

Redakčně upravená periodická zpráva projektu QJ1520265 za rok 2015

Název projektu: Vliv variability krátkodobých srážek a následného odtoku v malých povodích České republiky na hospodaření s vodou v krajině

Číslo projektu: QJ1520265

Téma: Udržitelný rozvoj lesního a vodního hospodářství a ostatních oblastí zemědělství

Priorita: Stanovit možnosti zvýšení retence a akumulace povrchových a podzemních vod v povodí na základě analýzy generování rychlé složky odtoku povrchových a podzemních vod

Doba řešení: 1. 4. 2015 - 31. 12. 2017
Odpovědný řešitel: Ing. Petr Kavka, Ph.D.
Příjemce koordinátor: ČVUT v Praze (PK) 68407700

Číslo smlouvy: 7009/2015-MZE-17012
Číslo jednací: 115-2015-17012

Odpovědný řešitel: Ing. Petr Kavka, Ph.D.

.....

Praha, Leden 2016

Organizace účastníků se projektu

Příjemce koordinátor	České vysoké učení technické v Praze
Příjemce	Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.
Další účastník	Sweco Hydroprojekt a.s.

Řešitelský tým

České vysoké učení technické v Praze

Ing. Petr Kavka, Ph.D. - odpovědný řešitel
doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál
doc. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.
Ing. Luděk Strouhal
Ing. Martin Landa, Ph.D.
Ing. Tomáš Janata
Ing. Lenka Weyskrabová
Ing. Martin Neumann

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.

RNDr. Miloslav Müller, Ph.D. - řešitel
RNDr. Marek Kašpar, Ph.D.
RNDr. Vojtěch Bližňák, Ph.D.
Mgr. Blanka Gvoždíková

Sweco Hydroprojekt a.s.

Ing. Martin Pavel - další řešitel
Ing. Libuše Kudrnová
Ing. Miroslav Lubas
Ing. Petr Kožant

Obsah:

1. Úvod k průběhu řešení v roce 2015.....	2
2. Rešerše a výchozí předpoklady k řešení	4
2.1. Intenzity srážek	4
2.1.1. Staniční měření.....	4
2.1.2. Radarová data a jejich adjustace.....	4
2.2. Modelování srážka-odtok	5
2.2.1. Přístupy k hydrologickému modelování	5
2.2.2. Hydrologické a erozní modely používané v ČR	6
2.3. Možnosti poskytování geoprostorových dat a služeb	7
3. Postup řešení.....	9
3.1. Aktivity v roce 2015	9
3.1.1. Processing a analýza srážkových dat.....	9
3.1.2. Určení základních charakteristik malých povodí v České republice	13
3.1.3. Výběr reprezentativních modelů	15
3.1.4. Testování hydrologických modelů na případových studiích	18
3.1.5. Testovací implementace mapového serveru	21
3.1.6. Terénní měření.....	23
3.2. Plánované aktivity na 2016.....	27
3.2.1. A1601 Optimalizace mapových serverů	27
3.2.2. A1602 Zobecnění průběhu intenzit při silných srážkách v ČR	28
3.2.3. A1603 Zastoupení generalizovaných hyetogramů ve vybraných lokalitách ČR	28
3.2.4. A1604 Testování vlivu srážkových scénářů na výstupy vybraných	
hydrologických modelů s ohledem na variabilitu ostatních vstupů	28
3.2.5. A1605 Statistické vyhodnocení charakteristik malých povodí a určení	
jednotlivých typových povodí.....	29
3.2.6. A1606 Identifikace typických vodohospodářských staveb s variantním určením	
jednotlivých dimenzí pro potřeby citlivostní.....	29
3.2.7. A1607 Měření v terénu.....	30
4. Náklady za projekt celkem.....	31
5. Literatura.....	33
6. Dosažené výsledky	36
7. Popis uplatnění	37
8. Seznam zkratk	37

1. Úvod k průběhu řešení v roce 2015

Cílem řešeného projektu je zpracování návrhových krátkodobých dešťů pro potřeby hydrologického či erozního modelování v kontextu navrhování typických opatření na podporu retence a akumulace vod v povodí. Návrhové scénáře krátkodobých dešťů budou vycházet ze staničních a radarových měření s ohledem na úhrn epizodních událostí, četnost jejich výskytu, vnitřní rozdělení intenzit a prostorové rozložení v rámci ČR. Odezvy těchto scénářů budou na vybraném vzorku simulačních modelů analyzovány s cílem zhodnotit jejich variabilitu způsobenou kromě výběru srážkového scénáře i použitou simulační metodou. Nejistoty modelových výstupů budou vyhodnoceny z hlediska dopadů na realizaci vodohospodářských opatření (protierozní opatření, společných zařízení PÚ, úprav malých vodních toků a objektů na nich). Cílem je také výsledky promítnout do metodiky a veřejnosti umožnit přístup k výsledkům formou map a webových mapových aplikací pro získání návrhových scénářů krátkodobých srážek.

Řešení projektu bylo zahájeno k 1. 4. 2015. Na řešení plánovaných aktivit se podíleli členové všech řešitelských pracovišť. Průběžnou zprávu lze rozdělit do tří hlavních kapitol - rešeršní část, činnosti v roce 2015 a představení plánu na druhý rok řešení projektu.

Rešerše a výchozí předpoklady řešení navazují na rešerši zpracovanou před zahájením projektu, která byla v rámci projektu výrazně rozšířena a doplněna především v oblasti hydrologických modelů.

Samotná výzkumná činnost popsaná v kapitole 3 má pak tři hlavní linie. Z hlediska zpracování dešťových srážek se jednalo o vyhledání vhodné metody, jak popsat a zpracovat rozsáhlý soubor srážkových dat tak, aby bylo možné separovat a popsat subdenní srážky různé délky a intenzity. Za druhé byla zahájena analýza a popis charakteristik povodí IV. řádu (ve vztahu k hydrologické odezvě), jakožto základní prostorové jednotky zvolené pro řešení projektu. Tato dvě témata doplňuje hydrologické modelování, jehož cílem je popis reakce prostředí (povodí) na příčinnou událost (srážku). Používané hydrologické modely bylo třeba v rámci projektu hlouběji prozkoumat a vybrat reprezentativní modely užívající dostatečné množství simulačních metod, aby bylo možné testovat odezvy těchto modelů na různé varianty příčinné srážky. Část tohoto dílčího úkolu je zapracována v rešeršní části a samotné testování pak v kapitole popisu řešení.

Dále byly v rámci projektu zahájeny aktivity spojené s budoucím poskytováním srážkových geoprostorových dat pomocí webových mapových služeb a pomocí serverového zpracování

srážkových podkladů. Jako průvodce a rozcestník poskytovanými službami byla vytvořena webová stránka (rain.fsv.cvut.cz). V neposlední řadě je v projektu zahrnuta podpora tématicky souvisejícího experimentálního výzkumu, především podpory měření srážkoodtokových vztahů.

2. Rešerše a výchozí předpoklady k řešení

2.1. Intenzity srážek

2.1.1. Staniční měření

Pro území České republiky jsou počínaje rokem 1876 k dispozici data z husté sítě srážkoměrných stanic v denním časovém kroku. Tato data jsou základem pro hydrometeorologické studie, z nichž mnohé jsou věnovány extrémním denním úhrnům, např. nad 150 mm (Štekl a kol., 2001). Z datových řad pro jednotlivé stanice jsou odvozovány návrhové denní úhrny, do jejichž hodnoty se promítá vliv topografie; např. stoletý jednodenní úhrn na velké většině území nedosahuje 100 mm, v exponovaných horských oblastech je však odhadován i přes 200 mm (např. Brázdil a kol., 2005). Bodové odhady je možné dále zpřesňovat aplikací regionální frekvenční analýzy, která při stanovení parametrů statistického rozdělení extrémů zohledňuje i blízké stanice s obdobným rozdělením (Kyselý a kol., 2011).

Subdenní variabilita srážek v ČR je naopak prozkoumána mnohem méně, neboť síť automatických srážkoměrů (ombrografů) byla v minulosti podstatně řidší než síť klasických srážkoměrů. Klasickou prací v tomto směru vytvořil Trupl (1958), který excerpoval data 98 ombrografů a zjistil nezávislost velmi krátkodobých srážkových intenzit na nadmořské výšce. Podobně komplexní studie nebyla od té doby provedena.

S příchodem nového tisíciletí dochází k zavádění digitálních automatických srážkoměrů, jejichž data slibují zpřesnění odhadů krátkodobých srážkových intenzit. Nejčastěji jde o srážkoměry člunkové, jejichž pořizovací cena je podstatně nižší než v případě váhových srážkoměrů. Naneštěstí jsou jejich měření zatížena chybami, způsobenými především změnami proudění vzduchu kolem srážkoměrné nádoby, odstříkem vody z člunku apod. Změřené subdenní srážkové intenzity jsou proto považovány za méně přesné než denní úhrny, navíc jejich reprezentativnost pro širší okolí je diskutabilní.

2.1.2. Radarová data a jejich adjustace

Prakticky současně s digitálními automatickými srážkoměry byly do praxe zavedeny pokročilé meteorologické radiolokátory, umožňující odhad srážkových intenzit v ploše v časovém kroku nyní až 5 minut. Měření probíhá v kuželových plochách s proměnnou elevací, nejčastějšími produkty jsou pak pole maximální odrazivosti Z_{\max} a odrazivost v konstantní nadmořské výšce, nejčastěji CAPPI 2 km.

Také radarové odhady srážkových intenzit jsou zatížena značnými chybami, danými neurčitostí spektra velikosti srážkových částic, stíněním apod. Za nejpřesnější metodu ručení

intenzity srážek napříč územním celkem je proto považována adjustace radarových dat údajů ze srážkoměrů. Přitom existují dva hlavní přístupy: pro operativní účely se k adjustaci využívají data z automatických srážkoměrů, při retrospektivní analýze je možné implementovat přesnější denní úhrny z hustší sítě stanic. Metodu této adjustace popsal Sokol (2003). Takto zpracovaná data využili Sokol a Bližňák (2009), kteří studovali prostorové rozložení vysokých krátkodobých intenzit srážek v ČR včetně jejich závislosti na nadmořské výšce. Jejich zjištění náhodnosti rozmístění vysokých hodinových intenzit je obecně v souladu se zjištěním Trupla (1958), přičemž vliv orografie se začíná projevovat až při uvažování časového horizontu 6 a více hodin.

2.2. Modelování srážka-odtok

2.2.1. Přístupy k hydrologickému modelování

Hydrologické výpočty představují prakticky jediný způsob hodnocení potenciálních srážko-odtokových událostí. Jejich průběh je ovlivněn velkým množstvím faktorů, z nichž mnohé jsme dnes schopni popsat velmi přesně, jiné zjednodušeně několika parametry a některé nedovedeme předvídat vůbec. Právě neznalost přesného stavu a všech procesů v hodnoceném systému vyžaduje zavedení zjednodušení do výpočtů - použití určitého modelu.

Hydrologických modelů existuje a je v praxi používáno nespočet. Liší se právě úrovní podrobnosti popisu modelovaného systému a probíhajících procesů, potažmo typem odpovědi, kterou mohou tyto modely poskytnout. Klasifikací hydrologických modelů opět existuje celá řada, uveďme několik základních hledisek dělení. Z pohledu časového měřítka lze dělit modely na kontinuální a epizodní. Dle velikosti domény rozlišujeme modely globální, regionální, modely povodí, pozemků či jednotlivých svahů. Jedním z nejdůležitějších hledisek je prostorové členění modelované domény, modely k ní mohou přistupovat celistvě, částečně nebo plně distribuovaně. Do jisté míry s prostorovým dělením pak souvisí složitost popisu procesů v modelovaném systému, podle níž pak rozlišujeme modely empirické, konceptuální či fyzikálně založené. Zatímco empirické modely vychází pouze z měřených dat typu vstup-výstup, které dávají do souvislosti nějakým matematickým vztahem, fyzikálně založené modely se snaží popsat reálně probíhající procesy a jejich interakce fyzikálním popisem s co nejnížší ale ještě efektivní mírou zjednodušení. Konceptuální modely pak představují širokou paletu přístupů mezi těmito krajními pohledy. Modelovaný systém většinou zjednodušují na několik komponent a popis jejich chování a interakcí může být i v rámci jednoho modelu na různých úrovních podrobnosti.

Dílčím cílem projektu C005 je “Výběr reprezentativních prakticky orientovaných hydrologických a erozních modelů a následné provedení analýzy citlivosti jejich výstupů na přesnost návrhové srážky s ohledem na nejistoty dalších vstupů”. Jeho naplnění předpokládá rešerši vhodných modelů, jejich testování, aplikaci na srážkové scénáře odvozené v rámci aktivit dalšího cíle projektu C003 a analýzu modelových výstupů.

2.2.2. Hydrologické a erozní modely používané v ČR

Podrobný rozbor použitelných modelů byly předmětem aktivity A 1503 popsané dále. Tato kapitola uvádí základní přehled hydrologických a erozních modelů doporučovaných v relevantních českých metodikách, které by mohly být předmětem aktualizace dle výsledků tohoto projektu. V této kapitole není nijak rozděleno, zdali se jedná o hydrologický model nebo model řešící ztrátu půdy. Hydrologie (a především ta povrchová) je erozí úzce spjata.

Metodika MŽP – odboru ochrany vod (MŽP, 2008) stanovuje postup komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodě blízkých opatření. Pro stanovení odtokových poměrů explicitně jmenuje metodu CN v klasické podobě a v modifikaci modelu DesQ. Jako na hlavní metodický podklad se odvolává na starší metodiku ochrany zemědělské půdy (Janeček a kol., 2007). Stejná metodika je pak uváděna za účelem výpočtu erozního smyvu a jmenuje navíc metodu RUSLE s využitím nástroje USLE2D pro výpočet LS faktoru. V kapitole hodnocení účinnosti navržených opatření pak metodika MŽP pro detailní posouzení efektů uvádí model HYDROG.

Doporučený standard technický – Hrazení bystřin (ČKAIT, 1998) se věnuje zejména technickému návrhu koryt a objektů bystřin a zmiňuje možnost použití hydrologických modelů jako je HEC či KINFIL, jinak pracuje pouze s termínem návrhového průtoku jako zadaného vstupu.

Doporučený standard technický – Protierozní ochrana (ČKAIT, 2000) jmenuje mezi empirickými modely USLE a dva z ní odvozené modely. RUSLE představuje pouze zpřesnění výpočtu některých faktorů původní univerzální rovnice, MUSLE potom univerzální rovnici kombinuje s metodou CN. Mezi modely erozních procesů jsou doporučeny modely AGNPS, EPIC, SMODERP, a EROSION 2D a 3D.

Doporučený standard technický – Hydrologické výpočty v protierozní ochraně půdy (ČKAIT, 2001) v případech, kdy není nutné či možné použít hydrologické podklady podle ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod (ÚNMZ, 2014), uvádí jako vhodný model metodu CN pro výpočet objemu přímého odtoku. Pro stanovení kulminačního průtoku pak

udává nomogram založený na době koncentrace. Poněkud problematická může být kombinace této na empirickém základě založené metody s uváděným přístupem pro výpočet doby koncentrace. V rámci příslušné aktivity projektu bude proto nutné vliv různých vztahů pro stanovení této veličiny ověřit.

Totožný přístup jako předchozí je podrobněji rozveden v metodice Ochrana zemědělské půdy před erozí (Janeček a kol., 2012), která jej doplňuje o simulační modely HYDROCAD, SMODERP, KINFIL, EROSION 2D a 3D a WEPP.

Česká technická norma ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních (ÚNMZ, 2014) pracuje s termínem Kontrolní povodňová vlna, kterou má zpracovávat ČHMÚ nebo jiné odborné pracoviště. Kromě statistického přístupu je k jejímu odvození možné využít deterministický model a jako příklad norma uvádí HEC-1 nebo frekvenční verzi TOP-modelu.

Zahraniční modely nejsou do zde uvedené podrobné rešerše zahrnuty. Jejich rešerše byla provedena před zahájením řešení projektu a obsahuje další principy řešení hydrologické odezvy nad rámec metod využívaných v ČR. Do řešení projektu jsou zahraniční modely zahrnuty jednak s ohledem na možné změny v národních normativech a také jako referenční detailní (a mnohdy rutinně nenasaditelné) metody.

2.3. Možnosti poskytování geoprostorových dat a služeb

Možností, jakým způsobem poskytovat geoprostorová (geografická) data, zkráceně geodata, v lokální síti či síti Internet, je více. Z pohledu udržitelnosti a transparentnosti řešení je vhodné zvolit postupy definované otevřenými celosvětově uznávanými technickými specifikacemi a normami. V oblasti GIS se jedná o specifikace OGC Web Services (OWS), mezi které patří např. Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS) či Web Coverage Service (WCS). Další možností je využít uzavřených proprietárních webových služeb, které jsou navázány na vybraný produkt či společnost. Příkladem mohou být proprietární služby společnosti Esri, které jsou optimalizovány pro jejich produkty, jako je např. rozšířená technologie ArcGIS. Tyto služby by měly ideálně doplňovat poskytované služby OGC a poskytovat tak uživateli co možná nejširší nabídku a komfort využívání služeb.

Webové služby poskytují běžně geodata ve formě rastrové (WMS a WCS) a vektorové (WFS) reprezentace. Kromě toho mohou ale poskytovat i výpočetní nástroje ve formě tzv. "geoprocessingu". Tento segment služeb pokrývá OGC specifikace Web Processing Service (WPS) anebo např. její proprietární alternativa Esri ArcGIS Geoprocessing Service.

V rámci projektu je snaha budoucím uživatelům poskytnout co škálu služeb jak ve formě geodat, tak ve formě výpočetních nástrojů a poskytovaných služeb.

3. Postup řešení

3.1. Aktivity v roce 2015

V návrhu projektu byly na rok 2015 plánovány následující aktivity:

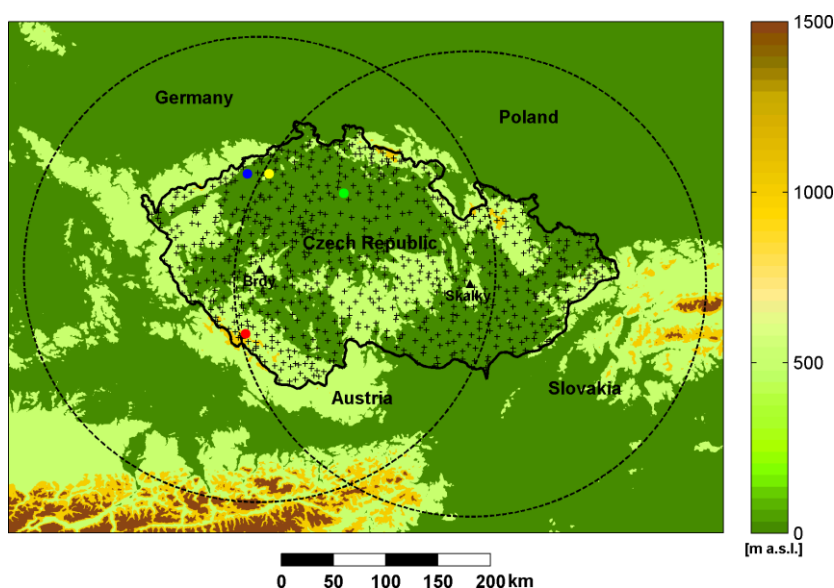
- A1501 Processing a analýza srážkových dat,
- A1502 Určení základních charakteristik malých povodí v ČR,
- A1503 Rešerše prakticky orientovaných hydrologických a erozních modelů a
- A1504 Testovací implementace mapového serveru.

Pro přehlednost redakčně upravené zprávy jsou aktivity prvního roku řešení rozčleněny podrobněji.

3.1.1. Processing a analýza srážkových dat

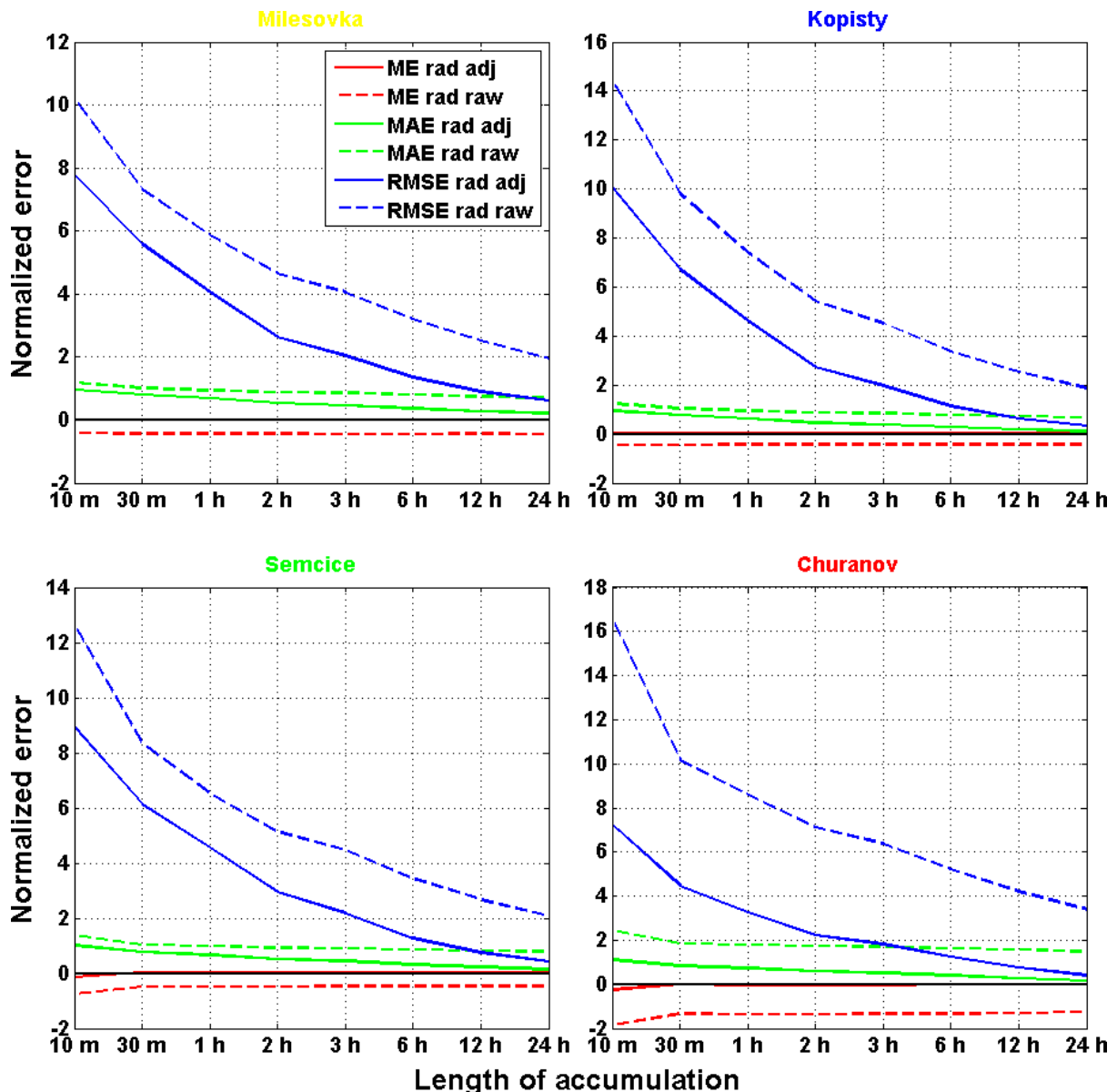
3.1.1.1. Adjustace radarových dat a její verifikace

Pro vybrané termíny byla implementována data radarové odrazivosti ve výšce 2 km spolu s hodnotami denních úhrnů srážek z husté sítě cca 500 srážkoměrných stanic (Obr. 1). Pomocí adjustačního algoritmu (Sokol, 2003) byly denní úhmy rozděleny do desetiminutových podle průběhu radarové odrazivosti v daném pixelu a následně interpolovány do plochy pomocí pole radarové odrazivosti v daném termínu. Adjustační procedura byla iteračně optimalizována z hlediska proměnných vah vzdálenějších stanic. Následně byla provedena a publikována verifikace adjustovaných polí (Bližňák a kol., 2015). K ní sloužily 10-minutové, příp. 15-minutové intenzity srážek z bodových měření automatickými srážkoměry ze čtyř stanic s různými fyzicko-geografickými podmínkami: Semčice (nížina), Kopisty (nížina v blízkosti horského hřebene), Milešovka (osamělý vrchol), Churáňov (výrazné pohoří). (Obr. 1).



Obr. 1 Poloha automatických srážkoměrů, využitých k adjustaci (černé křížky) radarových měření a k verifikaci adjustovaných odhadů srážkové intenzity (barevné značky: Semčice – zeleně, Kopisty – modře, Milešovka – žlutě, Churáňov – červeně)

Verifikace prokázala podstatné zpřesnění radarových odhadů pomocí adjustace, a to bez ohledu na použité verifikační kritérium (obr. 2). Největšího relativního zlepšení bylo dosaženo v případě krátkodobých úhrnů na horské stanici Churáňov, což může souviset s menší účinností radarových měření v horském terénu.

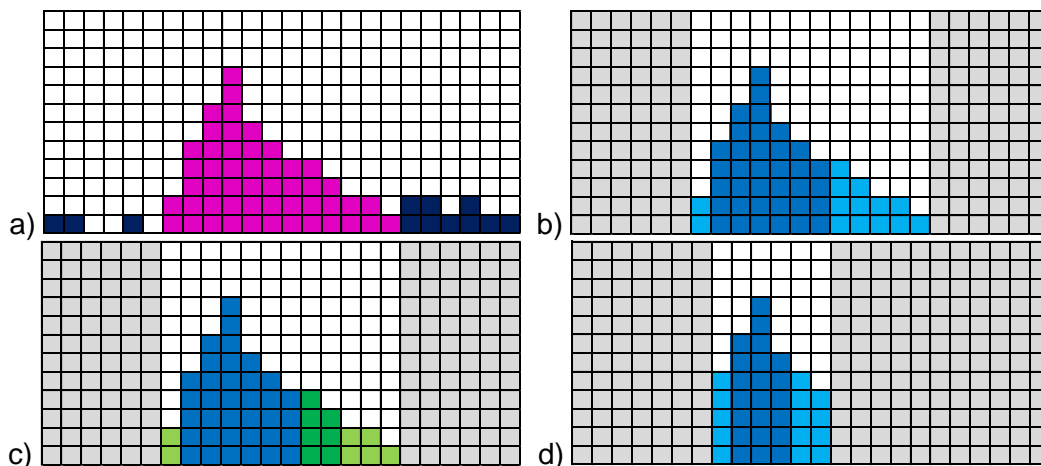


Obr. 2 Porovnání radarových srážkových intenzit (rad raw) s dobou akumulace od 10 minut po 24 hodin a jejich adjustovaných hodnot (rad adj) pomocí vybraných ukazatelů: střední chyba (ME), střední absolutní chyba (MAE) a střední kvadratická chyba (RMSE).

3.1.1.2. Případy intenzivních srážek v období 2002 - 2011

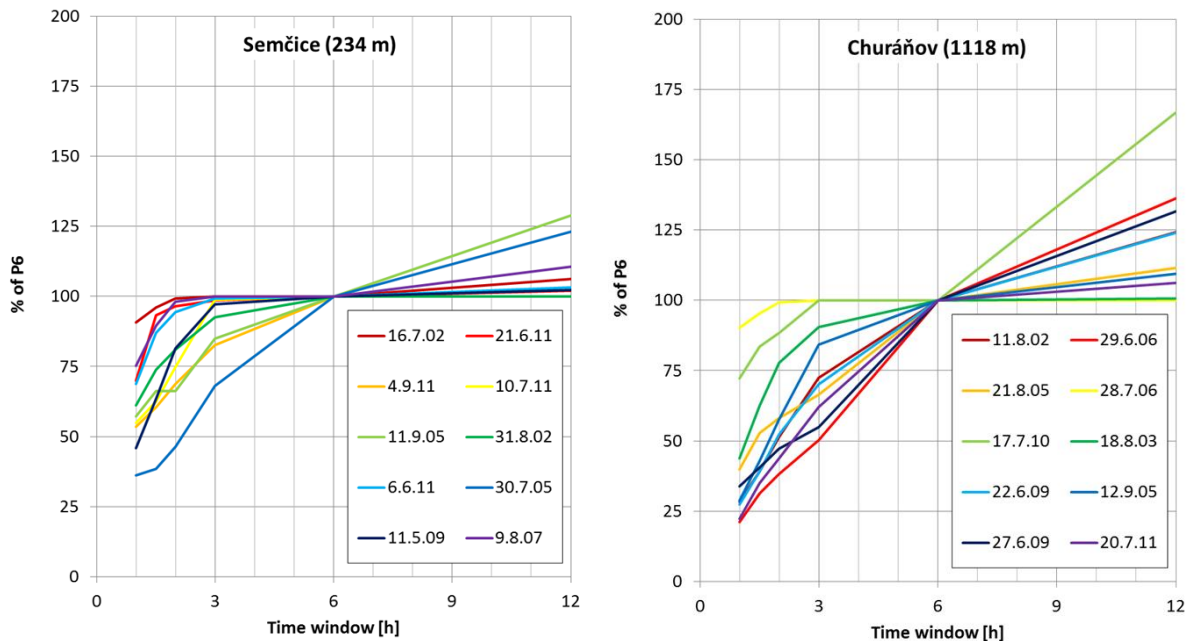
Pro 38 gridových bodů, v nichž leží české synoptické stanice, byla data zpracována metodou klouzavého časového okna o délkách od 30 minut po 24 hodin a určeny navzájem nezávislá lokální maxima takto akumulovaných srážek v časových řadách. Jako rozhodující pro hydrologickou odezvu byly vybrány šestihodinové akumulace srážek. Na jejich základě byly vybrány a kvantitativně vyhodnoceny extrémní události, přičemž vždy 25 z nich je dále analyzováno z hlediska časového průběhu srážek.

Analýza vývoje intenzity srážek během významných epizod je založena na porovnání intenzit v jednotlivých studovaných časových krocích. Výchozí maximální 6-hodinová intenzita (R6, viz obr. 3a) je porovnána s maximální 3-hodinovou v rámci daných šesti hodin (R3, obr. 3b), a to pomocí tří parametrů. První z nich vyjadřuje míru koncentrace srážek pomocí podílu $R3/R6$, druhý a třetí pak uspořádání zbytku srážek ($R6-R3$) před, resp. po R3 (obr. 3c). Tento postup se opakuje (obr. 3d) pro kratší (až po 30 minut) i pro delší časové kroky 12 a 24 hodin. Každá událost je tak popsána sérií parametrů, což umožní shlukování událostí do skupin s obdobným průběhem srážek.



Obr. 3 Diagramy popisující metodiku analýzy časové variability srážkové epizody.

První výsledky byly prezentovány v práci Müllera a kol. (2015). Míra koncentrace byla vyjádřena graficky pomocí zvláštních diagramů, vyjadřujících změny intenzity srážek při uvažování různě dlouhých časových oken koncentrace (obr. 4). Z obrázku je zřejmý narůst podílu případů rovnoměrných srážek v horách oproti nížinám. V polovině nížinných případů spadlo více než 90 % šestihodinového úhrnu za méně než dvě hodiny, kdežto na Churáňově jen ve třech případech činil maximální dvouhodinový úhrn srážek přes 60 % šestihodinového. Zcela odlišný charakter pak mají absolutní maxima z obou stanic: v Semčicích spadl maximální šestihodinový úhrn za dvě hodiny, zatímco na Churáňově napršela za stejnou dobu jen polovina nejvyššího šestihodinového úhrnu. To svědčí o tom, že mezi největšími šestihodinovými úhrny dominují v nížinách konvektivní srážky, avšak na horách srážky z vrstevnaté oblačnosti.



Obr. 4 Analýza časové variability intenzity srážek při deseti největších 6-hodinových úhrnech v Semčicích (vlevo) a na Churáňově (vpravo). Rostoucí pořadí událostí je vyjádřeno barvou od hnědé po fialovou. Maximální intenzity za kratší časové úseky během události jsou vyjádřeny jako podíl 6-hodinového úhrnu.

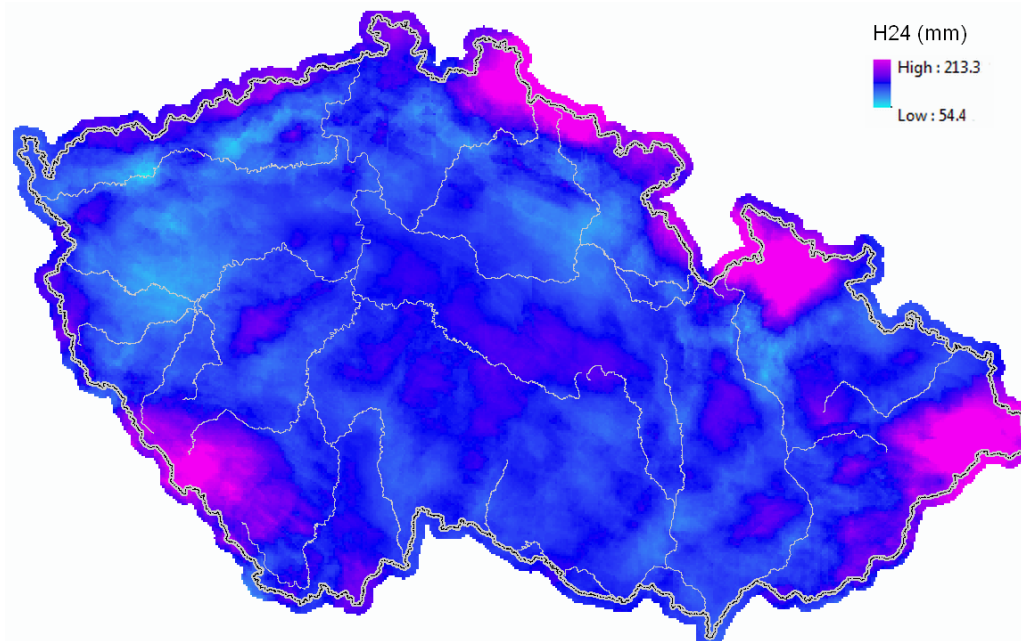
3.1.1.3. Mapa denních úhrnů

Pro porovnání řešení s dříve používanými metodami redukce denních úhrnů byla v rámci řešeného projektu vytvořena pomocí řízené interpolace celorepubliková vrstva denních úhrnů pro doby opakování 2 až 100 let. Zároveň získané rastrové vrstvy posloužily jako podklad pro testování webových služeb v rámci aktivity A1504, viz kapitola 3.1.5. Podrobný popis postupu a výsledků je uveden v odborném článku, který byl podán do periodika „Vodní hospodářství“ a v současnosti je předmětem recenzního řízení.

Jako podklad sloužila bodová vrstva 579 srážkoměrných stanic na území ČR s hodnotami N-letých denních úhrnů (Šamaj a kol., 1984). Jelikož úhrny pro různé doby opakování vykazovaly téměř 100% korelaci (neboť se jedná o statisticky odvozené hodnoty), byla pro analýzu proměnných zvolena doba opakování $N = 10$ let. V GIS byly vytvořeny rastrové vrstvy v rozlišení 1 km reprezentující potenciální nezávislé proměnné, konkrétně: polohopisné souřadnice a maximální nadmořská výška v různě orientovaných kruhových výsečích o poloměrech 5–25 km a vrcholových úhlech 10, 15, 30, 45 a 60 stupňů. Poté byla v softwaru GeoDa testována závislost bodových hodnot 10-letých srážkových úhrnů na těchto proměnných. Z analýzy koeficientů determinace a s přihlédnutím k rozumnému počtu parametrů vplynuly z regresní analýzy jako optimální vysvětlující proměnné zeměpisná poloha a maximální nadmořská výška v šesti 45° výsečích.

Pro všechny doby opakování byly poté určeny koeficienty vícerozměrné lineární regrese a tak odvozeny regresní modely pro výpočet N-letého úhrnu v každém bodě rastru na území

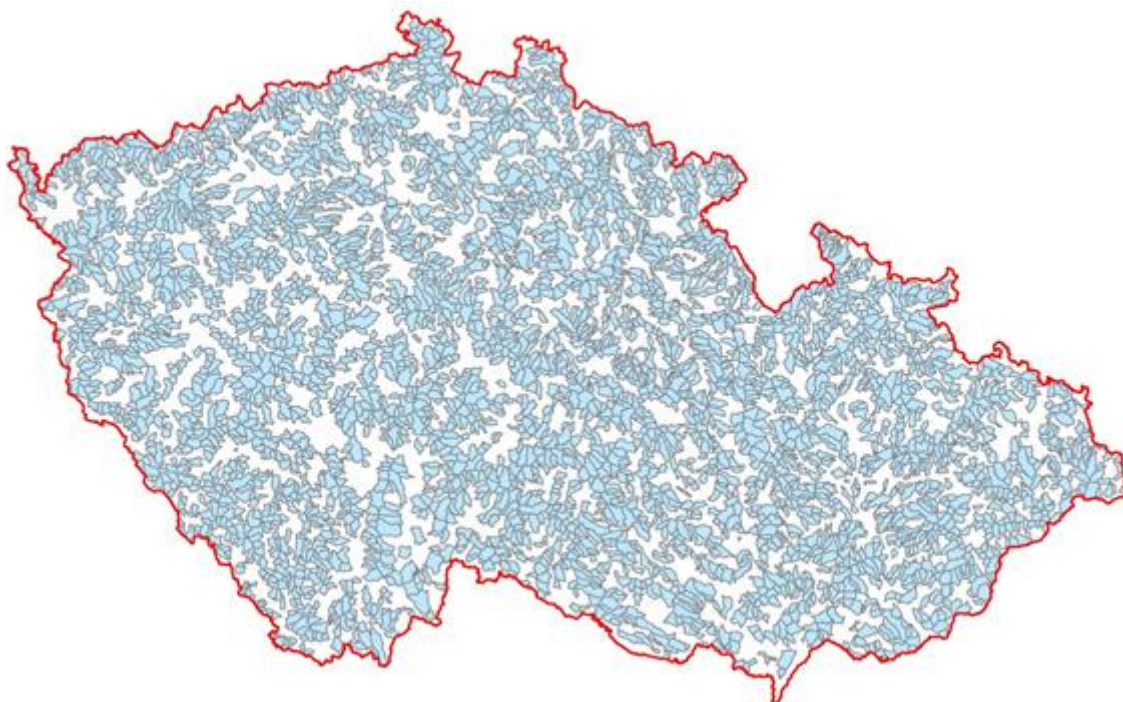
ČR. Rastry úhrnů vzešlé z vícerozměrné regresní analýzy, jako u každé globální interpolační metody, nezachovávaly hodnoty ve srážkoměrných stanicích a koeficienty determinace byly poměrně nízké. Pro opravu regresních rastrových vrstev byla vyčíslena rezidua ve všech bodech srážkoměrné sítě a prostorově interpolována empirickým bayesovským krigováním. Výsledné rastry reziduí byly přičteny k regresním rastrům, čímž vznikly opravené rastry hodnot 24-hodinových srážkových úhrnů s dobami opakování 2–100 let (Obr 5). Výsledky byly porovnány s čistě interpolačními technikami a bylo prokázáno, že použití regresního modelu vedlo k významnému zvýšení přesnosti odhadu bodového N-letého úhrnu.



Obr. 5 Výsledný rastr 100-letých denních úhrnů z regresního modelu s korekcí reziduí

3.1.2. Určení základních charakteristik malých povodí v České republice

V případě rozdělení České republiky na malá povodí bylo vzhledem k zamýšleným výstupům řešení využito rozdělení dle povodí IV. řádu. Využita byla vrstva ve formátu Esri Shapefile (zdroj ČHMÚ), která obsahovala celkem 9133 záznamů povodí s rozsahem velikostí povodí od 0 do 529 km². Nejprve byla provedena identifikace pramenných povodí. Za pramenná povodí byla považována ta povodí, do kterých voda nepřitéká. Dále byla eliminována přeshraniční povodí, kde nebyly potřebné informace pro další analýzy, především digitální model terénu a vodní toky. Úpravami bylo získáno 3911 horních povodí s rozsahem velikostí povodí od 0,62 do 56,92 km². Výstup byl zpracován i graficky v podobě podkladové rastrové mapy, která bude v budoucnu publikována v aplikaci dostupné přes WMS službu (viz kapitola 3.1.5).



Obr. 6 Zobrazení horních povodí IV. řádu České republiky uvažovaných v řešení

V prvním kroku byla nejprve provedena identifikace horních povodí (6) a následně byla odstraněna ta přeshraniční, která nejsou po další analýzy potřebné.

Tab. 1 Přehled malých povodí IV. řádu

Malá povodí IV. řádu	Počet povodí	Velikost povodí [km ²]
Vstupní data od ČHMÚ	9133	0 – 529
Horní povodí	3911	0,62 – 56,92

Vnitřní parametry povodí, důležité pro hydrologické modelování, byly vyhledány podrobnou rešerší literatury zabývající se tematikou charakteristiky povodí, povrchovým odtokem z povodí, povodňovými situacemi v území a vlivy fyzicko-geografické charakteristiky povodí a srážko-odtokovými modely. Zkoumání vlivu fyzicko-geografických charakteristik povodí na charakteristiky odtoku z povodí je v různých formách předmětem výzkumu již řadu desetiletí. Rešerší byly nalezeny parametry, které byly vypočteny/určeny pro jednotlivá povodí a v dalších etapách řešení bude zkoumán jejich vliv srážko-odtokové vztahy. Pro jednotlivá povodí byly vypočteny následující parametry: Gravelliův koeficient (KG), koeficient protáhlosti povodí (RE), maximální, minimální a průměrná nadmořská výška povodí, průměrný sklon povodí, koeficient reliéfu (RH), hustota říční sítě, expozice svahů, délka toků a určeny byly následující parametry: tvar povodí a využití území (Jeníček, 2011; Kašpárek 2000, 2004, 2007).

Výsledkem aktivity na konci prvního roku řešení byl především výběr horních povodí a výpočet výše zmíněných parametrů. Jejich vyhodnocení a zařazení do kategorií je náplní dalšího období.

3.1.3. Výběr reprezentativních modelů

V rámci přípravy modelování vlivu srážkových scénářů byla provedena rešerše zejména českých metodik a norem (viz kapitola 2.2). Dále proběhly konzultace s několika projektanty i mimo Sweco Hydroprojekt. a. s. v oblasti vodního hospodářství s cílem získat přehled o používaných, prakticky orientovaných hydrologických a erozních modelech. Do výběru modelů bylo také zahrnuto několik osvědčených modelů využívaných v zahraničí ve snaze rozšířit paletu možných metod hydrologických výpočtů v modelech obsažených. Ke zjištěným modelům byla následně dohledána podrobná dokumentace a modely byly analyzovány z hlediska používaných výpočetních metod a detailní podoby požadovaných vstupů, zejména srážkových. Vzhledem k velké požadované podrobnosti rešerše se ne vždy podařilo dohledat všechny zjišťované parametry ke všem modelům ve stejné míře (často díky chybějící nebo méně podrobné dokumentaci), avšak vždy v dostatečné, aby bylo možné model klasifikovat a posoudit jeho použitelnost pro tento projekt.

Celkem bylo do rešerše zahrnuto 27 modelovacích nástrojů a systémů, z toho 18 (Tab. 2) prošlo do fáze podrobnějšího zkoumání charakteristik. Vyloučené modely buď nezohledňovaly požadovanou podrobnost srážkových vstupů (např. DesQ-MaxQ pracuje pouze s blokovou srážkou s konstantní intenzitou), nebo se jednalo o komplexní softwarové prostředky (často komerční) pouze integrující jednoduché modely dostupné samostatně. Každý z vybraných 18 modelů byl zařazen z hlediska přístupu k popisované problematice (empirický, konceptuální, fyzikální), časového a prostorového měřítka, zjišťována byla podrobnost srážkových vstupů, metoda stanovení efektivní srážky a metoda výpočtu časového průběhu odtoku (routing) a doplňkově byly zjišťovány základní výstupní veličiny. Pro klasifikaci modelů pro potřeby projektu byly jako hlavní kritéria vybrány metoda výpočtu efektivní srážky a routing odtoku v ploše povodí - Tab. 3. Každé kritérium zahrnovalo pět hlavních tříd a několik málo podtříd u fyzikálních metod. První pokus o klasifikaci potvrdil očekávání, že co model, to prakticky jiný přístup - vyprodukoval 18 unikátních kombinací výpočetních metod. Proto byly modely dále seskupeny podle podobnosti použitých přístupů a díky skutečnosti, že některé modely umožňují použití více výpočetních metod, bylo nakonec vybráno pět reprezentativních modelů: převážně konceptuální HEC integrující řadu metod včetně SCS-CN, blíže k fyzikálnímu popisu směřující KINFIL, na konceptu laterálního podpovrchového odtoku postavený TOPMODEL a fyzikální modely SMODERP a MIKE-SHE. V případě modelu HEC se počítá s využitím zejména metody CN pro určení efektivní srážky,

avšak bude provedena revize efektu kombinace této metody s různými metodami stanovení doby koncentrace, respektive odtokového hydrogramu.

Na tomto místě je nutné uvést, že tento výběr není nutně finální pro nasazení v roce 2016, a to ze dvou důvodů. Jedním je komerční povaha softwaru MIKE-SHE, ohledně jeho nasazení pro účely projektu právě probíhají jednání s jeho distributorem. Druhým možným důvodem pro změnu výběru finální sady modelů je potřeba jejich automatizace a dávkové nasazení pro velké množství modelových scénářů. Možnosti automatizace jsou právě testovány ve spolupráci obou zúčastněných pracovišť ČVUT. Nakonec i samotné podrobné testování konkrétního modelu může odhalit nejistoty o jeho vnitřním fungování a bude muset být nahrazen modelem jiným s podobnými vlastnostmi tak, aby byla zachována šíře modelových přístupů.

Z vybraných pěti modelovacích nástrojů české normy či metodiky zmiňují tři - HEC (s využitím CN), KINFIL a Smorderp, okrajově Topmodel. Díky jejich zařazení se očekává, že bude moci být provedeno upřesnění metodik s ohledem na optimální použití srážkových scénářů ve zmíněných modelech.

Tab. 2 Přehled posuzovaných modelů a základní charakteristiky. Zvýrazněn výsledný výběr modelů pro analýzu dopadů srážkových scénářů.

Model	Prostorové dělení a měřítko	Časové měřítko	Parametry srážky	Metoda ef.srážky	Routing v ploše
AGNPS	distrib, velká území	Epizodní/ kontinuální	4 typické průběhy H24 dle SCS	B	D
Erosion 2D	regionální	Epizodní	hyetogram	A2	B3
Erosion 3D	regionální	Epizodní	hyetogram	A2	B1
WEPP	regionální / lokální	Epizodní/ kontinuální	hyetogram	A2	B3
DesQ/MaxQ	1 nebo 2 desky, povodí do 10 km ²	Epizodní	blokový déšť	B	B2
Smorderp 1D	1D svah	Epizodní	hyetogram	A1	B3
Smorderp 2D	2D mikropovodí, distrib	Epizodní	hyetogram	A1	B1
SWAT	povodí, HRU	- Kontinuální	řada úhrnů	A2 / B	D

Model	Prostorové dělení a měřítko	Časové měřítko	Parametry srážky	Metoda ef.srážky	Routing v ploše
	semidistrib				
KINEROS	semidistrib	Epizodní	hyetogram	C	B2
TOPKAPI	plně distrib	Kontinuální/ Epizodní	řada	D	B1
TOPmodel	povodí, semidistrib	Kontinuální/ Epizodní	řada	D	C
MikeSHE	půdní profil až povodí, plně distrib	Epizodní/ kontinuální	hyetogram / řada / mapy	A2 / A3	A
HEC	celistvý, semidistrib	Epizodní (kontinuální)	hyetogram	A2 / B / C	B1/D
Sacramento	celistvý, velká povodí	Kontinuální/ real-time	řada úhrnů	E	E
KINFIL	povodí, semidistrib, kaskáda desek	Epizodní	hyetogram	A2	B2
HYDROG	povodí, soustavy	Kontinuální/ real-time		C	D
MMF - SAGA	distrib.	libovolné, spíše kontinuální	úhrn, intenzita, trvání, časový krok	C	
HYDROCAD	malé povodí	Epizodní	hyetogram	B	D

Tab. 3 Legenda k Tab. 2 - klíčové parametry pro klasifikaci modelů

Metoda ef.srážky		Routing v ploše	
A1	fyzikální, inf. dle Phillipse	A	fyzikální, dif. vlna
A2	fyzikální, inf. dle G&A	B1	fyzikální, kinem. vlna na reálném 2D povrchu
A3	fyzikální, inf. dle Richardse	B2	fyzikální, kinem. vlna na koncept. povrchu
B	konceptuální (SCS-CN...)	B3	fyzikální, kinem. vlna na 1D profilu
C	jednoduchá konceptuální (exponenc. pokles...)	C	typ Topmodel (travel time function)

Metoda ef.srážky		Routing v ploše	
D	typ Topmodel	D	hydrogram
E	konc., systém nádrží	E	konc., systém nádrží

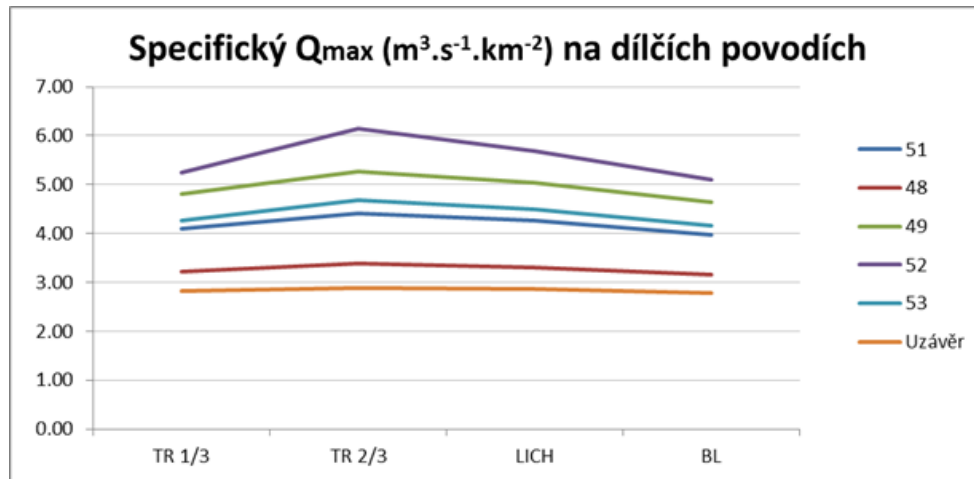
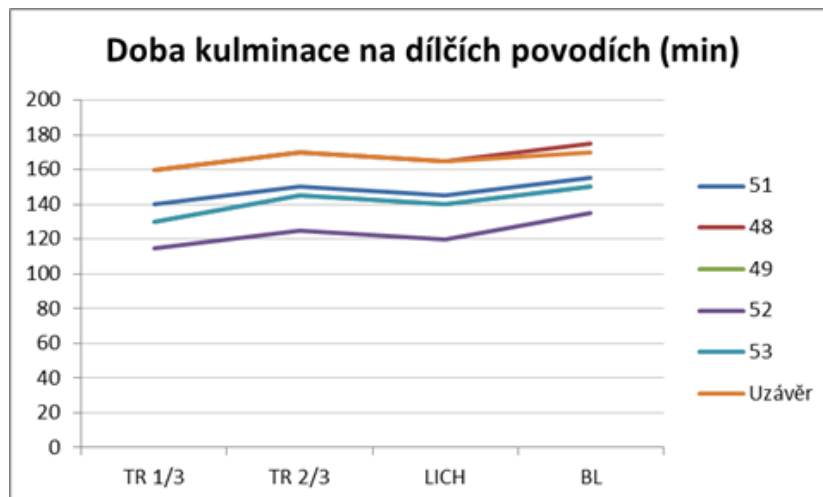
3.1.4. Testování hydrologických modelů na případových studiích

Součástí aktivity A1502 bylo i testování některých modelů, především s ohledem na činnosti v roce 2016. Zejména se jednalo o ověření nejčastěji používané metody SCS-CN (konceptuální přístup) a to na dvou lokalitách: v části povodí Výmoly a na horním povodí Rokytky. Dále jakožto zástupci fyzikálního přístupu byly testovány modely SMODERP (na povodí Konojedského potoka) a Mike-SHE.

Mimo to byl v rámci aktivity A1502 sestaven přehled nejčastěji používaných přístupů pro výpočet jedné ze zásadních hydrologických charakteristik povodí - doby koncentrace. Ta hraje významnou roli v mnoha konceptuálních modelech a byla jedním z uvažovaných kritérií pro klasifikaci povodí ČR. V rámci orientačního posouzení na povodí Výmoly byly prokázány značné rozdíly i v případě použití dvou podobných konceptuálních metod SCS a Fort Bend County. Po výběru modelů bylo přikročeno k otestování citlivosti na podobu srážkových vstupů. Z konceptuálních modelů byl k testování vybrán HEC-HMS a aplikován ve dvou lokalitách.

Lokalita horního toku Výmoly

V prvním případě byl sestaven hydrologický model části povodí Výmoly a zatížen několika typizovanými syntetickými průběhy srážek: blokový déšť s konstantní intenzitou, dva trojúhelníkové průběhy intenzity s maximem v první nebo druhé třetině délky trvání a rovnoramenný lichoběžník s horní základnou délky jedné třetiny doby trvání. Při analýze dopadů různých srážkových scénářů byly jako kritéria použity hodnoty kulminačního průtoku a jeho doba. Rozdíly v absolutních hodnotách kulminačního průtoku se pohybovaly v závislosti na srážkovém scénáři v rozmezí pouze 4 %. Specifické kulminační odtoky z dílčích povodí ukazuje graf na Obr 7. Odtud je zřejmé, že rozdíly způsobené různými syntetickými srážkovými scénáři jsou zanedbatelné v poměru k rozdílům na jednotlivých dílčích povodích. Všechna povodí měla přitom velmi podobné průměrné hodnoty CN. Rozdíly se zdály být způsobeny více vlivem tvaru hydrogramu určeného parametrem doby koncentrace.

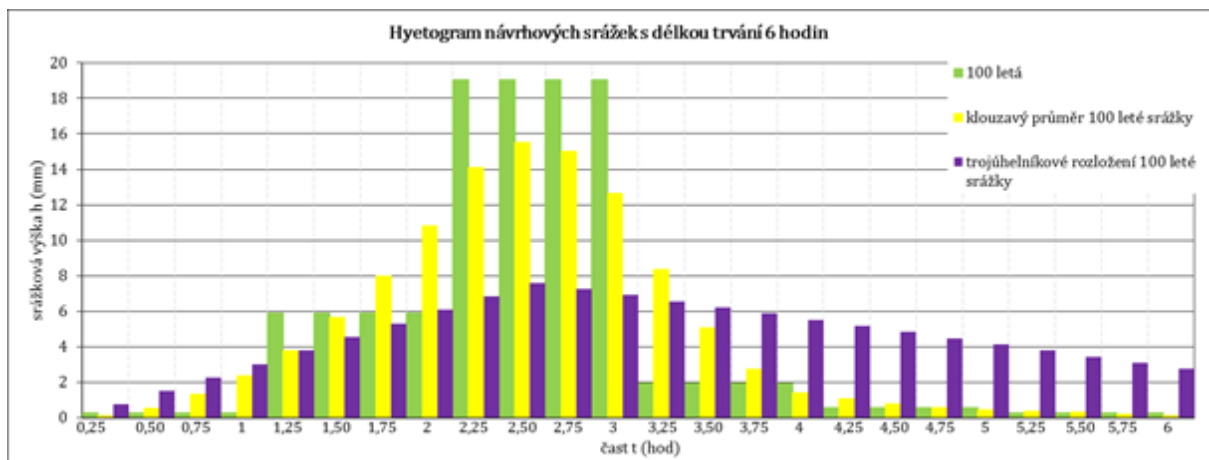
Obr. 7 Specifické kulminační průtoky Q_{100} na dílčích povodích VýmolyObr. 8 Doby kulminace Q_{100} v závislosti na použitém srážkovém scénáři

Prakticky totožné závěry byly učiněny při analýze doby kulminace simulovaných povodňových vln - viz obr 8. Pouze jako "nejhorší" se ukázal scénář trojúhelníkového průběhu intenzity srážky s maximem v $\frac{1}{3}$ trvání. Uvedené skutečnosti budou předmětem dalších citlivostních analýz, které jsou plánovány v aktivitě A 1604.

Lokalita horního toku Rokytky

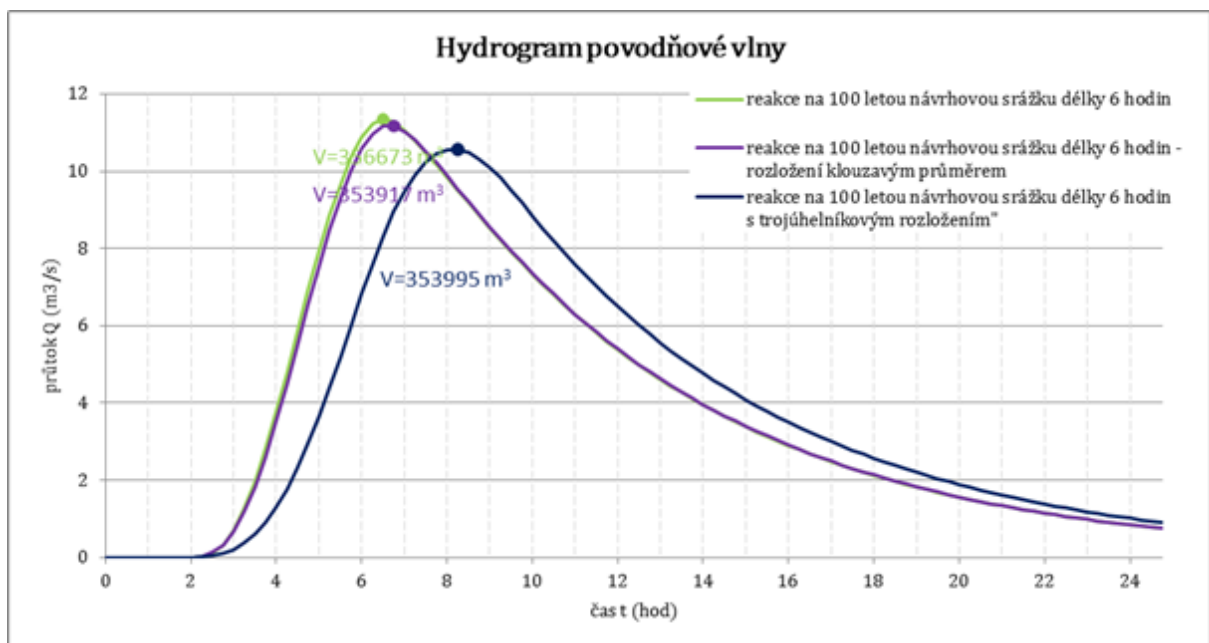
Druhá testovací oblast zasahovala horní tok Rokytky o rozloze 8.8 km² v místě křížení s komunikací č. 101. Cílem bylo porovnat hydrogramy při stoleté návrhové srážce o délce šest hodin při různých scénářích příčné srážky. Objem této šestihodinové srážky byl stanoven na 97,9 mm pomocí metody redukce 24-hodinového úhrnu podle Hrádka (Hrádek, Kovář, 1994). Vnitřní distribuce návrhové srážky byla převzata z metodiky CHMU (Kulasová, 2004), k tomuto rozložení byla pak vytvořena druhá srážka jako klouzavý průměr, tak aby došlo

k zhlazení tohoto průběhu a dále pak trojúhelník s maximem ve stejném čase jako u předchozích scénářů.



Obr. 9 Rozložení úhrnů do délky trvání srážky 6 hodin (pro potřeby simulace po 15 minutách).

Simulace byla provedena za předpokladu, že v jednotlivých hodinách je dešť konstantní v jednotlivých krocích o délce 15 min, odtok byl sledován po dobu 25 hodin.

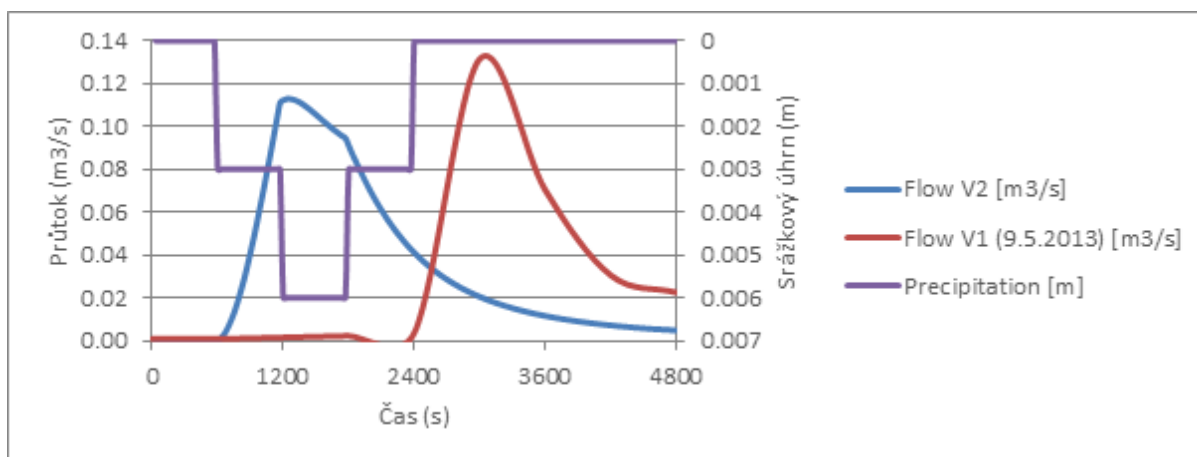


Obr. 10 Hydrogram povodňové vlny z modelu WMS profil lokality 1

Kulminační průtok nastane dle simulace pro návrhovou 100 letou srážkovou událost v čase 6,5 h od počátku návrhového deště, po rozložení klouzavým průměrem byl odtok ze sběrného území po 6 hodinové srážce téměř beze změny. Pokud by se rozložení úhrnů blížilo testovanému trojúhelníkovému rozložení se stejnou délkou trvání srážky a se stejným celkovým úhrnem, doba kulminace by nastala později než v předchozích variantách o cca jednu hodinu.

Povodí Konojedského potoka

Detailněji pak byl testován model SMODERP (v nové verzi se zahrnutím výpočtu odtoku v hydrografické síti) na povodí Konojedského potoka, kde se nachází druhé experimentální povodí ČVUT “Nučice”. Oblast se nachází ve středočeském kraji východně od Prahy. Povodí o rozloze 68,8 ha je umístěno severozápadně od obce Nučice. Území se nachází ve výšce 382 – 417 m n. m. Průměrný sklon je 3,9 %. Jedná se o relativně malé zemědělsky využívané povodí a jeho vybavení a provoz byl hrazen z jiných prostředků. Charakteristiky povodí a jeho vybavení více popisuje Zumr (2015). V prvním roce řešení byl pro toto povodí sestaven model a otestován na zaznamenané srážko-odtokové události z května 2013. I vzhledem k předchozímu nasycení vyvolala povrchový odtok příčinná srážka o úhrnu pouze 11,2 mm a době trvání 40 min. Reálná srážka měla jednoduchý průběh a téměř symetrické rozdělení srážky s maximální intenzitou uprostřed. Důsledkem této srážky byl odtok měřený na uzávěrovém profilu na Konojedském toku. Maximální kulminační průtok byl pak 131 l/s.



Obr. 11 Graf změřeného a modelovaného (SMODERP) odtoku na povodí Konojedského potoka, srážka 9. 5. 2015.

Z grafu (Obr. 11) je patrný rozdíl mezi měřeným (V1) a modelovaným (V2) průběhem průtoku. Tvar a objem odtoku se poměrně shoduje, v maximálním průtoku je shoda přes 80 %. Nicméně reakce povodí je v případě modelovaného odtoku rychlejší. V navazujícím řešení bude model dále testován a budou hodnoceny jeho kalibrační možnosti.

Z fyzikálních modelů byla také testována zkušební verze modelu MIKE-SHE na měřených datech z databáze pracoviště ČVUT, konkrétně na několika simulovaných srážkách na experimentální erozní ploše v povodí Býkovického potoka.

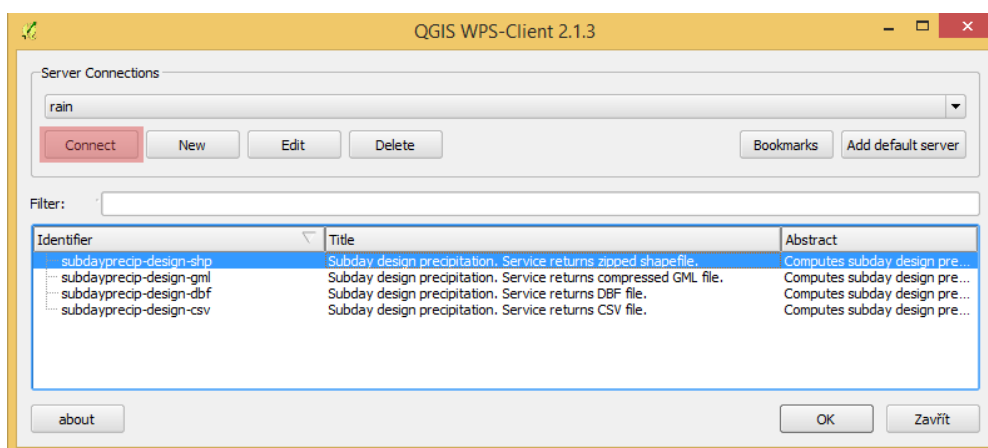
3.1.5. Testovací implementace mapového serveru

Od prvního roku řešení bylo přistoupeno k přípravě plánovaného poskytování návrhových srážkových dat pomocí vzdáleného zpracování na výpočetním serveru (jeden z výsledků

projektu). Takovéto řešení může být postaveno na více platformách, které používají buď otevřené OGC specifikace či uzavřené proprietární služby, viz kapitola 2.3. Pro účel projektu vznikla dvě serverová řešení kombinující obě výše zmíněné cesty. První provozovaný server je postaven na open source technologiích (OS Debian/GNU Linux, Apache, MapServer, GRASS GIS a PyWPS) a poskytuje služby dle specifikací OGC. Druhou provozovanou platformou je komerční ArcGIS Server vyvíjený firmou Esri. Narozdíl od první uvedené platformy ArcGIS Server používá vlastní způsob poskytování dat a jedná se v zásadě o uzavřený systém. Tento server je ovšem schopen poskytovat také službu WPS dle specifikace OGC.

Mapové servery pro účely testování poskytují dva typy služeb – Web Map Service (WMS) a Web Processing Service (WPS), resp. ArcGIS Geoprocessing Service . V případě WPS a ArcGIS Geoprocessing Service jde o typ výpočetních tzv. “geoprocessingových” služeb, které umožňují spuštění výpočtu klientem na straně vzdáleného serveru. Služby poskytované mapových serverem, tj. OGC WMS a WPS, jsou v současné době využity ve webové aplikaci navržené pro účely jejich dalšího testování.

Cílem bylo na serverech testovat reálné úlohy. Pro tento účel byly vytvořeny a jsou provozovány testovací WPS procesy založené na doposud používané metodě redukce denních úhrnů (viz kapitola 3.1.1.3.). Nástroj byl implementován jako modul `r.subdayprecip.design` do open source softwaru GRASS GIS, který je dále využit open source platformou testovacího mapového serveru. V rámci testování služby WMS jsou poskytovány datové vrstvy podkladové mapy srážkových úhrnů ve dvou souřadnicových systémech S-JTSK (EPSG 5514) a WGS-84 (EPSG 4326). Do budoucna tak byla ověřena možnost provozu těchto služeb řešitelským týmem. V následujícím období se předpokládá nahrazení těchto testovacích webových služeb, aplikací a vstupních datových vrstev v souladu s dalším řešením projektu.



Obr. 12 Ukázka přístupu ke službě WPS z prostředí desktopového GIS nástroje QGIS

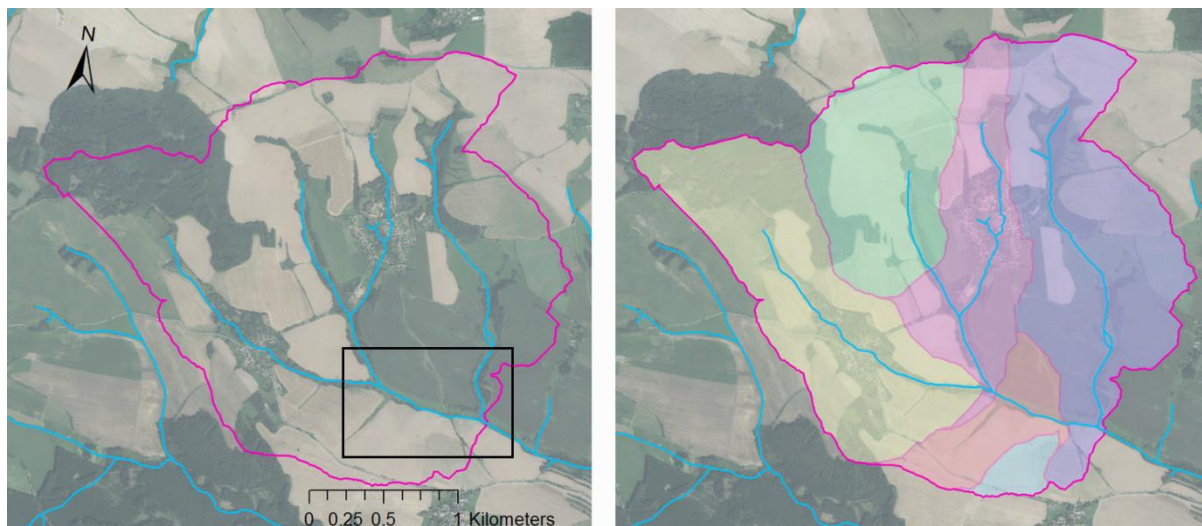
Kromě řešení vlastních mapových serverů byla také spuštěna webová stránka <http://rain.fsv.cvut.cz>, která je věnována průběhu řešení projektu a zároveň slouží jako rozcestník pro popis jednotlivých poskytovaných služeb.

3.1.6. Terénní měření

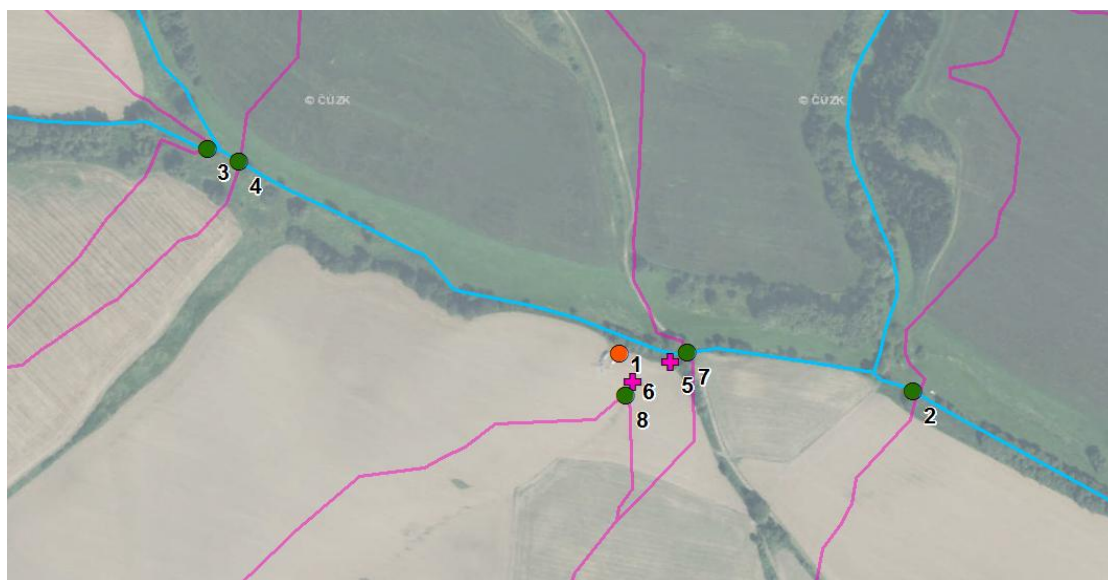
V projektu byla a i v následujícím období budou za účelem kalibrace a validace modelů využívána hydrologická a erozní data získaná v rámci předchozí činnosti pracoviště ČVUT na experimentálních povodích a pomocí dešťového simulátoru (DS). Podpora rozvoje výzkumné infrastruktury povodí a úpravy DS pro potřeby projektu byly předpokládány již v návrhu projektu. Činnosti byly směřovány především do stávajícího povodí Býkovického potoka. Původní i nově instalovaná měření jsou zobrazena níže na Obr. 13.

V povodí byl už dříve umístěn jeden měrný profil (povodím 6,3 km²) se srážkoměrem pro sledování srážkoodtokových vztahů (bod č. 2 na Obr. 14.). Dále jsou zde dlouhodobě umístěny erozní plochy (bod č. 1) pro sledování povrchových procesů, u kterých je umístěn druhý, kontrolní srážkoměr. Hydrologické měření bylo doplněno o další tři měrné profily v dílčích povodích s rozlohou 1,7 km² (bod č. 3), 3,8 km² (bod č. 4) a 4,4 km² (bod č. 7) a dva vrtů pro monitoring hladiny podzemní vody (body č. 5 a 6). Hladinové sondy a třetí srážkoměr byly poskytnuty od dalšího řešitele projektu SWECO Hydroprojekt a.s. Cílem měření na těchto dílčích povodích je sledování průtoků z ploch různých měřítek s cílem detailní analýzy hydrologických procesů.

Zahájeny byly přípravy pro monitoring povrchového odtoku z 13 ha velké části zemědělského pozemku definovaného výraznou údolnicí (bod č. 8), průtoků v drenážním systému u jednoho z vrtů pro monitoring HPV a průtoků v korytě Třebešického potoka se 1,1 km² povodím (bod č. 9 - mimo výřez obr. 13 - zelené povodí). Uvedená zařízení umožní v následujícím období detailní modelování tvorby odtoku z povodí a validaci testovaných modelů. Drenážní systém byl v roce 2015 při jediné významné erozní události zanesen sedimentem a existuje zde riziko, že obnova jeho funkce nebude již možná.



Obr. 13 Vlevo původní povodí k jedinému měrnému profilu na Býkovickém potoce a vyznačená oblast rozšiřování měřicí techniky - viz výřez níže. Vpravo plánovaný výsledný stav pozorovaných dílčích povodí.

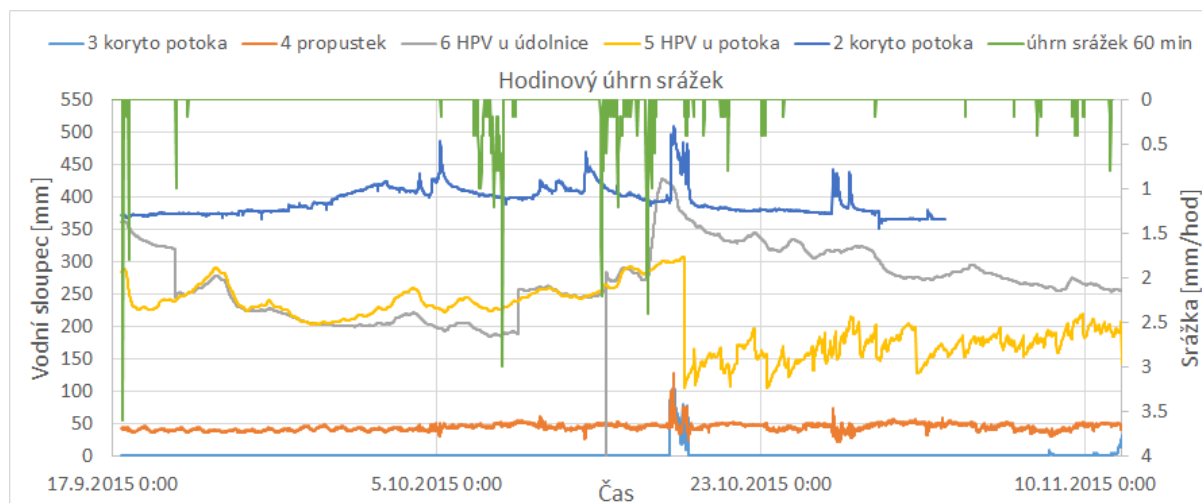


Obr. 14 Poloha původních i nově instalovaných měření na povodí Býkovického potoka. Popis zařízení a měřených veličin v Tab. 4. Plánovaný měrný profil č. 9 mimo výřez.

Tab. 4 Souhrn terénního měření v povodí Býkovického potoka. Poslední tři položky zatím v přípravě

Č.	Název	Měření	Popis
1	Erozní plochy (EP)	erozní smyv, srážkové úhrny	původní erozní plochy, měření povrchového a podpovrchového odtoku překlopným zařízením nebo tlakovou sondou, srážkoměr
2	Koryto potoka pod přítokem od Bukovce	hladina vody	původní měrný profil, tlaková sonda v boční šachtě, mm vodního sloupce
3	Koryto potoka nad Třebešickým p.	hladina vody	stabilizovaný profil, tlaková sonda ve dně, mm vodního sloupce
4	Koryto potoka pod Třebešickým p.	hladina vody	tlaková sonda v propustku, mm vodního sloupce
5	HPV u potoka	hladina podz. vody	tlaková sonda ve vrtu, mm vodního sloupce
6	HPV údolnice	hladina podz. vody	tlaková sonda ve vrtu, mm vodního sloupce
7	Koryto potoka pod EP (probíhá realizace)	hladina vody	ultrazvukové čidlo v propustku
8	Údolnice u EP (probíhá realizace)	hladina vody	tlaková sonda v lokální zdrži měrného přelivu
9	Koryto potoka nad r. Bandasem (probíhá realizace)	hladina vody	tlaková sonda

Následující graf (Obr. 15) uvádí příklady výstupů z měření v povodí Býkovického potoka. Představuje průběh dat naměřených osazenými čidly v lokalitách 2, 3 a 4 - zde se jedná o průběh výšky hladiny vody v potoce. Křivka 5 a 6 udává relativní změnu výšky hladiny vody ve studnách na měření hladiny podzemní vody. Úhrn hodinových srážek je znázorněn v převrácené hodnotě (na vedlejší ose). Data nebyla prozatím nijak ošetřena ani analyzována a jsou zde uvedena jako ukázka naměřených hodnot nově umístěných čidel. Z hlediska srážkových epizod se jedná o méně významné události.



Obr. 15 Průběh zaznamenaných neošetřených dat z čidel

3.2. Plánované aktivity na 2016

Pro druhý rok řešení projektu je plánováno sedm aktivit, které se vztahují k dílčím cílům celého projektu.. Dílčí cíle projektu shrnuje následující tabulka. Pouze cíl C003 má být dokončen v roce 2016, ostatní až v posledním roce řešení (2017)-

Tab. 5 Dílčí cíle projektu QJ1520265

Identifikace	Název dílčího cíle
C001	Vytvoření metodiky využití návrhových krátkodobých dešťů pro hydrologické a erozní modely při navrhování opatření pro retenci a odvádění povrchových vod v malých povodích
C002	Vytvoření aplikace mapového serveru a tematických map
C003	Vytvořit generalizované koncepční modely srážkových událostí
C004	Určit plošné rozdělení generalizovaných koncepčních modelů srážkových intenzit na území ČR
C005	Výběr reprezentativních prakticky orientovaných hydrologických a erozních modelů a následné provedení analýzy citlivosti jejich výstupů na přesnost návrhové srážky s ohledem na nejistoty dalších vstupů
C006	Určení a vyhodnocení základních charakteristik malých povodí v České republice
C007	Dopad zpřesněných základních návrhových parametrů povrchového odtoku z malých povodí na dimenzování vodohospodářských staveb
C008	Terénní měření, jejich vyhodnocení a porovnání s modelovanými hodnotami

3.2.1. A1601 Optimalizace mapových serverů

První rok řešení projektu ukázal, že poskytování webových služeb OGC WMS a především OGC WPS, která umožňuje provádět výpočty na straně serveru, je funkční. V druhém roce řešení projektu půjde především o optimalizaci uvedených mapových služeb u obou typů serveru (Open Source GIS řešení a technologie ArcGIS). Souběžný vývoj na obou platformách je plánován především z důvodů jejich možného porovnání (rychlostí zpracování dotazu, stability, atp.) a širšímu spektru uživatelů. Přichází zde také v úvahu možnost kombinovaného řešení využívajícího výhod obou přístupů. Činnost bude soustředěna na

implementaci obecných tvarů srážek (trojúhelník, lichoběžník, atp.) pro redukované denní úhrny. Dále se bude aktivita také věnovat umožnění certifikovaného přístupu k jednotlivým službám a na ochranu před útoky zveňčí. V souladu s dalšími aktivitami řešení projektu budou případně v testovacím režimu implementovány nové poznatky návrhových srážek.

3.2.2. A1602 Zobecnění průběhu intenzit při silných srážkách v ČR

V prvním roce vybrané sady 25 srážkových událostí v 38 lokalitách se synoptickými stanicemi budou v prvním pololetí druhého roku řešení zpracovány pomocí navržených parametrů vyjadřujících koncentraci a vývoj srážkových intenzit v průběhu srážek v dílčích časových krocích. Na základě hodnot těchto parametrů bude provedena jejich shluková analýza, přičemž bude testována vzájemná podmíněnost parametrů tak, aby došlo k separaci tvarů hyetogramů. Výsledkem budou generalizované koncepční modely srážkových událostí, které budou dále využity k regionalizaci ČR (aktivita A1603).

3.2.3. A1603 Zastoupení generalizovaných hyetogramů ve vybraných lokalitách ČR

Aktivita navazuje na výše uvedenou aktivitu A1602, data čerpá z dřívější aktivity A1501 (Processing a analýza srážkových dat). V rámci aktivity budou v 38 uzlových bodech se synoptickými stanicemi stanovena relativní zastoupení generalizovaných hyetogramů, a to v závislosti na úhrnech dosažených při srážkových událostech. Pro dané pixely tak bude v jednotlivých velikostních kategoriích srážkových událostí určena četnost výskytu jejich typů, což bude východiskem k určení dob jejich opakování. Zahájeny budou dále práce na zpracování celého území ČR co do výběru srážkových událostí, jejich časové analýzy a zastoupení generalizovaných hyetogramů, což v posledním roce řešení vyústí v regionalizaci ČR z tohoto hlediska.

3.2.4. A1604 Testování vlivu srážkových scénářů na výstupy vybraných hydrologických modelů s ohledem na variabilitu ostatních vstupů

V druhém roce řešení projektu bude zahájeno modelování dopadů typických scénářů krátkodobých srážkových událostí na území ČR, které budou vytvořeny v rámci cíle C003. Použity budou modely vybrané jako reprezentanti odlišných modelových přístupů v rámci předchozí aktivity A 1503 a aplikovány budou postupně na typická povodí vzešlá z klasifikace povodí IV. řádu prováděné v souběžné aktivitě A 1605. Cílem aktivity je vyhodnotit citlivostní analýzou dopady srážkových scénářů na modelované výstupy (objem odtoku, velikost a doba kulminace aj.). Kromě srážkových scénářů bude vyhodnocována i citlivost na další vstupní parametry s cílem určit podíl vlivu srážek na výsledné variabilitě výstupů. V rámci aktivity se předpokládá kalibrace a validace modelů na reálných srážko-

odtokových událostech a programovací práce směřující k automatizaci dávkového zpracování scénářů vstupních parametrů do vybraných modelů.

Výsledkem aktivity A 1604 bude systematický přehled dopadů srážkových scénářů a jejich podíl na celkové variabilitě výstupů z vybraných hydrologických a erozních modelů. U této aktivity se v roce 2016 sice předpokládá její značné rozpracování, ale finálně bude dokončena v roce 2017. Tento přehled bude sloužit jako vstup pro související aktivitu A1606 hodnotící dopady plynoucí z volby konkrétního modelovacího prostředku a srážkového scénáře na technické návrhy vodohospodářských opatření v krajině. Zároveň je výsledek této aktivity základním podkladem pro sestavení metodiky pro hydrologické návrhy těchto opatření - cíl C001.

3.2.5. A1605 Statistické vyhodnocení charakteristik malých povodí a určení jednotlivých typových povodí

Tato aktivita navazuje na aktivitu z roku 2015 A1502 Určení základních charakteristik povodí v České republice a zároveň je součástí dílčího cíle C006 Určení a vyhodnocení základních charakteristik malých povodí v České republice. Charakteristiky jednotlivých malých povodí budou statisticky vyhodnoceny a na základě tohoto vyhodnocení budou jednotlivá povodí rozčleněna podle reprezentativnosti do jednotlivých kategorií povodí. V těchto povodích pak budou vybrána konkrétní povodí, na kterých budou provedeny analýzy pomocí srážko-odtokových matematických modelů v rámci aktivity A1604, která je součástí dílčího cíle C005.

3.2.6. A1606 Identifikace typických vodohospodářských staveb s variantním určením jednotlivých dimenzí pro potřeby citlivostní

Tato aktivita A1606 je součástí dílčího cíle C007 – „Dopad zpřesněných základních návrhových parametrů povrchového odtoku z malých povodí na dimenzování vodohospodářských staveb“. V rámci aktivity budou vytipovány nejvýznamnější typy vodohospodářských a protierozních konstrukcí (opatření), které jsou navrhovány v malých povodích. Pro tyto stavby budou navrženy tak, aby zohledňovaly reálné podmínky a zároveň podrobnost jejich návrhu odpovídala potřebám pro zpřesnění návrhových parametrů pro jednotlivé uvažované hydrologické modely povrchového odtoku a zároveň, aby výsledky dimenzování jednotlivých staveb byly porovnatelné s parametry získanými na základě v současné době používaných výpočetních postupů odtoku z malých povodí. V rámci této aktivity proběhne rešerše způsobu dimenzování a navrhování typických vodohospodářských staveb v malém povodí v současnosti.

3.2.7. A1607 Měření v terénu

Tato aktivita je v souladu s cílem projektu C008 a navazuje na aktivitu A1503. V druhém roce řešení se jedná o pokračující údržbu a rozvoj experimentálního povodí Býkovice, kde v rámci terénního průzkumu z roku 2015 byly identifikovány ještě dva vhodné měrné profily. Předpokládá se dokončení monitoringu povrchového odtoku z části zemědělského pozemku definovaného výraznou údolnicí a instalace měření průtoku v drenážním systému, která je ohrožena výše zmíněným zanesením. Bude tak doplněna síť dat v různých měřících což v případě zachycení srážkové události umožní testování vybraných modelů (Aktivita A1604). Dále je v projektu plánován nákup a instalace dalšího srážkoměru do plochy povodí.

Kromě experimentálního povodí Býkovice je také v projektu plánována částečná údržba experimentálního povodí Nučice. Toto povodí je z větší části vybaveno a v projektu je předpokládána pravidelná údržba a kontrola.

Experimentální měření pomocí dešťového simulátoru je projektu plánováno jako doplněk vzhledem k nejistotám přirozených srážek. V rámci této aktivity je předpokládáno přeprogramování řídicí jednotky tak, aby umožňovala variabilní scénáře a jejich experimentální ověření.

4. Náklady za projekt celkem

Tab. 6 Náklady za projekt v roce 2015 v tisících Kč

1.5.3.1. Náklady za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Skutečnost
18. UZNANÉ NÁKLADY	tis. Kč	3 962	3 977
19. PŘÍMÉ NÁKLADY	tis. Kč	2 983	2 906
19.10 Osobní	tis. Kč	2 361	2 362
19.20 Pořízení HMM	tis. Kč	95	112
19.30 Pořízení NHMM	tis. Kč	155	143
19.40 Provoz a údržba HMM	tis. Kč	123	105
19.50 Služby	tis. Kč	71	52
19.60 Materiál	tis. Kč	55	45
19.70 Cestovné	tis. Kč	117	86
19.80 Specifické	tis. Kč	6	1
20. DOPLŇKOVÉ NÁKLADY	tis. Kč	979	994

1.5.3.2. Zdroje za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Skutečnost
MZE18. DOTACE Z MZe	tis. Kč	2 648	2 648
VRATKA18. Vrácení dotace	tis. Kč	0	0
MZE19.10. Osobní z MZe	tis. Kč	1 324	1 307
NZF18. CELKEM Z NZF	tis. Kč	1 314	1 329
OVZ18. CELKEM Z OVZ	tis. Kč	0	0

1.5.3.3. FUUP za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Skutečnost
30. PŘEVOD DO FUUP	tis. Kč	0	77
30. ČERPÁNÍ Z FUUP	tis. Kč		0

Tab. 7 Náklady za projekt v roce 2016 v tisících Kč

2.2.2.1. Náklady za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Výhled
18. UZNANÉ NÁKLADY	tis. Kč	3 961	4 038
19. PŘÍMÉ NÁKLADY	tis. Kč	2 983	3 060
19.10 Osobní	tis. Kč	2 370	2 384
19.20 Pořízení HMM	tis. Kč	61	97
19.30 Pořízení NHMM	tis. Kč	100	104
19.40 Provoz a údržba HMM	tis. Kč	123	129
19.50 Služby	tis. Kč	96	109
19.60 Materiál	tis. Kč	52	52
19.70 Cestovné	tis. Kč	172	176
19.80 Specifické	tis. Kč	9	9
20. DOPLŇKOVÉ NÁKLADY	tis. Kč	978	978

2.2.2.2. Zdroje za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Výhled
MZE18. DOTACE Z MZe	tis. Kč	2 650	2 650
VRATKA18. Vrácení dotace	tis. Kč	0	0
MZE19.10. Osobní z MZe	tis. Kč	1 323	1 323
NZF18. CELKEM Z NZF	tis. Kč	1 311	1 311
OVZ18. CELKEM Z OVZ	tis. Kč	0	0

2.2.2.3. Fuup za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Výhled
30. ČERPÁNÍ Z FUUP	tis. Kč		77

Rozdíl mezi schválenou částkou a výhledem je tvořen převodem prostředku do Fondu účelově určených prostředků (FÚUP). Celkové uznané náklady projektu za celé období řešení jsou 13 040 tis. Kč.

5. Literatura

BLIŽNÁK, V., KAŠPAR, M., MÜLLER, M., 2015: Comparison between radar derived precipitation estimates and rain gauge data in a sub-daily resolution. In: Molnar, P. and Peleg, N. (Eds.), Rainfall in urban and natural systems. Proceedings of the 10th International Workshop on Precipitation in Urban Areas (UrbanRain15), Pontresina, 1-5 December 2015 (Paper UR15-02). ETH-Zürich, Institute of Environmental Engineering, doi: 10.3929/ethz-a-010549004.

BRÁZDIL, R., DOBROVOLNÝ, P., ELLEDER, L., KAKOS, V., KOTYZA, O., KVĚTOŇ, V., MACKOVÁ, J., MÜLLER, M., ŠTEKL, J., TOLASZ, R., VALÁŠEK, H., 2005: Historické a současné povodně v České republice. Masarykova univerzita a ČHMÚ, Brno a Praha, 370 s.

HRÁDEK, F a P KOVÁŘ. Výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů. Vodní hospodářství. roč. 11, s. 49, 1994, ISSN 1211-0760.

KYSELÝ, J., GAÁL, L., Pícek, J., 2011: Comparison of regional and at-site approaches to modelling probabilities of heavy precipitation, International Journal of Climatology, 31, 10, pp. 1457-1472.

MÜLLER, M., KAŠPAR, M., BLIŽNÁK, V., KAVKA, P., 2015: Precipitation intensity during heavy rains in various altitudes. In: Molnar, P. and Peleg, N. (Eds.), Rainfall in urban and natural systems. Proceedings of the 10th International Workshop on Precipitation in Urban Areas (UrbanRain15), Pontresina, 1-5 December 2015 (Paper UR15-44). ETH-Zürich, Institute of Environmental Engineering, doi: 10.3929/ethz-a-010549004.

SOKOL, Z., 2003: The Use of Radar and Gauge Measurements to Estimate Areal Precipitation for Several Czech River Basins. Studia Geophysica et Geodaetica, 47, 587-604.

SOKOL, Z., BLIŽNÁK, V., 2009. Areal distribution and precipitation-altitude relationship of heavy short-term precipitation in the Czech Republic in the warm part of the year. Atmos. Res., 94, 652-662.

TRUPL, J., 1958: Intenzity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. Práce a studie Výzkumného ústavu vodohospodářského, sešit 97, 76 s.

MŽP ČR. Věstník Ministerstva životního prostředí XVIII/11 [online]. Praha: MŽP ČR, 11/2008 [cit. 01/2016]. ISSN (tištěná verze) 0862-9013. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/>

JANEČEK, M. a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí- - Metodika. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2007, ISBN 978-80-254-0973-2.

DOS T 04.02.01.002. Hrazení bystřin. Praha: Informační centrum ČKAIT, 12/1998.

DOS T 3.17. Protierozní ochrana. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2000.

DOS T 4.06. Hydrologické výpočty v protierozní ochraně půdy. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2001, ISBN: 80-86364-40-2.

ČSN 75 1400. Hydrologické údaje povrchových vod. Praha: ÚNMZ, 2014.

ČSN 75 2935. Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních. Praha: ÚNMZ, 2014.

JANEČEK, M. a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí- - Metodika. Praha: Česká zemědělská univerzita Praha, 2012, roč. 1. ISSN 978-80-87415-42-9.

JENÍČEK M., Hydrografie povodí, 2011. Přírodovědecká fakulta UK, Praha.

KULASOVÁ, B. a kol. Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. Praha : Český hydrometeorologický ústav, 2004

KAŠPÁREK L. a kol., Hodnocení a modelování srážko-odtokových vlastností povodí, 2000, Výzkumná zpráva. VÚV T.G.M., Praha.

KAŠPÁREK L., Krátká M., Analýza vlivu fyzicko-geografických charakteristik na tvorbu povodňového odtoku a sestavení publikace o povodni 2002, 2004, Výzkumná zpráva VaV-SK/650/1/04. VÚV T.G.M., Praha.

KAŠPÁREK, L.; Shrnutí poznatků o vlivu fyzicko-geografických charakteristik povodí na základní charakteristiky průtoků. In Blažková, Š. Vybrané výsledky projektu Labe IV 2003–2006, Hydrologická tematika se zaměřením na retenci vody v povodí. ČSVTS, Praha, s. 2–9.

ZUMR, D. - DOSTÁL, T. - DEVÁTÝ, J.: Identification of prevailing storm runoff generation mechanisms in an intensively cultivated catchment. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2015, vol. 63, no. 3, p. 246-254. ISSN 0042-790X.

ŠERCL P. (2009): Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln. Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu. Praha.

6. Dosažené výsledky

V roce 2015 byl plánován jeden výsledek (typu O) hodnotitelný v RIV. Nad rámec tohoto plánu byly vzhledem k dosaženým výsledkům při testování a zpracovávání dat prezentovány výstupy řešení na odborných konferencích. Byly proto dosaženy následující výsledky:

Typ	Název a popis
O	<p>Martin Landa, Petr Kavka, and Ludek Strouhal. A GIS Tool for Reduction Day Precipitation to Subday. In Geomatics WorkBooks 12, page 725, 2015. ISSN 1591-092X.</p> <p>Prezentace vývoje nástroje systému GRASS r.subdayprecip.design pro vyčíslení návrhové srážky pro zadanou lokalitu a především navazující webové geoprocessingové OGC služby WPS implementované a provozované v rámci projektu.</p>
O	<p>Kavka, P., Landa, M., Strouhal, L.: Využití GIS pro geostatistické zpracování srážkových podkladů. In Sborník workshopu RPAS a SVK, Telč 2015. 2015, ISBN 978-80-01-05828-2.</p> <p>Představení části probíhajících aktivit na projekt. Příspěvek je zaměřen na GIS zpracování v současné době dostupných a v hydrologické praxi používaných datech a jejich využití v projektu.</p>
D	<p>Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M., 2015. Comparison between radar derived precipitation estimates and rain gauge data in a sub-daily resolution. In: Molnar, P. and Peleg, N. (Eds.), Rainfall in urban and natural systems. Proceedings of the 10th International Workshop on Precipitation in Urban Areas (UrbanRain15), Pontresina, 1-5 December 2015 (Paper UR15-02). ETH-Zürich, Institute of Environmental Engineering, doi: 10.3929/ethz-a-010549004.</p> <p>Prezentace první části aktivity A1501, spočívající v sestavení databáze krátkodobých srážkových intenzit a jejich akumulací v čase na základě radarové odrazivosti CAPPI 2km a denních úhrnů srážek na srážkoměrných stanicích. Prezentováno bylo porovnání s daty z automatického srážkoměru pro čtyři vybrané stanice.</p>
D	<p>Müller, M., Kašpar, M., Bližňák, V., Kavka, P., 2015: Precipitation intensity during heavy rains in various altitudes. In: Molnar, P. and Peleg, N. (Eds.), Rainfall in urban</p>

<p>and natural systems. Proceedings of the 10th International Workshop on Precipitation in Urban Areas (UrbanRain15), Pontresina, 1-5 December 2015 (Paper UR15-44). ETH-Zürich, Institute of Environmental Engineering, doi: 10.3929/ethz-a-010549004.</p> <p>Prezentace druhé části aktivity A1501, kdy pro čtyři uzlové body v různých nadmořských výškách byl analyzován časový průběh srážkových intenzit při deseti nejvýznamnějších událostech.</p>
--

7. Popis uplatnění

Získané poznatky budou uplatněny v dalších letech řešení projektu.

8. Seznam zkratek

CAPPI ... Constant Altitude Plan Position Indicator (radarová odrazivost na konstantní elevační hladině)

ČHMÚ ... Český hydrometeorologický ústav

ČKAIT ... Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků

GIS ... Geografický informační systém

MUSLE ... Modified Universal Soil Loss Equation

MŽP ... Ministerstvo životního prostředí ČR

OGC ... Open Geospatial Consortium

RUSLE ... Revised Universal Soil Loss Equation

USLE ... Universal Soil Loss Equation

ÚNMZ ... Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

SCS - CN ... Soil conservation service - Curve number

WCS ... Web Coverage Service

WFS ... Web Feature Service

WMS ... Web Map Service

WPS ... Web Processing Service