382 ze dne 19. dubna 2000. Při zpracování tohoto věcně politického dokumentu byly využity výsledky komplexního vyhodno-

cení průběhu katastrofických povodní v r. 1997 až 2000, vč. znalosti zahraničních přístupů a zkušeností. Zásady obsažené ve Strategii – zejména preventivní aktivity, odpovědnost jednotlivých subjektů a kompetence povodňových komisí obcí i krajů – byly promítnuty do nové vodohospodářské legislativy (zákona č. 254/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky č. 236/2002 Sb.).

Současně byla přijata specifická legislativa pro krizové řízení a byl vytvořen integrovaný záchranný systém. Také vybavenost pro zpřesnění předpovědi Českého hydrometeorologického ústavu a s. p. Povodí (radarové sledování, napojení na evropské meteorologické systémy, zahuštění monitorovacích sítí a zavedení dálkového přenosu dat) výrazně zkvalitnila připravenost pro povodňové situace a jejich management, což se velmi pozitivně projevilo při povodni v r. 2002.

Významným dokumentem v problematice ochrany před povodněmi jsou Povodňové plány. Představují základní dokumenty, které obsahují údaje potřebné pro zajištění ochrany před povodněmi konkrétního územního celku, obce či objektu, pro které jsou zpracovány. V povodňových plánech jsou uvedeny jmenné seznamy, adresy a způsob spojení účastníků ochrany před povodněmi, úkoly pro jednotlivé účastníky ochrany před povodněmi včetně organizace hlásné a hlídkové služby. Obsahují také zpravidla mapy nebo plány, na kterých jsou zakresleny zejména záplavová území, evakuační trasy a místa soustředění, hlásné profily a informační místa. Obsah povodňových plánů se tak dělí na část věcnou, část organizační a část grafickou. V současné době, s ohledem na požadavky rychlého přenosu dat, zaujímají výsadní postavení povodňové plány v digitální podobě. Propojení na všech úrovních od dPP obce až po dPP ČR zajišťuje přímý přístup k informacím podřízených povodňových plánů a umožňuje na všech úrovních zastupitelnost činnosti podřízené povodňové komise.

Přes tato všechna opatření není v současnosti dostatečně ošetřena problematika povodňových plánů vlastníků nemovitostí (PPVN), která hraje z hlediska ochrany lidských životů a omezování ztrát na majetku občanů prioritní postavení.

## Závěr

Z minulých období (např. řešení problematiky povodní, sesuvů, průmyslových havárií aj.) a ze světa (živelné katastrofy, válečné konflikty, humanitární krize aj.) je známo, že ve skutečně vážné situaci trvá státu a jeho příslušným složkám dlouhou dobu informovat zasažené oblasti, a to především podle závažnosti mimořádné události a úrovně fungování státních složek. Pro zvýšení bezpečnosti osob a ochrany majetku je tudíž nutné vytvořit podklady pro legislativní úpravy při řešení krizových situací v souvislosti s identifikací osob, jejich včasným varováním a zajištěním zpětné vazby o vyrozumění ohrožených osob například prostřednictvím propojení s geografickým informačním prostředím. Události z posledních let indikují, že zvýšení informovanosti občanů v procesu krizového řízení je správná cesta pro zajištění vyšší bezpečnosti občanů ČR a jejich majetku.

Hlavním přínosem projektu je pomoc orgánům krizového řízení ke zvládnutí situací, kdy jsou ohroženy obce a města, jejich obyvatelé či jejich majetek živelnými pohromami či provozními haváriemi. Jde tedy o zvýšení bezpečnosti obyvatelstva a jeho ochrany lepší informovaností v případech mimořádných (příp. i krizových) situací. Jak ukazují zkušenosti z různých mimořádných událostí u nás i ve světě v minulosti, poměrně často nastává situace, že zvláště odlehle obce v oblastech s řídkým osídlením, vzdálené od větších sídel (např. obce v horských oblastech a v pohraničí), s obtížnější dopravní dostupností mohou být z různých důvodů i poměrně dlouho odříznuté od možnosti vnější pomoci. Orgány místního krizového řízení se tak budou muset spolehnout na vlastní síly a možnosti preventivních opatření.

**Poděkování:** Příspěvek vznikl za podpory Ministerstva vnitra ČR, Programu bezpečnostního výzkumu České republiky 2010-2015 (BV II/2-VS), projektu VG3VS/229 - Geografické informační systémy pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy.

## Literatura

- [1] White, I.; Kingston, R.; Barker, A. (2010): Participatory geographic information systems and public engagement within flood risk management, Journal of flood risk management, Volume: 3, Issue: 4, p. 337-346.
- [2] Chen, Y. R.; Yeh, CH; Yu, B. F. (2011): Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment

and flood plain management in Taiwan, Natural hazards, Volume: 59, Issue: 3, p. 1261-1276.

- [3] Hardmeyer, K.; Spencer, M. A. (2011): Using risk-based analysis and geographic information systems to assess flooding problems in an urban watershed in Rhode Island, Environmental Management, Volume: 39, Issue: 4, p. 563-574.
- [4] Unucka, J.; Říhová, V.; Hořínková, M.; Malek, O.; Židek, D.; Fárek, V.; Podhorányi, M.; Šír, B.; Devečka, B.; Kolářová, V.; Těthal, V.; Vyležíková, M. (2010): Návrh prototypu komplexního systému včasného varování před povodněmi z příválových srážek. In Časopis Spektrum 2/2010. ISSN: 1211-6920.
- [5] Rapant, P.; Unucka, J.; Vondrak, I. (2010): Regional Flood Early Warning System. In Geoscience Engineering, 2010, 16 s. Volume LVI, Issue No. 4. ISSN 1802-5420.
- [6] Antušák, E.; Kopecký, Z. (2003) Základy teorie krizového managementu II. Praha: VŠE, ISBN 80-245-0552-5.
- [7] Souček, V. (2002): Krizové řízení v oblasti vnitřní bezpečnosti a veřejného pořádku, In sborník konference: Krizový management, Vojenská akademie v Brně, ISBN 80-85960-46-X, s. 30-39.
- [8] Zákon 240/ 2000 Sb. o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon), ve znění pozdějších předpisů.
- [9] 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.
- [10] 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, 58/100, č. 1, s. 145-151.
- [11] Cobby, D. M.; Mason, D. C.; Davenport, I. J. (2001): Image processing of airborne scanning laser altimetry data for improved river flood modelling, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56, p. 121-138.
- [12] Brázdil, K. (2009): Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, 55/97, 2009, č. 7, s. 145-151.
- [13] Bharat, L.; Mason, D. C. (2001) : Application of airborne scanning laser altimetry to the study of tidal channel geomorphology, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56, 100-120
- [14] Aktaruzzaman, M.; Schmitt, T. G.; Hagen, H. (2011): Modeling Urban Flooding by Filtering LiDAR Data, Journal of urban technology, Volume 18, Issue 4, p. 97-112
- [15] 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
- [16] 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, 2012, roč. 60, č. 4, s. 216-231. ISSN: 0042-790X.
- [17] Uhlířová, K.; Zbořil, A. (2009): Možnosti využití Laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. Vodní hospodářství, 2009, ročník 59, č. 12, s. 11-15.
- [18] 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.
- [19] Andrysiak, P. B.; Maidment, D. (2000): Visual Floodplain Modeling with Geographic Information Systems (GIS). MS, University of Texas at Austin, <http://www.cwrw.utexas.edu/online.html>.
- [20] 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.cwrw.utexas.edu/online.shtml>.
- [21] Roub, R.; Hejduk, T.; Novák, P. (2013): Optimization of Flood Protection by Semi-natural Means and Retention in the Catchment Area: A Case Study of Litavka River (Czech Republic). Moravian Geographical Reports, Vol. 21, No. 1, p. 51-66.

**RNDr. Pavel Novák** <sup>1,2)</sup> (autor pro korespondenci)

**Ing. Radek Roub, Ph.D.** <sup>2)</sup>

**Ing. Michal Veverka, Ph.D.** <sup>3)</sup>

**Ing. Tomáš Hejduk** <sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup> Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Žabovřeská 250

150 00 Praha 5-Zbraslav

<sup>2)</sup> Fakulta životního prostředí

Česká zemědělská univerzita v Praze

Kamýcká 129

165 21 Praha 6 – Suchbátka

<sup>3)</sup> DHI a. s.

Na Vrších 1490/5

100 00 Praha 10

#### Key words

geographic information systems – technical infrastructure – natural disasters – personal identification

Geographic information systems are an important tool to support operational and crisis management of the Integrated Rescue System. GIS technology allows direct localization of specific information in the area. Integrated Rescue System is an effective system of links, rules of cooperation and coordination of rescue and security forces, state and local governments, individuals and legal entities in the actual carrying out rescue work in preventing and preparing for emergencies, but also during the removal of their consequences. The

aim of this paper is to introduce to the project, which deals with the use of GIS in emergency management issues and their possible connection to AVS (automatic vyrozumívací systems). The basic issue is to identify the bottlenecks in specific areas, ie places where there is an increased likelihood of danger to people for a variety of model scenarios (natural nature – flood, wind, etc., and accidents – failure of the technical infrastructure, transport links, etc.) for subsequent identification of vulnerable persons and property which is necessary to inform (or evacuate), or in the case of assets to secure against the consequences of natural or other disasters or stolen. Emphasis is placed on the time scale, which is a key aspect of crisis management.

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 31. ledna 2014. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky posílejte na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

## INFORMUJEME



### Za bavorskými revitalizacemi – zájezd sdružení Arnika, 2013

Tomáš Just

Ve dnech 8. až 10. května uspořádalo sdružení Arnika zájezd do Bavorska, jehož cílem byly některé tamní vodohospodářské revitalizace. V autobuse byli projektanti vodních staveb a parkových úprav, správci vodních toků, pracovníci státních úřadů, specialisté Českého rybářského svazu, vydavatelé vodohospodářských časopisů, členové občanských sdružení. Hlavní organizátorkou byla Ing. Jana Vitnerová, mimo jiné působící v mezinárodních aktivitách k ochraně Labe. Nejzajímavější navštívené lokality:

#### Revitalizace potoka Kolbersbach u Lindbergu v národním parku Bavorský les

Dynamický podhorský úsek potoka byl v roce 1882 technicky upraven napřímením a stabilizací pro účely plavení dřeva. V roce 2000 jej správa národního parku ve spolupráci s Vodohospodářským úřadem v Deggenedorfu revitalizovala. V údolnicové délce přes jeden kilometr bylo staré přímé koryto opuštěno a částečně zasypano a v plochách charakteru

mýtin, podhorských luk či pastvin je nahradilo koryto nové, přírodě blízké, výrazně meandrující. Toto koryto nebylo stabilizováno technickým opevněním. Jeho hloubková stabilita, kterou vývoj v následujících letech potvrdil, byla dána vhodným tvarováním. Široké a mělké koryto je méně příznivé pro koncentraci proudění než koryto nepřírodně hluboké a podporuje včasné vybřežování větších průtoků. Cílem revitalizační stavby byla jednak ekologická rehabilitace potoka, jednak zpomalení postupu povodňových průtoků, které mohou ohrožovat níže ležící obce. Autor příspěvku navštívil tehdy poměrně čerstvě revitalizovaný Kolbersbach při jedné ze svých prvních cest po bavorských vodách, v roce 2003. Nyní mohl srovnávat. Trasa koryta a jeho základní tvarové charakteristiky se působením tekoucí vody příliš nezměnily, což svědčí o dobrém provedení revitalizace, podrobná tvarová a hydraulická členitost se vyvinula do přírodního stavu natolik, že je v dnešním potoce obtížné rozpoznat vodohospodářské dílo. Podstatné změny ovšem působí bobři, kteří do dnešní doby potok a jeho okolí

ovládli. Pomáhají udržovat travnatý charakter přílehlých ploch, omezují břehové porosty a místy vytvářejí v potoce hráze, díky nimž se koryto rozděluje do více pramenů a v meandrovém pásu vznikají dosti členité mokřadní plochy. Tento vývoj je příznivě hodnocen z hlediska ochrany přírody. I z vodohospodářského hlediska jej lze vítat – posilováním horizontální členitosti řečiště zvyšuje jeho odolnost proti nežádoucímu zahlubování a dále podporuje tlumivé rozlévání větších průtoků do okolních ploch.

#### Protipovodňová revitalizace řeky Wertach v Augsburgu

Tato rozsáhlá stavba, posilující protipovodňovou ochranu Augsburgu a obnovující přírodu blízký stav řeky, byla podrobně popsána ve Vodním hospodářství 10/2010. Tentokrát se výprava rozhodla užít si jedné z nejvýznamnějších bavorských revitalizací naplno. Autobus vysadil účastníky ráno na horním okraji zájmového úseku Wertach, u nemocnice v Bobingen, a ti si pak nechali celý den na podrobný průzkum zhruba 9 kilometrů, v nichž je provedena nebo připravována revitalizace. Morfologický vývoj výrazně rozvolněného, přírodě blízkého koryta probíhá příznivě, bez projevu nežádoucího zahlubování. Výstavbou obnažené povrchy již z velké části pokrývá vegetace a břehy řeky a na ně navazující lesní pásy se staly hojně využívaným příměstským parkem. (Koryto udržuje Vodohospodářský úřad v Deggenedorfu a je při tom vystaven protichůdným požadavkům veřejnosti. Část se dožaduje co nejdůslednějšího sečení říčních



Koryto Kolbersbachu v Bavorském lese, jehož členitost posiluje bobří hráze



Kneippův chodník – ozdravné brouzdaliště na jednom potoce v národním parku Bavorský les



**vodní  
hospodářství®**  
**water  
management®**

**11/2013 ♦ ROČNÍK 63**

*Specializovaný vědeckotechnický časopis pro projektování, realizaci a plánování ve vodním hospodářství a souvisejících oborech životního prostředí v ČR a SR*

*Specialized scientific and technical journal for projection, implementation and planning in water management and related environmental fields in the Czech Republic and in the Slovak Republic*

**Redakční rada:** prof. Ing. Jiří Wanner, DrSc., – předseda redakční rady, doc. RNDr. Jana Říhová Ambrožová, PhD., doc. Ing. Igor Bodík, PhD., Ing. Jiří Čuba, Ing. Václav David, Ph.D., doc. Ing. Petr Dolejš, CSc., Ing. Vladimír Dvořák, Ing. Pavel Hucko, CSc., Ing. Václav Jirásek, Ing. Tomáš Just, doc. Ing. Václav Kuráž, CSc., prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc., JUDr. Jaroslava Nietscheová, prof. Vladimír Novotný, PhD., P. E., DEE, Ing. Bohumila Pětrošová, RNDr. Pavel Punčochář, CSc., prof. Ing. Jaromír Říha, CSc., doc. Ing. Nina Strnadová, CSc., Ing. Jiří Švancara, Ing. Hana Vydrová, Ing. Evžen Zavadil

**Šéfredaktor:** Ing. Václav Stránský

stransky@vodnihospodarstvi.cz, mobil 603 431 597

**Redaktor:** Stanislav Dragoun

dragoun@vodnihospodarstvi.cz, mobil: 603 477 517

**Adresa vydavatele a redakce (Editor's office):**

Vodní hospodářství, spol. s r. o., Bohumilice 89,  
384 81 Čkyně, Czech Republic

**www.vodnihospodarstvi.cz**

**Roční předplatné** 966 Kč, pro individuální nepodnikající předplatitele 690 Kč. Ceny jsou uvedeny s DPH. **Roční předplatné na Slovensko** 30 €. Cena je uvedena bez DPH.

**Objednávky předplatného a inzerce** přijímá redakce.

**Expedici a reklamace** zajišťuje DUPRESS, Podolská 110,  
147 00 Praha 4, tel.: 241 433 396.

**Distribuce a reklamace na Slovensku:**

Mediaprint–Kapa Pressegrasso, a. s., oddelenie inej formy predaja,  
P. O. BOX 183, Vajnorská 137, 830 00 Bratislava 3,  
tel.: +421 244 458 821, +421 244 458 816, +421 244 442 773,  
fax: +421 244 458 819, e-mail: predplatne@abompkapa.sk

**Sazba:** Martin Tománek – grafické a tiskové služby,  
tel.: 603 531 688, e-mail: martin@tomanek.cz.

**Tisk:** Tiskárna Macík, s.r.o., Církvičská 290, 264 01 Sedlčany,  
www.tiskarnamacik.cz

6319 ISSN 1211-0760. Registrace MK ČR E 6319.

© Vodní hospodářství, spol. s r. o.

Rubrikové příspěvky nejsou lektorovány

Obsah příspěvků a názory v časopise otištěné nemusejí být v souladu se stanoviskem redakce a redakční rady. Neoznačené fotografie – archiv redakce.

Časopis je v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v České republice. Časopis je sledován v Chemical abstract.

## NENECHTE si ujít

**9. 12. Správa toků a ochrana přírody – hledání shody.** Diskusní seminář. Praha. Info: vokurka@fsv.cvut.cz.

**11. 12. Čistotařské havárie.** Seminář. ČVTVHS Praha. Info: becvar@csvts.cz.

**11.–13. 12. Manažment povodí a povodňových rizik 2013.** Konference. VÚVH Bratislava. Info: simkova@vuvh.sk.

**13. 12. Nové výrobky a technologie pro rok 2014.** Webinář. Info: plotenym@asio.cz, 724 768 192.

**5. 12. Dokumentace, pasportizace, archivace a návrhy konverzí komínových vodojemů jako ohrožené skupiny památek.** Seminář. VÚV Ostrava. Info: robert\_korinek@vuv.cz.

**Aby nedocházelo k časovým kolizím...** Často se stává, že obdobně zaměřené vzdělávací programy jsou ve stejném, či velmi blízkém termínu. To často zájemce staví do rozhodnutí vybrat si pouze jednu akci. Rádi bychom napomohli organizátorům, **aby k těmto situacím nedocházelo.** Proto nyní, kdy přemýšlíte o tom, jaká setkání a kde v příštím roce zorganizovat, Vám nabízíme uveřejnění (třeba i jen přibližného) termínu Vámi uvažovaných akcí v roce 2014. Pomůže to případným zájemcům zúčastnit se více odborných setkání, pomůže to tedy i Vám, organizátorům. Informace pošlete na stransky@vodnihospodarstvi.cz

## UPOZORNĚNÍ

**!!!V tomto čísle je vložen zálohový list na předplatné časopisu Vodní hospodářství pro rok 2014!!!**

**Předejte jej prosím účtárně k proplacení.**

Zálohový list mají obdržet všichni, kteří si časopis objednávali přímo v redakci. Pokud přesto nebyl zálohový list součástí časopisu, nebo pokud chcete změnu na dokladu, kontaktujte nás prosím na stranska@vodnihospodarstvi.cz.

Posíláte-li nám objednávku, kterou pokračujete v dosavadním odběru, **snažně Vás prosíme:** upozorněte, že jde o pokračování odběru a uvádějte identifikační údaje dosavadního odběru, abychom jednoznačně věděli, který odběr máme zrušit, nebo nám sdělte, že zálohový list, který jste právě obdrželi, nebudete platit. Ušetříte nám tím velice moc práce s dohledáváním. Děkujeme za ochotu.

Snažně prosíme i ty, kteří z jakýchkoliv důvodů už v odběru nechťejí pokračovat, aby věci věnovali pár minut a tuto skutečnost nám na výše uvedenou e-mailovou adresu dali na vědomí. Ušetříte nám tím práci a prostředky za vystavování upomínek.



**VODOHOSPODÁŘSKÝ ROZVOJ A VÝSTAVBA**  
akciová společnost  
150 56 Praha 5 - Smíchov, Nábřeží 4

tel.: 257 110 338 fax: 257 319 394 e-mail: vrv@vrv.cz web: www.vrv.cz

- ♦ řízení investičních projektů, výkon Správce stavby
- ♦ zpracování projektové dokumentace všech stupňů
- ♦ koncepční a studijní práce v oblasti vodního hospodářství
- ♦ finanční montáže pro zajištění investic s účastí finančních zdrojů ČR a EU
- ♦ zpracování žádostí o poskytnutí finančních dotací
- ♦ organizace veřejných soutěží, zpracování tendrové dokumentace
- ♦ výkon koordinátora BOZP dle zákona 309/2006 Sb.
- ♦ zajištění koncesních projektů a organizace koncesních řízení

11

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. **(20 %)**



# COMPARISON OF THE LONGITUDINAL AND LATERAL PROFILES OF WATERCOURSES USING SONAR-BASED METHODS (ADCP) AND HYDROLOGICAL ANALOGY

PAVEL NOVÁK<sup>1,2</sup>, RADEK ROUB<sup>2</sup>, TOMÁŠ HEJDUK<sup>1,2</sup>,  
TOMÁŠ VYBÍRAL<sup>3</sup>, KATEŘINA K. HÁNOVÁ<sup>4</sup>, FILIP URBAN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Research Institute for Soil and Water Conservation, v.v.i, Czech Republic

<sup>2</sup> Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences in Prague, Czech Republic

<sup>3</sup> GEOREAL, s.r.o, Czech Republic

<sup>4</sup> Water Management Development and Construction, joint stock company, Czech Republic

## ABSTRACT

In many cases, a flood wave has a pronounced transforming effect on the channel, and the knowledge of the watercourse longitudinal and lateral profiles is of great importance. To obtain data meeting these requirements with adequate accuracy, we alternated the conventional geodesic methods with sonar-based approaches – ADCP – and with results from the CroSolver software, constructed for obtaining bathymetric information.

We compare results achieved from two approaches for preparing geometric data for hydrodynamic models. The respective approaches are considered as possible replacements for the costly conventional geodesic methods. The proposed methods use either data available from the continual monitoring of surface water courses (i.e., discharge measurements), which can capture precisely the lateral channel profile within the entire longitudinal profile, or a robust sonar-based system.

Results obtained from the conducted studies show that our statement about a possibility to synthesize the ALS data with data from hydrological measurements or ADCP sonar in preparing watercourse computational geometry, is valid. A very good agreement was achieved between lateral profiles (determined inundation areas) prepared by using the CroSolver software or the ADCP sonar with lateral profiles established by geodesic surveying.

**Keywords:** sonar, ADCP, Doppler, discharge, lateral profile, aerial laser scanning

## 1. Introduction

One of the key factors in getting relevant results from hydrodynamic models is the initial data for schematization of the watercourse channel (Coveney et al. 2010). Proper requirements for the initial data also enable quantification of employed hydrodynamic models to be used for simulations. One-dimensional (1D) hydrodynamic models require initial data with the computational pathway consisting of a set of lateral profiles of the watercourse channel; on the other hand, for two-dimensional (2D) hydrodynamic models, a detailed digital model of the area topography has to be provided, i.e. adjoining inundation areas along with the watercourse itself. Thus, the initial data and the employed model may increase the financial costs of the project (Roub et al. 2012a).

LIDAR (Light Detection and Ranging) aerial laser scanning is one of the most common technologies for obtaining spatial data about a territory (Dolanský 2004). The method of aerial laser scanning (ALS) is based on the principle of laser beam reflection interpreting the image of the investigated object to the laser beam (Novák et al. 2011). The beam is emitted to the Earth surface, and measures the travelled distance to the surface of the investigated area or object.

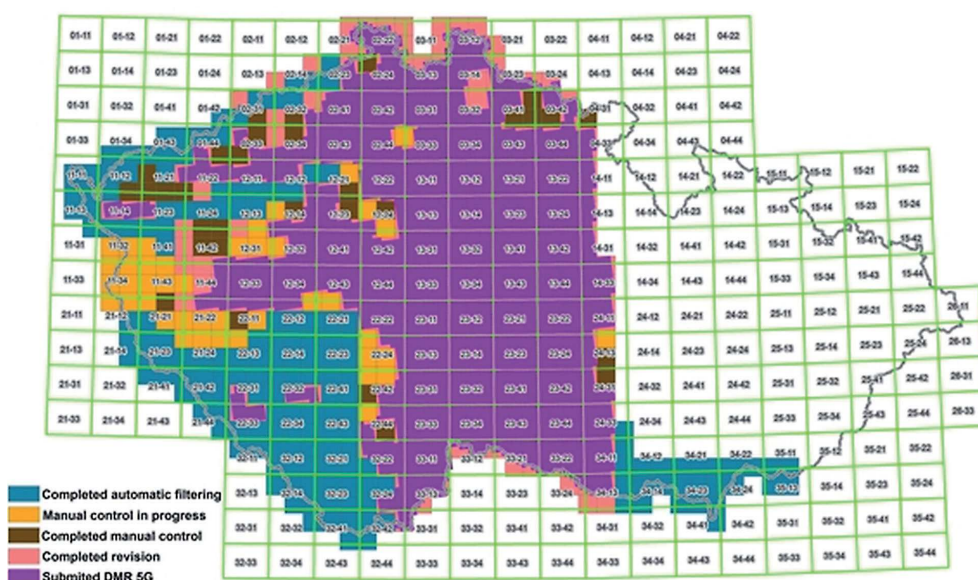
The most lidar systems consist of a LIDAR scanner, a GPS receiver, an inertial measurement unit (IMU) represented by a desk computer and a device for data storage.

This system is mostly applied to generate accurate digital models of terrains and surfaces (DMT x DMP),

which are then used in many fields (building industry, architecture (Hofman and Potůčková 2012), transport, forestry, environment science, defence, etc.), including hydrology and river hydraulics (Roub et al. 2012a). Recently, the activities providing such data sources have been performed in collaboration with the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre (COSMC), Ministry of Agriculture of the Czech Republic (CR) and Ministry of Defence of the Czech Republic. The following application products will be (and for some localities have already been) generated – the Fourth-generation Digital Model of the CR Territory (DMR 4G), the First-generation Digital Model of the Surface of CR Territory (DMP 1G), the Fifth-generation Digital Model of the CR Territory (DMR 5G) (Brázdil 2009).

The expected date for the completion of DMR 5G, i.e. the date until which the DMR 5G should be completed for the entire CR territory is planned for the end of the year 2015. The present state of DMR 5G processing is shown in Figure 1. In his report, Brázdil (2009) described the basic parameters of individual application products. The potential use of ALS data in the fields of hydrology and river hydraulics was described in other reports, e.g. in Uhlířová and Zbořil (2009), Novák et al. (2011), Roub et al. (2012a), Roub et al. (2012b), Roub et al. (2013).

Aerial laser scanning is characteristic by having its own source of radiation, and therefore by not being limited (as is the case of photogrammetry) by insolation. As already mentioned, the information on the Earth surface (surface objects – buildings, vegetation, etc.) is obtained



**Fig. 1** Present state of DMR 5G processing.

by using the emission of laser beams in the form of pulses from a scanner placed on the airborne carrier (Šíma 2009).

In the case of beam reflection we can talk about 'laser beam reflection' – single or multiple – occurring in localities with significant differences in altitude, such as forests or building edges (Dušánek 2008).

The principle of laser beam behaviour after reaching the surface (vegetation, terrain, buildings) has essentially been defined; however, the situation is different when the laser beam falls close to watercourses and water surfaces. To acquire data from aerial laser scanning, two basic scanners (lidars of different laser detection wavelengths) are used. The first are scanners employing a proximal infrared spectrum laser (see the COSMC project). In the case of water (water surfaces), however, a typical spectral phenomenon consists in the almost complete absorption of infrared radiation resulting in a 'no data' area, i.e. an area missing the altimetry information. Mapping under water level, we have to use the green or blue-green part of the spectrum, which is not absorbed by water and thus (in ideal conditions) reaches the bottom from where it is reflected back.

The current mapping of the levels of watercourses/watercourse channels is based on the principle of dual-use scanners, i.e. infrared (mapping the surface) in

combination with blue-green (mapping the bottom). This system is named DIAL – Differential Absorption Lidar. In very clear waters with a quiet surface, the mapping can be done theoretically to depths reaching 50 m. To apply these systems, the flight level must be significantly lower, within a standard range of 200–400 m (Dolanský 2004).

The aim of this work was to verify longitudinal and lateral watercourse profiles obtained from ALS data, which were to a detail specified by sonar-based methods (ADCP) and hydrological analogy (CroSolver) using longitudinal and lateral profiles obtained by conventional geodesic methods.

Table 1 and Figure 2 show the selected segments of watercourses, including the list of their basic characteristics.

## 2. Selection of the pilot segments of watercourses

Selection of the pilot segments of watercourses was made pursuant to a schedule established by the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre, as a guarantor of the project 'Preparation of a new altimetry map using the method of aerial laser scanning (ALS)'.

To take into account the specific altitude distribution and variability of the river pattern in the Czech Republic,

**Tab. 1** Selected segments of water courses.

Stream ID	The name of the stream	Section of the stream	Length (km)	r.km from – to
120020000100	Otava	Bohuslavec – Písek	7.049	20.343–27.392
133060000100	Úslava	Srby – Novotníky	13.024	49.420–62.444
131080000100	Radbuza	Bělá nad Radbuzou	5.948	8.890–14.838
133060000100	Úslava	Blovce	7.319	34.330–41.649
132140000100	Úhlava	Nýrsko	6.420	79.867–86.287
132140000100	Úhlava	Dolní Lukavice – Přeštice – Lužany	9.253	26.000–35.253

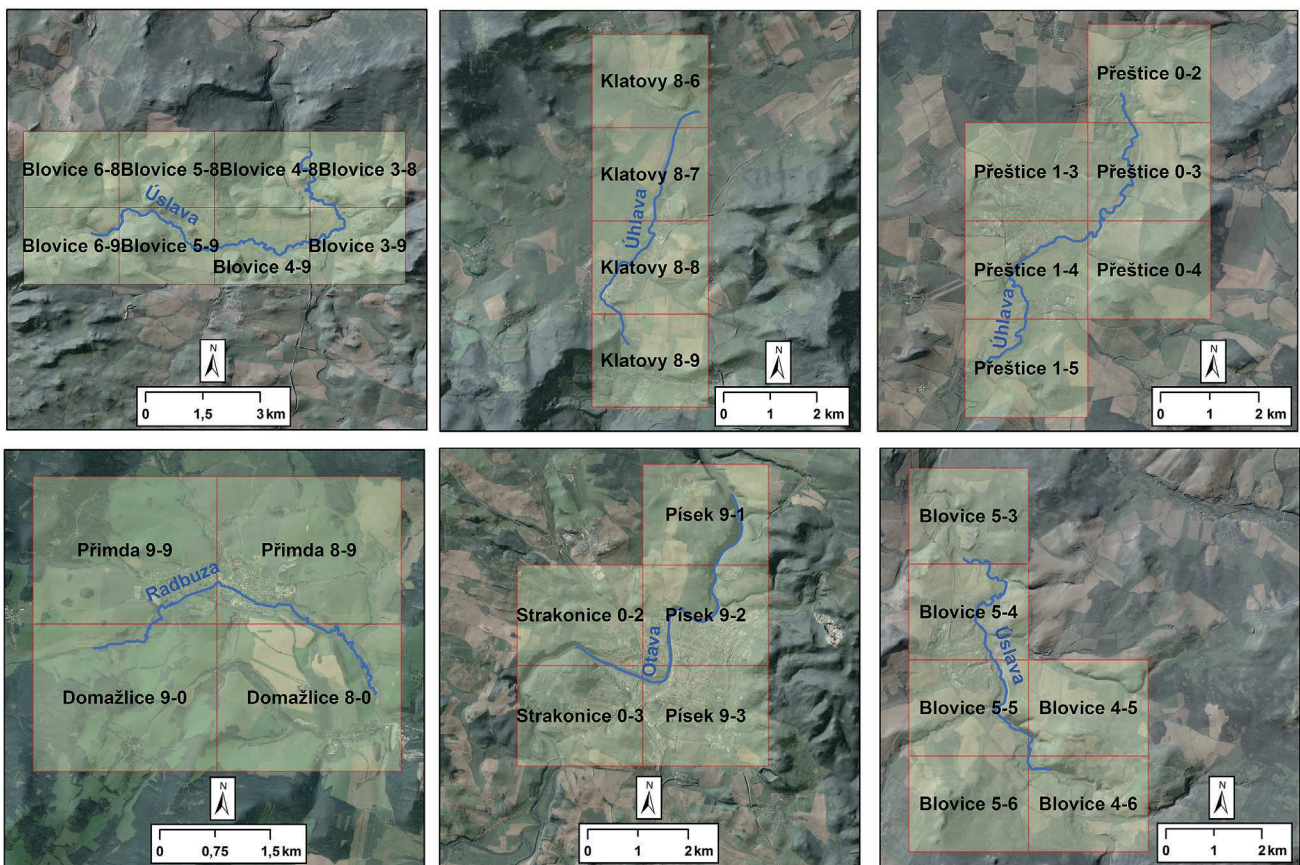


Fig. 2 Selection of pilot segments of water courses.

we selected watercourse segments characterizing best the altitude specificity, which is one of the main criteria of relief articulation. Beside the spatial and temporal distribution of physio-geographic components and elements such as precipitation type, temperature, air humidity, or flora and fauna representation, the altitude also influences characteristics reflecting the nature and course of inundation events.

The variability of the river pattern was assessed in terms of both hydrological parameters, i.e. discharge characteristics and anthropogenic adaptations of watercourses (Langhammer 2003; Maidment 1993), although in most cases, the direct statistical relationship between the watercourse adaptation and the extreme degree of inundation is difficult to prove.

### 3. Methods

To assess the suitability of employing ALS data for modelling the inundation zones (maps of flood risks/threats), we alternated various approaches to prepare initial altimetry data for setting up a hydrodynamic model. Flood events were modelled in the following variants:

a) As initial data for preparing the watercourse geometry (computational pathway), we used the ALS data, while the model event was reduced by discharge reached at the time of ALS data acquisition (Novák et al. 2011);

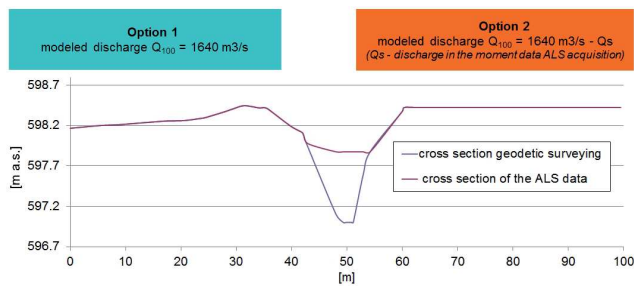
b) As initial data for preparing the watercourse geometry (computational pathway), we used the ALS data, while the watercourse channel was recessed by discharge reached at the time of ALS data acquisition using the *CroSolver* (*Cross section Solver*) software (Roub et al. 2012b);

c) As initial data for preparing the watercourse geometry (computational pathway), we used the ALS data, and the profile of the watercourse channel was adjusted (recessed) based on the data obtained from the ADCP sonar;

d) As initial data for preparing the watercourse geometry (computational pathway), we used the data obtained by the conventional geodesic methods.

#### a) Reduction of the model discharge by discharge reached at the time of ALS data acquisition

To prepare the initial – geometric – data for hydrodynamic models, the costly conventional geodesic methods were substituted with data available from the continual monitoring of surface water (discharge measurements), which perfectly reflect the lateral channel profile within the entire longitudinal profile. The methodology of this computing variant consists in the establishment of watercourse discharge at the time of ALS data acquisition. Discharge determined in this way is then subtracted from the model event, while the initial computational geometry



**Fig. 3** Computing algorithm for the variant with reduced model discharge.

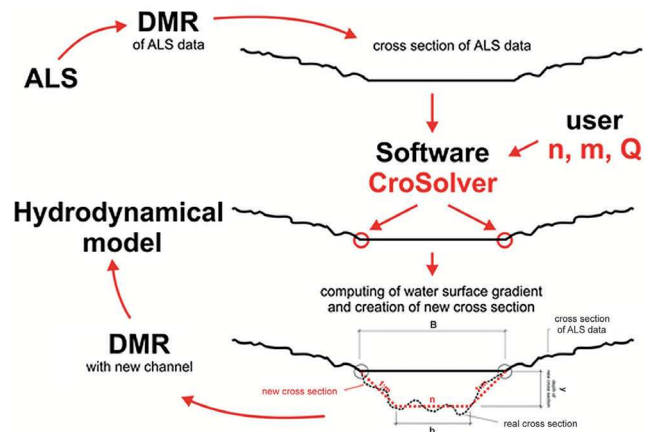
of the watercourse (and adjoining inundation zones) is prepared on the basis of the ALS data themselves. This approach is documented in Figure 3.

In this case, one of the key factors in getting relevant data is adequate setting of Manning's roughness coefficient (Forzieri et al. 2012) for the transitional zone (no data zone). To achieve the corresponding rate distribution in the lateral channel profile, we had to set up the initial conditions. These conditions had to respect the basic hydraulic principles during water flow in open channels. To create correct conditions in these hydrodynamic models, we had to take into account the effects of absent viscous sub-layer in the transitional zone of the computational geometry derived from the ALS data only. The most appropriate and simplest variant was to adjust the channel roughness adequately using the roughness coefficient. Using a proper setup, we achieved a shift (augmentation) of rates in the channel lateral profile in the location of the transitional zone (Novák et al. 2011).

### b) Recess of the watercourse channel by discharge reached at the time of ALS data acquisition

The reflection of hydrological measurements during watercourse schematization into a hydrodynamic model consists in deriving the discharge reached at the time of ALS data acquisition and in using thus determined discharges as a basis for recessing the digital relief model prepared from the ALS data. In this way, we can substitute for the remaining part of the channel profile that has not been reflected by the ALS method in the digital relief model. This enables us to obtain the required watercourse channel geometry, with the capacity equal to the discharge value found in the natural channel (Roub et al. 2012b).

To solve the particular computational variant based on specifying the digital terrain model (DMT) with ALS data, we used discharge established at the time of ALS data acquisition (similarly as in a), but without reducing the simulated discharge by discharge reached at the time of ALS data acquisition). The discharge obtained in this manner was then used for recessing the water channel course in DMT obtained from the ALS data. The computing algorithm is shown in Figure 4.



**Fig. 4** Computing algorithm for the variant using the CroSolver software.

To recess the watercourse channel, we used the CroSolver programme particularly developed for this purpose by the research team. The CroSolver software represents an external – independent – programme, which is not dependent on an already existing user platform. Thus, users are not limited by the need to have an ESRI license for ArcGIS products, as is the second case in which we are planning to develop software constructed as an individual ArcGIS extension.

### c) Establishment of longitudinal and lateral profiles using the ADCP sonar (SonTek)

RiverSurveyor SonTek M9 (Figure 5) is represented by a robust and extremely accurate system of Acoustic Doppler Profiler (ADP) designed particularly for measuring watercourse discharge, depth and rates. This new technology is employed to solve a number of current problems, such as the development of sediments, siltation of retention space in water reservoirs, establishment of discharge in watercourses, etc. (Hess et al. 1995; Liebe et al. 2005; Oyeboode et al. 2013). High accuracy and simple use make it possible to measure with security, without any need of incessant adjustments to particular river conditions. To determine the situation and altimetry information  $x, y, z$  ( $h$ ) with  $\pm 3$  cm accuracy, there is an integrated RTK GPS



**Fig. 5** RiverSurveyor SonTek M9.

(real-time kinematic) system allowing a detailed localization of the performed measurements for direct conversion into the S-JTSK system of coordinates. Such accuracy is achieved with the signal available from 8–9 satellites, which in most cases is obtainable. Basic parameters of the employed product SonTek M9 are given in Table 2.

**Tab. 2** RiverSurveyor M9 specification [Anonym 2010].

Velocity Measurement	
Profiling Range (Distance)	0.06 to 40 m
Profiling Range (Velocity)	$\pm 20$ m/s
Accuracy	$\pm 0.25\%$ of measured velocity
Resolution	0.001 m/s
Number of Cells	Up to 128
Cell Size	0.02 to 4 m
Transducer Configuration	
	Nine (9) Transducers
	Dual 4-beam 3.0 MHz/1.0 MHz
	Janus at 25° Slant Angle
	0.5 MHz Vertical Beam
Depth Measurement	
Range	0.20 to 80 m
Accuracy	1%
Resolution	0.001 m
Discharge Measurement	
Range with Bottom-Track	0.3 to 40 m
Range with RTK GPS	0.3 to 80 m
Computations	Internal

To prepare initial data for the hydrodynamic model using the SonTek software, we alternated the approach based on the ADCP-determined lateral profiles with the adjustment (recess) of DMT obtained only with the ALS data, generating the final data form.

By using this approach, the watercourse channel profile is recorded to DMR from the ALS data and individual lateral profiles obtained from the sonar location are mutually interpolated. This methodology is illustrated in

Figure 6a and Figure 6b, showing the course of the lateral profile and additionally the distribution of point rates in individual vertices of the colour spectrum.

#### d) Preparation of initial data by conventional geodetic methods

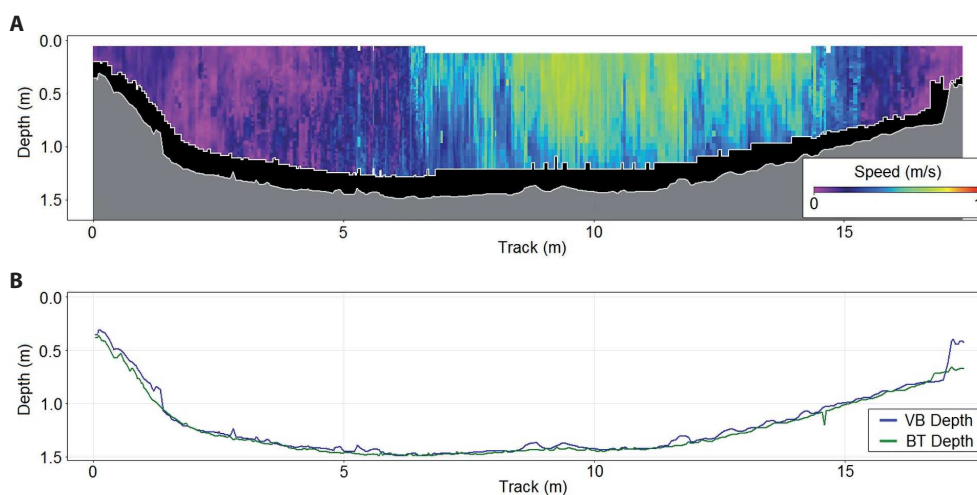
This method alternates the employment of ALS data with data obtained by the conventional geodetic methods. The method is based on the standard approach currently applied to obtain relevant DMR with regard to river hydraulics.

Additionally located lateral profiles of the watercourse channel are used for the subsequent interpolation of watercourse inter-profile space, similarly as in the variant employing the SonTek product. Watercourse channel bathymetry determined in this way is then combined with the ALS data into final DMR, from which the schematization of the watercourse channel and adjoining inundation is generated.

## 4. Results and Discussion

To assess the relevance of individual approaches, we compared the scenarios with either the reduction of simulated discharge by the discharge level detected at the time of data acquisition using the ALS method, i.e. based on DMR generated from ALS only, or without reducing the simulated discharge, i.e. based on DMR with the adequately included water-course channel (ALS data + geodetic location), prepared in the variants combined with data from hydrological measurements (CroSolver), data obtained by sonar (RiverSurveyor SonTek M9), or data from the geodetic location of lateral profiles.

In the locations with the geodetically determined lateral profiles, we generated new lateral profiles based on DMR prepared by using the individual approaches (ADCP, hydrological analogy), and we then compared them with the geodetically located lateral profiles.



**Fig. 6**

A – Computing algorithm for the variant using the ADCP sonar (SonTek).  
B – Computing algorithm for the variant using the ADCP sonar (SonTek).

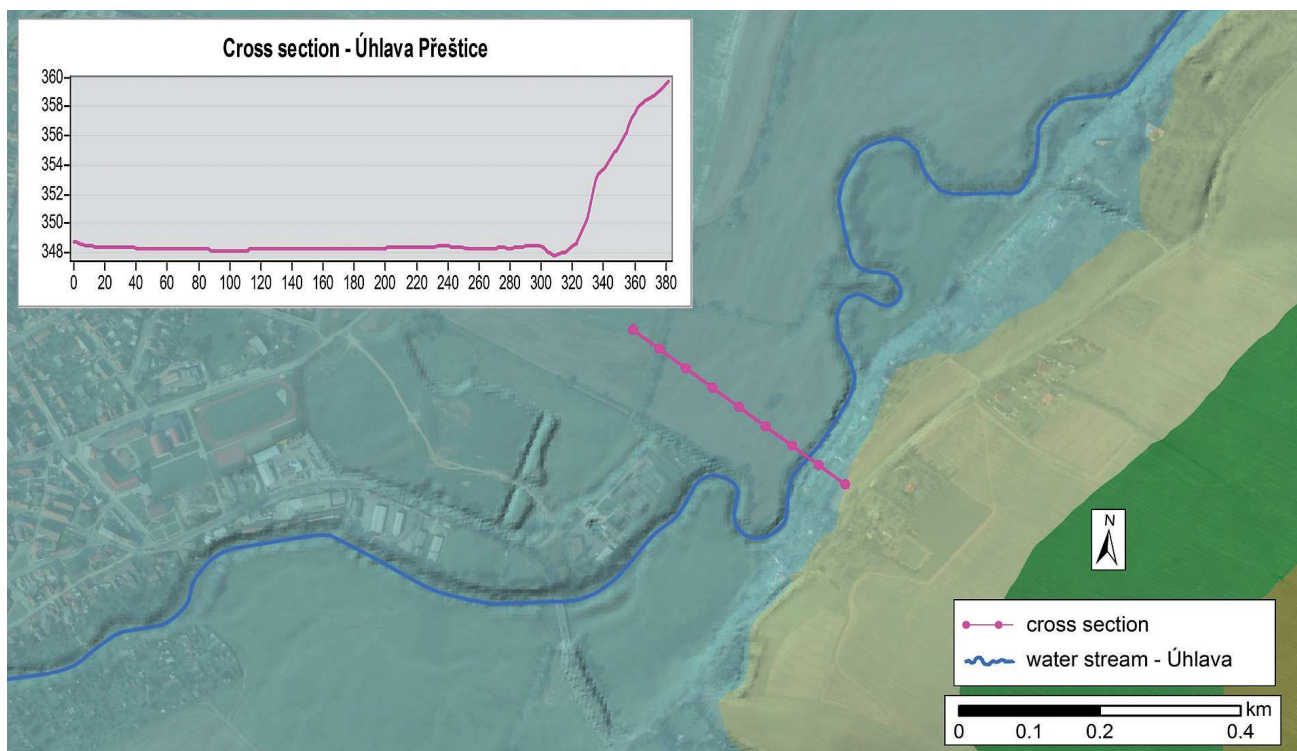


Fig. 7 Typical cross section.

The following results are presented for the lateral profile of the Úhlava watercourse near the town of Přeštice (Figure 7).

Figures 8–11 show lateral profiles for the individual considered variants. The  $x$  axis shows the length [m] of the lateral profile (its segment in the watercourse channel). The  $y$  axis shows the altitude [m above sea level].

The comparison of lateral profiles generated from the final DMT, i.e. after recessing the discharge reached at the time of ALS recording, with the geodetically located lateral profiles and profiles prepared with CroSolver shows good correlation, see Figure 12.

The results are also satisfactory for the modelling of the inundation zones themselves, including the scenario

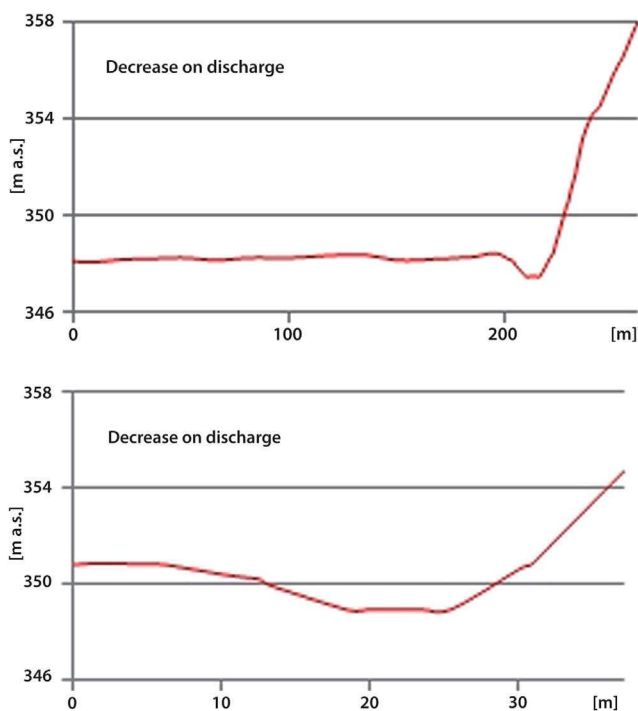


Fig. 8 a,b Option 1 – Decrease on discharge.

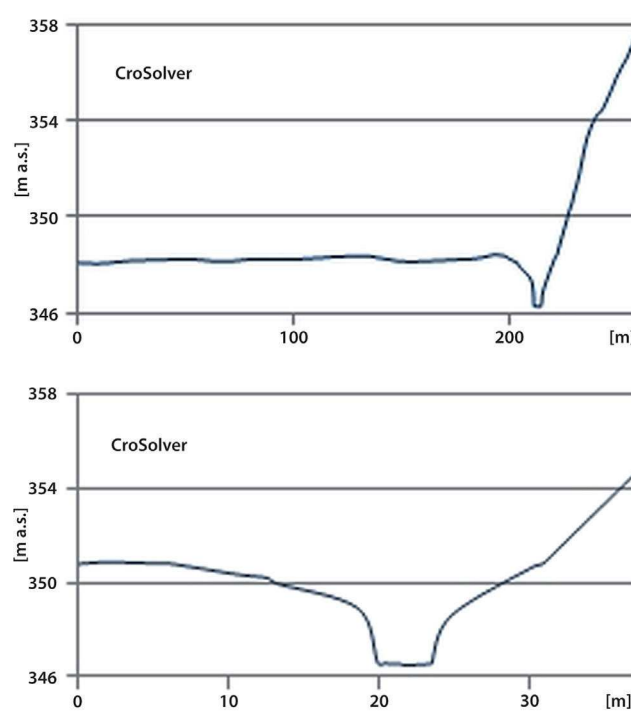


Fig. 9 a,b Option 2 – CroSolver.

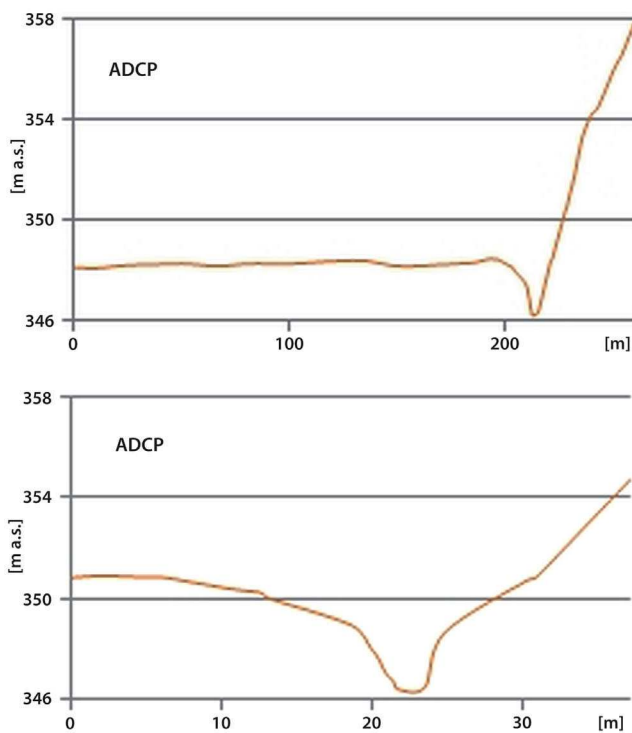


Fig. 10 a,b Option 3 – ADCP.

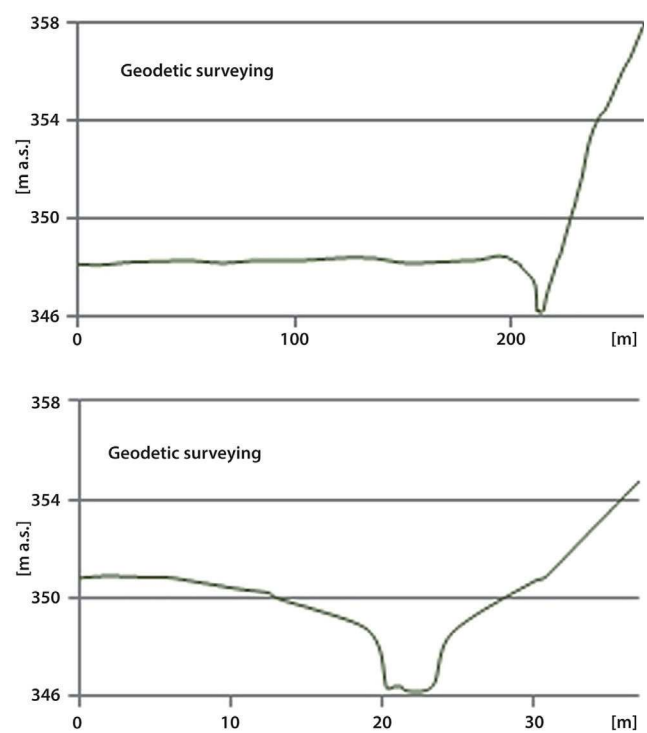


Fig. 11 a,b Option 4 – Geodetic surveying.

prepared with DMT without recessing the water channel course, which is simulated with reduced discharge.

Although the depicted lateral profiles do not reach absolute similarity, i.e. are not totally identical, the deviations are rather small and do not have subsequent effects on the results obtained with the hydrodynamic model.

Moreover, the application of the CroSolver software led to significant correlation of results even in the area between the individual lateral profiles within the ‘inter-profile’ area. These results were obtained by depicting new lateral profiles using DMR prepared by the CroSolver software in the area between the individual geodetically located lateral profiles (at a spacing of ca 90–120 m). These profiles were then compared with the additionally located profiles by conventional geodesy as well as with the lateral profiles from DMR prepared by expert interpolation of the original geodetically located profiles.

The comparison of lateral profiles from the interpolated inter-profile area with the additionally geodetically located lateral profiles shows that the lateral profiles obtained from DMR with the interpolated – manually edited – inter-profile area display high fluctuation as compared with the geodetically located profiles.

Furthermore, the accuracy of the lateral profiles from the manually edited inter-profile areas decreases with the increasing distance from the reference (geodetically located) lateral profile, resulting in channel profile over-sizing or under-sizing (Roub et al. 2012b).

An advantage in using ADCP methods in the preparation of watercourse geometry is also the acquisition of relevant data about the discharge profile of the watercourse

within its entire longitudinal profile. However, time consumption and financial costs for obtaining the data are considerably higher as compared with methods based on the quantitative monitoring. With using the sonar, the lateral profile is recorded in detail and with high accuracy since it consists of a great amount of points. This situation, however, leads to inaccurate up to chaotic generation of watercourse channel in the inter-profile areas (at interpolation of lateral profiles). This particularly applies to segments with the pronounced watercourse meandering. A partial solution of this problem is the reduction of points in the respective lateral profiles. A more detailed specification of the inter-profile parts of watercourses is a subject of further development. In more or less straight segments, the generated course of watercourse channel is

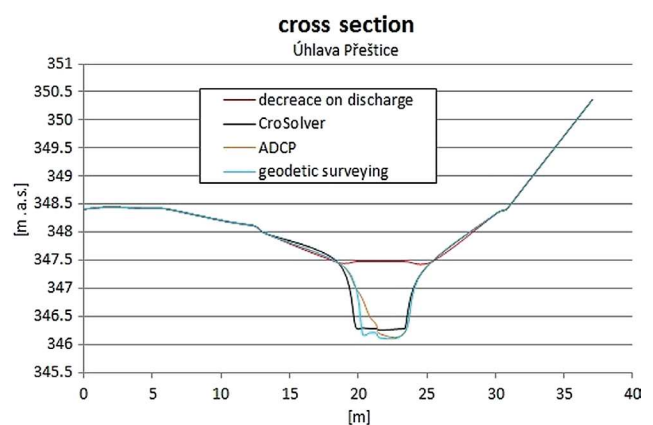


Fig. 12 Option 1–4.

of high quality and suitable for use in generating hydrodynamic models.

## 5. Conclusion

Data sources (DMR 4G, DMR 5G, DMP) obtained by mapping the altimetry of the Czech Republic represent a powerful tool, also serving other fields beside hydrology or river hydraulics.

The results of our analyses confirm the hypothesis that ALS data can be combined with data from hydrological measurements or with using the ADCP sonar to generate the computational geometry of the watercourse. Using the CroSolver software or the ADCP sonar, very good correlation of lateral profiles (established inundation zones) has been reached with the lateral profiles obtained by the geodetic location. The ADCP sonar-based approach was used in these analyses as a tool to verify the watercourse geometry and, at the same time, to compare discharge values from the monitoring network of quantitative hydrological monitoring performed by companies 'Povodí' or CHMI. The limited data sources of detailed geodetic documentation available for in-depth reflection of the actual inter-profile area or time requirements for data acquisition by the ADCP sonar point out a possibility for a more extensive use of combined ALS data with hydrological analogy in practice. Wider application of such a combination based on the use of conventional geodetic methods for getting the altimetry data would also have positive consequences in reduced costs needed for setting up the hydrodynamic model itself. In the case of 'small' watercourses where the constant flow is irrelevant, we should automatically select the approach without recession by using the data from hydrological measurements, and the geodetically located profiles should serve for control only.

However, the indisputably best variant for the generation of relevant DMT seems to be the application of the above-mentioned dual-use lidar for mapping both the watercourse surface and the watercourse bottom. Greater use of this approach would have a positive impact not only on the generation of the hydrodynamic model alone, but also on the quantification of the retention volumes of water reservoirs as well as on a more accurate establishment of the retention space capacities.

## Acknowledgements

The results reported in this text were obtained with the support of the Czech Technology Foundation, programme Alpha, project TA02020139 – Use of hydrological measurements in the schematization of watercourse channels for hydrodynamic model purposes based on aerial laser scanning data and BV II/2-VS, project VG3VS/229 – "Geographical information systems to support crisis situations and their connection to the automatic warning systems".

## REFERENCES

- ANONYM (2010): RiverSurveyor Discharge, bathymetry and current profiling.
- BRÁZDIL, K. (2009): The project of creating a new altimetry of the Czech Republic, *Geodetický a kartografický obzor (Geodetic and Cartographic Review)*, 55(7), 145–151. (in Czech)
- COVENEY, S., FOTHERINGHAM, A. S., CHARLTON, M., MCCARTHY, T. (2010): Dual-scale validation of a medium-resolution coastal DEM with terrestrial LiDAR DSM and GPS, *Computers & Geosciences*, 36(4), 489–499. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2009.10.003>
- DOLANSKÝ, T. (2004): Lidary a letecké laserové skenování (*Lidars and aerial laser scanning*), *Acta Universitatis Purkynianae, Studia geoinformatica, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem*, 99 pp.
- DUŠÁNEK, P. (2008): Generation of digital terrain models from aerial laser scanning and its use for updating ZABAGED altimetry, Diploma thesis, Faculty of Science, Charles University in Prague, Department of Applied Geoinformatics and Surveying. Supervisor: Markéta Potůčková, Ph.D. (in Czech)
- FORZIERI, G., CASTELLI, F., PRETI, F. (2012): Advances in remote sensing of hydraulic roughness. *International journal of remote sensing*, 33(2), 630–654. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2010.531788>
- HESS, L. L., MELACK, J. M., FILOSO, S., WANG, Y. (1995): Delineation of inundated area and vegetation along the Amazon floodplain with the SIR-C synthetic aperture radar. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 33, 896–903. <http://dx.doi.org/10.1109/36.406675>
- HOFMAN, P., POTŮČKOVÁ, M. (2012): Roof type determination from a sparse laser scanning point cloud, *AUC Geographica*, 47(1), 35–39.
- LANGHAMMER, J. (2003): Anthropogenic Transformation of river network in the Otava River Basin. *AUC Geographica*, 38(2), 139–156.
- LIEBE, J., VAN DE GIESEN, N., ANDREINI, M. (2005): Estimation of small reservoir storage capacities in a semi-arid environment A case study in the Upper East Region of Ghana, *Physics and Chemistry of the Earth*, 30, 448–454. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2005.06.011>
- MAIDMENT, D. R. ed. (1993): *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- NOVÁK, P., ROUB, R., HEJDUK, T. (2011): Use of hydrological measurements in generation of hydrodynamic models from aerial laser scanning. *Vodní hospodářství (Water Management)*, 61(8), 297–302. (in Czech)
- UHLÍŘOVÁ, K., ZBOŘIL, A. (2009): Possible use of laser scanning of surfaces for water management purposes. *Vodní hospodářství (Water Management)*, 59(12), 11–15. (in Czech)
- OYEBODE, Y. O., DAUDA, K. A., BAIYERI, M. R., ASONIBARE, R. O. (2013): Hydrographic Analysis and Estimation of Sediment Load of Kwara State Polytechnic Dam, *Journal of Agricultural Research*, 1(5), 80–87.
- ROUB, R., HEJDUK, T., NOVÁK, P. (2012a): Use of data from generation of a new altimetry map of the Czech Republic by aerial laser scanning for analysis and mapping of flood threats. *Geodetický a kartografický obzor (Geodetic and Cartographic Review)*, 58(1), 4–8. (in Czech)
- ROUB, R., HEJDUK, T., NOVÁK, P. (2012b): Automating the creation of channel cross section data from aerial laser scanning and hydrological surveying for modeling flood events, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60(3), 227–241.



- ROUB, R., HEJDUK, T., NOVÁK, P. (2013): Optimization of Flood Protection by Semi-natural Means and Retention in the Catchment Area: A Case Study of Litavka River (Czech Republic). *Moravian Geographical Reports*, 21(1), 51–66. <http://dx.doi.org/10.2478/mgr-2013-0005>
- ŠÍMA, J. (2009): The alphabet of aerial laser scanning, *GeoBusiness*, 3, 22–25. (in Czech)

## RÉSUMÉ

### **Srovnání podélného a příčného profilu vodního toku za použití přístupů založených na sonaru (ADCP) a hydrologických měření**

Jeden z rozhodujících faktorů pro získání relevantních výsledků z hydrodynamických modelů, představují vstupní data pro schematizaci koryta vodního toku (Coveney et al. 2010). Dle

požadavku na vstupní data je možné kvantifikovat i použité hydrodynamické modely, které budou pro provádění simulace použity. Jednorozměrné (1D) hydrodynamické modely se vyznačují nižšími požadavky na vstupní data, kdy výpočetní trať je tvořena souborem příčných profilů koryta vodního toku, naproti tomu u dvou- a trojrozměrných (2D) hydrodynamických modelů je nutné sestavit pro celé řešené území detailní digitální model reliéfu, tj. přílehlé inundace, ale i samotného vodního toku. S ohledem na vstupní data a použitý model roste i finanční náročnost celého projektu (Roub a kol. 2012a). V řadě případů dochází k významnému transformačnímu efektu povodňové vlny v samotném korytě, a proto je znalost podélného a příčného profilu řešeného vodního toku velice významná. Pro potřeby získání takovýchto dat, které budou v požadované přesnosti tyto podmínky naplňovat, byly alternativně konvenční geodetické metody s přístupy založenými na sonaru – ADCP (SonTek) – a výsledky ze softwaru Profile Solver, který byl cíleně sestaven pro potřeby získání výškopisné informace pod hladinou vodního toku.

*Pavel Novák, Tomáš Hejduk*  
*Research Institute for Soil and Water Conservation, v.v.i.*  
*Žabovřeská 25*  
*150 00 Prague 5 – Zbraslav*  
*Czech Republic*  
*E-mail: novak.pavel@vumop.cz*

*Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences in Prague*  
*Kamýcká 129*  
*165 21 Prague 6 – Suchbátka*  
*Czech Republic*

*Radek Roub*  
*Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences in Prague*  
*Kamýcká 129*  
*165 21 Prague 6 – Suchbátka*  
*Czech Republic*

*Tomáš Vybíral*  
*GEOREAL, s.r.o.*  
*Hájkova 12*  
*301 00 Pilsen*  
*Czech Republic*

*Kateřina K. Hánová, Filip Urban*  
*Water Management Development and Construction, joint stock company*  
*Nábřeží 4*  
*150 56 Prague 5 – Smíchov*  
*Czech Republic*

12

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. (20 %)

# Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží

Pavel Novák, Radek Roub, Tomáš Vybíral, Jiří Hlaváček, Tomáš Hejduk, Luděk Bureš, Adam Reil

## Abstrakt

Cílem předkládaného příspěvku je seznámit širokou odbornou veřejnost s vývojem a aplikací nových technologií pro získání relevantních informací o batymetrii vodních toků a nádrží. Prezentovány jsou dílčí výsledky z výzkumu, jehož snahou je získání ucelených datových souborů kombinujících data z měření terénů s daty z měření dna vodních toků a nádrží.

Takto získaná 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 poskytnou 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 rámci daného příspěvku jsou prezentovány technologie založené na aplikaci zařízení RiverSurveyor M9, což je automatické profilovací zařízení, pracující na principu Dopplerova jevu, 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.

## Klíčová slova

batymetrie – GIS – GPS – DPZ – sediment – vodní tok – vodní nádrž

## 1. Úvod

V současné době probíhá metodou leteckého laserového skenování na území České republiky (ČR) nové výškopisné mapování, které poskytne nové výškopisné produkty – digitální model reliéfu území České republiky 4. generace (DMR 4G) ve formě mříže (GRID)  $5 \times 5$  m se střední chybou výšky  $\sigma_z = 0,30$  m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu a digitální model povrchu území České republiky 1. generace (DMP 1G) ve formě nepravidelné sítě vybraných výškových bodů (TIN) se střední chybou výšky  $\sigma_z = 0,4$  m pro přesně prostorově vymezené objekty (budovy) a  $\sigma_z = 0,7$  m pro objekty přesně neohrančené (lesy a další prvky rostlinného půdního krytu) [2, 3].

Otázkou přesto zůstává, co se nachází pod vodní hladinou, jaké jsou zásobní (retenční) kapacity vodních toků, vodních nádrží. Kolik máme sedimentů ve vodních tocích či vodních nádržích nebo jaká je jejich dynamika? Na tyto otázky hledá odpovědi vědní obor batymetrie.

Přestože prvotní vymezení oboru batymetrie bylo úzce spojeno s měřením hloubek oceánů, moří a jezer při vytváření námořních map pro bezpečnější navigaci, při hledání ropy nebo vraků lodí, v posledních letech je tento obor velice expandujícím a nalézá široké uplatnění v řadě dalších oborů.

## 2. Základní principy užívané v batymetrii

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.

### 2.1 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 [19]. 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 odráží 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 odráží 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 [10].

### 2.2 Mnohopaprscitý sonar

Mnohopaprscitý sonar je nástroj, který 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. Tato oblast 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 [23].

### 2.3 Boční sonar

Dalším typem je boční sonar, který má jiný cíl, než zkoumat tvar oceánské dna. Boční sonar totiž odhaluje informaci o složení dna, protože schopnost absorbovat a odrážet zvuk se u různých materiálů liší. Některé typy materiálu, jako jsou kovy nebo nově vzniklé sopečné horniny, jsou u odražení zvuku velmi efektivní. Na druhou stranu jíl 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 dávají velmi dobrý přehled o tvaru a složení dna v oceánech [23].

### 2.4 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 radiolimmigrafy (výška hladiny), inklinometr (sklon) a gyrokompas [20].

### 2.5 Parasound

Parasound je metoda batymetrie fungující na bázi parametrického principu (parametric echosounder) a zkoumá mělké vrstvy sedimentu [19]. 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 v rovném paprsku primárních frekvencí. Využití parametrického efektu má rozhodující výhody oproti standartnímu 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



Obr. 1. RiverSurveyor S5/M9 (SonTek 2013)

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 maximální 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 příkrym povrchem, kde malý záběr paprsku umožní jen velmi slabé odrazy signálu zpět k plavidlu [13].

## 2.6 Acoustic doppler profiler

Někdy také Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) je přístroj 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, 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 rychlost proudění vody na základě Dopplerova jevu. Zvuk má vyšší frekvenci, když se přibližuje, než když se oddaluje. 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 pohybu v vodě a zpětně se vrací 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. Přístroj 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 vyslaného 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 [28].

Tato metoda se hojně používá v USA, kde tato zařízení vyrábí firma SonTek a nazývá je

RiverSurveyor (obr. 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. Při měření je potřeba, aby jeden pracovník tahal plovák k sobě a druhý po stejné ose zase zpět [24].

## 3. Pilotní testovací území a jejich popis

Pro potřeby zobecnění a možnosti širšího uplatnění metody syntézy dat z batymetrického měření s daty z nového výškopisného mapování ČR (geodetického zaměření) při přípravě vstupního DMR (příčných profilů) pro potřeby hydrodynamických modelů (1D, 2D) byly vybrány lokality v Plzeňském kraji, které jsou specifikovány v tab. 1 a znázorněny na obr. 2.

Výběr pilotních úseků vodních toků předurčoval stanovený harmonogram pořizování výškopisných dat Českého úřadu zeměměřického a katastrálního jako garanta projektu zpracování nového výškopisu metodou leteckého laserového skenování.

Druhým aspektem pro výběr pilotních území bylo zohlednění variability říční sítě, které vycházelo jak z pohledu hydrologických ukazatelů, tj. průtokové charakteristiky vodního toku, tak i s ohledem na antropogenní upravenost vodních toků [16], a to i přesto, že ve většině případů přímá statistická vazba mezi úpravami toků a extremitou povodně je obtížně průkazná.

### Popis toku Úhlavy v Přešticích:

V celé délce toku jsou obě břehové linie lemovány stromořadím. Koryto toku tvoří jednoduchý lichoběžníkový profil.

**34,054–33,777 ř. km:** Tok je přímý. Levý i pravý břeh rovinného charakteru, pokrývají travní porosty.

**33,777–32,896 ř. km:** Tok se mírně vlní a v kilometru 33,527 se nachází meandr. Pravý břeh meandru je konvexním obloukem. Na konci úseku se nachází ostrý, téměř pravoúhlý oblouk. Pravý břeh oblouku opět konvexní.

**32,896–32,653 ř. km:** Tok je přímý. Levý břeh stoupá za břehovou hranou strmě vzhůru. Pokrývají zahrady rodinných domů.

**32,653–32,0 ř. km:** Tok se mírně vlní. Levý břeh lemuje stavby, nebo zahrady. Pravý břeh lemuje zahrádkářská kolonie. V úseku 32,557 až 32,446 ř. km je břeh opevněn kamennou dlažbou do cementové malty.

**32,0–31,604 ř. km:** Tok se stáčí mírným táhlým obloukem doprava. Levý břeh lemuje stavby. Břehová hrana opevněna kamenným záhozem. Pravý břeh bez staveb, pokrytý travním porostem.

Tab. 1. Základní údaje k zájmovým lokalitám

Lokalita	Přeštice	Písek
Název toku	Úhlava	Otava
IDVT (CEVT), TOK_ID	1010002, 132140000100	1010001, 120020000100
Délka úseku	2,636 km	2,136 km
Začátek úseku	y: -828728,281 m, x: -1089651,305 m	y: -774475,952 m, x: -1125471,441 m
Konec úseku	y: -827648,779 m, x: -1088411,783 m	y: -773615,526 m, x: -1124446,443 m
ř. km od –do	31,418–34,054	22,909–25,045
Geologie	břidlice, bazalt, bazaltický andezit	granodiority, ruly, migmatity, kvartérní sedimenty (šterky a písky)
Skupiny půdních typů	půdy nivní, skupina hnědých půd, půdy hnědozemní, půdy oglejené	skupina hnědých půd, půdy oglejené, půdy ilimerizované, skupina půdy na píscích, půdy hydromorfnní, půdy silně svažitě
Objekty na toku	32,653 ř. km betonová lávka, 32,557 ř. km jez (součástí jezu je MVE)	23,304 ř. km pravostranný přítok, 23,893 ř. km most (k ČOV Písek), 24,473 ř. km levostranný přítok, 24,655 ř. km levostranný přítok (potok JIHER), 24,731 ř. km limnigrafická stanice, 24,777 ř. km betonová lávka, 24,857 ř. km pravostranný přítok

31,604–31,418 ř. km: Tok je přímý. Oba břehy bez staveb. Levý břeh pokryt stromy. Pravý břeh pokryt travním porostem.

#### Popis toku Otavy v Písku:

Koryto toku tvoří složený profil. Beryny pokryty travním porostem. Břehovou linií kopírují cyklostezky.

**25,045–24,531 ř. km:** Tok je přímý. Na levé straně místo beryny kolmá opěrná zeď a navazující urbanizované území. Na pravé straně břehová hrana lemována stromy. Za břehovou hranou navazuje urbanizované území.

**24,531–24,085 ř. km:** Tok tvoří ostrý, více než pravouhlej oblouk. Vrchol oblouku je v 24,4 ř. km. Levá konkávní strana oblouku je i s berynou opevněna kamenným záhozem. Za břehovou linií se nachází prudký zalesněný sráz. Pravou břehovou linií lemují stromy. Za stromy terén stoupá do krátkého mírného srázu, na jehož vrcholu se nachází urbanizované území.

**24,085–23,134 ř. km:** Tok tvoří táhlý, téměř půlkruhový oblouk. Na levé konvexní straně široká berma. Nad břehovou linií se nachází v úseku 23,9–23,5 ř. km ČOV Písek. Konkávní hrana kynety opevněna kamenným záhozem. Nad břehovou linií se od 23,8 ř. km zvedá vysoký zalesněný sráz.

**23,134–22,909 ř. km:** Tok tvoří mírný oblouk. Od 22,970 ř. km do konce úseku se nacházejí peřeje. Levá konkávní kyneta i berma opevněny kamenným záhozem. Nad břehovou linií se nachází lesní porost. V 1/3 toku od pravé hrany kynety se nachází podélná kamenná regulace. Na pravou břehovou linií navazuje zahrádkářská kolonie.

#### 4. Výsledky dosažené sondou RiverSurveyor

Na výše uvedených vybraných úsecích řek Otavy a Úhlavy byla odzkoušena nová měřicí technologie založená na Dopplerově jevu. Konkrétně bylo využito automatické profilovací zařízení RiverSurveyor M9.

Aplikovaný RiverSurveyor SonTek M9 představuje robustní a velmi přesný systém Acoustic Doppler Profiler (ADP) speciálně určen pro měření průtoků, hloubek a rychlostí ve vodním toku, včetně samotné batymetrie vodního toku.

Tato nová technologie je využívána při řešení řady aktuálních problémů, jako jsou problematika sedimentů, zanášení retenčních prostorů vodních nádrží, stanovení průtoků na vodních tocích aj. [10, 14, 17].

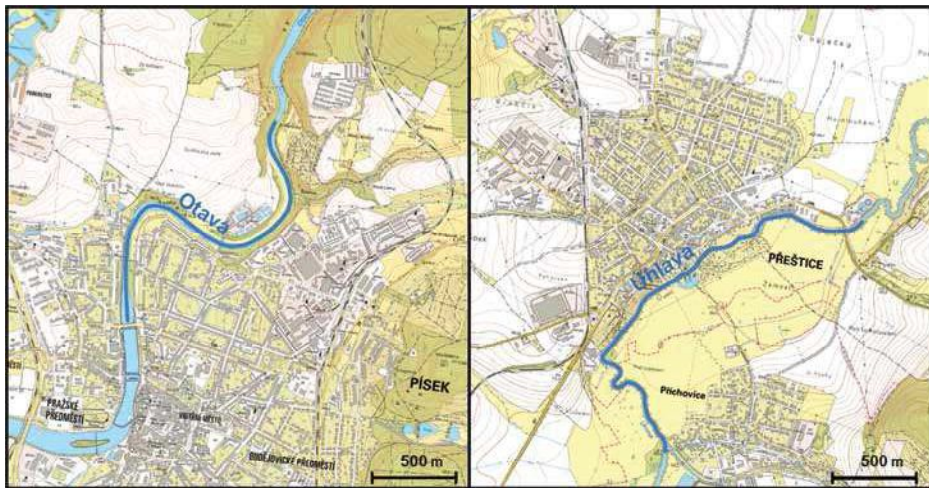
Vysoká přesnost a jednoduchost použití umožňuje měřit s jistotou, bez potřeby neustálých změn nastavení měření pro konkrétní stavy řeky. Pro měření polohové a výškopisné informace  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ( $h$ ) v přesnosti  $\pm 3$  cm je integrována RTK GPS (Real Time Kinematic), která umožňuje detailní lokalizaci prováděných měření pro přímý převod do souřadného systému S-JTSK. Uvedená přesnost je dosažena při dostupném signálu z 8–9 satelitů, což je ve většině případů splněno. Základní parametry použitého produktu SonTek M9 jsou uvedeny v **tab. 2**.

Touto technologií byly v místech geodeticky zaměřených příčných profilů pořízeny nové příčné profily. Profily byly záměrně pořizovány na místech, která byla již dříve zaměřena geodetickými metodami, tak aby bylo možné jejich porovnání. Výsledné příčné profily získané novou technologií jsou spolu s příslušnými geodetickými profily vyobrazeny pro říční úsek Otavy v Písku na **obr. 3** a pro říční úsek Úhlavy v Prešticích na **obr. 4**.

U geodeticky zaměřených profilů jsou vyznačeny měřené body. U profilu ze zařízení RiverSurveyor M9 nejsou zaměřené body vyobrazeny. Je to z důvodu velkého množství bodů pořízených zařízením. Možnost volby rozestupu mezi měřenými body lze nastavit v zařízení před měřením.

#### 5. Diskuse a závěr

Předložený příspěvek slouží jako úvodní představení k projektu Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů, který je zaměřen na použití moderních technologií a postupů k získání charakteristik a mapování vodních toků a nádrží. Hlavním nástrojem je zde komplexní zařízení RiverSurveyor M9, které



Obr. 2. Zájmové lokality v Písku (vlevo) a v Prešticích (vpravo)

Tab. 2. Specifikace RiverSurveyor M9

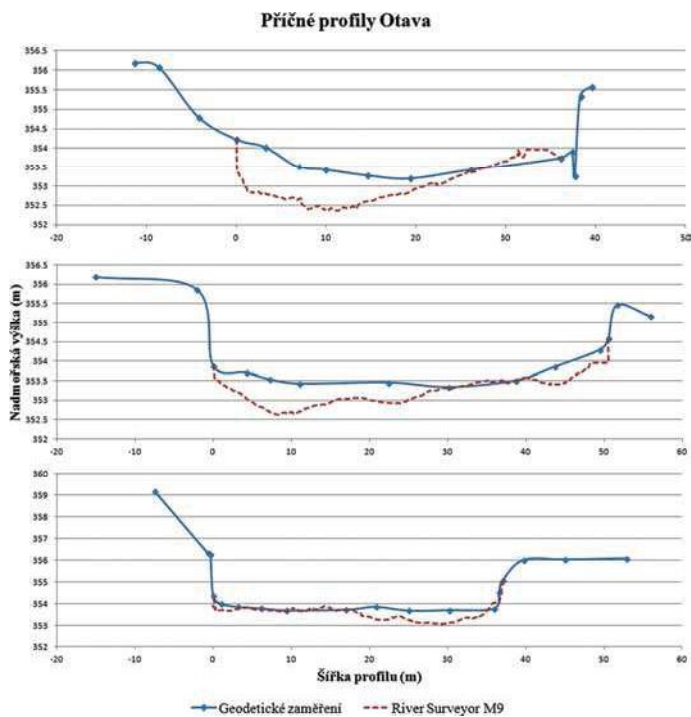
Systém	
počet vysílačů/přijímačů	celkem 9
vysílač/přijímač	2x 4paprskový systém o frekvenci 3,0 MHz/1,0 MHz
úhel vysílačů/přijímačů	25°
frekvence svislého paprsku	0,5 MHz
Měření rychlosti	
hloubka profilu	od 0,06 do 40 m
rozsah rychlostí	$\pm 20$ m/s
přesnost	$\pm 0,25$ % měřené rychlosti
rozlišení	0,001 m/s
počet buněk	až 128
velikost buněk	od 0,02 do 4 m
Měření hloubky	
rozsah	od 0,20 do 80 m
přesnost	1 %
rozlišení	0,001 m
Měření průtoků	
rozsah při Bottom-Track	od 0,3 do 40 m
rozsah s RTK GPS	od 0,3 do 80 m
výpočet průtoku	interní

v bodech monitoruje profil a těmto bodům přiřazuje zeměpisné souřadnice a nadmořské výšky pomocí integrovaného GPS modulu. Na přesnost určení prostorových souřadnic má rozhodující vliv kvalita signálu GPS.

Kvalita získaných dat se přímo odvíjí od hustoty a výšky břehového porostu a při vyhodnocování těchto dat je nutno s touto skutečností počítat. V případě snížené kvality signálu, popřípadě jiných nejistot při měření je nutné získaná data verifikovat. K ověření lze využít v případě dostupnosti limnigrafických stanic nebo známých geodetických bodů. Proto je vhodné v místech se vzrostlou vegetací provádět měření v jarních či podzimních měsících. Případně lze naměřená data zpřesnit při postprocessingu na základě dat z limnigrafických stanic či známých geodetických bodů.

Dále je při měření sondou RiverSurveyor M9 potřeba uvažovat minimální hloubku 0,20 m, od které tato sonda začíná zaznamenávat hloubky, a minimální hloubku 0,30 m, od které zaznamenává průtoky.

Díky možnosti volby rozestupu jednotlivých bodů na profilu u RiverSurveyoru je možné dosáhnout podrobnějšího zaměření příčného profilu. Rozdíl v podrobnosti popisu je nejlépe patrný z **obr. 4**, kdy je hustota geodeticky zaměřených bodů pro potřeby batymetrie nedostačující. Naopak rozdíly v profilech na **obr. 3** si lze vyvětlit změnou říčního dna v čase, protože geodetické zaměření v tomto úseku bylo pořízeno v listopadu 2011 a zaměření pomocí RiverSurveyor proběhlo v červnu 2014. Další příčinou změny dna může být i samotné složení podloží, nebo povodňová situace v této lokalitě, ke které došlo v roce 2012.



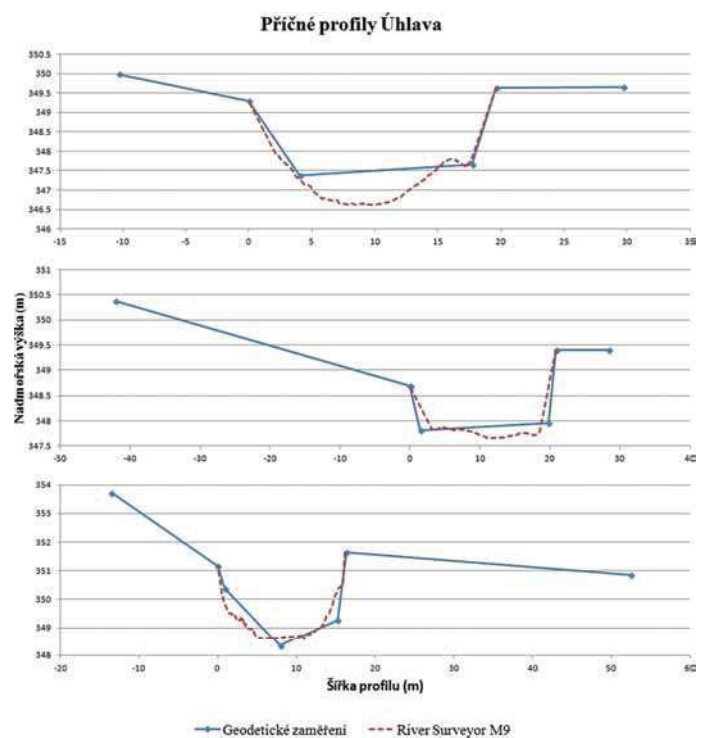
Obr. 3. Otava v Písku – porovnání příčných profilů

Na základě zatím zaznamenaných výsledků bude dále výzkum v této problematice zaměřen na kvantifikaci nejistot jednotlivých použitých postupů, sledování dynamiky sedimentů v točích a nádržích, kde budou uvažovány další testovací lokality a to především vodní nádrže Hracholusky na Mži, České údolí na Radbuze a případně vodní nádrž Němčice na Sedlickém potoce.

Cílem je vývoj nových technologií pro získání relevantních výsledků o batymetrii vodních toků a nádrží. Základní snahou je stanovení aplikovatelných metod pro stanovení kapacit vodních toků a nádrží ve vazbě na sledování množství a dynamiky sedimentů, které budou široce uplatnitelné při výkonu státní správy a samosprávy pro podniky Povodí.

## Literatura/References

- [1] Brázdl, K., 2009: Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, 55 (97), č. 7, 145–151.
- [2] Brázdl, K. aj. Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace. Zeměměřičský úřad, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, leden 2012.
- [3] Brázdl, K. aj. Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace. Zeměměřičský úřad, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, leden 2012.
- [4] Drbal, K. a kol. (2009): Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, Ministerstvo životního prostředí.
- [5] Dušánek, P.: Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. In workshop září 2010
- [6] Dušánek, P. (2008): Tvorba digitálních modelů z dat leteckého laserového skenování a jeho využití pro aktualizaci výškopisu ZABAGED. Diplomová práce – Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze. Vedoucí dipl. práce Ing. Markéta Potůčková PhD.
- [7] Elberink, S.; Mass, H-G. (2000): The Use of Anisotropic Height Texture Measures for the Segmentation of Airborne Laser Scanner Data. International archive of photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam.
- [8] Ernst, J.; Dewals, B. J.; Detrembleur, S.; Archambeau, P.; Epicum, S.; 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
- [9] Flood, M.; Gutelius, B. (1997): Commercial implications of topographic terrain mapping using scanning airborne laser radar. Photogramm. Eng. Rem. Sens. 63 (4), 327–366.
- [10] GARMIN 2000. Fishfinder 240 owner's manual. Garmin, 40 s., online: [http://static.garmincdn.com/pumac/FishFinder240\\_OwnersManual.pdf](http://static.garmincdn.com/pumac/FishFinder240_OwnersManual.pdf), staženo: 9. 7. 2014
- [11] Guenther, G. C.; Brooks, M. W.; Larocque, P. E. (2000): New capabilities of the "SHOALS" airborne LiDAR bathymeter. Rem. Sens. Environ. 73 (2), 247–255.
- [12] Hess, L. L.; Melack, J. M.; Filoso, S.; Wang, Y. 1995. Delineation of inundated area



Obr. 4. Úhlava v Přešticích – porovnání příčných profilů

- and vegetation along the Amazon floodplain with the SIR-C synthetic aperture radar. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing 33, 896–903.
- [13] 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.
  - [14] Liebe, J.; Van De Giesen, N.; Andreini, M. (2005): Estimation of small reservoir storage capacities in a semi-arid environment A case study in the Upper East Region of Ghana, Physics and Chemistry of the Earth, 30, 448–454.
  - [15] 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.
  - [16] Merwade, V. M.; Maidment, R.; Goff, J. A. (2006): Anisotropic considerations while interpolating river channel bathymetry, Journal of Hydrology 331, 731–741.
  - [17] Oyebo, Y. O.; Dauda, K. A.; Baiyeri, M. R.; Asonibare, R. O. (2013): Hydrographic Analysis and Estimation of Sediment Load of Kwara State Polytechnic Dam, Journal of Agricultural Research, Vol. 1(5), pp. 080–087.
  - [18] Pavlíčková, L.; Novák, P.; Roub, R.; Hejduk, T. (2012): Využití geografických informatických systémů a územně plánovací dokumentace při modelování povodňového rizika. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, č. 4, roč. 54, s. 1–6, ISSN 0322–8916.
  - [19] 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.
  - [20] Povodí Vltavy (2014): <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vymerovaci-lode/valentyina>, cit. 27. 8. 2014.
  - [21] Roub, R.; Hejduk, T.; Novák, P. (2012a): 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.
  - [22] Roub, R.; Hejduk, T.; Novák, P. (2012b): Automating the creation of channel cross section data from aerial laser scanning and hydrological surveying for modeling flood events, Journal of Hydrology and Hydromechanics, 60, 2012, 4, ISSN 0042-790X.
  - [23] SEABEAM (2000): Multibeam sonar – Theory of operation. L-3 Communications SeaBeam Instruments, 141 Washington Street, East Walpole, MA 02032-1155.
  - [24] SONTEK (2014): <http://www.sontek.com/solutionsdetail.php?Bathymetric-Surveying-3>, cit. 27. 8. 2014.
  - [25] Šíma, J. (2009): Abeceda leteckého laserového skenování. Geobusiness, č. 3.
  - [26] Valentová, J.; Valenta, P.; 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.
  - [27] Valenta, P. (2005): Využití numerických modelů proudění vody v protipovodňové ochraně, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
  - [28] WHOI (2014): <http://www.whoi.edu/instruments/viewInstrument.do?id=819>, cit. 27.8.2014.

13

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. (15 %)

### Vážení čtenáři,

koncem loňského roku jsme si připomněli 95. výročí vzniku dnešního Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka. Byl totiž jedním z prvních vědeckých ústavů založených v samostatné republice Čechů a Slováků, a to usnesením ministerské rady z 19. prosince 1919 jako Státní ústav hydrologický.

V počátečním období se výzkum soustředil především na hydrologickou problematiku, ale již po několika letech činnosti se začala rozvíjet i oblast hydrotechnická. V roce 1933 podtrhla význam výzkumného pracoviště i návštěva tehdejšího prezidenta ČSR Tomáše Garrigua Masaryka, jehož jméno nese ústav od roku 1930, s přestávkou v letech 1951–1990, dodnes.



Návštěva T. G. Masaryka v areálu ústavu

Poválečný rozvoj československého hospodářství staví vodohospodářský výzkum do nové role – významně se rozvíjí především hydroenergetická výstavba, na což musí reagovat i vodohospodářský výzkum. Dále se v tomto období činnost ústavu rozšiřuje i do oblasti vodárenství a čištění odpadních vod, jsou zřízeny analytické laboratoře, postupně rozšiřované a specializované na jednotlivá pracoviště pro komplexní analýzu jakosti vod. V roce 1951 došlo pak k přejmenování ústavu na Výzkumný ústav vodohospodářský.

To však nebyly jediné organizační změny – ústav se v té době musel vyrovnat i s nutností komplexně řešit specifické vodohospodářské problémy vyvolané industrializací severní Moravy a Brněnska. Proto bylo r. 1949 zřízeno detašované pracoviště v Brně a posíleno pracoviště v Ostravě vzniklé již v roce 1942.

Další významnou změnou, provedenou v roce 1969, bylo zřízení Střediska pro rozvoj vodního hospodářství, organizačně začleněného do ÚÚV. Středisko řešilo problémy řízení, ekonomiky, organizace, legislativy, informačních prostředků, racionálního hospodaření s vodou a životního prostředí.

Od roku 1990 nastávají v souvislosti s celostátními změnami přechodu od socialistického státního hospodářství k tržním mechanismům také změny ve struktuře, způsobu hospodaření i náplni práce ústavu. Aktivita ústavu se tak soustředila na vodu jako složku životního prostředí. Od roku 1990 dochází postupně k útlumu technologických složek ústavu (vodárenství, čištění odpadních vod), omezují se i aktivity oboru hydrauliky a do popředí vystupuje hodnocení kvality i kvantity vod, jejich ochrana a vytváření zásad vodohospodářské politiky.

Ve druhé polovině 90. let se začínají objevovat činnosti související s přípravou na vstup České republiky do Evropské unie – příprava na implementaci evropské legislativy, příprava systémů a prvků řízení u nás dosud neobvyklých i soustředování nezbytných dat a podkladů. Stále více se také prosazuje environmentální hledisko – na významu nabývá výzkum ve sféře ochrany vod, udržování a zlepšování ekosystémů či hodnocení jakosti vod. Stěžejní odbornou náplní ústavu se v tomto období staly projekty zabývající se hodnocením jakosti vody a jejího prostředí v hlavních povodích ČR – Labe, Moravy, Odry – a to včetně vytváření komplexních návrhů opatření pro zlepšení kvality vod i funkce ekosystémů. Rozšiřuje se také oblast mezinárodní spolupráce, kde se ústav podílí na řešení řady mezinárodních projektů.

V roce 1999 byla náplň ústavu rozšířena o problematiku odpadů a následně vzniklo Centrum pro hospodaření s odpady, a ústav se tak stal základem pro státní a veřejnou správu i v této oblasti.

V posledních letech je ve výzkumu kladen stále větší důraz na ochranu říční sítě, na jakost vod a hodnocení stavu vodních útvarů. V ústavu byly úspěšně řešeny rozsáhlé výzkumné záměry Výzkum a ochrana hydrosféry a Výzkum pro hospodaření s odpady, nezanedbatelná není ani odborná činnost pro podporu výkonu státní správy v řadě oblastí, dále aktivity bezpečnostního výzkumu a řada projektů získaných v rámci soutěží vypsanych Technologickou agenturou ČR aj. Při příležitosti oslav 90. výročí činnosti ústavu navštívil areál také prezident republiky Václav Klaus.

Tuto bohatou historii výzkumné organizace jsme si v průběhu loňského roku připomněli např. neformálním setkáním vodohospodářů v areálu ústavu v květnu, řadou článků mapujících podrobně historii činnosti v rámci jednotlivých oblastí vodohospodářského výzkumu na stránkách časopisu VTEI a v neposlední řadě na tradičním setkání vodohospodářské veřejnosti, zástupců státní správy a samosprávy v rámci Národního dialogu o vodě v červnu 2014.

Konference se zaměřila na hledání odpovědi na otázku „Co nám dělá větší starosti – sucho nebo povodně?“ Tato otázka je spojená s hydrologickými extrémami, které jsou v poslední době stále častějším jevem. Vedle povodní, které jsou významným a nezanedbatelným problémem, je sucho, které prozatím zasáhlo Českou republiku jen okrajově, víceméně opomíjeno.

Z obsáhlých a velmi zajímavých přednášek i následně diskuse vyplynulo, že o povodních, se kterými se v poslední době máme možnost setkat bohužel až příliš často, již mnohé víme a umíme si s řadou problémů poradit, ale více se bojíme toho, co neznáme – tedy sucha. I když nebylo možno postihnout problematiku hospodářských, společenských i environmentálních aspektů výskytu významných suchých období a velkých povodní v plné šíři, celkový závěr letošního Národního dialogu o vodě byl v podstatě jednomyslný. Extrémní sucha mohou i v našich podmínkách znamenat větší ohrožení než povodně, zejména proto, že chybí zkušenosti, informace a prevence. Odborná veřejnost je připravena se výzvou „sucho“ zabývat.

Stručným ohlédnutím za bohatou historií činnosti v oblasti vodohospodářského výzkumu v letech 1919 až 2014 bychom chtěli zahájit nový ročník časopisu Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, který se bude snažit i nadále přinášet nejnovější poznatky z výzkumu v oblasti vod.



- [12] Ford, L. and Fulkerson, D. Flows in networks. Princeton: Princeton University Press, 1962.
- [13] Kennington, J.L. and Helgason, R.V. Algorithms for network programming. New York: John Wiley and Sons, 1980.
- [14] Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy. Brno: VUT, 1986.
- [15] Menšík, P. a Starý, M. SOMVS – Simulační a optimalizační model vodohospodářské soustavy, dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/somvs.php>
- [16] Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy. Metodické návody do cvičení. 1. vyd. Brno: VUT, 1987.
- [17] Marton, D., Starý, M. a Menšík, P. The Influence of Uncertainties in the Calculation of Mean Monthly Discharges On Reservoir Storage. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 2011, vol. 59.
- [18] Menšík, P., Starý, M., and Marton, D. Using Predictive Models of Mean Monthly Flows for Operative Outflows Control from Large Open Reservoirs. In Proceedings ITISE 2014, International work-conference on Time Series. Granada, Spain, 2014, p. 382–395. ISBN: 978-84-15814-97-9.
- [19] Nacházel, K., Starý, M. a Zezulák, J. Využití metod umělé inteligence ve vodním hospodářství. Praha: Academia, 2004.

Ing. Pavel Menšík, Ph.D.  
 prof. Ing. Miloš Starý, CSc.  
 Ing. Daniel Marton, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební  
 mensik.p@fce.vutbr.cz  
 +420 541 147 773

*Příspěvek prošel lektorským řízením.*

#### Key words

*strategy control – optimization model – simulation model – water supply system – water management system*

## VÝVOJ SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ CROSOLVER A CROSOLVER FOR ARCGIS PRO PŘÍPRAVU VÝPOČETNÍ TRATĚ HYDRODYNAMICKÝCH MODELŮ

Radek Roub, Filip Urban, Vojtěch Havlíček, Pavel Novák, Tomáš Hejduk, Luděk Bureš, Adam Reil

#### Klíčová slova

*letecké laserové skenování (LLS) – hydrologické měření – příčný profil – hydrodynamický model – GIS – povodně*

#### Souhrn

**Povodňové situace představují na území České republiky jednu z nejvýznamnějších hrozeb přírodních katastrof. Význam těchto hrozeb se zvyšuje v důsledku narůstající extremity počasí, ke které v posledních letech dochází. Tato skutečnost je dána polohou České republiky v kontinentálním i celosvětovém měřítku. Z hlediska eliminace potenciálního ohrožení a samotných následků těchto událostí jsou významné informace předpovědní povodňové služby o charakteru a o rozsahu záplavových území pro jednotlivé N-leté povodňové průtoky a konkrétní povodňové scénáře. Adekvátní představu o hloubkách a rychlostech při povodňové události, v podélném či příčném profilu vodního toku, poskytují hydrodynamické modely. Získané informace z hydrodynamických modelů tak zaujímají výsadní postavení z pohledu ochrany životů i zmírnění škod na majetku občanů.**

**Pro získání relevantních výstupů z hydrodynamických modelů jsou rozhodující vstupní data. Ve vazbě na finanční náročnost získání relevantních dat o morfologii koryta vodního toku a přilehlé inundace je prezentován přístup založený na syntéze dat hydrologického měření a dat leteckého laserového skenování, který se snaží nahradit finančně náročné geodetické zaměření koryt vodních toků. Je uvažován postup, kdy je nejprve provedeno letecké laserové skenování vodního toku a stanoven průtok, který byl dosažen v době provádění leteckého laserového skenování**

*An automation solution of storage function of a multi-reservoir system (Menšík, P.; Starý, M.; Marton, D.)*

**The aim of this paper is an effort to give information to the expert public about the created program tool SOMVS (Simulation and Optimization Model of Water Management System) and its application possibilities. The program allows an automated solution of the water supply function of water management systems. The automation consists in an assembly of initialization matrices, an assembly of the governing equations, in sequential solution of the governing equations and an assembly of the dispatcher graphs of reservoirs. The process of automation allows users without special knowledge to solve the optimal development tasks and optimal control tasks of a water supply system. The program has an intuitive graphical user interface for easier handling. Configuring of the water management system is made using codes numbers. Codes numbers allow enter any configuration of a real water management system. According to requirements the program can assemble a simulation or optimization model of a water management system. The models can be used for solving the optimal development tasks and optimal control tasks of a water supply system. The graphical user interface allows the users to make necessary adjustments of the program. In the frame of the adjustments the control of the water runoff from the reservoirs in the simulation model can be modified and the form of the criterial function of the both models can be modified, too. Modification of the criterial function allows using the program for other purposes such as hydropower function of the reservoir system.**

(LLS). Toto měření LLS neumožňuje zahrnout část koryta pod hladinou vodního toku, zahrnuje však polohu hladiny. Následně je dopočet sklon hladiny mezi zvolenými příčnými profily a za předpokladu znalosti typu příčného profilu (v současnosti jsou uvažovány tři základní typy – obdélník, lichoběžník, parabola) a stanoveného průtoku je pomocí Chézyho rovnice dopočtena hloubka koryta.

V daném příspěvku jsou prezentovány výsledky z vývoje dvou softwarových nástrojů, které slouží pro přípravu výpočetní tratě do hydrodynamických modelů (CroSolver a CroSolver for ArcGIS) a prezentovány dílčí výsledky.

#### 1 Úvod

Pro simulaci hydraulických jevů se využívají hydrodynamické modely, které jsou schopny na základě schematizace reálného prostředí a rovnic popsat a znázornit proudění vody. Podle schematizace reálného prostředí můžeme hydrodynamické modely dělit podle různých kritérií. Jedním z nich je dimenze modelu, kde rozlišujeme modely jednorozměrné (1D), dvourozměrné (2D) a popř. jejich kombinaci (1D/2D).

Stěžejním 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 profily 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 větvevnou či okružovou sítí složenou z několika dílčích modelů, např. koryto a inundace (Valentová et al., 2010; Valenta, 2005).

Geodetické zaměření koryta a 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). Cobby et al. (2001) navíc uvádí, že vstupní data pro tvorbu výpočetní geometrie vodního toku jsou jedním z nejdůležitějších podkladů pro hydrodynamické modely.

Pro tvorbu hydrodynamických modelů a následné vyhodnocení výsledků simulací i pro zpracování navazujících rizikových analýz jsou používány tři základní způsoby pořízení výškopisných dat:

- geodetické zaměření příčných profilů (koryto + inundace),
- letecké laserové skenování,
- fotogrammetrie.

Při geodetickém zaměření koryta a inundace se obecně maximální vzdálenosti mezi jednotlivými příčnými profily pohybují v rozsahu od několika desítek metrů až po stovky metrů s ohledem na variabilitu tvaru říčního koryta. Jak uvádí Drbal aj. (2009), standardní vzdálenost příčných profilů v intravilánu se pohybuje v intervalu od 50 m až do 100 m a 200 až 400 m v extravilánu. Důležitou podmínkou při prováděním zaměření je, aby zaměřením byla co nejvíce zachycena prostorová variabilita vodního toku a přilehlé inundace a byly zachyceny všechny významné změny v geometrii koryta, tj. změny příčného průřezu koryta, změny podélného sklonu apod. (Ramsankaran et al., 2010; Novák et al., 2011).

Letecká fotogrammetrie se používá pro sběr polohopisných a výškopisných dat ve velkých a středních měřítkách s dostatečnou přesností a s výrazně nižšími náklady než při použití geodetických metod. Obvyklá forma digitálního modelu reliéfu (DMR) je v případě letecké fotogrammetrie tvořena základní vrstvou 3D bodů, která je doplněna vyhodnocením významných terénních hran v podobě 3D linií (Merwade et al., 2008). Maximální krok rastru bodů by neměl překročit hodnotu 25 metrů (optimální hodnota činí 10 až 15 m), vyhodnoceny musí být veškeré terénní hrany a lomy, jejichž relativní výška je větší než 25 cm. Požadovaná přesnost je definována maximální polohovou odchylkou 0,5 m a střední výškovou chybou 0,11 m. Nízká časová náročnost oproti standardnímu geodetickému měření umožňuje častější opakování, a tím i udržování aktuálnosti dat (Metodický pokyn, 28181/2005-16000).

Třetí způsob sběru prostorových dat pro tvorbu výpočetní geometrie vodních toků do hydrodynamických modelů představuje letecké laserové skenování, které definuje Dolanský (2004) jako jednu z nejmodernějších technologií pro pořizování prostorových geografických dat. Ačkoliv je letecké laserové skenování velmi mladou technologií sloužící k mapování zemského povrchu a k tvorbě DMR nebo digitálních modelů povrchu (dále DMP), nachází své uplatnění v mnoha praktických disciplínách (Cobby et al., 2001; Guenther et al., 2000; Flood and Gutelius, 1997; Maas and Vosselmann, 1999; Elberink and Maas, 2000). Již Ritchie (1996) ukázal na významné postavení leteckého laserového skenování při sběru údajů potřebných pro hydrologické studie, což potvrzují i výsledky dalších autorů (Cobby et al., 2003; Merwade et al., 2008; Cook and Merwade, 2009).

Letecké laserové skenování je vyvinuto pro rychlé a operativní mapování rozsáhlých území, kde standardní metody (tachymetrie, GPS, fotogrammetrie) již nestačí (Dolanský, 2004).

Pokud je základem DMR letecké laserové skenování, je obvyklým výstupem mračno 3D bodů o vysoké hustotě. Dolanský (2004) uvádí, že značná hustota eliminuje nutnost samostatného vyhodnocení terénních lomů a hran, krok rastru však musí být dostatečně jemný. Z hlediska vystižení významných terénních tvarů (koryta, násypy komunikací apod.) numerickým modelem musí být krok rastru maximálně 2 až 3 metry.

Samotná metoda LLS je založena na principu odrazu laserových paprsků, které interpretují obraz měřených objektů laserovému paprsku. Na základě tohoto paprsku vyslaného k zemskému povrchu je změřena vzdálenost, kterou urazí směrem k povrchu měřeného území nebo objektu. GPS ve spolupráci s inerciální navigací určí směr paprsku. Zpracováním těchto parametrů dojde k výpočtu polohy daného bodu (Šíma, 2009). Dílčím výstupem laserového skenování je soubor 3D souřadnic odražených bodů – takzvané mračno bodů. Na základě dalších informací o odraženém bodu – např. intenzitě odrazu – může být provedena tzv. klasifikace. Takto získané mračno bodu je

možné reklasifikovat do tří základních skupin – terén, vegetace, zástavba. Vedlejšími kategoriemi vzniklými reklasifikací mračna bodů jsou ještě chyby a mosty.

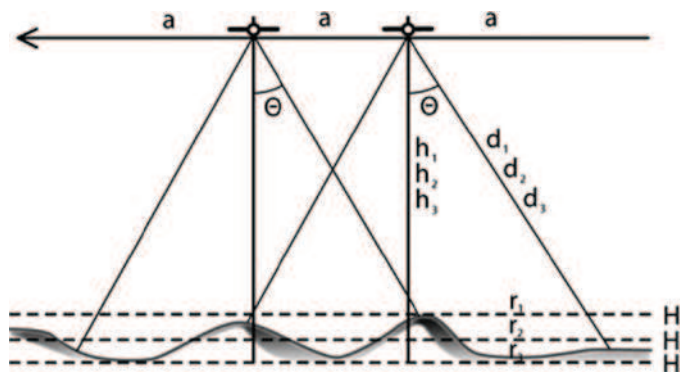
Technologie LLS umožňuje sběr výškopisných dat, vyznačující se rychlostí měření ve vazbě na množství měřených dat a informací. Ve spojení s poměrně vysokým stupněm automatizace jejich zpracování při vytváření digitálního modelu terénu a povrchu představuje jednu z neefektivnějších metod pro získávání prostorových dat (Dušánek, 2008).

V současné době probíhá v České republice (ČR) nové výškopisné mapování metodou LLS, která navazuje na současné výškopisné databáze, jež jsou v určitých územních typech již zastaralé a přesností a kvalitou negativně ovlivňují kvalitu státních mapových děl i digitálních geografických databází ČR (Brázdil, 2009). Cílem je ve spolupráci s Českým úřadem zeměměřičkým a katastrálním (ČÚZK), Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem obrany zajistit kvalitní geografickou datovou infrastrukturu, jednotnou a standardizovanou pro celé území ČR.

Dušánek (2010) definuje plánované produkty z tvorby nového výškopisu ČR, které vzniknou po zpracování dat v různých časových obdobích a budou jimi digitální model reliéfu 4. generace (DMR 4G) ve formě mřížky 5 x 5 m, digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) ve formě nepravidelné sítě bodů (TIN), digitální model povrchu 1. generace (DMP 1G) ve formě nepravidelné sítě bodů (TIN).

Základní parametry leteckého laserového skenování vycházejí z rozměrů skenovaných bloků, které jsou až 10 x 30 km v závislosti na vertikální členitosti území. Podle převládající nadmořské výšky území jsou jednotlivé bloky skenovány z letových hladin 1 800 m n. m., 2 100 m n. m. a 2 400 m n. m. Základní parametry letů podle Brázdila (2009) jsou zřejmé z obr. 1 a jsou uvedeny v tabulce 1.

K ověření a definování charakteristik přesnosti a kvality dat DMR 4G a DMR 5G byly využity tři sady kontrolních dat (Brázdil et al., 2012a, b):



**Obr.1.** Parametry leteckého laserového skenování  
**Fig. 1.** Parameters of aerial laser scanning

**Tabulka 1.** Parametry leteckého laserového skenování  
**Table 1.** Parameters of aerial laser scanning

Parametr	Hodnoty		
Nadmořská výška letu (letová hladina) (H)	1 800 m	2 100 m	2 400 m
Střední výška letu nad terénem (h)	1 500 m	1 500 m	1 250 m
Minimální nadmořská výška skenovaného území (H3)	100 m	400 m	700 m
Střední nadmořská výška skenovaného území (H2)	300 m	600 m	1 150 m
Maximální nadmořská výška skenovaného území (H1)	500 m	800 m	1 600 m
Vzdálenost letových drah (a)	833 m	833 m	769 m
Překryt skenování (q)	45–59 %	45–59 %	30–64 %
Maximální vychýlení paprsku (Theta max)	30 °	30 °	30 °
Minimální délka paprsku v nadiru (h1)	1 300 m	1 300 m	800 m
Maximální délka paprsku v nadiru (h3)	1 700 m	1 700 m	1 700 m
Minimální radiální vzdálenost (r1)	750,5 m	750,5 m	462 m
Maximální radiální vzdálenost (r3)	981,5 m	981,5 m	981,5 m
Maximální délka paprsku na okraji skenování (d3)	1 963 m	1 963 m	1 963 m

- soubory kontrolních bodů na komparačních základnách,
- výšky vybraných bodů základního geodetického bodového pole (trigonometrických a zhušťovacích bodů),
- kontrolní geodetická měření realizovaná lokálně pro ověření přesnosti DMR 4G.

Nejprůkaznější se ukázala metoda ověření přesnosti kontrolním měřením v terénu, kdy bylo alespoň na menších vzorcích dat snahou dokumentovat přesnost interpolace výšky bodu z DMR 4G (DMR 5G) v terénu s různým vegetačním krytem, zástavbou nebo častým výskytem terénních tvarů s hranami v území přetvořeném lidskou činností. Pro každý geodeticky zaměřený bod o souřadnicích x, y, H<sub>GEO</sub> (S-JTSK, Bpv) byla bilineární interpolací vypočítána odpovídající výška H<sub>4G</sub> z DMR 4G a výškový rozdíl.

$$\Delta H = H_{4G} - H_{GEO}, \text{ respektive } \Delta H = H_{5G} - H_{GEO}$$

Statistickým zpracováním byly stanoveny parametry přesnosti DMR 4G (DMR 5G) ve výše uvedených kategoriích povrchu a půdního krytu (*tabulka 2, tabulka 3*).

Dosavadní ověřovací zkoušky parametrů přesnosti potvrzují, že deklarované úplné střední chyby výšky mírně generalizovaného modelu reliéfu – DMR 5G (0,18 m v terénu bez souvislé vegetace a zástavby a 0,3 m v terénech pokrytých hustou vegetací) a generalizovaného modelu reliéfu – DMR 4G (0,30 m v terénu bez souvislé vegetace a zástavby a 1 m v terénech pokrytých hustou vegetací) jsou dosaženy.

Data získaná metodou LLS jsou v oblasti vodního hospodářství průběžně testována při mapování rozvodnic povodí vodních toků, pro zpřesnění poloh os vodních toků (Uhlířová a Zbořil, 2009), tvorbě geometrie vodních toků (Roub et al., 2012a, b; Novák et al., 2011), při tvorbě map povodňových rizik (Pavličková et al., 2012).

Program kvantitativního monitoringu povrchových vod (PV) představuje v metodě syntézy dat LLS s hydrologickým měřením nezastupitelnou úlohu. Samotný program kvantitativního monitoringu zahrnuje monitoring vodních toků a vybraných vodních útvarů stojatých vod, přičemž z hlediska uplatnění při tvorbě geometrie vodních toků je významný monitoring vodních toků. Vodoměrné stanice kvantitativního monitoringu, které jsou umístěny v hlásných profilech povodňové služby, slouží zároveň pro ochranu před povodněmi. Některé vodoměrné stanice slouží zároveň pro provozní potřeby správců vodních toků a operativní řízení soustav vodních děl. Tyto stanice jsou zpravidla vybaveny zařízením pro dálkový přenos měřených údajů.

Rozsah monitorovacích sítí PV tekoucích je výsledkem dlouhého vývoje. Převážná část monitorovací sítě PV je sledována od třicátých let minulého století. Monitorovací síť byla několikrát optimalizována a její současná struktura je výsledkem kompromisu mezi potřebami a finančními zdroji na její provozování. Všechny změny ve struktuře monitorovací sítě byly dělány s ohledem na minimální narušení kontinuity a homogenity pozorování, aby byla uchována možnost hodnocení dlouhodobého režimu.

V současnosti je na území ČR v provozu cca 494 stanic s hydrologickým měřením na významných vodních tocích. Rozmístění objektů kvantitativního monitoringu vodních toků v ČR je uvedeno v *tabulce 4*.

Uvažovaný přístup alternuje možnost syntézy dat LLS s daty z kvantitativního monitoringu pro tvorbu schematizace vodního toku pro hydrodynamický model. Technické řešení originálním způsobem kombinuje informace o hodnotě stanovených průtoků v době pořizování výškopisných dat metodou LLS se samotnými daty LLS.

**Tabulka 2.** Charakteristiky přesnosti DMR 4G na různém povrchu a půdním krytu (Brázdil et al., 2012a)

**Table 2.** Characteristics of DMR (Digital Model of Relief) 4G accuracy on different surfaces and soil covers (Brázdil et al., 2012a)

Kategorie povrchu a půdního krytu	Systematická chyba [m]	Úplná střední chyba [m]	Maximální chyba [m]
terénní hrany (např. u cest, silnic a železnic)	-0,25	0,34	0,77
zpevněné plochy	0,01	0,07	0,26
orná půda	0,01	0,13	0,66
louky a pastviny	0,09	0,18	0,85
křoviny, stromořadí a lesy	0,02	0,13	0,85

**Tabulka 3.** Charakteristiky přesnosti DMR 5G na různém povrchu a půdním krytu (Brázdil et al., 2012b)

**Table 3.** Characteristics of DMR 5G accuracy on different surfaces and soil covers (Brázdil et al., 2012b)

Kategorie povrchu a půdního krytu	Systematická chyba [m]	Úplná střední chyba [m]	Maximální chyba [m]
terénní hrany (např. u cest, silnic a železnic)	-0,11	0,18	0,66
zpevněné plochy	0,09	0,13	0,37
orná půda	0,07	0,14	0,56
louky a pastviny	0,03	0,21	0,42
křoviny, stromořadí a lesy	0,06	0,13	0,46

**Tabulka 4.** Monitorovací síť povrchových vod

**Table 4.** Monitoring network of surface waters

Povodí	Počet stanic měřících vodní hladinu	Počet stanic měřících průtok
Horní a střední Labe	112	112
Horní Vltava	47	47
Berounka	40	40
Dolní Vltava	40	39
Ohře a dolní Labe	49	49
Odra	61	61
Morava	75	75
Dyje	70	69
Celkem	494	492

## 2 Pilotní území

Pro potřeby zobecnění a možnosti širšího uplatnění metody syntézy dat hydrologického měření s daty z nového výškopisného mapování ČR při přípravě vstupního DMR (příčných profilů) pro potřeby hydrodynamických modelů (1D, 2D) byly vybrány lokality v Plzeňském kraji, které jsou specifikovány v *tabulce 5* a na *obr. 2*.

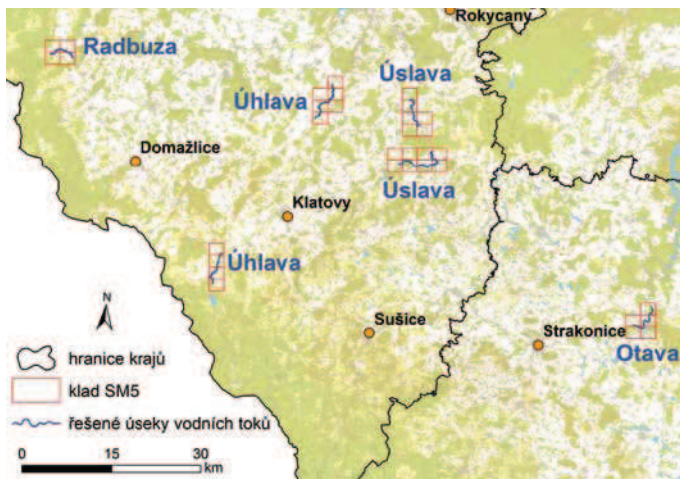
Výběr pilotních úseků vodních toků předurčoval stanovený harmonogram Českého úřadu zeměměřického a katastrálního jako garanta Projektu zpracování nového výškopisu metodou leteckého laserového skenování.

Druhým aspektem pro výběr pilotních území bylo zohlednění variability říční sítě, které vycházelo jak z hydrologických ukazatelů, tj. průtokových charakteristik vodního toku, tak z hlediska antropogenní upravenosti vodních toků (Langhammer, 2003; Maidment,

**Tabulka 5.** Charakteristiky pilotních úseků vodních toků

**Table 5.** Characteristics of the pilot sections of watercourses

IDVT (CEVT), TOK_ID	Název toku	Úsek	Délka (km)	ř. km od-do
1010001, 120020000100	Otava	Bohuslavec–Písek	7,049	20,343–27,392
1010002, 133060000100	Úslava	Srby–Novotníky	13,024	49,420–62,444
1010001, 131080000100	Radbuza	Bělá nad Radbuzou	5,948	8,890–14,838
1010002, 133060000100	Úslava	Blovice	7,319	34,330–41,649
1010002, 132140000100	Úhlava	Nýrsko	6,42	79,867–86,287
1010002, 132140000100	Úhlava	Dolní Lukavice–Přeštice–Lužany	9,253	26,000–35,253



**Obr. 2.** Pilotní úseky vodních toků  
**Fig. 2.** Pilot sections of watercourses

1993), a to i přesto, že ve většině případů přímá statistická vazba mezi úpravami toků a extremitou povodně je obtížně průkazná.

### 3 Vývoj programu CroSolver a CroSolver for ArcGIS

#### CroSolver

Program CroSolver (Cross-section Solver) je program určený pro výpočet průtočných profilů vodního toku. Program pracuje s daty získanými pomocí leteckého laserového skenování. Výstupy programu jsou textové soubory s nově vypočtenými souřadnicemi bodů celého koryta toku. Tyto výstupy mohou být dále použity v GIS aplikacích nebo hydraulických modelech.

Program CroSolver byl vytvořen jako knihovna funkcí pro programovací jazyk R (R Development Core Team, 2009). Funkce CroSolveru je možné používat buď přímo v R (offline), nebo přes online aplikaci ve webovém prohlížeči. Online aplikace pro CroSolver byla vytvořena pomocí R balíčku Shiny (RStudio, 2013).

Metodický přístup výpočtu je obdobný jako u druhého softwarového produktu CroSolver for ArcGIS, kde je detailně specifikován.

#### CroSolver for ArcGIS

Nástroj CroSolver\_ToolBox (Cross-section Solver ToolBox) pro přípravu geometrických dat na podkladě syntézy dat hydrologického měření s daty leteckého laserového skenování byl vytvořen jako nástroj ArcToolBox pro ArcGIS pomocí programovacího jazyku Python. Nástroj umožňuje preprocessing dat na základě osy vodního toku a bodů LLS. Výstupem jsou textové soubory obsahující vypočtené souřadnice veškerých bodů a hydraulických charakteristik příčných profilů a soubory ve formátu shapefile popisující oblast zhloubeného koryta (polygon), povinných spojnic příčných profilů, břehů, pat svahů a osy (polyline) a lomových bodů (point). Pro využívání nástroje postačuje mít nainstalován ArcGIS Desktop verze 10 a vyšší.

Nástroje jsou volně ke stažení na odkazu <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software.html>. V případě CroSolver for ArcGIS jsou ve stažených datech uloženy skripty v jazyce Python (koncovka „.py“), samotný ArcToolbox (koncovka „.tbx“), který se spouští z prostředí ArcGIS, manuál k nástroji a vzorová data.

Nástroj není potřeba instalovat, stačí jej buď spustit přímo z ArcCatalogu, nebo přidat do ArcToolBoxu. Nástroj CroSolver\_ToolBox v sobě zahrnuje nejen výpočet zhloubení koryta vodního toku, ale i přípravu dat pro výpočet a uložení výsledných dat do 3D shapefilů.

#### 3.1 Vstupní data

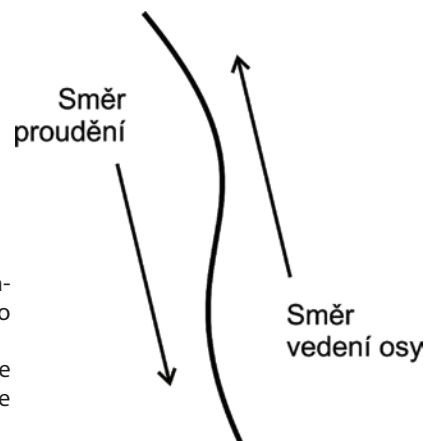
##### Osa vodního toku

Jedním ze vstupních dat pro přípravu výpočtu zhloubení je osa řešeného úseku vodního toku. Jedná se o shapefile formátu polyline. Důležité je její směřování proti

proudu toku, tj. ve směru vzrůstajícího staničení (obr. 3). Osa definuje řešený úsek a trasování vodního toku.

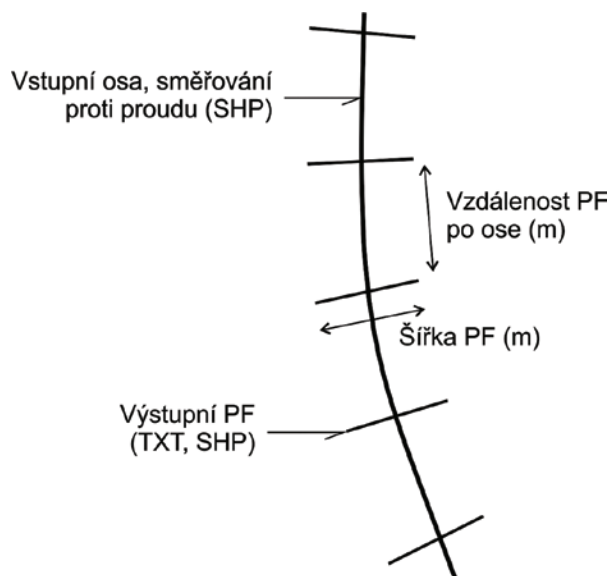
#### Digitální model reliéfu

Digitální model reliéfu (DMR) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v síti bodů o souřadnicích X, Y, H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv). Body vznikly z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu. Jako vstupní data je použit textový soubor s body DMR. Data DMR musí být v textovém formátu s koncovkou „.txt“ a daty řazenými v pořadí XYZ(H). Digitální model reliéfu je ve formě použitelné pro nástroj standardně dodáván.



**Obr. 3.** Zobrazení orientace směřování osy řešeného vodního toku

**Fig. 3.** Orientation of the concerned channel centre line direction



**Obr. 4.** Zobrazení vstupních a výstupních dat nástroje  
**Fig. 4.** Illustration of the input and output data of the tool

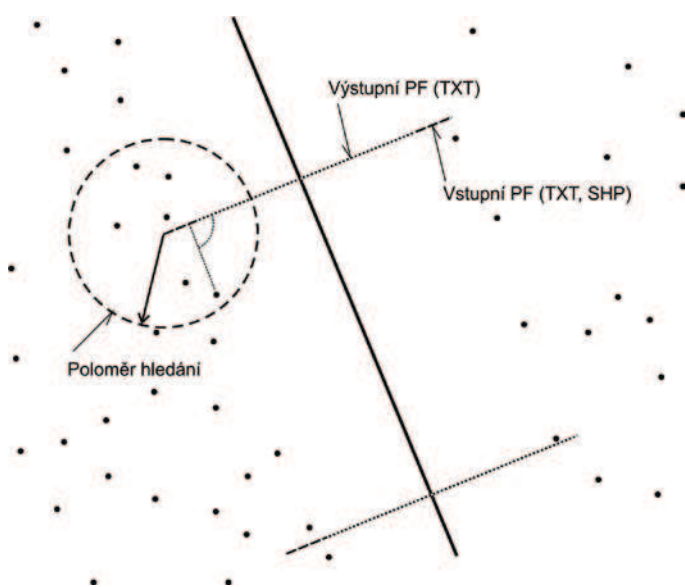
**Tabulka 6.** Popis vstupních dat a formátů nástroje „PreProc\_CreateStationLines\_TXT\_SHP“  
**Table 6.** Description of input data and formats of the “PreProc\_CreateStationLines\_TXT\_SHP” tool

Parametr nástroje	Vstup/Výstup	Formát	Popis formátu	Popis
Vstupní osa, směřování proti proudu (SHP)	Vstup	Shapefile	.shp	Shapefile osy vodního toku vedoucí proti směru proudění, tj. ve směru staničení.
Výstupní PF (TXT, formát XrYrXIYI)	Výstup	Textový soubor	.txt	Umístění a název textového souboru, do kterého se uloží souřadnice krajních bodů (levého a pravého břehu).
Složka výstupu PF (FOLDER)	Výstup	Složka	Existující složka	Složka, do které budou uloženy příčné profily vytvořené na základě vstupních dat.
Vzdálenost PF po ose (m)	Vstup	Číslo	Desetinné číslo	Vzdálenost mezi profily v ose vodního toku v metrech.
Šířka PF (m)	Vstup	Číslo	Desetinné číslo	Celková šířka příčného profilu v metrech.

### 3.2 Metodický postup

V rámci preprocessingu jsou vytvářeny příčné profily podél osy vodního toku. Potřebné parametry pro zadání jsou vzdálenost mezi profily a šířka profilů. Vzdálenost mezi profily má vliv na podrobnost výsledků. U vodních toků s větším množstvím změn trasování či podélného sklonu se doporučuje volit vzdálenost spíše menší. Zároveň velká hustota profilů zvyšuje výpočetní čas. Koryto vodního toku je zahlubováno na základě hydrologického měření v době pořizování LLS, proto je nutné znát parametry popisující koryto vodního toku v době zaměření LLS. Nejedná se jen o průtok, ale i charakteristiku koryta vodního toku. Parametry jsou průtok, drsnostní součinitel koryta, sklony svahů, vzdálenost vyhlazení hladiny a výběr metody zahloubení.

Nástroj je možno přidat do ArcToolboxu jako balíček nástrojů, odkud může být spuštěn z produktů ESRI ArcCatalog, ArcScen či ArcMap. Nebo je možno spouštět nástroj rovnou z ArcCatalogu. Jednotlivé nástroje CroSolver umístěné v ArcToolBoxu spouštějí skripty napsané v jazyce Python.



**Obr. 5.** Zobrazení vstupních a výstupních dat nástroje s funkcí vyhledání nejnižšího bodu DMR a vrácení na kolmici k příčnému profilu  
**Fig. 5.** Illustration of the input and output data of the tool with the function of searching the lowest DMR point and returning to the cross-profile perpendicular

#### 3.2.1 PreProc\_CreateStationLines\_TXT\_SHP

První nástroj vytvoří na základě osy, vzdálenosti mezi profily a šířky profilů body levého a pravého konce profilu ve formátu .TXT a linii mezi těmito body ve formátu .SHP (Polyline) (obr. 4, tabulka 6). Tyto body slouží k následnému hledání bodů LLS.

#### 3.2.2 PreProc\_PF\_DMR\_2Dto3D

Druhý nástroj připraví vytvořené příčné profily pro výpočet zahloubení. Vytvořené příčné profily jsou pouze dvourozměrné. Krajiní body příčných profilů mají charakterizovat styk hladiny a břehu koryta. Z tohoto důvodu vychází smysl nástroje preprocessingu. Jelikož hledáme bod, který je co nejbližší hladině, tak pro něj platí, že má nejnižší výšku. Proto se do nástroje zadává poloměr hledání takového bodu. Nástroj v oblasti hledání nalezne nejnižší bod a vrátí jeho výšku a polohu na kolmici k příčnému profilu. Takto získaný bod charakterizuje bod na svahu břehu u hladiny.

Volba poloměru hledání musí být taková, aby se nestalo, že bude vybrán bod z opačného břehu. Může se tak stát právě u malých vodních toků, kde je šířka v hladině velmi malá. Z tohoto důvodu je v nástroji přidána možnost načtení buď bodů DMR jako celek, nebo bodů DMR dle břehů (PB/LB).

Pro výběr vstupního souboru popisujícího příčný profil jsou dvě možnosti, textový soubor a shapefile. Druhá možnost je k dispozici zejména pro případy, že se na řešeném úseku v určitých místech mění lokálně např. šířka koryta. Shapefile příčných profilů je možno upravit před pokračováním práce s nástrojem zahlubování koryta tak, aby příčné profily přibližně odpovídaly šířce koryta v hladině. U shapefile se však nesmí přikreslovat nové profily nebo měnit jejich posloupnost (obr. 5, tabulka 7).

#### 3.2.3 CroSolver\_3\_Computation

Výpočet zahloubení koryta vodního toku je založen na připravených datech z preprocessingu a charakteristikách koryta vodního toku. Výpočet je proveden pro ustálené rovnoměrné proudění s využitím rovnice kontinuity a Chézyho rovnice s výpočtem Chézyho rychlostního součinitele podle Manninga.

$$Q = C \cdot S \cdot \sqrt{R \cdot i_0} \quad (3.1)$$

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i_0} \quad (3.2)$$

$$R = \frac{S}{O} \quad (3.3)$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (3.4)$$

kde:  $Q$  průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )  
 $S$  plocha průtočného průřezu ( $\text{m}^2$ )

**Tabulka 7.** Popis vstupních dat a formátů nástroje „PreProc\_PF\_DMR\_2Dto3D“

**Table 7.** Description of input data and formats of the “PreProc\_PF\_DMR\_2Dto3D” tool

Parametr nástroje	Vstup/ Výstup	Formát	Popis formátu	Popis
Výběr vstupního parametru (TXT/SHP)	Vstup	Výběr ze seznamu		Výběr formátu vstupního souboru z rozevřacího seznamu (TXT/SHP).
Vstupní soubor neupravených PF (TXT, formát XrYrXIYI)	Vstup	Textový soubor	.txt	Podmíněno výběrem vstupu <i>TXT</i> .
Vstupní soubor upravených PF (SHP)	Vstup	Shapefile		Podmíněno výběrem vstupu <i>SHP</i> .
Výběr typu vstupu DMR (DMR celek/ DMR dle břehu RB LB)	Vstup	Výběr ze seznamu		Výběr druhu vstupních dat DMR z rozevřacího seznamu. Výběr jednoho souboru s daty DMR, nebo data DMR pro každý břeh zvlášť.
Vstupní soubor DMR (TXT, formát XYZ)	Vstup	Textový soubor	.txt	Podmíněno výběrem vstupu <i>DMR_celek</i> . Textový soubor s body DMR obsahující informace XYZ.
Vstupní soubor DMR pravý břeh RB (TXT, formát XYZ)	Vstup	Textový soubor	.txt	Podmíněno výběrem vstupu <i>DMR_dle_brehu</i> . Textový soubor s body DMR obsahující informace XYZ pravého břehu.
Vstupní soubor DMR levý břeh LB (TXT, formát XYZ)	Vstup	Textový soubor	.txt	Podmíněno výběrem vstupu <i>DMR_dle_brehu</i> . Textový soubor s body DMR obsahující informace XYZ levého břehu.
Výstupní PF 3D, s odečtením polohy a výšky z DMR (TXT, formát XrYrZrXIYIZI)	Výstup	Textový soubor	.txt	Výstupní textový soubor se souřadnicemi a výškami levého a pravého břehu.
Poloměr hledání nejnižšího bodu (m)	Vstup	Číslo	Desetinné číslo	Poloměr hledání nejnižšího bodu z podkladu DMR.

- $v$  střední průřezová rychlost proudění ( $m \cdot s^{-1}$ )
- $C$  Chézyho rychlostní součinitel ( $m^{0.5} \cdot s^{-1}$ )
- $i$  sklon hladiny (-)
- $R$  hydraulický poloměr (m)
- $n$  Manningův drsnostní součinitel (-)

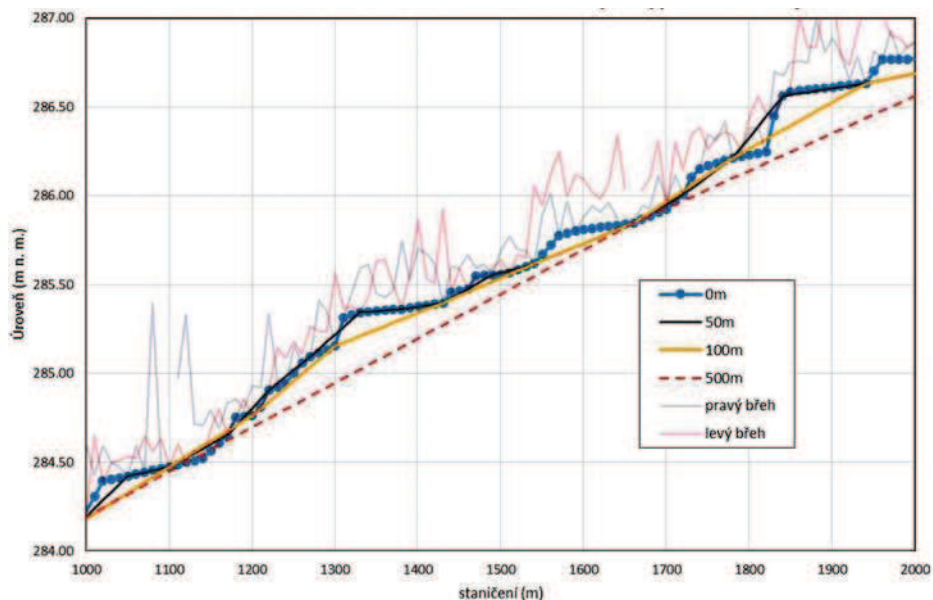
Samotný výpočet má na výběr dvě metody zahloubení a volitelný parametr pro určení sklonu hladiny. Sklon hladiny je počítán mezi sousedícími příčnými profily, kdy je vždy vybrána nižší úroveň z levého a pravého břehu (styk svahu a hladiny). Směr výpočtu je ve směru proudění. V případě, že by mezi dvěma příčnými profily byl sklon opačný, tj. vzrůstající ve směru proudění, je příčný profil pro výpočet úrovně hladiny přeskočen a následně zpětně dopočten interpolací. V případě velkého počtu příčných profilů se může stát, že bude sklon hladiny velice proměnlivý a podélný sklon hladiny bude připomínat vodní tok s velkým počtem vodních stupňů, i když je ve skutečnosti sklon v celém úseku konstantní, popř. pozvolně se měnící. V takovém případě je možno určovat minimální vzdálenost, pro kterou bude sklon hladiny dopočítáván. Pro přehlednost je na obr. 6 zobrazeno několik zvolených vzdáleností na vykresleném podélném profilu.

Výpočet zahloubení je volitelný ve dvou metodách z několika důvodů. Pro výpočet je důležitá úroveň hladiny a šířka koryta v hladině. Jelikož je úroveň levého a pravého břehu (teoretický styk břehu a hladiny) rozdílná, případně je úroveň hladiny dopočtená, dochází tak k nutnosti zahloubení úrovně u jednoho či obou bodů oproti původním úrovním břehů. Při první metodě (metoda zahloubení kolmo) je zahloubení provedeno kolmo a polohové umístění nově vzniklých břehů a šířky v hladině se nemění. V druhé metodě (metoda zahloubení dle sklonu) je zahloubení k výchozí hladině provedeno na základě sklonů břehů koryta. Zahloubením hladiny se změní souřadnice břehů, a tím i šířka v hladině. Porovnání metod je znázorněno na obr. 7.

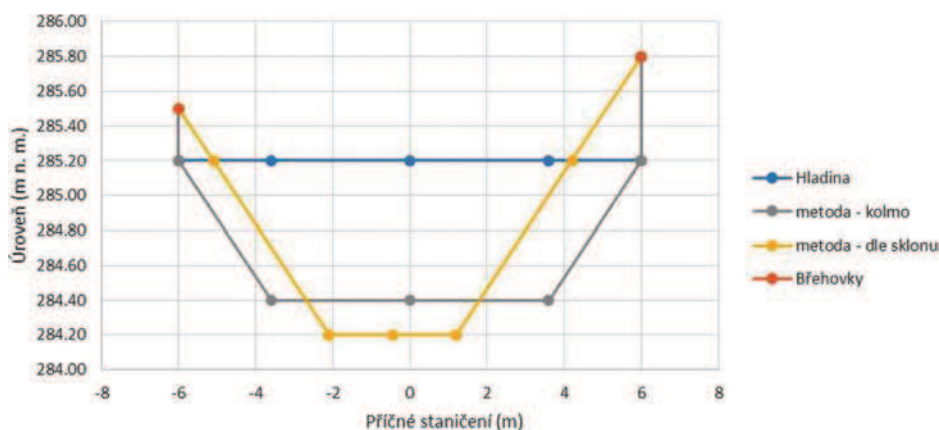
Pro případ, kdy dojde k záporné šířce ve dně při hledání průtočné plochy, je nastavena změna příčného sklonu svahů na dvojnásobek zadané hodnoty. Pokud i nadále vychází záporná hodnota, výsledné lichoběžníkové koryto má sklony svahů 1 000 : 1.

## Výsledky

Výsledek nástroje zahloubení je v podobě textového souboru a shapefilů. Textový soubor obsahuje souřadnice všech dopočítaných poloh a výšek bodů a hydraulické charakteristiky v příčných profilech. Výsledné shapefiley jsou ve třech geometriích – body, polyline, polygon. Body jsou ve všech lomových bodech příčných profilů. Polyline tvoří povinné spojnice mezi body a vytvářejí kresbu příčných profilů, osy dna koryta, pat svahů a břehů (obr. 8, 9). Polygon vytváří obalovou křivku zahloubeného koryta. Body a linie obsahují atributy o typu (Breh\_pravy, Breh\_levy, Pata\_prava, Pata\_leva, Osa, PF) a staničení, které může být použito jako identifikátor pro spárování záznamu shapefile a textového výstupu.



**Obr. 6.** Znázornění volitelné minimální vzdálenosti při výpočtu hladiny  
**Fig. 6.** Illustration of the optional minimum distance in water level calculation



**Obr. 7.** Porovnání dvou metod výpočtu zahloubení (zobrazeno na příčném řezu)  
**Fig. 7.** Comparison of the two methods of recess calculation (illustrated on cross-section)

**Tabulka 8.** Popis vstupních dat a formátů nástroje „Computation“  
**Table 8.** Description of input data and formats of the “Computation” tool

Parametr nástroje	Vstup/Výstup	Formát	Popis formátu	Popis
Vstupní soubor (TXT, formát XrYrZrXIYIZI)	Vstup	Textový soubor	.txt	Textový soubor s body břehů obsahující informace XYZ pro levý a pravý břeh.
Výstupní soubor (TXT)	Výstup	Textový soubor	.txt	Umístění a název textového souboru, do kterého se uloží výsledné hodnoty souřadnic a hydraulických charakteristik.
Složka uložení výstupních shapefilů (FOLDER)	Výstup	Složka	Existující složka	Složka, do které budou uloženy výsledné soubory shapefile.
Metoda výpočtu zahloubení (kolmo/dle sklonu)	Vstup	Výběr ze seznamu		Výběr metody výpočtu zahloubení z rozevřacího seznamu (kolmo/dle sklonu).
Průtok ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	Vstup	Číslo	Desetinné číslo ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	Hodnota průtoku v době pořízení LLS.
Drsnostní součinitel podle Manninga	Vstup	Číslo	Desetinné číslo	Manningův drsnostní součinitel koryta vodního toku v zájmovém úseku.
Sklon svahu příčného profilu (m/m)	Vstup	Číslo	Desetinné číslo (bezrozměrné číslo)	Příčný sklon svahů lichoběžníkového koryta v bezrozměrném čísle.
Minimální vzdálenost pro výpočet hladiny (m)	Výstup	Číslo	Desetinné číslo (metry)	Minimální vzdálenost pro výpočet úrovně a sklonu hladiny. Výchozí hodnota 0.

## Diskuse

Uvažované metodické postupy přípravy vstupního DMR (příčných profilů) pro potřeby hydrodynamických modelů (1D, 2D) při modelování povodňových scénářů, implementované do vývoje softwarových nástrojů CroSolver a CroSolver for ArcGIS, vyžadují objektivní posouzení nejistot, které jsou s danými přístupy spojeny.

Jedná se i o základní myšlenku využití kvantitativního monitoringu pro zhlubování DMR z dat LLS. Eliminace dané nejistoty je zajištěna vysokou četností monitorovacích stanic Českého hydrometeorologického ústavu a podniků Povodí. Monitorovací síť poskytuje s ohledem na lokalizaci jednotlivých vodoměrných stanic především na významných vodních tocích vhodný potenciál pro samotné využití při konečné tvorbě DMR, a to právě na významných vodních tocích. V otázce drobných vodních toků je předpokládáno využití hydrologické analogie, která je předmětem navazujících analýz (otázkou ovšem je, zda by byla výrazná chyba určení stanoveného průtoku v době skenování např. z  $5 \text{ m}^3$  na  $7 \text{ m}^3$  v situaci, kdy N-letý průtok  $Q_{100}$  je  $357 \text{ m}^3$ ). Zda je ještě nutné určovat průtok v době skenování a provést zhlubování, či nikoliv, je nutné zohlednit deklarovanou přesností dat z LLS, které mohou být využity samostatně v případě malých vodních toků s průtokem vody o malé hloubce, kde již nebude nutná kombinace s geodetickým zaměřením, či kombinovat data z LLS s hydrologickými měřeními průtoků. V daném případě totiž dojde k odrazu laserového paprsku od samotného dna koryta, respektive při tvorbě vstupního DMR bude zaznamenána úroveň břehu oproti dnu představovat tak nízkou hodnotu, že bude pro samotnou modelaci zanedbatelná. Další otázkou však stále zůstává, jak vhodně provést selekci a zahrnout vodní tok do kategorie, kdy je nutné provést zhlubování, či do kategorie, kdy stačí využít samotných dat LLS.

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

Ve vazbě na vysokou objemovou kapacitu dat se jako řešení nabízí vhodně redukovat použitý TIN a to tak, aby nedošlo ke snížení objemu dat na úkor zaznamenaného detailu morfologie terénu, a tím i ke snížení přesnosti a jistoty povodňových modelů.

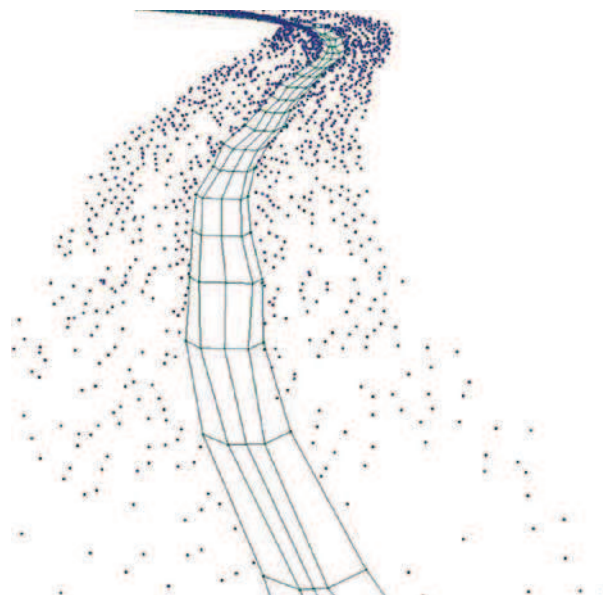
Odvození sklonu a šířky hladiny vychází ze záznamu laserového skenování, zde je v případě poslední 5. generace digitálního modelu reliéfu standardní odchylka H-souřadnice  $0,18 \text{ m}$ . Shodná i vyšší odchylka je však standardně užívána i při zpracování výškopisu v inundaci, kde je tento podklad v hydrodynamických modelech běžně využíván. Navíc při verifikaci vygenerovaných příčných profilů z podkladu připraveného na základě syntézy dat LLS s daty z hydrologického měření bylo dosažováno adekvátní shody, která je v příspěvku demonstrována.

Rovněž s ohledem na případnou nejistotu v případě určení sklonu hladiny je nutné zohlednit skutečnost, že samotná nejistota se pohybuje řádově jinde s ohledem na scénáře, pro které je geometrie vytvářena.

Již v současnosti probíhá rozšíření volby přednastavených tvarů koryt o další podoby, které se budou více blížit přirozeným korytům. V návrhu příspěvku je tato skutečnost nyní rovněž popsána a je uvedeno, že pro potřeby uvedené studie je dosaženo požadované geometrie koryta vodního toku, jehož kapacita je shodná s hodnotou průtoku v přirozeném korytě.

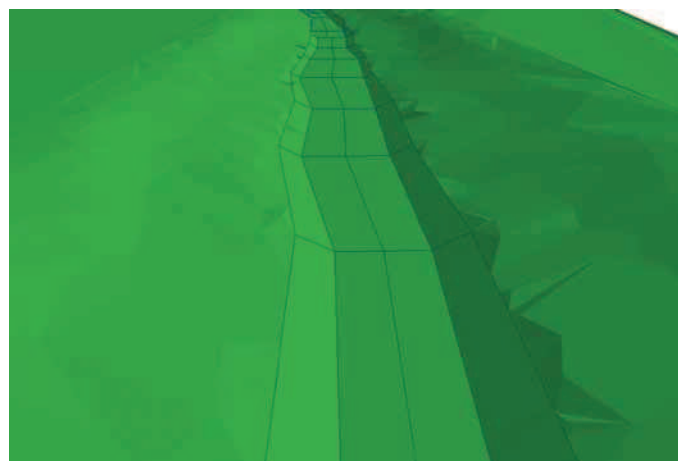
Stanovení parametru  $m$  určujícího sklon svahů profilu (u lichoběžníkového profilu) vychází z průběhu zaznamenaného profilu v bezprostřední blízkosti hladiny vody. Metodou LLS je zaznamenána část příčného profilu samotného koryta vodního toku, která slouží jako podklad pro určení parametru  $m$ .

Stanovení Manningova součinitele drsnosti  $n$  vycházelo ze znalosti drsnosti koryta na základě podrobného místního šetření, které je



**Obr. 8.** Ukázka bodů DMR (LLS) a povinných spojnic zhloubeného koryta (břehové linie, paty svahů, osa, příčné profily)

**Fig. 8.** Illustration of DMR points (ALS) and obligatory connecting lines of the recessed channel (riverbank lines, slope bases, stream centre line, cross-profiles)



**Obr. 9.** DMT ve formátu TIN se zpracovaným zhloubeným korytem  
**Fig. 9.** Digital Model of Terrain (DMT) in the TIN format with the incorporated recessed channel

standardně prováděno i při tvorbě samotných hydrodynamických modelů. S ohledem na možný vliv Manningova drsnostního součinitele byla provedena citlivostní analýza vlivu drsnostního součinitele  $n$  na hodnotu stanoveného průtoku. Pro bližší definici vlivu drsnostního součinitele bylo provedeno další srovnání s ohledem na verifikaci s geodeticky zaměřenými příčnými profily, kdy ze získaných výsledků vyplývá, že metoda je dostatečně subtilní pro využití v praxi.

Přesnost popsaného způsobu tvorby geometrie do hydrodynamického modelu je závislá na deklarované chybě výšky  $0,18 \text{ m}$ . S rozvojem technologií pro snímání zemského povrchu bude zákonitě docházet i ke snižování této uvedené chyby. Tím se bude automaticky zvyšovat i přesnost uvedeného způsobu tvorby geometrie a také možnosti širšího rozšíření v praxi. Dosavadní výsledky z prováděných analýz ovšem nasvědčují tomu, že deklarovaná chyba výšky  $0,18 \text{ m}$  bude dodržena (Brázdil et al., 2010).

Volba využití Chézyho rovnice pro daný případ byla cílená, v dalším studiu je plánována možnost alternovat řadu jiných metod, které jsou v současnosti k dispozici. Například pro proudění složenými profily probíhají neustále pokusy na vylepšení stávajících metod výpočtu používaných v jednorozměrných modelech, popř. zavádění metod nových. Variantou je i použití metod označovaných jako 1,5D nebo 1D+ (jako je Lateral Distribution Method) či metody Divided Channel Method, Ackersova empirická metoda, James and Wark Method.

Náročnost na vstupní data se přitom prakticky nemění, přičemž výpočetní náročnost stoupá jen minimálně.

Rovněž je možné testovat po zobecnění základního principu zahrnutí výpočtu nerovnoměrného proudění v 1D schematizaci s ohledem na omezenou platnost rovnoměrného proudění u přirozených koryt. Zde je však nutno připomenout, že subjektivní hodnocení zpracovatele v podobě například odhadu charakteru proudění je dalším zdrojem nejistoty hydraulického výpočtu.

Při existenci objektů na vodních tocích v podobě mostků, propustků, jezů, stupňů, skluzů atd. jsou přítomné objekty komplikací, která je v současnosti řešena. Přítomnost objektů na toku ovšem neznamená, že by byla metoda v případě jejich přítomnosti vždy automaticky nepoužitelná. V současnosti je tato problematika řešena v několika alternativách. Identifikace příčných překážek je možná na základě samotného využití dat LLS (Uhlířová a Zbořil, 2009) či na základě terénní rekognoskace. Navíc pro následnou tvorbu hydrodynamického modelu bude stejně nutné tyto objekty geodeticky zaměřit.

Pro využití syntézy dat LLS s daty z hydrologického měření je však možné využít (a to s jistotou u pevných jezů, stupňů atd. či u pohyblivých jezů se znalostí základních výškových parametrů) identifikovaných objektů. Od objektu např. pevného jezu bude stanovena vzdutá hladina, tj. bude identifikována plocha jezové zdrže. V rámci této plochy bude interpolačně dopočítán příčný profil koryta v úseku od jezu k prvnímu profilu, který není ovlivněn jezovou zdrží. Přestože nebude zcela přesně vystižena reálná podoba příčného profilu vodního toku v daném úseku, nebude mít tato skutečnost vliv na samotnou tvorbu hydrodynamického modelu, poněvadž se v jezové zdrži jedná o „mrtvý“ prostor, který se nepodílí na transformaci povodňové vlny.

## Závěr

Cílem příspěvku bylo popsat alternativní přístup přípravy vstupních výškopisných podkladů pro hydrodynamické modely. Metoda je založena na syntéze dat leteckého laserového skenování s daty z hydrologického měření (informace o aktuálním průtoku v řešeném toku v době snímání).

Pro kvantifikaci nejistot jednotlivých vstupních veličin byly zpracovány citlivostní analýzy deklarující vliv jednotlivých parametrů na spolehlivost určené hledané hloubky koryta. Výsledky dosažené ze zpracovaných citlivostních analýz pro uvedené vstupní veličiny vypovídají, že uváděná metoda je dosti subtilní pro aplikaci při povodňových scénářích. Zpracování detailní citlivostní analýzy pro všechny vstupní veličiny bude předmětem dalšího řešení. V daném případě bylo pro verifikaci modelu využito samotných geodetických údajů.

Výhodou daného přístupu je, že popisovaná metoda pro automatickou tvorbu geometrie vodních toků s využitím LLS v kombinaci s informací o aktuálním průtoku v daném toku je ve vazbě na využívání laserového skenování ve světě lehce aplikovatelná i za hranicemi ČR. Skenované rozsáhlé lokality např. v Bavorsku, Francii atd., kde skenování proběhlo s daleko vyšší hustotou bodů na m<sup>2</sup>, než je v současnosti realizováno pro celou ČR, dávají předpoklad, že metoda syntézy by se tak mohla stát významnou i s ohledem na světovou vědu.

Autoři si rovněž samozřejmě uvědomují, že přesnost popsaného způsobu tvorby geometrie do hydrodynamického modelu je závislá na deklarované chybě výšky 0,18 m. S rozvojem technologií pro snímání zemského povrchu bude zákonitě docházet i ke snižování této chyby. Tím se bude automaticky zvyšovat i přesnost uvedeného způsobu tvorby geometrie a také možnosti širšího rozšíření v praxi.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury ČR, projektu číslo TA02020139 „Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování“.

## Literatura

Alho, P. and Makinen, J. (2010) Hydraulic parameter estimations of a 2D model validated with sedimentological findings in the point bar environment. *Hydrological processes*, 24 (18), 2578–2593.

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.

Brázdil, K. (2009) Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. *Geodetický a kartografický obzor*, 55 (97), č. 7, 145–151.

Brázdil, K. aj. Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace. Zeměměřický úřad, Vojský geografický a hydrometeorologický úřad, říjen 2010.

Brázdil, K. aj. Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace. Zeměměřický úřad, Vojský geografický a hydrometeorologický úřad, leden 2012.

Brázdil, K. aj. Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace. Zeměměřický úřad, Vojský geografický a hydrometeorologický úřad, leden 2012.

Cobby, D.M., Mason, D.C., and Davenport, I.J. (2001) Image processing of airborne scanning laser altimetry data for improved river flood modelling. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56, 121–138.

Cobby, D.M., Mason, D.C., Horritt, M.S., and Bates, P.D. (2003) Two-dimensional hydraulic flood modelling using a finite-element mesh decomposed according to vegetation and topographic features derived from airborne scanning laser. *Hydrological Processes*, vol. 17, No. 10, 1979–2000. Available from: 10.1002/hyp.1201.

Cook, A. and Merwade, V.M. (2009) Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, vol. 377, is. 1–2, 131–142.

Dolanský, T. (2004) Lidary a letecké laserové skenování. *Acta Universitatis Purkynianae*, 99, *Studia geoinformatica*. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, ISBN 80-7044-575-0.

Drbal, K. aj. (2009) Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Ministerstvo životního prostředí.

Dušánek, P. Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. In: workshop září 2010.

Dušánek, P. (2008) Tvorba digitálních modelů z dat leteckého laserového skenování a jeho využití pro aktualizaci výškopisu ZABAGED. Diplomová práce – Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze. Vedoucí dipl. práce Ing. Markéta Potůčková, Ph.D.

Elberink, S. and Mass, H.G. (2000) The Use of Anisotropic Height Texture Measures for the Segmentation of Airborne Laser Scanner Data. *International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 33, Part B3.

Ernst, J., Dewals, B.J., Detrembleur, S., Archambeau, P., Epicum, 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.

Flood, M. and Gutelius, B. (1997) Commercial implications of topographic terrain mapping using scanning airborne laser radar. *Photogramm. Eng. Rem. Sens.*, 63 (4), 327–366.

Fowler, H.J., Ekström, M., Kilsby, C.G., and 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, Y., and Roth, G. (2003) Hydrologic modeling of extreme floods using radar rainfall estimates. *Advances in Water Resources*, 26 (2), 195–203.

Guenther, G.C., Brooks, M.W., and Larocque, P.E. (2000) New capabilities of the “SHOALS” airborne LiDAR bathymeter. *Rem. Sens. Environ.*, 73 (2), 247–255.

Hrádek, F. a Sobota, J. Prognózy maximálních průtoků v nepozorovaných proflech povodí drobných vodních toků. In: *Workshop Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Praha, ČVUT, ČVHS, 25. 10. 1999, s. 82–85. ISBN 80-01-02072-X.

Langhammer, J. (2003) Anthropogenic Transformation of river network in the Otava River Basin. *AUC Geographica*, 38 (2), 139–156.

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.

Maidment, D.R. (ed.) (1993) *Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill.

Metodický pokyn (28181/2005-16000) k zadávání fotogrammetrických činností pro potřeby vymezování záplavových území v souvislosti s aplikací ustanovení § 66 odst. 1 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a vyhlášky č. 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území.

Mass, H.G. and Vosselman, G. (1999) Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 153–163.

Merwade, V.M., Cook, A., and 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 D.R., and Goff, J.A. (2006) Anisotropic considerations while interpolating river channel bathymetry. *Journal of Hydrology*, 331, 731–741.

Novák, P., Roub, R. a Hejduk, T. (2011) Využití hydrologického měření při tvorbě hydrodynamických modelů z dat leteckého laserového skenování. *Vodní hospodářství*, 61 (8), 297–302. ISSN 1211-0760.

Pavličková, L., Novák, P., Roub, R. a Hejduk, T. (2012) Využití geografických informačních systémů a územně plánovací dokumentace při modelování povodňového rizika. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 54 (4), s. 1–6, ISSN 0322–8916, příloha *Vodního hospodářství* č. 8/2012.



- Plate, E.J. (2002) Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology*, 267, 2–11.
- Ramsankaran, R., Maerker, CH., and Malcherek, A. (2010) Numerical modelling of hydrodynamics and sediment transport processes during storm events in a non-perennial river. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 58 (1), 36–48, ISSN 0042-790X.
- R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2009. Dostupné z: <http://www.R-project.org>. ISBN 3-900051-07-0.
- RStudio { Inc. shiny: Web Application Framework for R, 2013. Dostupné z: <http://CRAN.R-project.org/package=shiny>. R package version 0.8.0.
- Ritchie, J.C. (1996) Remote sensing applications to hydrology: airborne laser altimeters. *Hydro. Sci. J.*, 41 (4), 625–636.
- Roub, R., Hejduk, T. a Novák, P. (2012a) Využití dat z tvorby nového výškopisu území České republiky metodou leteckého laserového skenování při analýze a mapování povodňových rizik. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 58/100, č. 1, ISSN 0016-7096.
- Roub, R., Hejduk, T., and Novák, P. (2012b) Automating the creation of channel cross section data from aerial laser scanning and hydrological surveying for modeling flood events. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60 (4), ISSN 0042-790X.
- Šíma, J. (2009) Abeceda leteckého laserového skenování. *Geobusiness*, č. 3.
- Uhlířová, K. a Zbořil, A. (2009) Možnosti využití laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. *Vodní hospodářství*, 59 (12), s. 11–15.
- 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.
- Valenta, P. (2005) Využití numerických modelů proudění vody v protipovodňové ochraně. ČVUT v Praze, Fakulta stavební.

Ing. Radek Roub, Ph.D.<sup>1)</sup>, Ing. Filip Urban<sup>2,3)</sup>,  
Ing. Vojtěch Havlíček, Ph.D.<sup>1)</sup>, RNDr. Pavel Novák<sup>1,4)</sup>,  
Ing. Tomáš Hejduk<sup>1,4)</sup>, Ing. Luděk Bureš<sup>1)</sup>, Adam Reil<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> ČZU, Fakulta životního prostředí

<sup>2)</sup> Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s.

<sup>3)</sup> ČVUT, Fakulta stavební

<sup>4)</sup> Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

e-mail: [roub@fzp.czu.cz](mailto:roub@fzp.czu.cz)

Příspěvek prošel lektorským řízením.

## Keywords

aerial laser scanning (ALS) – hydrological measurement – cross-profile – hydrodynamic model – GIS – floods

## VYBRANÉ NEZÁKONNÉ DROGY V ODPADNÍCH VODÁCH

Věra Očenášková, Danica Pospíchalová, Alena Svobodová, Petra Kolářová, Petr Tušil

## Klíčová slova

epidemiologie odpadních vod – nezákonné drogy – metamfetamin – amfetamin – MDMA – kokain

## Souhrn

Hlavním cílem projektu „Stanovení nezákonných drog a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách – nový nástroj pro doplnění údajů o spotřebě drog v České republice“ je získat novou sadu objektivních dat o spotřebě nezákonných drog v České republice. V průběhu roku 2013 bylo analyzováno téměř 1 000 vzorků surových odpadních vod v 11 lokalitách. Nezákonné drogy byly nalezeny ve všech analyzovaných vzorcích. Koncentrace metamfetaminu v některých případech byly vyšší než 10 000 ng/l, nálezy amfetaminu se pohybovaly mezi 2 ng/l a 1 500 ng/l, MDMA – extáze byla nalezena v koncentracích v rozmezí 0,1 až 534 ng/l. Nálezy benzoylkegoninu, hlavního metabolitu kokainu, ze kterého se při výpočtech vychází, byly v intervalu 0 až 850 ng/l. Projekt stále pokračuje, počet sledovaných lokalit byl rozšířen tak, aby byla pokryta celá Česká republika.

*Development of software tools CroSolver and CroSolver for ArcGIS for the preparation of a computer track for hydrodynamic models (Roub, R.; Urban, F.; Havlíček, V.; Novák, P.; Hejduk, T.; Bures, L.; Reil, A.)*

In the territory of the Czech Republic, flood situations represent one of the most material threats of natural disasters. The significance of these threats grows due to the increasingly extreme character of weather observed in recent years. The fact follows from the geographical location of the Czech Republic on both continental and global scales. From the perspective of the elimination of potential risks and consequences of such events themselves, very important appear to be warnings provided by the forecasting flood service about the character and size of inundation areas for individual N-year flood discharges and specific flood scenarios. An adequate image of depths and flow rates in the longitudinal sections or cross sections of streams during a flood event can be obtained through hydrodynamic models. Thus, the information obtained from the hydrodynamic models has a privileged position in the protection of people's lives and mitigation of damages on property.

Decisive for harvesting relevant outputs from the hydrodynamic models are input data. Since the cost of gaining relevant data on the morphology of streambed and adjacent inundation area is high, an approach is presented, which is based on the synthesis of data from hydrological measurements and aerial laser scanning data, which attempts at substituting the costly geodetic surveying of streambeds. The considered approach employs aerial laser scanning of the watercourse first, together with the determination of discharge achieved at the time of the aerial laser scanning (ALS). The ALS measurement does not make it possible to include the channel part under the stream water level; however, it allows establishing the water level position. Subsequently, water-level slope is calculated between the selected cross-profiles, and providing that the cross-profile type (three basic types considered at present include rectangle, trapezium and parabola) and the flow rate are known, the channel depth can be calculated by using Chézy's equation.

The paper presents results from the development of two software tools, which serve for the preparation of a computer track for hydrodynamic models (CroSolver and CroSolver for ArcGIS) and some partial research results.

## Úvod

Drogy provázejí lidstvo od nepaměti. Již v neolitické době byly na území Mezopotámie známy účinky makové šťávy, ve starém Egyptě (14. stol. př. n. l.) se z máku vyráběl božský lék na bolest. Jednou z nejstarších kulturních rostlin lidstva je konopí, které bylo využíváno jak k léčebným účelům, tak v duchovní sféře např. v Číně a Indii již před naším letopočtem. Účinky listů keře koky (obsahují kokain) znali jihoameričtí Indiáni již před 5 000 lety.

K masovému rozšíření drog dochází až v 19. století, kdy se velmi intenzivně začíná rozvíjet chemický a farmaceutický průmysl, účinné látky byly z rostlin izolovány a vzápětí se začínají vyrábět i syntetickou cestou. Velmi často jsou nejprve součástí léčiv – např. heroin byl uveden na trh v roce 1898 firmou Bayer jako prostředek proti kašli a k uklidnění. Nový způsob aplikace drog přináší i vynález moderní injekční stříkačky v roce 1853.

To vše přináší nárůst drogových závislostí se všemi společenskými komplikacemi a dopady jak zdravotními, tak sociálními. Na přelomu 19. a 20. století začínají probíhat mezinárodní jednání o narkotikách a postupně vznikají v jednotlivých zemích protidrogové zákony. Začátkem 20. století jsou také drogy rozděleny na legální (alkohol a nikotin) a na nelegální (např. kokain, heroin a konopí).

Konec 20. a začátek 21. století přinesl významný rozvoj analytických metod používaných v chemii a stále dokonalejší přístrojové vybavení umožňuje stanovovat nejrůznější sloučeniny i při velmi nízkých koncentracích (subnanogramová množství) v jakékoliv matrici. Tyto metody umožnily také identifikovat nelegální drogy a jejich hlavní metabolity vyloučené především močí do odpadních vod.

## Závěr

Ze získaných výsledků nechceme ještě vytvářet definitivní závěry. Projekt stále probíhá, zpracovávají se výsledky z roku 2014. Veškerá data se ověřují, především extrémní hodnoty naměřené v některých dnech, které mohou výsledky významně ovlivnit. Ve srovnání s ostatními evropskými městy tyto extrémní hodnoty, např. pro pervitin, ovlivňují i další přepočty, např. na počty dávek na 1 000 obyvatel, a jsou 6–7krát vyšší než nejvyšší zjištěné hodnoty evropských měst (Helsinky, Turku, Oslo) [4]. U ostatních sledovaných drog (extáze, amfetamin a kokain) se jejich spotřeba (z pohledu analýzy odpadních vod) v České republice pohybuje na evropském průměru nebo spíše pod ním.

Epidemiologii odpadních vod je věnována velká pozornost i v celoevropském měřítku. Za přibližně deset let existence se stala multidisciplinárním oborem, který se rozvíjí ve spolupráci s dalšími obory, jako jsou analytická chemie, fyziologie, biochemie, technologie odpadních vod, environmentální inženýrství a konvenční epidemiologie. Jako další cíle pro tento obor označilo EMCDDA (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction) dosažení shody a harmonizace metod odběru vzorků a vytvoření kodexu správné praxe pro tuto oblast [14].

### Poděkování

Projekt „Stanovení množství nezákonných drog a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách – nový nástroj pro doplnění údajů o spotřebě drog v České republice“, identifikační číslo VG 20122015101, zkrácený název DRAGON, je řešen v rámci Programu bezpečnostního výzkumu České republiky v letech 2010–2015 (BV II/2 – VS) a je financovaný formou dotace z rozpočtové kapitoly Ministerstva vnitra České republiky.

Projekt by nebylo možno realizovat bez spolupráce s následujícími institucemi a subjekty: Pražské vodovody a kanalizace, a.s., Vodárna Plzeň, Ostravské vodárny a kanalizace, a.s., Severočeské vodovody a kanalizace, a.s., Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., VEOLIA Voda Česká republika, a.s., Severomoravské vodovody a kanalizace, a.s., a Aqualia, gestion integral del agua, S.A.

## Literatura

- [1] Daughton, C.G. and Ternes, T.A. Pharmaceutical and personal care products in the environment: agents of subtle change? *Environ. Health Perspect.*, 107, suppl. 6, 1999, 907–938.
- [2] Daughton, C.G. Illicit drugs: contaminants in the environment and utility in forensic epidemiology. *Rev. Environ. Contam. Toxicology*, 210, 2001, p. 59–110.
- [3] Zuccato, E., Chiabrando, Ch., Castiglioni, S., Calamari, D., Bagnati, R., Schiarea, S., and Fanelli, R. Cocaine in surface waters: a new evidence-based tool to monitor. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, vol. 4, 2005, is. 1, p. 14–20.
- [4] Thomas, K.V. et al. Comparing illicit drug use in 19 European cities through sewage analysis. *Science of the Total Environment*, vol. 432, 2012, p. 432–439. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.06.069. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969712008959>
- [5] Irvine, R.J., Kostakis, Ch., Felgate, P.D., Jaehne, E.J., Chen, Ch., and White, J.M. Population drug use in Australia: A wastewater analysis. *Forensic Science International*, vol. 210, 2011, 1–3, p. 69–73. DOI: 10.1016/j.forsciint.2011.01.037. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0379073811000521>
- [6] Karolak, S., Nefau, T., Bailly, E., Solgadi, A., and Levi, Y. Estimation of illicit drugs consumption by wastewater analysis in Paris area (France). *Forensic Science International*, vol. 200, 2010, 1–3, p. 153–160. 10.1016/j.forsciint.2010.04.007. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0379073810001799>

- [7] Nefau, T., Karolak, S., Castillo, L., Boireau, V., and Levi, Y. Presence of illicit drugs and metabolites in influents and effluents of 25 sewage water treatment plants and map of drug consumption in France. *Science of the Total Environment*, 2013, 461–462, p. 712–722.
- [8] Baker, D.R., Ocenaskova, V., Kivalova, M., and Kasprzyk-Hordern, M. Drugs of abuse in wastewater and suspended particulate matter – Further developments in sewage epidemiology. *Environment International*, vol. 48, 2012, p. 28–38.
- [9] Valcárcel, Y., Martínez, F., González-Alonso, S., Segura, Y., Catalá, M., Molina, R., Montero-Rubio, J.C., Mastroianni, N., López de Alda, M., Postigo, C., and Barceló, D. Drugs of abuse in surface and tap waters of the Tagus River basin: heterogeneous photo-Fenton process is effective in their degradation. *Environment International*, vol. 41, 2012, p. 35–43.
- [10] Hummel, D., Loeffler, D., Fink, G., and Ternes, T.A. Simultaneous determination of psychoactive drugs and their metabolites in aqueous matrices by liquid chromatography mass spectrometry. *Environ. Sci. Technol.*, vol. 40, 2006, p. 7321–7328.
- [11] Postigo, C., Lopez de Alda, M.J., and Barceló, D. Fully automated determination in the low nanogram per Liter level of different classes of drugs of abuse in sewage water by on-line Solid-Phase Extraction-Liquid Chromatography-Electrospray-Tandem Mass Spectrometry. *Anal. Chem.*, 2008, 80, 3123–3134.
- [12] Postigo, C., Lopez de Alda, M.J., and Barceló, D. Drugs of abuse and their metabolites in the Ebro river basin: occurrence in sewage and surface water, sewage treatment plants removal efficiency, and collective drug usage estimation. *Environment. Int.*, 36, 2010, 75–84.
- [13] EMCDDA (Evropské monitorovací centrum pro drogy a drogovou závislost). *Výroční zpráva za rok 2011: Stav drogové problematiky v Evropě*. Lucemburk: Úřad pro publikace Evropské unie, 2011. ISSN 978-92-9168-466-3.

**Ing. Věra Očenášková, Ing. Danica Pospíchalová,  
Ing. Alena Svobodová,  
Mgr. Petra Kolářová, Ing. Petr Tušil, Ph.D., MBA  
VÚV TGM, v.v.i., Vera\_Ocenaskova@vuv.cz**  
Příspěvek prošel lektorským řízením.

*Selected Illicit drugs in Wastewater (Ocenaskova, V.; Pospichalova, D.; Svobodova, A.; Kolarova, P.; Tusil, P.)*

### Key words

*sewage epidemiology – illicit drugs – methamphetamine – amphetamine – MDMA – cocaine*

**The aim of the project “Determination of the amount of illicit drugs and their metabolites in municipal wastewater (DRAGON) – new tool for obtaining of complementary data on illicit drug consumption in the Czech Republic” is to obtain the new data set about use of illicit drugs. During 2013 almost 1 000 samples of raw wastewater were analyzed. Illegal drugs were found in all analyzed samples. The concentration of methamphetamine was in some cases higher than 10 000 ng/l. Findings of amphetamine ranged between 2 ng/l and 1 500 ng/l, the highest concentration of ecstasy was 535 ng/l. The concentrations of the major metabolite of cocaine, benzoylecgonine, from which the calculation on the estimation of drug consumption is based, were from 0 ng/l to 850 ng/l. The project continues, the number of monitored sites has been extended to cover the entire Czech Republic.**

**VTEI** VODOHOSPODÁŘSKÉ  
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

Water Management Technical and Economical Information

**Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství. Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.**

**Redakční rada:** RNDr. D. Baudišová, Ph.D., Ing. Š. Blažková, DrSc., Ing. P. Bouška, Ph.D., prof. Ing. A. Grünwald, CSc., doc. Ing. A. Havlík, CSc., prof. RNDr. A. Sládečková, CSc., prof. Ing. J. Zezulák, DrSc.

**Ročník 56**

**ISSN 0322-8916  
ISSN 1805-6555 (on-line)  
MK ČR 6365**

**VÚV  
TGM**

**Výzkumný ústav vodohospodářský  
T. G. Masaryka, v.v.i.  
Podbabská 30  
160 00 Praha 6  
IČO 00020711**

**Kontakt:** Mgr. S. Garciova  
tel.: 220 197 282, e-mail: garciova@vuv.cz

14

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). (15 %)

**Nové metody detekce pesticidních látek v pitných vodách, jejich hodnocení a eliminace**

**Pavel Novák<sup>1)</sup>, Antonín Zajíček<sup>1,2)</sup>, Petr Fučík<sup>1)</sup>, Tomáš Hejduk<sup>1, 2)</sup>,  
Petr Kvapil, <sup>3)</sup>, Romana Šuráňová<sup>3)</sup>, Irena Šupíková<sup>3)</sup>, Jiří Fiedler<sup>3)</sup>**

---

<sup>1)</sup> Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.  
Žabovřeská 250, 150 00 Praha 5 – Zbraslav

<sup>2)</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze  
Fakulta životního prostředí,  
Kamýcká 1176, 165 21 Prague 6 – Suchdol

<sup>3)</sup> AQUATEST a.s.  
Geologická 4, 152 00 Praha 5

**Abstrakt**

Příspěvek prezentuje prvotní výsledky získané z řešení projektu Technologické agentury ČR, programu ALFA, „Technologie sanace zdrojů hromadného zásobování pitnou vodou ovlivněných pesticidními látkami - optimalizace hospodaření s nimi, nové metody jejich detekce, hodnocení a eliminace“.

Cílem projektu je vývoj metod detekce, lokalizace, hodnocení rizik a vývoj sanační technologie využívaných i záložních zdrojů pitných vod negativně ovlivněných přítomností pesticidních perzistentních organických látek. Návrh projektu je cílený na řešení zhoršené kvality pitných vod, které mají přímou vazbu znečištění a lokality ovlivněné zemědělskou, lesnickou, rekultivační či průmyslovou činností.

V první části řešení bude ověřena metoda identifikace zdroje znečištění na základě monitoringu jakosti vod s použitím pasivních vzorkovačů, druhá část řešení bude založena na vytvoření sanační technologie vlastního zdroje pitné vody a posledním cílem bude analýza rizik na zdravotní stav obyvatel z hlediska kontaminace vod pesticidními látkami.

Dále v průběhu řešení bude vytvořena mapa zranitelnosti zdrojů podzemních vod, metodika stanovení zranitelnosti vodního zdroje z hlediska kontaminace pesticidními látkami a ověřena technologie sanace vodních zdrojů zásobujících malá sídla. Tyto zdroje nepodléhají odpovídající kontrole jejich jakosti zejména ve vztahu k potenciálnímu znečištění přípravky na ochranu rostlin zejména dusíkatých pesticidů. V průběhu řešení bude zároveň prováděna analýza rizik na zdravotní stav populace, jejíž výsledky budou promítnuty do novelizace předpisů a směrnic nelegislativní povahy (H neleg).

**Klíčová slova:** pasivní vzorkovač, vodní zdroj, pesticid, POCIS

## 1. Úvod

### 1.1 Základní principy problematiky pesticidů

Prostředky na ochranu rostlin (pesticidy) jsou v současném zemědělství nezbytné pro regulaci škodlivých organismů - plevelů, chorob a škůdců rostlin. Bez nich by byly výnosy plodin nižší, horší kvality (mykotoxiny) a dražší. Spektrum a způsoby použití prostředků na ochranu plodin se v dnešním zemědělství značně posunulo od aplikace síry ve starověkém Sumeru, experimentování s arsenem a olovem ve středověku, či používání DDT ve 40. - 60. letech 20. století [1]. Na druhou stranu intenzivní využívání těchto látek může mít za následek závažné environmentální problémy. Prameny uvádějí, že pouze přibližně 65 % aplikované látky zasáhne listovou plochu, asi 25 % přípravku vstupuje do půdy. Zbylých přibližně 10 % je rozloženo světlem před vstupem do půdy nebo uvolněno do atmosféry. Procesy probíhající při aplikaci lze kvantifikovat na úlet (drift) a těkání (volatilizace), které jsou hlavními procesy souvisejícími s vlastní aplikací a aplikačními podmínkami. Množství úletu je závislé především na povětrnostních podmínkách, aplikační technice a související velikosti kapének [8]. Těkání pesticidů ze zasažených povrchů je významné u látek s vyšší tenzí par. Intenzita těkání roste s rostoucí teplotou (půdy i vzduchu) a s rychlostí větru, naopak klesá s rostoucí vzdušnou vlhkostí a po dešťových srážkách či závlaze [3]. Oba procesy jsou nežádoucí z hlediska možnosti poškození necílových rostlin v okolí pozemků (citlivé sousedící plodiny, ale zvláště ovocné stromy, réva vinná a okrasné výsadby). Úlet a těkání způsobují také znečištění atmosféry včetně přenosu účinných látek herbicidů na nežádoucí místa. Méně stabilní molekuly některých pesticidů (trifluralin) podléhají světelnému rozkladu (fotolýze), a proto je nezbytné (především za intenzivního slunečního svitu) je ihned po aplikaci zapravit do půdy [9]. Další významnou ztrátou z aplikovaného množství je ulpívání na necílových površích (kulturní rostliny, plevele, proti kterým není herbicid účinný, a organické zbytky atd.). Ve srovnání s úletem a těkáním je ztrátové množství způsobené ulpěním na površích rostlin podstatně významnější, neboť zvláště u postemergentních aplikací bývá půda pokryta z 50–80 % necílovými povrchy. Ulpění pesticidu na povrchu rostlin může navíc prodloužit celkovou dobu perzistence pesticidu [10]. Pesticidy vstupující do půdy mohou být ve značné míře vyplavovány do povrchových i podzemních vod a způsobovat ekotoxikologické problémy jak u terestrické, tak u vodní (nebo na vodu vázané) bioty a zhoršovat jakost vody surové vody pro úpravu na vodu pitnou.

Dynamika a intenzita vyplavování pesticidů souvisí s řadou fyzikálních a chemických vlastností půdy a dále s parametry pesticidů, s jejich dávkami a načasováním aplikace, agrotechnikou (tradiční x bezorebné hospodaření), mobilitou, resp. potenciálem vyplavení. Tyto parametry vyjadřuje např. tzv. GUS Index (Groundwater Ubiquity Score) [2], který je funkcí sorpčních schopností (koeficient sorptivity, KOC), rozpustnosti ve vodě (S) a poločasu rozpadu pesticidu v půdě (DT50); to vše ve vazbě na hydrologické a biogeochemické procesy [3]. Z půdních vlastností jsou jako vlivné nejčastěji uváděny parametry fyzikální (hydraulická vodivost, zrnitost, struktura) a chemické (obsah organické hmoty, CEC, pH) [3], často u zrychleného vyplavení pesticidu do vod hraje podstatnou roli preference proudění [4]. Bez ohledu na kinetiku rozpadu a sorpční schopnosti pesticidu, je dynamika srážko-odtokových parametrů často shledávána jako dominantní z hlediska vyplavování pesticidů z půd do vod [5]; jako nejvýznamnější příčinná složka bývá – ve vztahu k podmínkám povodí a průběhu počasí - identifikován jak povrchový odtok [6], tak odtok podpovrchový, nežádoucí reprezentovaný vodou z drenážních systémů [7]. Jako nezbytné se jeví sledování dynamiky souvisejících podzemních vod [12].

Kontaminace vod pesticidy je způsobena difúzními (plošnými) a bodovými zdroji. V případě difúzních zdrojů probíhá kontaminace přímo, při aplikaci přípravků na pole a nepřímo atmosférickou a větrnou depozicí. Difúzní zdroje hrají roli v povrchovém a erozním odtoku i v podpovrchovém a drenážním. Významnou roli zemědělských drenážních systémů z hlediska transportu pesticidů různých vlastností dokumentují např. [11, 13]. Ve většině případů zrychleného vyplavení pesticidu do vod hraje podstatnou roli některý z typů preferenčního proudění [5, 14]. Jako bodové zdroje znečištění působí zejména úniky z bezpečnostních přepadů odpadních objektů zemědělských provozů, čištění a výplachy zásobních cisteren; obecně nesprávná manipulace s pesticidními prostředky a jejich aplikátory [3]. Bodové zdroje znečištění jsou důležité zejména v obdobích nízkých průtoků [15, 16]; celkově mohou tyto zdroje tvořit 20 – 80 % celkového vnosu pesticidů do vod.

## 1.2 Problematika vzorkování pesticidů

Výběr vhodné metody vzorkování je důležitou podmínkou úspěchu řešení projektu [17]. Vzorkovací metody se obecně rozlišují na metody aktivní a pasivní. Aktivní metoda je konvenční postup založený na odebrání jasně definovatelného objemu vzorku v přesně určeném místě a čase. Z hlediska řešené problematiky přináší tato metoda vzorkování několik nedostatků. Mezi ně patří například skutečnost, že bodový odběr reprezentuje pouze okamžité složení v momentě odběru a nemusí registrovat periodický či dlouhodobý vývoj kontaminace. Tuto nevýhodu je možné eliminovat např. zvýšenou četností odběrů, což ovšem vede k vysoké časové a finanční náročnosti.

Pasivní vzorkovací postupy jsou vhodným postupem, jak se vyhnout nedostatkům vzorkování aktivního. Jedná se o takový odběr vzorků, při kterém jsou vzorkovací média exponovány dlouhodobě, kontinuálně [19]. Pasivní vzorkování je takový odběr vzorku, jehož základ vyplývá z rozdílu chemických potenciálů analytu a sorbentu, přičemž dochází k volnému toku molekul analytu z okolního prostředí na sorpční médium [18]. Samotné pasivní vzorkovače popisují [20] jako zařízení obsahující sorpční médium, kde jsou zachycovány kontaminanty. Skládají se z membrány a sorbentu, které jsou vhodné pro sledované analyty. K nesporným výhodám pasivních vzorkovačů patří jednoduché použití, nízká cena, nenáročnost na údržbu a instalaci, snadná manipulace, nehlučnost a podobně [18]. Pasivní vzorkovače lze rozdělit do 3 hlavních skupin na *a) Okamžité pasivní vzorkovače* (grab, nebo thief samplers) jsou konstruovány tak, aby jejich pomocí došlo k odebrání okamžitého vzorku a to v takové hloubce, do které jsou ponořeny. Umožňují odebrat vzorek, který reprezentuje okamžitý stav v měřeném bodě a to přímo v momentě odebrání vzorku. Principem odběru je, že se vzorkovač umístí do monitorovacího objektu do požadované hloubky a je v něm ponechán určitý časový interval, po který dochází k sorpci kontaminantu. Tento interval odpovídá době, po které dojde k rovnovážnému stavu v prostředí. Odběr vzorku se aktivuje buď tahem (HydraSleeve) nebo zapnutím přístroje (SNAP). Tento typ vzorkovače je vhodný pro odběr mnoha typů chemických látek, ovšem je třeba odebrat velké množství vzorků vody, což může být v některých případech obtížné.

Další skupinou jsou *b) Rovnovážné pasivní vzorkovače*, které se vyznačují malým objemem a nízkou kapacitou sorbentu, což je příčinou krátké doby expozice, která se pohybuje od několika minut do několika hodin [18]. Princip metody je následující: vzorkovač je instalován do kontaminovaného prostředí, kde polutanty začnou okamžitě difundovat přes membránu. K tomuto dochází do té doby, než koncentrace uvnitř vzorkovače neodpovídá koncentraci prostředí. Tento proces je reversibilní, tj. pokud klesne koncentrace v prostředí (podzemní vodě), kontaminanty začnou difundovat zpět ze vzorkovače do vody opět do nastolení rovnováhy koncentrací. Z tohoto

důvodu nejsou tyto vzorkovače vhodné ke stanovení průměrné koncentrace během delšího časového intervalu [19].

Třetí skupinou jsou *c) Integrativní (kumulativní) pasivní vzorkovače*, které fungují na podobných principech, jako vzorkovače rovnovážné, ale mají mnohem vyšší kapacitu. To jim umožňuje déle setrvat ve stavu lineárního příjmu látek a tím kontinuálně akumulovat kontaminant po celou dobu jejich expozice [20]. Na základě množství zachycených polutantů v době expozice získáme informace o průměrné koncentraci polutantu [21]. Podstatou je, že kontaminant v prostředí je oddělen od sorbentu membránou (bariérou). Tato membrána definuje podmínky, za kterých dochází k sorpci.

### 1.3. Cíle projektu

Hlavním cílem projektu je vývoj metod detekce, lokalizace, hodnocení rizik a vývoj sanační technologie využívaných i záložních zdrojů pitných vod negativně ovlivněných přítomností pesticidních perzistentních organických látek. V první části řešení bude ověřena metoda identifikace zdroje znečištění na základě monitoringu jakosti vod s použitím pasivních vzorkovačů, druhá část řešení bude založena na vytvoření sanační technologie vlastního zdroje pitné vody a posledním cílem bude analýza rizik na zdravotní stav obyvatel z hlediska kontaminace vod pesticidními látkami. V průběhu řešení bude vytvořena mapa zranitelnosti zdrojů podzemních vod, metodika stanovení zranitelnosti vodního zdroje z hlediska kontaminace pesticidními látkami a ověřena technologie sanace vodních zdrojů zásobujících malá sídla. Tyto zdroje nepodléhají odpovídající kontrole jejich jakosti zejména ve vztahu k potenciálnímu znečištění přípravky na ochranu rostlin zejména dusíkatých pesticidů. V průběhu řešení bude zároveň prováděna analýza rizik na zdravotní stav populace, jejíž výsledky budou promítnuty do novelizace předpisů a směrnic nelegislativní povahy (H neleg).

## 2. Materiál

### 2.1 Onšov - Krčma

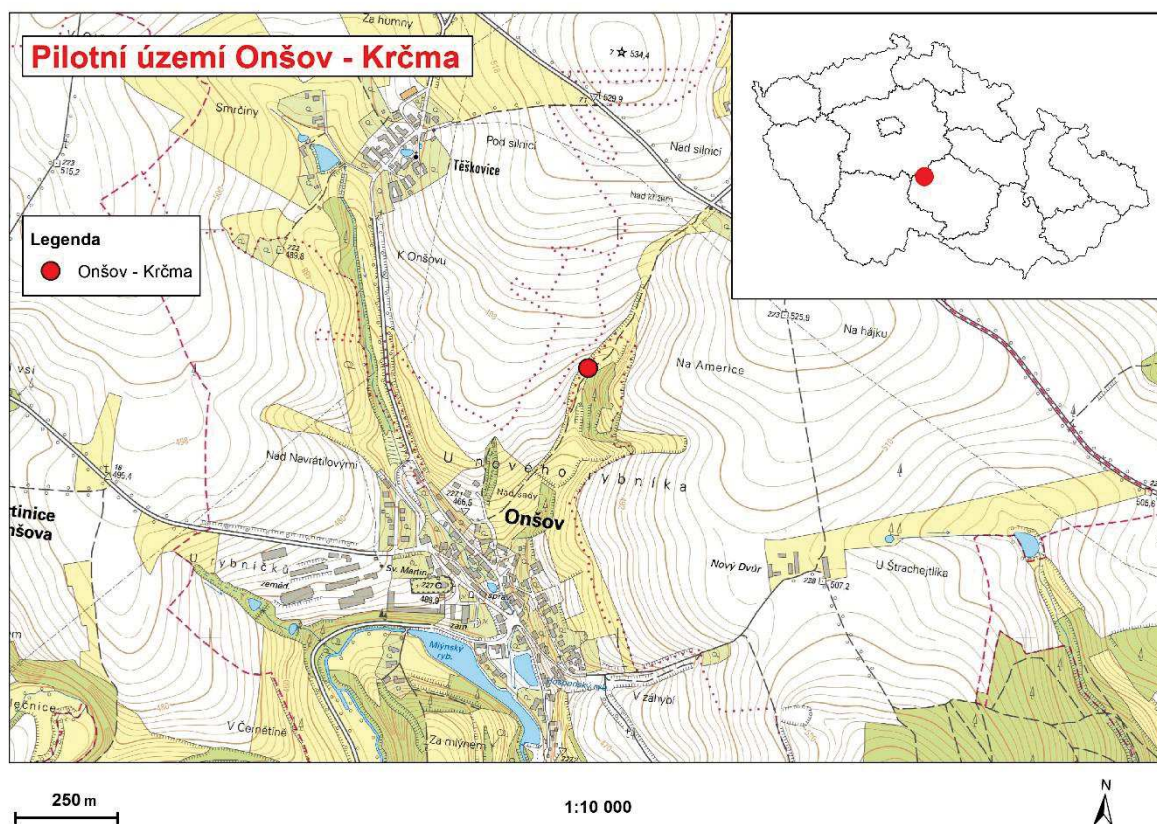
Zájmová lokalita Onšov – Krčma, se nachází v katastru obce Onšov cca 15 km západně od Humpolce a 3 km jihozápadně od dálnice D1, v povodí vodní nádrže Švihov na Želivce.

Zkoumané území leží v centrální části geomorfologického podcelku IIC-1D Humpolecké vrchoviny. Náleží ke klimatické oblasti MW4, okrsek B8, mírně teplý, mírně vlhký, vrchovinný. Srážkový úhrn za období 1961 – 90 byl 600 mm. Zájmová lokalita se nalézá v povodí s hgl. poř. 1-09-02-084, které je odvodňováno Martinickým potokem do Želivky Geologické podloží tvoří krystalické horniny hornin moldanubika, převážně staropaleozoického až prekambriického stáří. Tyto horniny nemají obecně optimální predispozici pro vznik, oběh a akumulaci podzemních vod, protože převažující pararuly mají sníženou puklinovou propustnost. Nachází se zde převážně mělké zvodně (uložené v kvartérních sedimentech), které snadno „zranitelné“ neboť se vyznačují rychlým oběhem a nadložní izolátory zvodní jsou vyvinuty jen minimálně. Z kvartérních sedimentů mají větší hydrogeologický význam fluvialní akumulace sedimentů údolních niv a některá mocnější eluvia. Oběh podzemních vod má lokálně uzavřený charakter. Podprůměrná infiltrace srážek probíhá v celé ploše průlinových kolektorů

(kvartér) i puklinových kolektorů (přípovrchové partie krystalinika v místech výskytu puklin a zlomů) v závislosti na propustnosti zvětralinového pláště. K odvodňování dochází v úrovni nebo nad místní erozní bází.

Vzorkování podzemní vody se provádí ze starého jímacího objektu (bližší parametry jsou předmětem zkoumání). Z důvodu špatné kvality vody z tohoto objektu je vlastní zásobování obyvatel pitnou vodou řešeno přivaděčem z VN Švihov na Želivce. Bodový odběr vzorků vody z monitorovacího objektu je v rámci projektu realizován od prosince 2014.

Obr. 1: Přehledná situace zájmové lokality Onšov



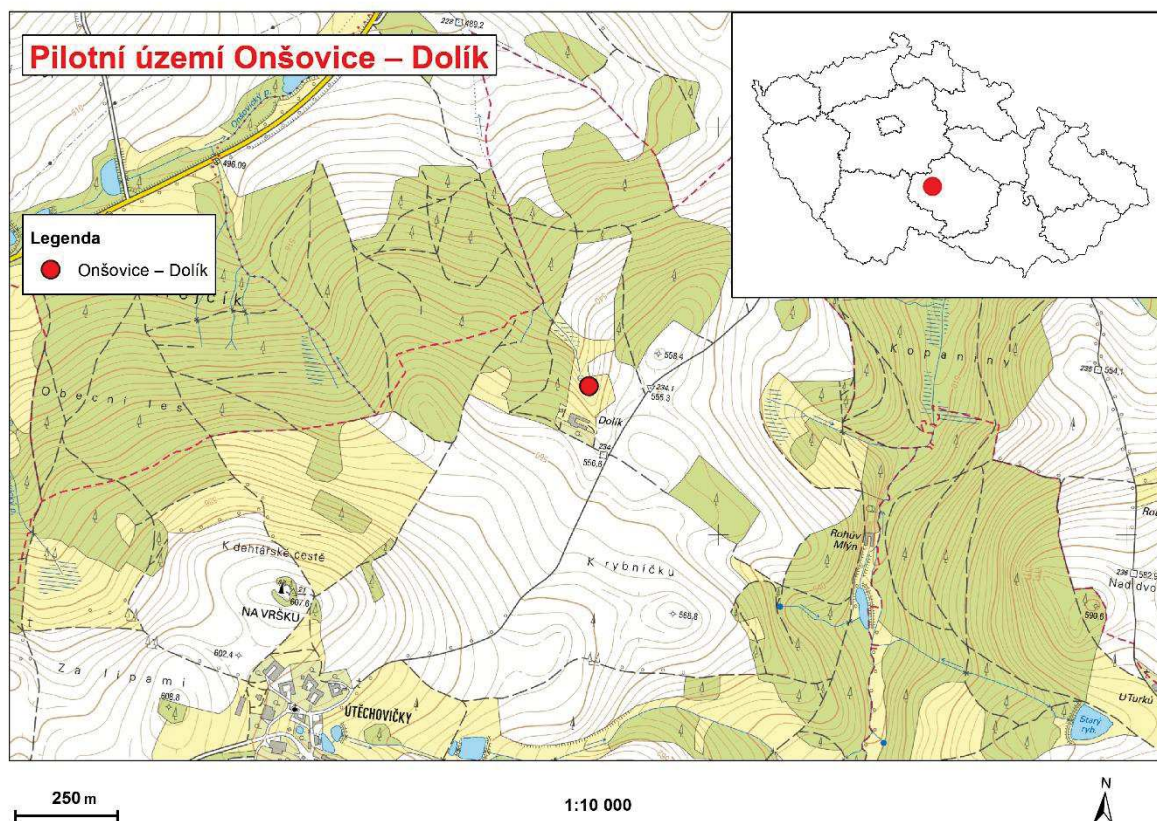
## 2.2 Onšovice – Dolík

Zájmová lokalita Dolík v katastru obce Onšovice, se nachází mezi Pelhřimovem a Humpolcem, asi 7 km severovýchodně od Pelhřimova a 1 km jihovýchodně od silnice 1. tř. č. 34. Zájmová lokalita se nalézá v horní části povodí Onšovického potoka (hlg. poř. 1-09-02-032) - levostranného přítoku Jankovského potoka, který ústí do pravého břehu vodní nádrže Sedlice na Želivce. Území má stejné klimatické i geologické charakteristiky jako výše uvedená lokalita Onšov. Také zde převažují pararuly a migmatity se sníženou propustností. Místně značně proměnlivá rychlost oběhu mělkých zvodní je závislá zejména na charakteru a propustnosti kvartérních zvětralin V této lokalitě jsou sledovány dva objekty. Prvním je původní mělký jímací objekt označený P10 a druhým jímací vrt o hloubce 40 m,



kteřý v důsledku špatné kvality vody původní objekt nahradil. Tento vrt postihuje zvodněný puklinový systém v migmatitech, které mají v důsledku své „křehkosti“ oproti pararulám lepší předpoklad pro vznik puklin. Z vrtu je pitná voda vzorkována přímo z vodovodního řádu.

Obr. 2: Přehledná situace zájmové lokality Onšovice



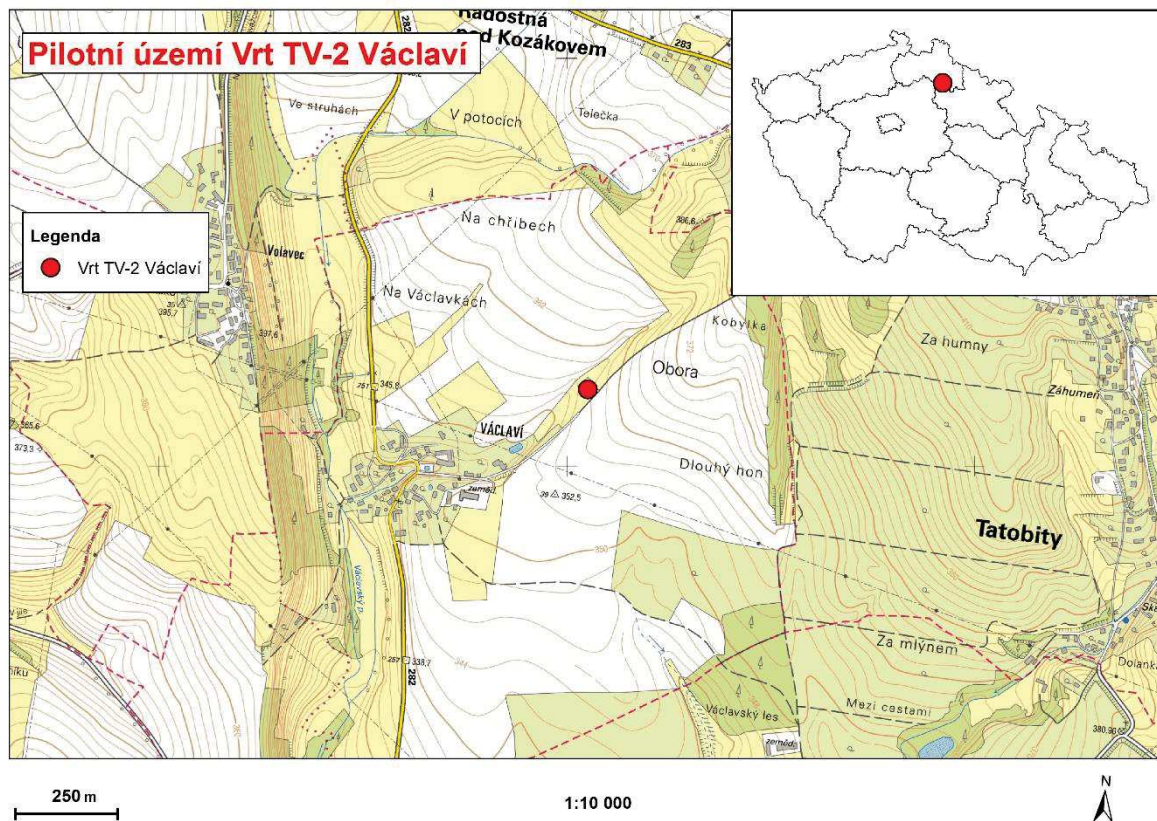
### 2.3 Václaví

Tato zájmová lokalita se nachází na parcele č. 3231 v k. ú. Lomnice nad Popelkou. Předmětem sledování je vodárensky využívaný vrt TV-2 hluboký 149 m. Z klimatického hlediska lokalita náleží do mírně teplého okrsku MT 7 (MW7), roční srážkový úhrn za období 1961 - 1990 je 669,2. Zájmová oblast leží v celku Ještědsko-kozákovský hřbet, podcelku kozákovský hřbet, okrsku IVA-3B-C Táborský hřbet, podokrsku Rváčovský hřbet části permokarbonu podkrkonošské pánve, která vznikla jako předhlubeň v jižním předpolí variských „Paleokrkonosť“. Ve vzniklém sedimentačním prostoru se ukládal materiál, který vznikl při erozi tohoto horstva. Celková mocnost permokarbonských sedimentů přesahuje v centru pánve 1 000 m, v ostatních částech je to v řádu stovek metrů.

Vrt TV-2 je významným zdrojem vody v oblasti, který zásobuje pitnou vodou město Rovensko pod Troskami. Podzemní voda jímáná z vrtu TV-2 Václaví je vázaná na cenomanský křídový kolektor tvořený jenmožnými pískovci. Podzemní vodu z tohoto vrtu lze charakterizovat jako mírně kyselou až neutrální, uhličitano-vápenatého typu. Infiltrační oblast podzemní vody pro tuto vodu je

pravděpodobně poměrně vzdálená od místa čerpání, proto je i obtížné identifikovat zdrojovou oblast znečištění podzemních vod.

Obr. 3: Přehledná situace zájmové lokality Václaví



### 3. Metody

Na zájmových lokalitách byl v roce 2014 založen bodový monitoring na vodárenských objektech, které jsou zdroji pitných vod. Prvním krokem bylo získání archivních dat o kvalitě podzemních vod k daným objektům, pokud existovaly. Dále následovala vlastní rekognoskace lokalit a provádění odběrů podzemních vod pro stanovení jejich chemismu a in situ měření fyzikálně chemických vlastností. Odebrané vzorky vod byly analyzovány v akreditované laboratoři AQUATEST a.s., a to na maximální možný rozsah pesticidních látek, které laboratoř v současné době stanovuje (cca 170 látek - účinných či jejich metabolitů). U všech vzorků byl dále prováděn úplný chemický rozbor vody (analýzy anorganických ukazatelů jakosti vody). Zjištěné spektrum pesticidních látek z bodového monitoringu na lokalitách pak bylo následně zohledněno při výběru pasivních vzorkovačů použitých pro kontinuální, dlouhodobější monitorování vodárenských objektů.

Pro řešení projektu je dále využíván integrativní vzorkovač POCIS - Polar Organic Chemical Integrative Sampler. Tento integrativní vzorkovač slouží k vzorkování polárních organických látek,

jako jsou pesticidy, léčiva, steroid, hormony atp. Jeho základ tvoří sorbent, jenž se vybírá na základě druhu stanovované látky. Tento sorbent je uzavřen do dvou mikroporézních polyethersulfonových membrán, celá soustava je propojena šrouby umístěnými ve fixačních otvorech kovových kroužků [18]. Sorbent se skládá ze směsi adsorbentu Insolute ENV+ a adsorbentu Ambersorb 1 500 na polymerním nosiči Bio Beads SX-3. Získaný vzorek je analyzován plynovou chromatografií s hmotnostní detekcí, nebo kapalinovou chromatografií s hmotnostní detekcí [18].

Obr. 4: Pasivní vzorkovač POCIS a jeho umístění ve vrtu P10 (Onšovice)



Pro zjištění údajů o době oběhu podzemních vod je používán výpočet průměrné doby vody ve zvodni. Využívána je metoda útlumu amplitudy průběhu koncentrací stabilních izotopů  $^{18}\text{O}$  a  $^2\text{H}$  ve srážkové a podzemní vodě, kdy sezónní fluktuace koncentrací  $^{18}\text{O}$  nebo  $^2\text{H}$  v odebraných srážkových úhrnech a ve vzorku podzemní vody v toku jsou proloženy sinovou funkcí. Střední doba zdržení MRT (=Mean Residence Time) se určí dle rovnice vyjadřující pokles amplitudy vstupu (srážek  $A_p$ ) a výstupu (např. odtoku  $A$ ) sinové funkce v tzv. lineární.

$$MRT = \left(\frac{1}{b'}\right) \left[ \left(\frac{A_p}{A}\right)^2 - 1 \right]^{0.5}$$

Tato metoda byla podrobně popsána pro povodí v České republice v práci [22]

#### 4. Prvotní výsledky projektu

Nejdůležitějšími výsledky počáteční fáze řešení projektu jsou zejména shromažďování dostupných údajů o sledovaných objektech a vyhodnocení bodového monitoringu jakosti vod. Pro oblast Českomoravské vrchoviny (lokality Onšov a Onšovice) byl vyhotoven seznam používaných pesticidů pro ochranu nejčastěji pěstovaných plodin v této oblasti - pšenici, ječmen, kukuřici, řepku, brambory, trvalý travní porost a jetel. Tento seznam uvedený v tab. 1 bude sloužit jako podklad pro bilanci vstupů a výstupů pesticidů v zájmových lokalitách.

Tabulka 1: seznam nejčastěji používaných pesticidních látek v zájmových územích Onšov a Onšovice.

##### 4.1 Onšov – Krčma

Provedená analýza v podzemní vodě tohoto objektu na pesticidní látky prokázala zejména přítomnost metabolitů mateřských látek. Z vlastních účinných látek byl v analyzovaném vzorku vody nalezen jen terbutylazin (hojně používaný pro porosty kukuřice) v koncentracích mírně nad mezí detekce (0,034 ug/l). Jiné účinné látky ve vodě zjištěny nebyly.

Na druhou stranu byla ve vzorcích vody zjištěna celá řada metabolitů zejména dusíkatých herbicidů. Jednalo se především o metabolity dusíkatých pesticidů metazachloru (ESA, OA) a acetochloru (ESA) užívaných k ošetření kukuřice, řepky, hořčice a brukvovité zeleniny. Identifikovány dále byly metabolity alachloru (ESA), metolachloru (ESA, OA) a dichlorbenilu (2,6-dichlorobenzamide). V relativně nízkých koncentracích byl ve vzorcích podzemní vody detekován také metabolit herbicidu terbutylazinu – terbutylazin-desethyl a ve stopovém množství jeho další metabolity terbutylazin-hydroxy a atrazin-desisopropyl.

##### 4.2 Onšovice – Dolík

Základním zjištěním pro tuto lokalitu je skutečnost, že vedle měřených koncentrací NO<sub>3</sub>- byla ve studni detekována přítomnost pesticidních látek. Mateřské účinné látky byly ve vzorcích nalezeny minimálně, pokud byly nalezeny, tak jen ve stopových koncentracích mírně nad detekčním limitem.

Ze zdrojových pesticidů byl v podzemní vodě nalezen pouze propachlor (herbicide určený k ošetření kukuřice, zeleniny a řepky, změřený jen v březnovém vzorku v koncentracích 0,002 ug/l) a triflorine (fungicide k ošetření ovocných stromů, chmelu a růží, změřený rovněž jen v březnovém odběru v koncentracích 0,014 ug/l).

V případě metabolitů se jednalo o produkty rozkladu běžně používaných i již zakázaných herbicidů. V přibližně stejných hodnotách byly zjištěny metabolity v současnosti používaných metazachloru a metolachloru (ošetření kukuřice, řepky a zeleniny) – metazachlor ESA, metolachlor ESA a alachloru (kukuřice, řepky, brambor) – alachlor ESA. Dále byla detekována přítomnost látky 2,6-dichlorobenzamide, což je metabolit nitrilového herbicide dichlorbenilu, (používaný v ovocnářství, zahradnictví, lesnictví).

Na této lokalitě bylo již na počátku řešení projektu stanovit průměrnou dobu zdržení vody ve zvodni. Podle značného poklesu amplitudy průběhu koncentrací izotopu  $^{18}\text{O}$  ve vodě čerpané ze studny P10 ( $A= 0,098$ ) oproti amplitudě koncentrací  $^{18}\text{O}$  ve srážkách ( $A= 3,55$ ) byla doba zdržení stanovena na 5,75 roku. Pokles amplitud  $^{18}\text{O}$  je dobře patrný na obr. 5. Tato značně dlouhá doba zdržení vysvětluje nepřítomnost mateřských látek a zároveň přítomnost metabolitů pesticidů v této zvodni.

### 4.3 Václaví

Z archivních materiálů vyplývá, že problém znečištění podzemní vody pesticidními látkami je na lokalitě dlouhodobý a byl řešen vybudováním úpravní vody na odstraňování organických látek z pitné vody v hodnotě řádu několika milionů korun. Z výsledků rozborů dalších sledovaných látek lze konstatovat, že voda z vrtu TV-2 neodpovídá kvalitě vody cenomanského kolektoru. Podzemní voda s poměrně vysokým nasycením kyslíkem (6,5–9,3 mg/l), spíše odpovídá povrchové vodě, která je dostatečnou dobu v kontaktu s atmosférickým kyslíkem. Navíc po celou dobu sledování vykazuje zatížení chloridy (průměrně 13,7 mg/l) a v květnu 2015 po jarním tání se zdvojnásobila i koncentrace sodíku. To by nasvědčovalo antropogennímu ovlivnění vody chemickou údržbou místních komunikací. Koncentrace dusičnanů jsou na cenomanský kolektor také poměrně vysoké (38 mg/l).

V případě pesticidních látek jsou v podzemní vodě v nízkých koncentracích zastoupeny téměř výhradně v EU již zakázané nebo nepoužívané herbicidní látky atrazin (0,2 ug/l), simazin (0,4 ug/l), propachlor (0,02 ug/l). Tyto látky byly používány především k ošetření kukuřice a řepky.

Výskyt metabolitů těchto látek je také častý, avšak jsou na rozdíl od výše popsaných oblastí (Onšov a Onšovice) jsou měřeny v řádově nižších koncentracích než hodnoty mateřských látek. Nejčastěji jsou detekovány metabolity atrazinu a simazinu atrazin-2-hydroxy, atrazin-desethyl, atrazin-desethyl-desisopropyl, atrazin- desisopropyl v sumě s hodnotami 0,44 ug/l. Dále se vyskytují metabolity alachloru (herbicide užívaný na kukuřici a řepku, již zakázaný) a metolachloru a metazachloru. Jedná se

o alachlor ESA s koncentračními hodnotami 0,45–0,78 ug/l, metolachlor ESA a metazachlor ESA v nízkých koncentracích v rozmezí hodnot pod 0,022 ug/l).

Na tomto vrtu jsou zřejmé nízké koncentrační hodnoty legálně používaných látek a jejich metabolitů a relativně vysoké koncentrace již zakázaných pesticidů. Lze předpokládat, že v tomto případě je jímána podzemní voda se zdržením delším než 10 let v horninovém prostředí.

## 5. Diskuse

Podle zatím vyhodnocených dat nepředstavují mateřské látky pesticidů na žádné sledované lokalitě v daném období vážnější problém, detekovány byly pouze zřídka a v malých koncentracích. Podstatně významnější byly ve vodách pilotních území koncentrace metabolitů, zejména chloracetanilidových herbicidů. Jsou to vysoce perzistentní (poločas rozpadu je více než 100 dní) a např. metabolity matazachloru mají v závislosti na pH půdy poločas rozpadu od 500 do 750 dní. Ačkoli se jedná o toxikologicky nerelevantní metabolity, jejich vysoké koncentrace již představují jisté riziko úpravy surové vody na vodu pitnou. Důvodem proč jsou v podzemních vodách nalézány téměř výhradně jen metabolity účinných látek, je pravděpodobně jednoduchá a relativně rychlá rozložitelnost používaných účinných látek na povrchu nebo těsně pod povrchem, ke které dochází krátce po jejich aplikaci. Vznikající metabolity naopak v půdě a podzemní vodě přetrvávají delší dobu, nerozkládají se, pronikají do podložních vrstev a mohou tak být transportovány do velkých vzdáleností od místa aplikace pesticidů. Zajímavé jsou výsledky z lokality Václaví. Zde ukazuje analýza základního chemizmu jímáných vod spíše na mladší stáří podzemních vod. Z tohoto pohledu se jedná pravděpodobně až o řádově mladší vody (předpokládaná doba zdržení je v řádu měsíců nikoliv let) než by bylo očekáváno v případě vod cenomanského kolektoru. Je možné, že se jedná o směs mělkých (mladých) i hlubokých (starých) vod a infiltrační oblast podzemní vody pro tuto vodu je pravděpodobně poměrně vzdálená od místa čerpání, proto je i obtížné identifikovat zdrojovou oblast znečištění podzemních vod. Pokud by se však dalším výzkumem ukázalo, že jsou vrtem TV-2 jímány mladé vody, svědčilo by to o pravděpodobně nelegálním využívání nebo skrytém zdroji již zakázaných pesticidních látek. Tyto dílčí výsledky potvrzují potřebu kvalitního a nejlépe kontinuálního monitoringu množství a kvality vod pro popis dynamiky koncentrací pesticidních látek a souvisejících procesů odtoku vod, jak uvádějí např. [23] nebo [24]. Stejně tak je nutné věnovat pozornost hydrologickým procesům v pilotních lokalitách [5], které mohou být pro transport a proměny pesticidních látek rozhodující.

## 6. Závěr

Dílčí výsledky prokázaly nutnost zabývat se dlouhodobě kvalitou podzemních vod z hlediska koncentrací pesticidních látek. Ze získaných dílčích výsledků lze doporučit provedení následujících průzkumných a výzkumných prací: sestavení 3D modelu povrchu širší zájmové oblasti pro upřesnění infiltračních poměrů kolektoru A, upřesnění strukturně tektonického schématu širší zájmové oblasti,

sestrojení geologických řezů pro upřesnění režimu podzemních vod v kolektoru A, rešerše výsledků rozborů podzemních vod v širší zájmové oblasti, karotážní měření na dostupných vrtech pro zjištění prostorového proudění v kolektoru A i v dalších křídových kolektorech (hydrokarotáž), matematický model proudění podzemních vod, matematický „transportní“ model.

### Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury ČR, projektu číslo TA04020043 „Technologie sanace zdrojů hromadného zásobování pitnou vodou ovlivněných pesticidními látkami - optimalizace hospodaření s nimi, nové metody jejich detekce, hodnocení a eliminace“.

### Literatura

[1] MILLER, G.T. 2002. Living with the Environment (12th Edition). Wadsworth/Thomson Learning. Belmont, CA.

[2] GUSTAFSON, D.I. 1989. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability, Environ. Toxicol. Chem. 8, 339–537.

[3] REICHENBERGER, S., et al. 2007. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review. Sci Total Environ, 384, 1–35.

[4] KODEŠOVÁ, R., et al. 2009. Impact of varying soil structure on transport processes in different diagnostic horizons of three soil types. J Contam Hydrol, 104, 107–125.

[5] LENNARTZ, B. 1999. Variation of herbicide transport parameters within a single field and its relation to water flux and soil properties. Geoderma 91, 327–345.

[6] BOITHIAS, L., et al. Occurrence of metolachlor and trifluralin losses in the Save river agricultural catchment during floods. J Hazard Mater, 196, 210–219.

[7] FAUSER, P., et al. 2008. Predicted Concentrations for Pesticides in Drainage Dominated Catchments. Water Air Soil Pollut, 187, 149–156.

[8] COSTA, A. G. F. et al. 2007: Effect of wind intensity, pressure and nozzles on spray drift from preemergence herbicide applications. Planta Daninha, 25, s. 203–210.

[9] TAGLE, M. G. S. et al.: Time evolution and competing pathways in photodegradation of trifluralin and three of its major degradation products. Photochemical & Photobiological Sci., 4), 2005 (11), s. 869–875.

[10] ZANDER, CH. et al.: Field-Scale Study of Chlortoluron Movement in a Sandy Soil over Winter: I. Experiments. J. Environmental Quality, 28, 1999, s. 1817–1823.

[11] JACOBSEN, O.H AND KJÆR, J. 2007. Is tile drainage water representative of root zone leaching of pesticides? Pest Manag Sci 63:417–428.

[12] PUCKETT, L.J AND HUGHES, W.B. 2005. Transport and Fate of Nitrate and Pesticides: Hydrogeology and Riparian Zone Processes. *J. Environ. Qual.* 34:2278–2292.

[13] KLADIVKO EJ, VAN SCOYOC GE, MONKE EJ, OATES KM AND PASK W. 1991. Pesticide and nutrient movement into subsurface tile drains on a silt loam soil in Indiana. *J Environ Qual* 20, 264–270.

[14] KODEŠOVÁ, R., KOČÁREK, M., KODEŠ, V., DRÁBEK, O., KOZÁK, J., HEJTMÁNKOVÁ, K. 2011. Pesticide adsorption in relation to soil properties and soil type distribution in regional scale. *J. Hazard. Mater.* 186, 540–550

[15] HOLVOET, K., VAN GRIENSVEN, A., SEUNTJENS, P., VANROLLEGHEM, P.A. 2005. Sensitivity analysis for hydrology and pesticide supply towards the river in SWAT. *Phys. Chem. Earth* 30, 518–526.

[16] NEUMANN, M., SCHULZ, R., SCHÄFER, K., MÜLLER, W., MANNHELLER, W., LIESS, M. 2002. The significance of entry routes as point and non-point sources of pesticides in small streams. *Water Res.* 36, 835–842.

[17] FUČÍK, P., KAPLICKÁ, M., ZAJÍČEK, A., KVÍTEK, T. Vyhodnocení monitoringu jakosti vod v malém zemědělsko-lesnickém povodí: diskrétní a kontinuální přístup. *Vodní hospodářství*, 2010, 8: 213-217.

[18] KOTLAŘÍKOVÁ P., (2004): Vzorování organických polutantů v životním prostředí. Disertační práce, VÚT v Brně, Fakulta Chemická.

[19] VRANA B., MILLS A. G., ALLAN I. J. DOMINIAK E., SVENSSON K., KNUTSSON J., MORRISON G. ET GREENWOOD R. (2005): Passive sampling techniques for monitoring pollutants in water. *Trends in Analytical Chemistry*. School of Biological Sciences, University of Portsmouth.

[20] MOLÍN, R. ET PŘIBIL, R., (1998): Pasivní dozimetrie. *Chemické listy*, 92/1998, s. 784-788.

[21] BELARDI, D. R. ET PAWLISZYN, J. (1989): The application of chemically modified fused silica fibers in the extraction of organics from water matrix samples and their rapid transfer to capillary columns. *Water Pollution Research Journal of Canada*, 24/1989, 179-191.

[22] ŠANDA, M., VITVAR, T., KULASOVÁ, A., JANKOVEC, J., CÍSLEROVÁ, M. 2013. Run-off formation in a humid, temperate headwater catchment using a combined hydrological, hydrochemical and isotopic approach (Jizera Mountains, Czech Republic). *Hydrological Processes* 28 (8), 3217-3229.

[23] BUNDSCHUH, M., GOEDKOOP, W., KREUGER, J. 2014. Evaluation of pesticide monitoring strategies in agricultural streams based on the toxic-unit concept — Experiences from long-term measurements. *Science of the Total Environment* 484, 84–91.

[24] KLAUS, J., ZEHE, E.C, ELSNER, M., PALM, J., SCHNEIDER, D., SCHRÖDER, B., STEINBEISS., VAN SCHAİK, L., WEST, S. 2014. Controls of event-based pesticide leaching in natural soils: A systematic study based on replicated field scale irrigation experiments. *Journal of Hydrology* 512, 528–539.



**15**

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).* **(15 %)**

**Propojení předpovědních hlásných profilů na mapový sklad záplavových území****Radek Roub<sup>1)</sup>, Pavel Novák<sup>2)</sup>, Michal Veverka<sup>3)</sup>, Tomáš Hejduk<sup>1, 2)</sup>, Luděk Bureš<sup>2)</sup>, Adam Reil<sup>2)</sup>**

1) **Česká zemědělská univerzita v Praze**  
Fakulta životního prostředí,  
Kamýcká 1176, 165 21 Prague 6 – Suchdol

2) **Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.**  
Žabovřeská 250, 150 00 Praha 5 – Zbraslav

3) **DHI, a.s.**  
Na Vrších 1490/5, 100 00 Praha 10

**Abstrakt**

Hlásná povodňová služba poskytuje informace povodňovým orgánům pro zabezpečení jejich úkolů v průběhu povodní. Povodňové orgány na jednotlivých stupních tyto informace potřebují především pro varování obyvatelstva (úroveň obcí), vyhlášení stupňů povodňové aktivity (většinou na úrovni obcí a ORP), vyhodnocení situace a řízení povodňových opatření (povodňové orgány všech úrovní).

Cílem předkládaného příspěvku je prezentace dílčích výsledků výzkumu, který je zaměřen na využití geografických informačních systémů pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy. Schopnost předpovídat výšku hladiny a množství (rychlost) vody protékající korytem vodního toku pro zvolený průtok v určitém časovém úseku je v současné době na velmi vysoké úrovni a kvalita získávaných výsledků se stále zlepšuje s ohledem na používaná vstupní data vstupujících do hydrodynamických modelů. Propojení prognózních hlásných profilů na datové sklady mapových výstupů z hydrodynamických modelů, které vyjadřují rozsahy záplavových území pro volené průtoky, poskytuje adekvátní představu o působení povodně v terénu a tím i vymezuje předpokládaný rozsah území, kde hrozí povodňové nebezpečí. Příspěvek si klade za cíl seznámit odbornou veřejnost s přípravou softwarového nástroje sloužícího orgánům krizového řízení/povodňovým orgánům pro lepší organizaci prací během povodňové události.

Takto připravené podklady budou široce využitelné v oblasti krizového řízení či při činnosti složek integrovaného záchranného systému.

**Klíčová slova:** hlásný profil; povodně; průtok, srážka, říční hydraulika

## 1. Úvod

### 1.1 Základní principy

Za pomoci moderních prognózních metod a modelů lze nyní předpovídat úhrn srážek spadlých na určité území s velkou pravděpodobností a to i na dlouhé období dopředu, což umožňuje přijímat určitá opatření proti případným blížícím se krizovým situacím a spojeným katastrofám. To ve svém důsledku znamená, že je možné do značné míry eliminovat negativní dopady těchto situací, a to jak z materiálního hlediska, tak vzhledem k zajištění bezpečnosti obyvatel.

Cílem příspěvku je poskytnout podklady pro zvýšení bezpečnosti občanů a zajištění ochrany jejich majetku před následky krizových situací s důrazem na povodňovou problematiku. Je prezentováno využití nových technologií, poznatků a dalších výsledků aplikovaného výzkumu v oblasti geografických informačních systémů, identifikace osob a jejich včasného varování, sdílení informací, aj. pro podporu eliminace následků živelných pohrom, provozních havárií či teroristických útoků.

Prioritou je dosažení cílů Směrnice 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik, tedy omezení rizika nepříznivých dopadů povodní na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví, hospodářskou činnost a infrastrukturu.

V ČR je značný problém s vodním režimem krajiny, protože snížená retenční schopnost krajiny a urbanizace území podél vodního toku má významný vliv na vznik a průběh povodní, které se v poslední dekádě často opakují.

Hlavním cílem prováděného výzkumu bylo na základě tříletého výzkumu vytvořit strukturu geodatabáze - evidenčního systému pro správu majetku a osob ohrožených živelnými pohromami, provozními haváriemi či teroristickými útoky. Vytvořený datový sklad, který evidenční systém nabízí, je konstruován tak, aby bylo možné napojení na systém včasného varování občanů, včetně grafického zobrazení ohrožených nemovitostí prostřednictvím propojení na geografické informační systémy.

Snahou je zavést do praxe novou technologii pro identifikaci a evidenci osob a zvýšit tak bezpečnost občanů v případě hrozeb ohrožujících jejich bezpečnost prostřednictvím včasného varování - tj. preventivní ochrany. Cílem je definovat nástroje pro podporu integrované činnosti bezpečnostních a záchranných složek státu, včetně zvýšení osvěty a komunikace mezi státní správou, samosprávou a veřejností. Hlavním cílem však zůstává snaha eliminovat dopady přírodních či antropogenních rizik na lidské zdraví a majetek občanů s důrazem na nejčastější přírodní riziko, které je představováno povodňovou problematikou.

## 1.1 Literární pozadí

Využitím geografických informačních systémů v problematice krizového řízení se v současnosti věnuje řada zahraničních i českých autorů (WHITE et al., 2010, CHEN et al., 2011, HARDMEYER et al., 2011, UNUCKA et al., 2010, RAPANT et al., 2010) V literatuře je krizové řízení definováno jako soubor aktivit zaměřených na přípravnou, operační a nápravnou fázi vypořádání se s procesy v krajinně ohrožujícími lidské životy a hmotné statky (ANTUŠÁK, KOPECKÝ, 2003). Krizovým řízením se tak rozumí souhrn řídicích činností věcně příslušných orgánů zaměřených na analýzu a vyhodnocení bezpečnostních rizik, plánování, organizování, realizaci a kontrolu činností prováděných v souvislosti s řešením krizové situace (SOUČEK, 2002). V České republice je budován již od roku 1991 jednotný systém varování a informování. Tento systém tvoří síť poplachových sirén, které zabezpečují bezprostřední varování obyvatelstva, a dále pak soustava vyrozumívacích center, soustava dálkového vyrozumění (doprava signálu a informací mezi vyrozumívacími centry), soustava místního vyrozumění (infrastruktura pro ovládání poplachových sirén a vyrozumění osob).

Provázanost systému varování a informování s hromadnými informačními prostředky umožňuje plošné informování osob o hrozícím nebo vzniklém nebezpečí (živelná pohroma, závažná havárie, teroristický útok apod.), přesto je nutné počítat se situacemi, kdy nebude možné tyto prostředky pro podání informace o hrozícím nebezpečí do inkriminovaného místa doručit. Jedná se především o situace, kdy nebude možné tyto nástroje varování a informování použít z důvodu např. výpadku elektrické energie, poničení rozhlasového aparátu, atd. V takových případech je nutné hledat jiné možnosti pro předání požadované informace. Navíc v případech, kdy se nejedná o ochranu samotných osob, nýbrž je předmětem ochrany i movitý či nemovitý majetek je nutné počítat i se skutečností, že se vlastník či uživatel nezdržuje v místě svého bydliště. V takových případech sice není v ohrožení lidský život ale majetek osob, který je nutné na příchod živelné pohromy či provozní havárie zajistit, respektive přemístit či odvést v rámci tzv. zabezpečovacích prací.

V současnosti jsou k dispozici havarijní plány, povodňové plány, aj. materiály, které obsahují celou řadu informací, umožňují snadnější distribuci informací, správu informací a mnoho dalších výhod, přesto nenabízí možnost zpětné vazby např. o tom, zda byl či nebyl občan, který se vyskytl v nebezpečí, informován či nikoliv. Navíc velký problém představuje přenos informací během krizové situace, kdy nebyl dosud v řadě oblastí postup standardizován a nebyla jasně definovaná zodpovědnost při zpracování a přenosu těchto dat. Problémem je rovněž skutečnost, že velké množství dat vzniká v papírové formě, která není vhodná pro rychlé předání, čímž vzniká prodleva v přenosu informací za krizové situace. V současnosti je v provozu jen málo takových nástrojů, které by uplatnění zpětné vazby poskytovaly.

## 2. Hlásná a předpovědní povodňová služba

### 2.1 Hlásné profily

Včasná informovanost o povodňovém nebezpečí, vzniku a očekávaném vývoji povodně může výrazně přispět k omezení škodlivých následků povodní. Efektivnost prováděných operativních opatření před a za povodní závisí do značné míry na informacích, které mají povodňové orgány pro jejich řízení k dispozici. Včasným varováním a fungujícím systémem operativních opatření je možné výrazně snížit materiální škody a vyloučit nebo omezit ztráty na životech. Proto je hlásná a předpovědní služba důležitou součástí aktivit na ochranu před povodněmi.

Hlásná povodňová služba zabezpečuje povodňovým orgánům informace potřebné pro varování obyvatelstva a řízení opatření na ochranu před povodněmi. Hlásnou povodňovou službu organizují povodňové orgány obcí s povodňovými orgány obcí s rozšířenou působností (ORP) a podílejí se na ní ostatní účastníci ochrany před povodněmi. K zabezpečení hlásné povodňové služby organizují povodňové orgány obcí v případě potřeby hlídkovou službu. Podrobnosti k zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby obsahuje metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí. Tento metodický pokyn byl v roce 2011 novelizován a je publikován ve Věstníku MŽP 2011. Stupně povodňové aktivity (SPA) jsou ve většině případů navázány na směrodatné limity vodních stavů v hlásných profilech na tocích, které jsou uvedeny v povodňových plánech. Ve smyslu metodického pokynu MŽP jsou hlásné profily rozděleny do tří kategorií:

základní hlásné profily – kategorie A

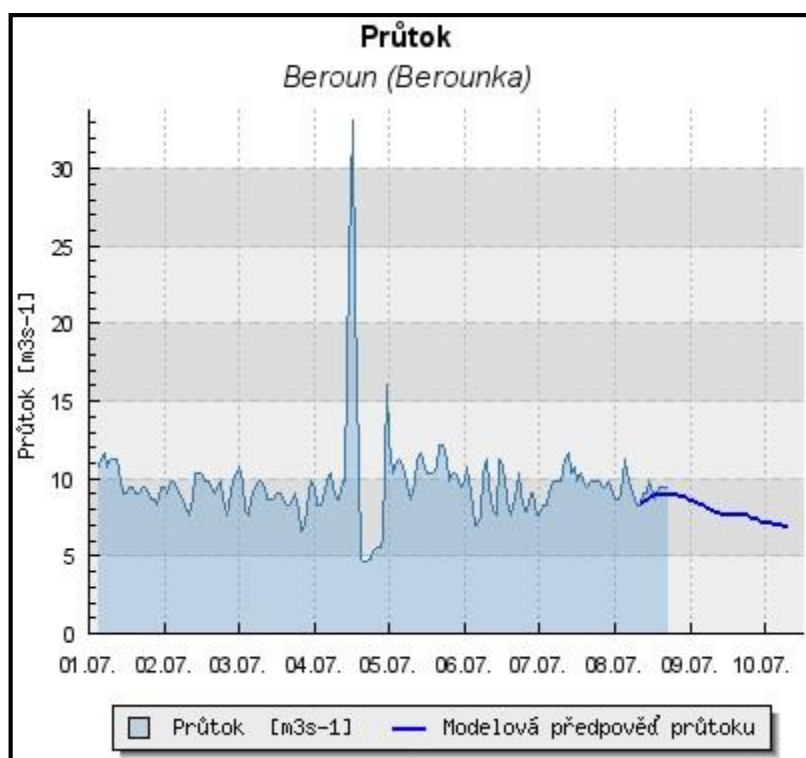
doplňkové hlásné profily – kategorie B

pomocné hlásné profily – kategorie C

Hlásných profilů kategorie A je nyní 210 a rovnoměrně pokrývají významné vodní toky. Vodoměrné stanice v nich umístěné jsou automatizované a provozované ČHMÚ nebo podnikem Povodí. Počet hlásných profilů kategorie B je téměř stejný jako u profilů A, avšak mírně kolísá, protože zhruba třetina je provozována jinými subjekty (většinou obcemi).

**Základní hlásné profily - kategorie A** - jsou profily na významných vodních tocích. Informace z těchto profilů jsou nezbytné pro řízení opatření k ochraně před povodněmi na národní nebo regionální úrovni. Výběr hlásných profilů kategorie A provádějí regionální pracoviště ČHMÚ spolu se správci povodí a tento výběr projednávají s Ministerstvem životního prostředí a místně příslušnými krajskými úřady. Mezi hlásné profily kategorie A jsou začleněny také profily přehradních nádrží ovlivňujících povodňový režim a profily na hraničních vodních tocích vyplývající z mezinárodních závazků ČR.

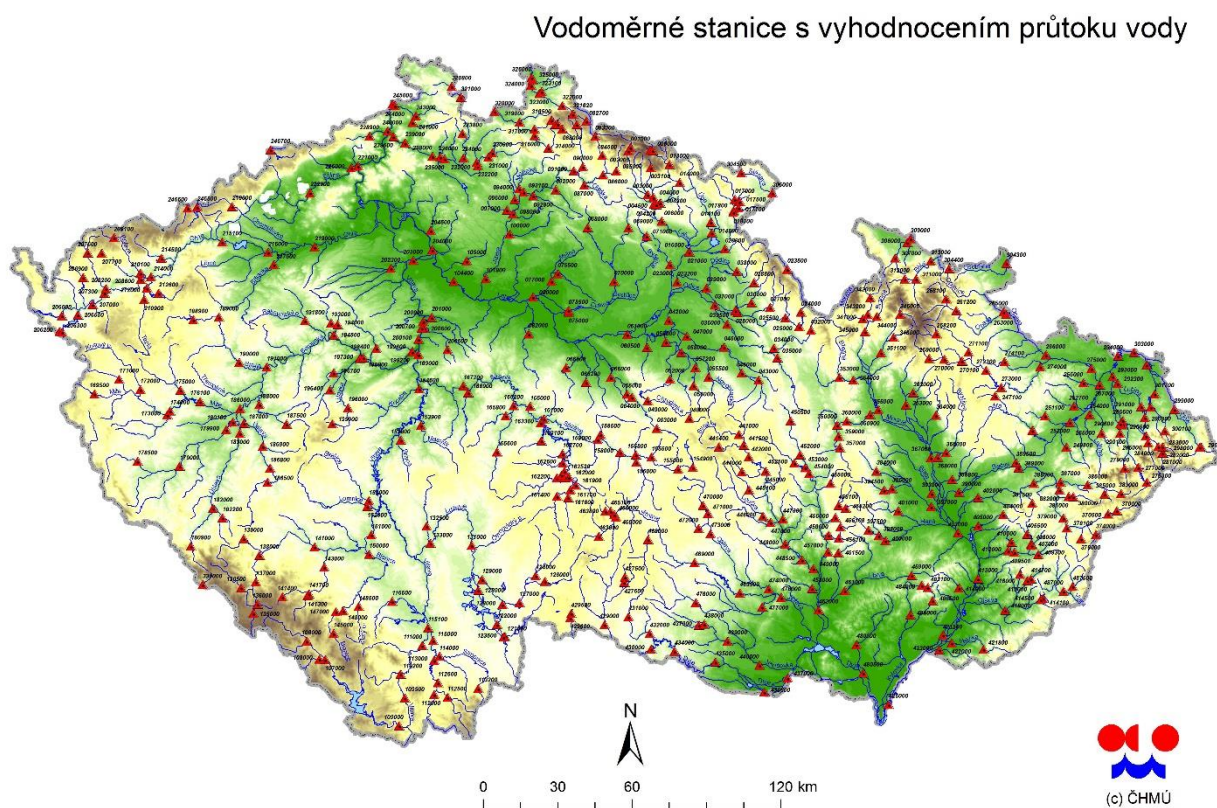
Obr. 1: Modelovaná předpověď průtoku na profilu Berounka - Beroun



Hlásné profily kategorie A zřizuje a provozuje stát prostřednictvím ČHMÚ nebo správců povodí. Doporučené vybavení hlásného profilu kategorie A je:

- stabilizovaný vodoměrný profil
- vodoměrná stanice s vodočetnou latí a místním záznamem
- automatický přenos dat do sběrného centra (předpovědní pracoviště ČHMÚ nebo vodohospodářský dispečink správce povodí)
- automatické zaslání SMS zprávy při překročení nastaveného limitu na určeného pracovníka povodňové služby obce, v jejímž územním obvodu se profil nachází
- měrná křivka průtoků ověřená ČHMÚ

Obr. 2: Vodoměrné stanice ČR



## 1.2 Pilotní lokality

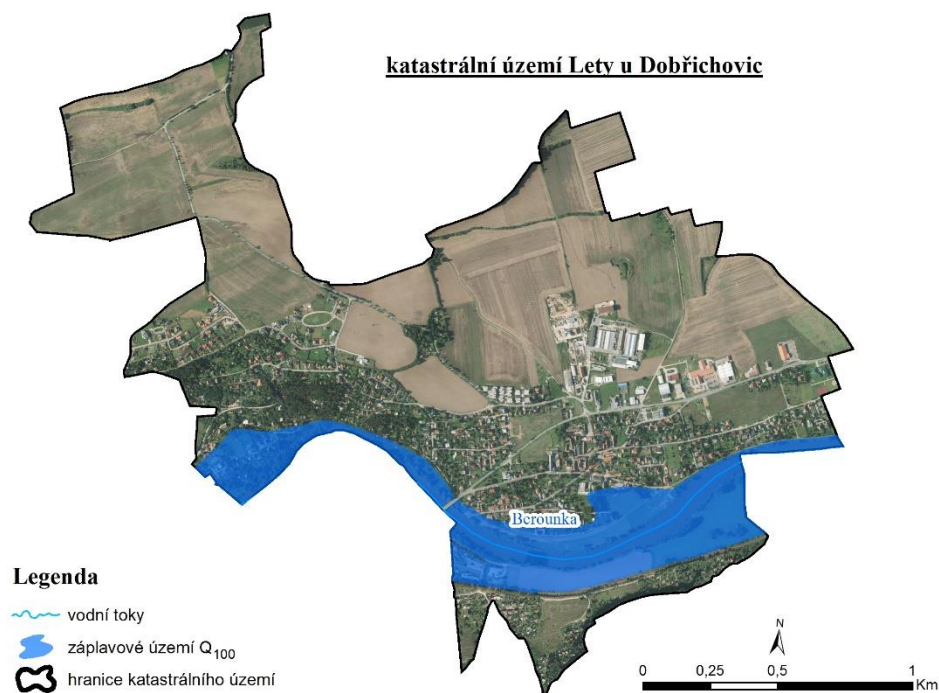
### 1.2.1 Obec Lety

Obec Lety se rozprostírá na katastrálním území Lety u Dobřichovic (324 ha), na okrese Praha – západ, asi 7 km jihozápadně od města Černošice, které je i příslušnou obcí s rozšířenou působností. Obec Lety spadá pod Středočeský kraj. Na území obce Lety je trvale hlášeno 1351 obyvatel 1378 obyvatel (stav k 31. 12. 2012) V obci je vybudována technická infrastruktura: elektro, vodovod, kanalizace. Obec je rovněž plynofikována.

Obec se rozprostírá v nadmořských výškách od cca 202 m n. m. do 313 m n. m. a to především na levobřežní straně řeky Berounky, která je nejvýznamnějším vodním tokem na katastrálním území Lety u Dobřichovic. Z dalších vodních toků, které se v řešeném katastrálním území nacházejí, je významný vodní tok Kejná, představující pravostranný přítok řeky Berounky.

Z hlediska zastoupení jednotlivých druhů pozemků převládá orná půda nad trvalými travními porosty. Orná půda se navíc nachází na dlouhých nepřerušovaných svazích severně nad obcí Lety, kde hrozí při srážkových událostech s větším úhrnem zaplavení navazující zástavby na okraji intravilánu obce Lety.

Obr. 1: Pilotní území Lety



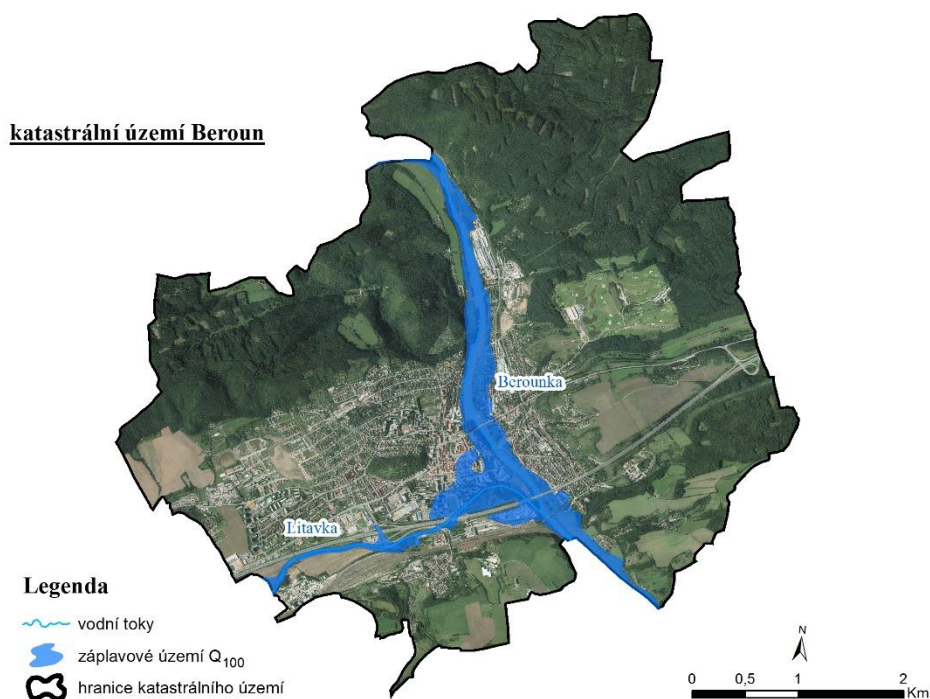
### 1.2.2 Město Beroun

Nejvýznamnějším vodním tokem řešeného území je řeka Berounka, která je jedna z nejvýznamnějších řek v rámci celé České republiky. Odvádí vodu z Plzeňského a částečně Středočeského kraje a jako levobřežní přítok se vlévá do Vltavy. Je dlouhá 139,1 km. Povodí má rozlohu 8855,1 km<sup>2</sup>, z čehož se 35,96 km<sup>2</sup> (29,23 km<sup>2</sup> Mže a 6,73 km<sup>2</sup> Úhlava) nachází na území Bavorska. Prameny zdrojnic se nacházejí v pohořích Český les a Šumava. Nejvyšších průtoků dosahuje řeka na jaře.

Druhým vodním tokem, který se nachází na řešeném území, je vodní tok Litavka, který představuje pravostranný přítok Berounky. Vodní tok Litavka odvádí vodu z centrálních Brd. Pramení mezi vrcholy Tok (865 m n.m.) a Praha (862 m n.m.) v nadmořské výšce 765 m n.m. na východním svahu Malého Toku ve vzdálenosti 2 km severovýchodně od vesnice Nepomuk v okrese Příbram. Je dlouhá 54,6 km. Litavka je pravostranný přítok Berounky, do které ústí v Berouně na jejím 33,96 ř. km. Povodí je tvořeno především dvěma dílčími povodími nejvýznamnějších přítoků Chumavy a Červeného potoka a zaujímá plochu 628,75 km<sup>2</sup>. V povodí se nachází 538 vodních ploch s celkovou rozlohou 225,11 ha. Největší z nich jsou vodní nádrže Pilská (20,54 ha), Láz (15,01 ha), Obecnice a Záskalská.



Obr. 1: Pilotní území Beroun



### 3. Výsledky

Schopnost předpovídat výšku hladiny a množství (rychlost) vody protékané korytem vodního toku pro zvolený průtok v určitém časovém úseku je v současné době na velmi vysoké úrovni a kvalita získávaných výsledků se stále zlepšuje s ohledem na používaná vstupní data vstupujících do hydrodynamických modelů. Propojení prognózních hlásných profilů na datové sklady mapových výstupů z hydrodynamických modelů, které vyjadřují rozsahy záplavových území pro volené průtoky, poskytuje adekvátní představu o působení povodně v terénu a tím i vymezuje předpokládaný rozsah území, kde hrozí povodňové nebezpečí.

Takto připravené datové podklady slouží za pomoci softwarového nástroje - *Software pro prevenci a zvládnutí bezpečnostních rizik* k prezentaci aktuálních informací o hrozícím nebezpečí a jako efektivní nástroj pro orgány krizového řízení/povodňové orgány, kterým poskytuje lepší podklady pro rozhodování během organizace za povodňové události. Datový/mapový sklad je prostřednictvím vyhotovených map pro oblast Berounky (katastrální území Lety u Dobřichovic) široce využitelný v oblasti krizového řízení či při činnosti složek integrovaného záchranného systému.

Obr. 3: Software pro prevenci a zvládnání bezpečnostních rizik



V rámci řešení projektu byly vyhotoveny dvě mapové sady „Mapa ohrožených nemovitostí 1“ (rastr hloubek) a „Mapa ohrožených nemovitostí 2“ (rastr rychlostí), které jsou uplatněny jako stěžejní podklady při vývoji metodického postupu na přípravu geodatabázového systému pro správu dat využitelných při řešení krizových situací, tj. v případě živelných pohrom, provozních havárií či teroristických útocích. Mapy jsou koncipovány tak, aby vyjadřovaly potenciální ohroženost jednotlivých nemovitostí v záplavovém území dle průchodu povodňové vlny. Pomocí barevné škály jsou kategorizovány nemovitosti do kategorie ohrožených / neohrožených dle postupu zaplavení - nátoku povodňové vlny do intravilánu obce. Zároveň mapový soubor identifikuje na základě barvené škály prioritní lokality s nejvyšším povodňovým ohrožením oproti lokalitám, kde je ohrožení pouze okrajové. Pro daný účel, kdy je možné určit lokality s nejvyšším povodňovým rizikem oproti lokalitám, kde je ohrožení pouze okrajové, slouží výstupy z hydrodynamických modelů v podobě stanovených záplavových území - získaných rastrů hloubek / rychlostí. V návaznosti na tyto mapové zdroje bude možné připravit v rámci vývoje geoinformačního systému – softwaru provázání na existující databáze, které vyjadřují počty osob bydlících/trvale hlášených v jednotlivých nemovitostech, které jsou ohroženy povodňovou událostí.

Pro kvalitu modelování jevů a stavů při povodních s využitím hydrodynamických modelů jsou zásadní vstupní data pro tvorbu výpočetní geometrie vodního toku. Pro potřeby daného řešení bylo využito dat leteckého laserového skenování, které je jedním z nejmodernějších způsobů, kterými lze pořídit prostorová geografická data. Uplatňuje se zejména pro tvorbu digitálního modelu reliéfu (DMR), kde je zastoupen pouze rostlý terén, a digitálního modelu povrchu (DMP), který zahrnuje kromě terénu i stavby a vegetační pokryv. Tato metoda vychází po finanční stránce s ohledem na

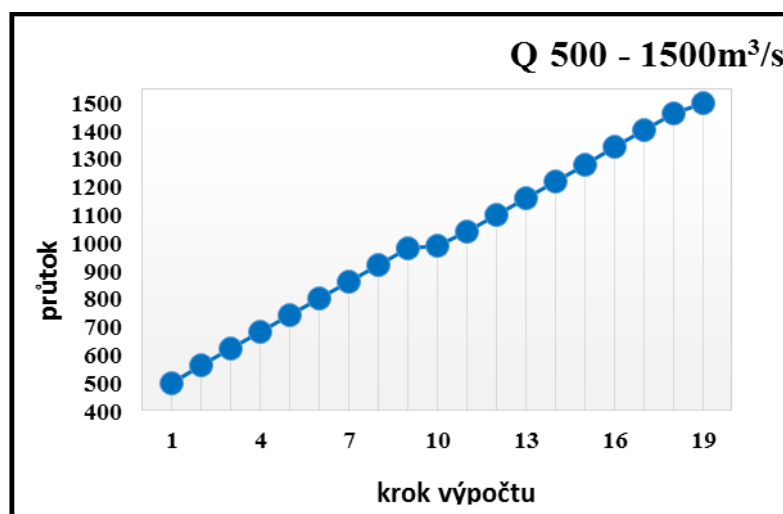
přesnost jako ekonomicky nejvýhodnější a i proto je často využívána především v západních zemích Evropy, dále v USA, či Kanadě. (UHLÍŘOVÁ et ZBOŘIL, 2009)

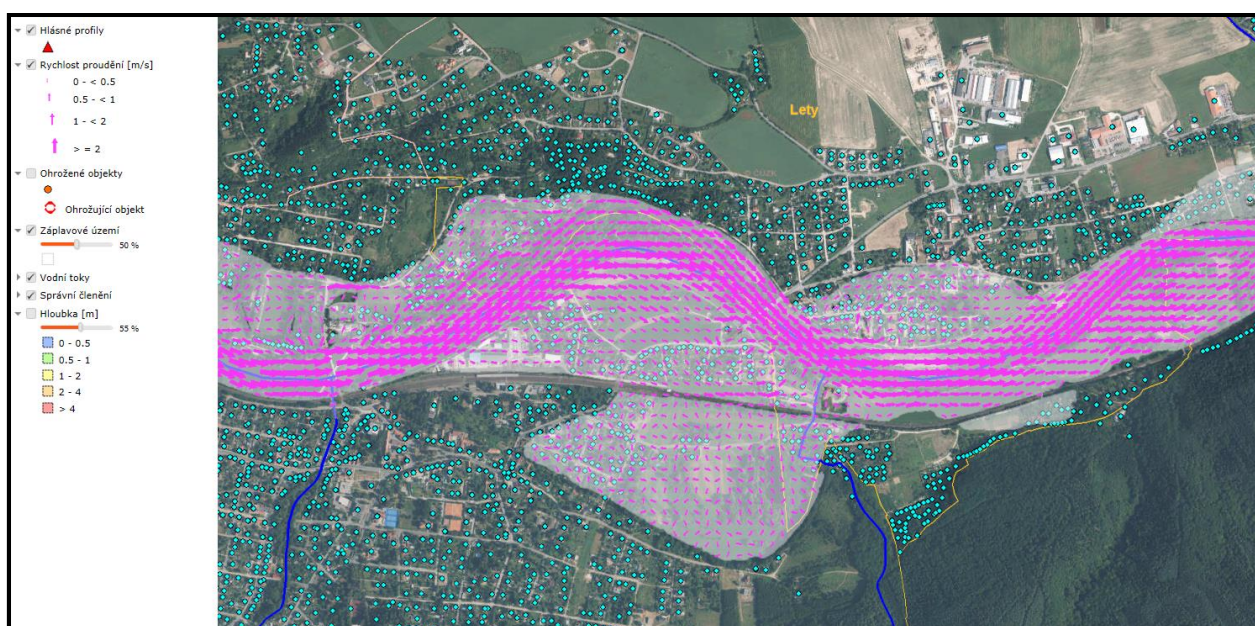
Specializované mapy s odborným obsahem jsou konstruovány tak, že v detailním výpočetním kroku povodňové události, tj. pro konkrétní průtok povodňové události na řešeném vodním toku, vyjadřují potenciální riziko pro jednotlivé nemovitosti v řešeném území, tj. v záplavovém území. Účelem specializovaných map s odborným obsahem je identifikace ohrožených nemovitostí / osob a jejich možné varování a informování hromadnými informačními prostředky, které umožňují plošné informování osob o hrozícím nebo vzniklém nebezpečí (v daném případě povodňové události při konkrétním průtoku). Hlavním motivem přípravy daného datového skladu je jeho možné napojení na automatické vyrozumívací systémy (viz druhé pilotní území – Beroun).

Pro získání relevantních výsledků bylo použito 2D modelu MIKE 21, který je založen na řešení Saint - Venantových diferenciálních rovnic (rovnice kontinuity a rovnice zachování hybnosti) metodou konečných diferencí v jednotlivých bodech půdorysné výpočetní sítě. Pracuje v neekvidistantní křivočaré síti, což znamená, že síť není pravoúhlá, ale dokáže se přizpůsobit tvaru území (ČEJP et DUCHAN, 2008).

Pro potřeby prezentace dílčích výsledků byly modelovány povodňové průtoky na vodním toku Berounka (katastrální území Lety u Dobřichovic) v intervalu od 500 m<sup>3</sup>/s do 1460 m<sup>3</sup>/s ve zvoleném výpočetním kroku 60 m<sup>3</sup>/s a průtok 1500 m<sup>3</sup>/s jako konečný. Zvolený kalibrační průtok z povodně v červnu 2013 byl naměřen na limnigrafické stanici v Berouně a jeho hodnota je 990 m<sup>3</sup>/s – viz graf č. 1.

Graf č. 1: Modelované povodňové průtoky



Obr. 4: Ukázka rastru hloubek pro  $Q=1\,340\text{ m}^3/\text{s}$ Obr. 5: Ukázka rastru rychlostí pro  $Q=1\,340\text{ m}^3/\text{s}$ 

#### 4. Diskuse a závěr

Vytvořený mapový sklad, který je připraven na základě získaných výsledků z hydrodynamických modelů, bude propojený na prognózní hlásné profily. Připravené mapy pro pilotní území tj. Lety u Dobřichovic budou sloužit jako podklad pro krizový management obce, kdy modelované scénáře povodňové události propojením na předpovědní hlásné profily budou sloužit jako přednastavené filtry pro samotné vyrozumívání, respektive informování ohrožených osob před povodňovou událostí. Takto připravené mapové sady budou využívány pro samotné vyrozumění, kdy budou sloužit jako podklad určující počty ohrožených nemovitostí/osob za konkrétní povodňové události. Mapový soubor bude využíván jak v digitální podobě (www aplikace 2015) při vlastní krizové události, tak v analogové podobě jako příloha povodňového plánu.

Uvedením mapových sad do praxe dojde k výraznému zrychlení, zkvalitnění a zefektivnění rozhodovacích procesů v rámci činnosti bezpečnostních a záchranných složek státu v oblasti prevence krizového řízení, identifikace ohrožených osob a majetku, čímž dojde ke zvýšení bezpečnosti obyvatelstva a rovněž k eliminaci finančních ztrát na majetku občanů v důsledku krizového řízení. Dojde tak pomocí zavedení nástrojů GIS a jednotné / aktualizované datové základny k výraznému snížení výše finančních prostředků potřebných na zajištění odpovídající bezpečnosti občanů i jejich majetku a zároveň omezení škod na majetku a ztrátách na životech. Významným přínosem uvedení mapových sad do stávající bezpečnostní praxe je poskytnutí kvalitního rozhodovacího podkladu pro krizové manažery.

Uživateli výsledku budou instituce státní správy a samosprávy, tj. Ústřední orgány státní správy (Ministerstvo vnitra, Ministerstvo životního prostředí, Ministerstvo zemědělství, Ministerstvo pro místní rozvoj, Ministerstvo zdravotnictví) a jejich podřízené instituce, zejména v oblastech regionálního plánování, vodohospodářského plánování, krizového řízení, atd. Největší uplatnění výsledků lze předpokládat na úrovni obcí s rozšířenou působností (ORP). V rámci řešení daného projektu byla uzavřena smlouva o spolupráci / využití výsledků s pilotními územími, tj. obcí Lety u Dobřichovic a městem Beroun.

Uživateli výsledku budou instituce působící na poli bezpečnosti, tj. Ústřední orgány státní správy (Ministerstvo vnitra, Ministerstvo životního prostředí, Ministerstvo zemědělství, Ministerstvo pro místní rozvoj) a jejich podřízené instituce, zejména v oblastech regionálního plánování, vodohospodářského plánování, krizového řízení, atd. Největší uplatnění výsledků lze předpokládat na úrovni obcí s rozšířenou působností (ORP).

Instituce zodpovědné za vodohospodářské plánování, regionální plánování a krizové řízení v souladu s aktuálně platnou legislativou v těchto oblastech. Vysoké uplatnění nalezne daný typ výsledku především u povodňových komisí.

**Reference**

ANTUŠÁK, E., KOPECKÝ, Z. (2003) Základy teorie krizového managementu II. Praha: VŠE, ISBN 80-245-0552-5.

ČEJP J. et DUCHAN D. (2008): Využití ArcGIS 9.x pro řešení úloh 2D proudění vody o malé hloubce. Juniorstav, Vodní hospodářství a vodní stavby.

HARDMEYER, K, SPENCER, MA (2011): Using risk-based analysis and geographic information systems to assess flooding problems in a urban watershed in Rhode Island, Environmental Management, Volume: 39, Issue: 4, p. 563-574

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

CHEN, YR, YEH, CH, YU, BF (2011): Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and floodplain management in Taiwan, Natural hazards, Volume: 59, Issue: 3, p. 1261-1276

UHLÍŘOVÁ K. et ZBOŘIL A. (2009): Možnosti využití Laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. Vodní hospodářství, ročník 59, č. 12, s. 11 - 15.

UNUCKA, J., ŘÍHOVÁ, V., HOŘÍNKOVÁ, M., MALEK, O., ŽIDEK, D., FÁREK, V., PODHORÁNYI, M., ŠÍR, B., DEVEČKA, B., KOLÁŘOVÁ, V., TĚTHAL, V., VYLEŽÍKOVÁ, M. (2010): Návrh prototypu komplexního systému včasného varování před povodněmi z přívalových srážek. In Časopis Spektrum 2/2010. ISSN: 1211-6920

RAPANT, P., UNUCKA, J., VONDRAK, I. (2010): Regional Flood Early Warning System. In Geoscience Engineering. 2010, 16 s. Volume LVI, Issue No.4. ISSN 1802-5420.

SOUČEK, V. (2002): Krizové řízení v oblasti vnitřní bezpečnosti a veřejného pořádku, In sborník konference: Krizový management, Vojenská akademie v Brně, ISBN 80-85960-46-X, s. 30 – 39