

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ**

**Katedra hydrauliky a hydrologie**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Využití srážkových rastrových dat při hydrologickém  
modelování urbanizovaných povodí**

**Using of spatially distributed rainfall data in urban  
hydrological modelling**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vojtěch Bareš, Ph.D.

leden 2020

Bc. Markéta Blovká

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně, bez cizí pomoci s výjimkou poskytnutých konzultací a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT č. 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze dne .....

.....

Markéta Blovká

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Vojtěchu Barešovi, Ph.D., který mě vedl a poskytoval mi potřebné rady, poděkování rovněž patří Ing. Martinu Fenclovi, Ph.D. Děkuji také společnosti Pražská vodohospodářská společnost a.s. a Pražské vodovody a kanalizace a.s. za poskytnutí všech potřebných dat. Za technickou podporu děkuji Ing. Milanu Suchánkovi a Ing. Martinu Havlíčkovi. Velké poděkování patří mé rodině a přátelům, kteří mě morálně podporovali nejen při psaní diplomové práce, ale během celého mého studia.

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Blovská Jméno: Markéta Osobní číslo: 439137  
Zadávací katedra: Katedra hydrauliky a hydrologie  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Využití srážkových rastrových dat při hydrologickém modelování urbanizovaných povodí

Název diplomové práce anglicky: Using of spatially distributed rainfall data in urban hydrology modelling

Pokyny pro vypracování:

Cílem diplomové práce je zhodnotit a posoudit využití srážkových rastrových produktů pro hydrologické modelování urbanizovaných povodí. Studentka bude data posuzovat pomocí srovnání modelovaných a měřených odtoků na 2 povodích pražské stokové sítě. V rámci diplomové práce studentka vybere a zpracuje vstupní srážková data ze tří základních zdrojů v období 2014-2017, kterými jsou data ze stále srážkoměrné sítě HMP, z meteorologického radaru ČHMÚ a ze sítě mikrovláknových spojů společnosti T-Mobile.

Pro vybrané srážkové události budou data z uvedených zdrojů použita jako vstupy do kalibrovaného srážkoodtokového modelu v prostředí MIKE Urban a následně vyhodnocena a zpracována. Předpokládá se, že pro každý zdroj dat bude nasimulována řada variant s rozdílným časoprostorovým rozlišením, aby bylo možné vyvodit závěry a doporučení pro využití rastrových produktů.

Seznam doporučené literatury:

poskytnutá anglická odborná literatura a další doporučené tuzemské zdroje

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Vojtěch Bareš, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 27.9.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Abstrakt

Modelování srážkoodtokových procesů na urbanizovaných povodích je obor, kterému se odborníci věnují desítky let. S novými technickými a technologickými pokroky se otevírají nové možnosti nejen co se týče samotného měření srážek, ale rovněž jejich aplikace. Cílem této práce je otestovat využití srážkových rastrových produktů při modelování srážkoodtokových procesů na urbanizovaných povodích a následně porovnat výstupy ze simulačního modelu. Pro obdržené modely dvou povodí pražské stokové sítě, povodí kmenových stok E a F a povodí Solidarita, byly v modelovacím softwaru simulovány vybrané události. Pro každou událost byla simulace spuštěna celkem třikrát, vždy s jinými vstupními daty o srážkách. Prvními vstupními daty o srážkách byla data ze srážkoměrných stanic, na která jsou modely kalibrovány a verifikovány. Tyto simulace sloužily především pro otestování simulačního modelu a možnost porovnání s dalšími daty. Dalšími vstupními daty byla rastrová data v podobě radarových měření a měření srážek pomocí mikrovlnných spojů. Rastrová data při modelování srážkoodtokových procesů vykázala dobré výsledky, přestože byly modely kalibrovány na data ze srážkoměrů. Vzniklé chyby byly z velké části způsobeny nejistotami v měření srážek, kdy zejména vyšší intenzity srážek byly podhodnoceny. Při hodnocení funkce odlehčovacích komor byl patrný vztah mezi přepadlými objemy na odlehčovacích komorách a prostorovou variabilitou srážky nad povodím.

## Klíčová slova

srážková data, rastrová data, městské odvodnění, srážkoodtokové procesy, modelovací software

## **Abstract**

Modeling of rainfall-runoff processes on urban catchments is a discipline which has been dealt by many experts for decades. New possibilities are arising with new technical and technological advance not only in terms of rainfall measurements themselves but also of their application. The aim of this thesis is to test the use of gridded rainfall products in modeling of rainfall-runoff processes on urban catchments and then to compare the outputs from the simulation model. The selected events were simulated in the modeling software for received models of two catchments of the Prague sewer network, catchment of main sewers E and F and catchment Solidarita. The simulation was run three times for each event, always with different input rainfall data. The first rainfall data were data from rain gauges, which are the models calibrated and verified on. These simulations were mainly used for testing the simulation model and for the possibility of comparison with other data. Other input rainfall data were gridded data, in form of radar measurements and measurements by microwave links. The gridded data in rainfall-runoff modeling showed good results even though the models were calibrated for the data from rain gauges. The errors were mainly caused by uncertainties in rainfall measurements, especially higher rainfall intensities were underestimated. During the evaluation the function of combined sewer overflow (CSO) chambers a relation between the overflow volumes on CSO chambers and the spatially rainfall variability was noticeable.

## **Keywords**

rainfall data, gridded data, urban drainage, rainfall-runoff processes, modeling software

## Obsah

1	Úvod .....	8
2	Literární rešerše .....	10
2.1	Modelování srážkoodtokových procesů .....	10
2.2	Srážková data .....	12
2.2.1	Srážkoměrná pozorování .....	13
2.2.1.1	Váhový srážkoměr .....	13
2.2.1.2	Člunkové srážkoměry .....	13
2.2.1.3	Stálá pražská srážkoměrná síť .....	15
2.2.2	Radarová měření .....	17
2.2.2.1	Základní princip a typy radarů .....	17
2.2.2.2	Radarová síť CZRAD .....	21
2.2.3	Mikrovlnné spoje .....	23
2.2.3.1	Základní princip .....	24
2.2.3.2	Mikrovlnné spoje v České republice .....	25
3	Materiál a metody .....	26
3.1	Vybraná povodí .....	26
3.1.1	Povodí EF .....	26
3.1.2	Povodí Solidarita .....	29
3.2	Programy MIKE Powered by DHI .....	32
3.3	Příprava vstupních srážkových dat .....	34
3.3.1	Výběr srážkových událostí .....	34
3.3.2	Příprava srážkoměrných dat .....	36
3.3.3	Příprava radarových dat .....	37
3.3.4	Příprava mikrovlnných dat .....	39
3.4	Příprava a nastavení modelů .....	41
3.5	Proces simulace .....	42
4	Analýza výsledků .....	44
4.1	Zvolené statistické veličiny .....	44
4.2	Výsledky a diskuze .....	46
4.2.1	Průměrné plošné úhrny .....	47
4.2.2	Povodí EF .....	50

4.2.3	Povodí Solidarita.....	62
4.2.4	Diskuze .....	68
5	Závěr .....	69
6	Literatura .....	70
7	Seznam příloh .....	74
8	Seznam obrázků .....	74
9	Seznam grafů .....	74
10	Seznam tabulek.....	75
	Přílohy .....	77



# 1 Úvod

Srážky jsou hlavním pohonem všech hydrologických procesů na Zemi. Zejména v dnešní době jsou kladeny větší požadavky na jejich měření a předpověď, nejen co se týká kvality nebo podrobnosti dat, ale i zachycení časoprostorové variability srážkových událostí. Všechny tyto požadavky jsou zvláště důležité na urbanizovaných povodích.

Městská hydrologie je specifickým odvětvím hydrologie. Procesy v klasické hydrologii, tj. v přirozeném prostředí, jsou pomalé, některé i v řádech dnů a měsíců. Naopak hydrologie v městském prostředí je výrazně rychlejší, v řádu minut. Srážky, které dopadají na urbanizované povodí, vytváří větší a rychlejší odtok. Tento jev je způsoben velkým podílem zastavěných a zpevněných ploch, které snižují možnost infiltrace vod. Dalším rozdílem je i prostorové měřítko povodí, rozloha běžných městských povodí se pohybuje v řádu jednotek či desítek km<sup>2</sup>. Naopak rozloha povodí v extravilánu je výrazně větší, v řádech desítek až stovek km<sup>2</sup>. Všechna tato fakta popisující rozdílné chování vody v městském prostředí, vyúsťují i k rozlišným požadavkům na samotná srážková data. [1, 2]

Srážková data mohou pocházet z různých zdrojů, které fungují na různých principech přímého či nepřímého měření intenzity srážek. Tyto zdroje také odlišně zachycují časoprostorovou proměnnost srážek. Srážkoměrné stanice poskytují přímé, souvislé bodové měření srážek zpravidla v minutových krocích, kdy prostorová informace o srážce je získávána plošnou interpolací mezi jednotlivými srážkoměry. Naopak radarová data jsou nepřímá měření, avšak s detailní informací o prostorovém uspořádání srážky. Radarová jsou dostupná v 5-10minutových intervalech, což je pro městské odvodnění nevýhodné. Netradiční možností měření srážek je rekonstrukce dat z mikrovlnných spojů. Tato měření jsou stejně jako radary schopna zachytit časoprostorovou variabilitu srážek, ale v nižších hladinách nad terénem.

Data z mikrovlnných spojů a jejich využitelnost již byly několikrát zkoumány v rámci řady článků a závěrečných prací [3, 4, 5]. Nicméně všechny práce se tímto

tématem zabývaly v malém měřítku, vždy se zaměřením na určitou část procesu práce s daty.

Cílem této diplomové práce je otestovat modelovací software při využití vstupních srážkových dat v podobě rastrových produktů, tj. data z radarových měření a data z mikrovlnných spojů. Simulace jsou prováděny pro konkrétní srážkové události.

Dalším cílem je porovnat výstupy z hydrodynamického modelu s reálně měřenými průtoky na dostupných měrných profilech.

## 2 Literární rešerše

V této kapitole jsou prvně popsány základní principy modelování srážkoodtokových procesů na urbanizovaných povodích. V následujících částech jsou představeny všechny zdroje srážkových dat, které jsou využity při modelování srážkoodtokových procesů.

### 2.1 Modelování srážkoodtokových procesů

Tvorba modelů stokových a dalších systémů odvodnění v obcích zahrnuje složitý a komplexní popis srážkoodtokových procesů na urbanizovaném povodí, které vykazují odlišné chování než srážkoodtokové procesy v extravilánu. V extravilánu k hlavním procesům patří infiltrace, výpar a podpovrchová retence, naopak v městském povodí je hlavní složkou přímý odtok [1].

V rámci modelování jsou využívány dva matematické modely. První je hydrologický model, který simuluje vlastní srážkoodtokové procesy. Tento model přeměňuje vstupní data v podobě srážkových dat na hodnoty povrchového odtoku. Druhý je model hydrodynamický, který simuluje odtok stokovou sítí. Pro výpočty jsou využity St. Venantovy rovnice, které jsou využitelné za určitých předpokladů: proudění je jednorozměrné, voda je nestlačitelná a homogenní, sklon potrubí je malý, rychlost je rovnoměrně rozdělena v průřezu atd. [6]

Při modelování povrchového odtoku z urbanizovaného povodí je možné využít různé hydrologické modely – metodu izochron, kinematickou vlnu, lineární rezervoár nebo jednotkový hydrogram. [7]

#### **Metoda izochron**

Metoda izochron je jednoduchý model s minimálními požadavky na systémová data. Povodí je rozděleno izochronami na plochy se stejnou dobou dotoku do uzávěrového profilu povodí. [8]

Potřebnými systémovými daty jsou podíl nepropustných ploch na povodí a sada atributů popisující jednotlivá povodí, tj. doba koncentrace, počáteční ztráta, redukční faktor a tzv. time-area curve, která se mění dle tvaru dílčích povodí.

### **Kinematická vlna**

Model využívající kinematickou vlnu má středně velké požadavky na data. Modelování odtoku je založeno na komplexním zpracování ztrát a výpočtu pomocí vzorce pro kinematickou vlnu, který počítá odtok z povodí jako průtok vody otevřeným korytem, kde jedinými působícími silami je síla gravitační a třecí síly [7]. Potřebnými systémovými daty jsou délka povodí, sklon povodí a sada parametrů blíže specifikující jednotlivá dílčí povodí [8].

### **Lineární rezervoár**

Princip lineárního rezervoáru je odvozen z rovnice kontinuity, kde změna zásoby je dána rozdílem přítoku a odtoku do rezervoáru [7].

V rámci modelování je lineární rezervoár metoda s minimálními požadavky na data. V rámci modelu jsou zpracovány veškeré ztráty na povodí a výpočet odtoku je proveden principem lineárního rezervoáru. Velikost odtoku je dána počátečními ztrátami, velikostí plochy podílející se na odtoku a ztrátami infiltrací. [8]

### **Jednotkový hydrogram**

Jednotkový hydrogram je odezva na jednotkový pulz o trvání  $\Delta t$  a intenzitě  $1/\Delta t$ . Platí principy superpozice a proporcionality [7].

Systémovými daty potřebnými pro výpočet metodou jednotkového hydrogramu jsou velikost plochy podílející se na odtoku a sklon povodí.

Veškeré sestavené matematické modely je nutné před dalším využitím zkalibrovat a verifikovat na reálných dešťových srážkách [1].

Vytvořený zkalibrovaný model urbanizovaného povodí umožňuje posouzení současného nebo výhledového stavu stokového systému. Také umožňuje simulaci plánovaných opatření a jejich dopad na celý systém. Model může být využit i pro řízení v reálném čase a předpověď krizových stavů. K řízení stokové sítě v reálném čase je nutné měření srážek s okamžitým přenosem dat do modelu, který na základě těchto dat počítá očekávaný odtok z povodí. Pro měření mohou být využívány jak bodová měření ze srážkoměrných stanic, tak i radarová měření. [2]

## 2.2 Srážková data

Srážky a jejich měření jsou nedílnou součástí městské hydrologie. Srážková data jsou nejdůležitější vstupní informací pro veškeré výpočty povrchového odtoku a návrh či posouzení stokových systémů.

V rámci městského odvodnění se rozlišuje několik základních typů srážkových dat. Prvními jsou čáry náhradních intenzit, které se využívají již od 50. let 20. století a statisticky vyhodnocují historické srážkové řady [2]. Pomocí čar náhradních intenzit jsou dále odvozeny modelové deště – tzv. blokový déšť a syntetický déšť. Blokový déšť je modelový déšť, který v určitém časovém intervalu nerozlišuje intenzitu srážky, tzn. intenzita je po celou dobu zvoleného intervalu neměnná. Naopak syntetický déšť má proměnnou intenzitu srážky a měl by eliminovat nedostatky blokového deště. Typickým příkladem je tzv. Šifaldův syntetický déšť, který dělí srážku na tři intervaly, jejichž délky jsou určovány na základě doby trvání  $T$  čar náhradních intenzit. Dalším typem srážkových dat jsou záznamy reálných srážkových událostí nebo historické řady. Historické řady jsou záznamy veškerých srážek, které se vyskytly za určité období, naopak záznamy reálných srážkových událostí, jak již název napovídá, jsou záznamy určité časově ohraničené srážkové události, která vyvolá jednu odtokovou událost. Všechna tato srážková data jsou využívána pro rozličné úlohy při městském odvodnění. V rámci plánovacích a projektových úloh (návrh a posudek stokové sítě, retenčních nádrží, odlehčovacích komor a dalších objektů) se využívají, jak historické deště, tak modelové deště. Naopak při úlohách provozních, popř. řízení v reálném čase jsou jedinými využitelnými daty měřené historické řady. Při těchto úlohách se mohou uplatnit i radarová měření. Radarová data, na rozdíl od měření na srážkoměrných stanicích, lépe popisují časoprostorovou informaci o srážce a umožňují i předpověď jejího dalšího průběhu nad povodím. V rámci této práce byly využity pouze reálně naměřené dešťové řady, ze kterých byly vybrány časově ohraničené srážkové události. [1, 2]

Mezi tradiční měření srážek patří srážkoměrná pozorování a radarová měření. V současné době se experimentuje s netradičními měřeními, např. s měřením srážek

pomocí mikrovlnných spojů. Všechna tato měření zaznamenávají srážky odlišným způsobem. Každý zdroj srážkové informace má tedy pro určité úlohy své výhody i nevýhody.

### 2.2.1 Srážkoměrná pozorování

Srážkoměrné stanice poskytují bodové měření srážek. S měřením srážek se dle nalezených záznamů se srážkovými úhrny začalo již v antickém Řecku. Nejstarším pravidelným pozorováním srážek na českém území jsou měření z observatoře v pražském Klementinu, která zde probíhají již od roku 1752. Použitelné srážkové řady jsou nicméně k dispozici až od přelomu 19. a 20. století. [2]

Srážkoměrné stanice mohou vytvářet na daném území síť, která je schopna v určité míře zachytit prostorovou variabilitu deště. Pro kvalitní zachycení prostorové variability deště je potřeba poměrně hustá síť srážkoměrů. [1]

Nejvíce využívaným přístrojem pro měření srážek v ČR byl do 90. let minulého století ombrograf. V současné době jsou pro účely městského odvodnění nejvíce využívanými typy srážkoměrů člunkové a váhové, které zajišťují přímé bodové měření srážek. [2]

#### 2.2.1.1 Váhový srážkoměr

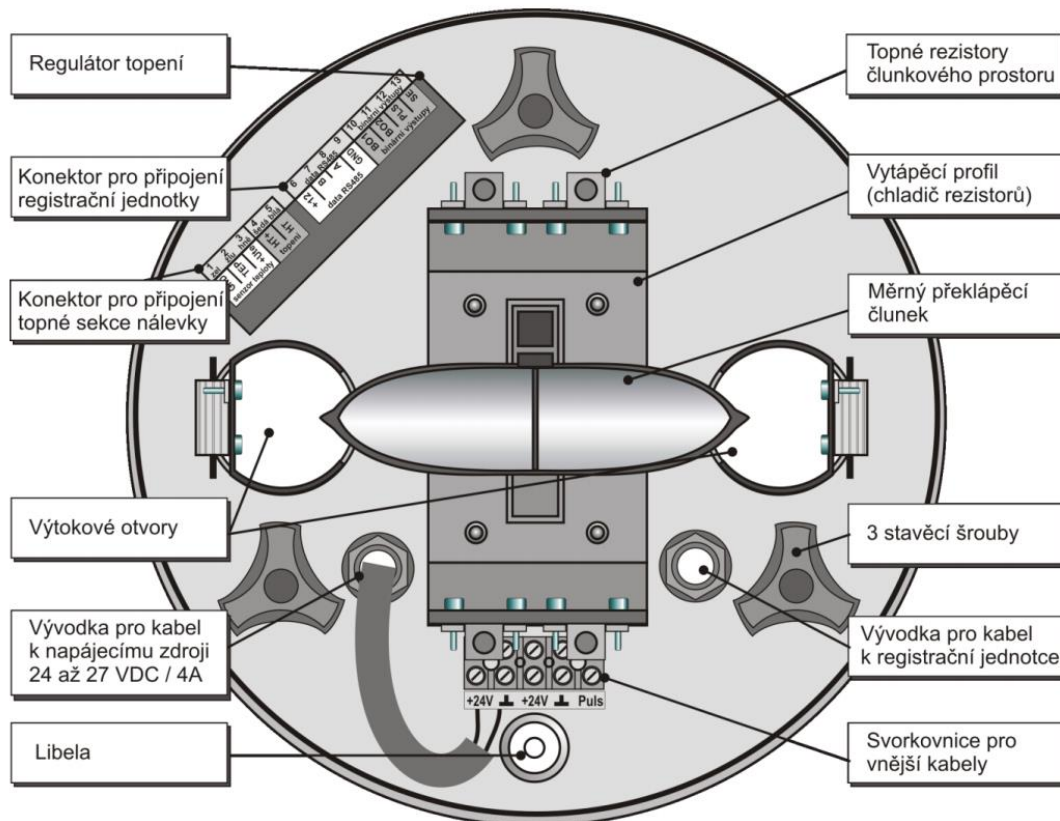
Váhový srážkoměr je tvořen velmi přesnými elektronickými váhami. Váhy zaznamenávají změnu hmotnosti v nádobce s přesností na 0,1 g, tj. 0,01 mm. Jejich výhodou je vysoká citlivost měření, na druhou stranu mohou být měření ovlivněna větrem, výparem nebo nečistotami v nádobce. [2]

#### 2.2.1.2 Člunkové srážkoměry

Člunkový srážkoměr je tvořen tzv. překlopným člunkem a trychtýřem o zachytné ploše 200 nebo 500 cm<sup>2</sup>. Překlopný člunek se skládá ze dvou nádobek. Při naplnění první nádoby se člunek převáží a plní se druhá nádoba, která se po naplnění opět překlopí. Každé překlopení člunku vyjadřuje určitý zachycený objem vody. Po následném přepočtu přes zachytnou plochu je vyjádřen úhrn srážek.

Srážkoměr může být vybaven i vyhříváním tak, aby umožňoval měření i pevných srážek v podobě sněhových vloček nebo krup. [2]

Překlopný člunkový srážkoměr je současně nejvyužívanějším typem srážkoměru v městském povodí [2]. Na území hl. města Prahy tvoří stálou srážkoměrnou síť člunkové srážkoměry typ SR03RD-V [9] (viz Obrázek 1).



Obrázek 1: Základna překlopného člunkového srážkoměru s vytápěním [10]

### 2.2.1.2.1 Srážkoměr SR03RD-V

Srážkoměr SR03RD-V od společnosti Fiedler je využíván k měření srážek na území hl. města Prahy. Srážkoměry SR03RD-V se od základních verzí liší způsobem kalibrace a vyhříváním. Tento typ srážkoměrů má vlastní registrační jednotku, která využívá různé kalibrační konstanty pro různé intenzity srážek a tím dosahuje větší přesnosti. K vyhřívání srážkoměrů se využívá dvojitý modul odděleného vyhřívání vnitřního prostoru a nálevky, čímž se minimalizuje odpar a je optimalizováno rozechřívání sněhu. [9, 10, 11]

Srážkoměry mají zachytnou plochu 500 cm<sup>2</sup>. Počty překlopení člunku zaznamenává registrační jednotka v minutových intervalech. U tohoto modelu je možné nastavit dobu po skončení srážky, kdy bude jednotka stále zaznamenávat v minutových intervalech. Po uplynutí této doby je záznam prováděn po hodině včetně dalších údajů jako teplota vzduchu, teplota vody, vlhkost vzduchu atd. Pro pražské srážkoměry je tato doba nastavena na 30 minut po skončení srážky. Pro porovnání základních typů srážkoměrů, které vyrábí společnost Fiedler jsou v Tabulce 1 znázorněny parametry jednotlivých přístrojů. [9, 11]

Tabulka 1: Technické parametry základních typů srážkoměrů Fiedler [9, 11]

Typ	SR02	SR03	SR03RD-V
Záchytná plocha	200 cm <sup>2</sup>	500 cm <sup>2</sup>	500 cm <sup>2</sup>
Citlivost	0.2 mm/puls	0.1 mm/puls	0.1 mm/puls
Chyba pulsu	<0.03 mm	<0.02 mm	<0.02 mm
Teplotní rozsah	0 °C ... + 60 °C	0 °C ... + 60 °C	-30 °C ... + 60 °C
Registrace srážek	-	-	ANO
Registrace teplot	-	-	ANO
Vyhřívání	-	-	ANO dvojitá regulace
Napájení	-	-	24 až 28 V DC
Hmotnost	1.9 kg	4.3 kg	4.6 kg
Průměr	180 mm	276 mm	276 mm
Výška	270 mm	345 mm	345 mm

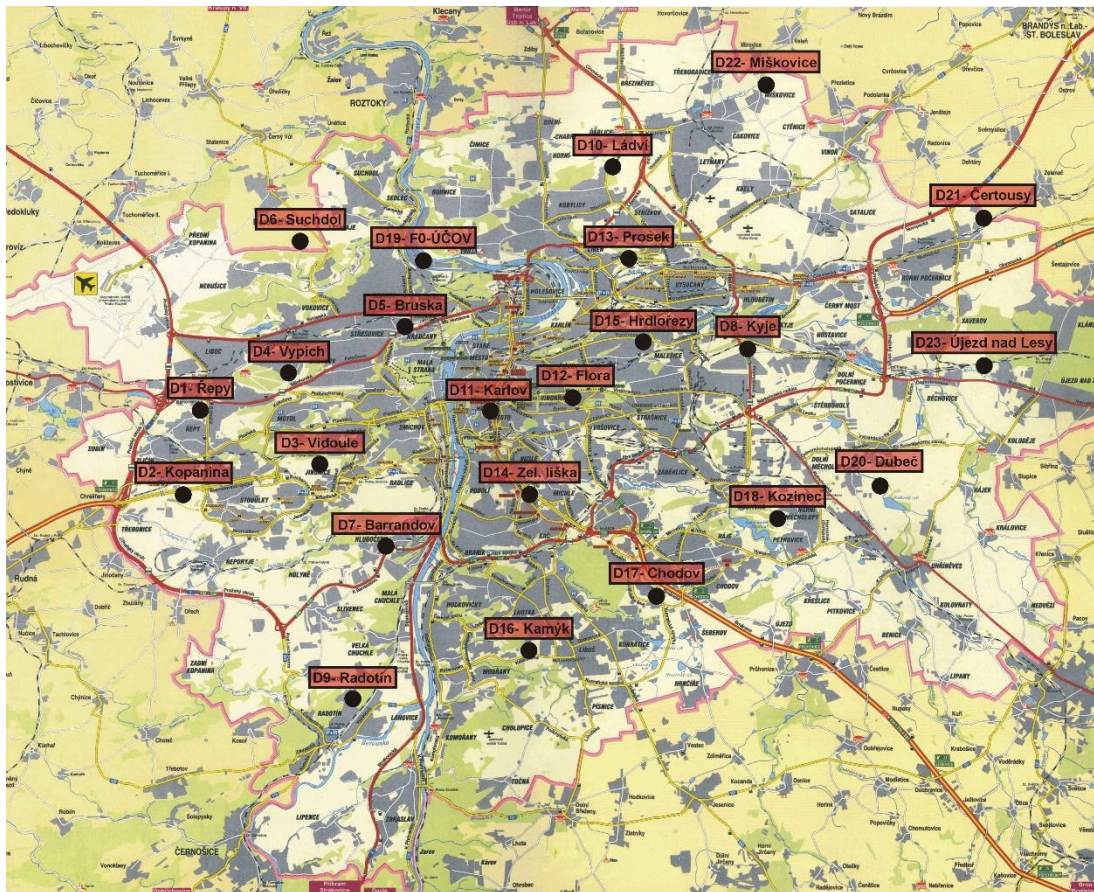
V rámci monitorovací kampaně „Aktualizace a správa Generelu odvodnění hlavního města Prahy“ byl na zájmovém povodí Solidarita nainstalován dočasný srážkoměr Fiedler SR03RD.

### 2.2.1.3 Stálá pražská srážkoměrná síť

První srážkoměrná síť na území hlavního města Prahy vznikla v rámci projektu „Generel odvodnění hl. města Prahy“ v roce 1998. Tato síť byla tvořena 18 srážkoměrnými stanicemi a od roku 2002 je vedena jako „trvalá“. [9]



V současné době tvoří „Stálou srážkoměrnou síť na území hl. města Prahy“ celkově 23 srážkoměrů, původních 18 srážkoměrných stanic bylo rozšířeno o měření v okrajových částech hl. m. Prahy (viz Obrázek 2 a Tabulka 2 ) [9].



Obrázek 2: Mapa stálé srážkoměrné sítě na území hl. města Prahy

Zdroj: PVS a.s.

Tabulka 2: Stálá srážkoměrná síť na území hl. města Prahy

ID	Název	ID	Název	ID	Název	ID	Název
D01	Řepy	D07	Barrandov	D13	Prosek	D19	ÚČOV
D02	Kopanina	D08	Kyje	D14	Zelená liška	D20	Dubeč
D03	Vidoule	D09	Radotín	D15	Hrdlořezy	D21	Čertousy
D04	Vypich	D10	Ládví	D16	Kamýk	D22	Miškovice
D05	Bruska	D11	Karlov	D17	Chodov	D23	Újezd nad Lesy
D06	Suchdol	D12	Flora	D18	Kozinec		

## 2.2.2 Radarová měření

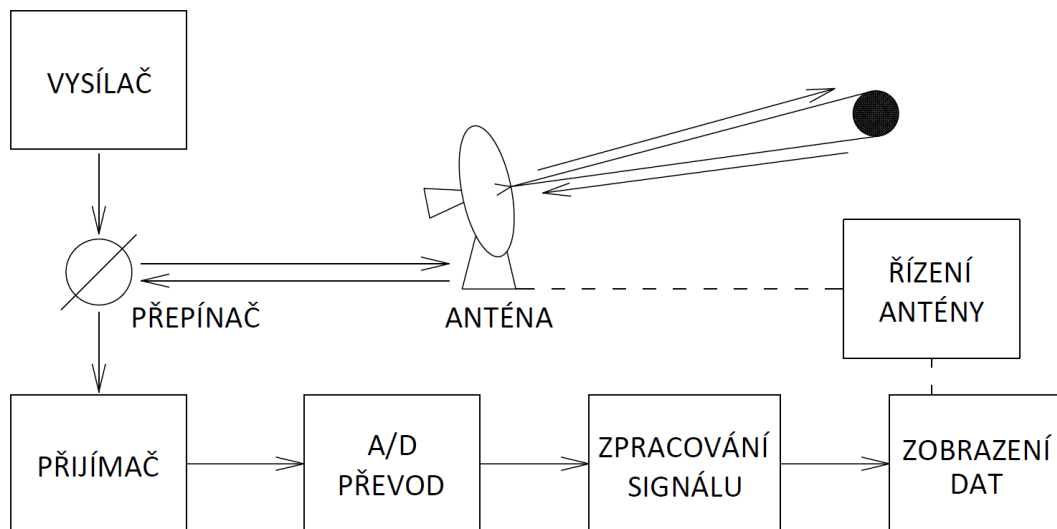
Radar, slovo vzniklé jako akronym z anglického **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging. Radar byl vynalezen během druhé světové války pro účely pozorování vzdušného prostoru nad územím a až následně byl využit pro detekování meteorologických jevů a sledování srážek. [12]

Srážky mají velkou časoprostorovou proměnnost, kterou je meteorologický radar schopen lépe zachytit na rozdíl od bodových měření pomocí srážkoměrů. Nicméně navzdory technickému a technologickému pokroku není meteorologický radar využíván tak efektivně, jak by mohl být. Na vině je stálé zatížení velkými chybami, jak náhodnými, tak systematickými, které je obtížné správně vyhodnotit a limitovat. V dnešní době se přistupuje ke kombinaci radarového odhadu a pozemních srážkoměrů, kdy odhadnutá plošná data z radarů jsou slučována s odpovídajícími měřeními ze srážkoměrů. [12, 13, 14]

### 2.2.2.1 Základní princip a typy radarů

Meteorologický radar je zařízení vysílající vysokoenergetické pulsy elektromagnetických vln s určitou vlnovou délkou, která se pohybuje v řadu jednotek až desítek centimetrů. Radar následně zpětně rozptýlené záření zachytí a dále zpracuje přijatou informaci. Pro omezení interferencí mezi zpětně rozptýlenými signály jednotlivých hydrometeorů je vysíláno několik, zpravidla desítky pulzů, které jsou průměrovány. Přesný počet pulzů závisí na charakteristikách radaru a požadované rychlosti měření. [13]

Radar je složen ze tří hlavních částí – vysílače, antény a přijímače. Vysílač generuje vysokoenergetické pulzy elektromagnetických vln. Anténa tyto pulzy tvaruje do úzkého svazku. Narazí-li pulz na částici, je část energie částicí pohlcena a část rozptýlena zpět k anténě, která je po vyslání pulzu přepnuta do přijímacího módu. Obdržený signál je zpracován přijímačem, kdy poloha radiolokačního cíle je určena umístěním antény a časem mezi vysláním a přijetím signálu. Přijatý signál je dále upravován až do podoby sloužící koncovému uživateli. Na Obrázku 3 je blokové schéma meteorologického radaru. [13, 15]



Obrázek 3: Blokové schéma meteorologického radaru [13]

Síla zpětně rozptýleného signálu závisí nejen na charakteristikách hydrometeorů (velikost, tvar, distribuce, skupenství), ale i na charakteristikách radaru (frekvence, typ antény, vzdálenost částice od radaru), naproti tomu hodnoty odrazivosti závisí pouze na charakteristikách hydrometeorů [12].

Na základě specifických velikostí hydrometeorů (dešťové kapky 0,1-10 mm, sněhové vločky 10-25 mm a kroupy 25-50 mm) se stanovuje vlnová délka využívaná radarem. Vlnová délka se volí tak, aby se maximalizovala interakce mezi radarovým signálem a hydrometeory. Optimální vlnová délka zvyšuje detekovatelnost jevů – minimalizuje útlum signálu vlivem rozptylu a absorpce a zároveň zachovává dostatečnou možnost monitorování v dlouhém rozsahu. Platí, čím kratší vlnová délka, tím jsou zachyceny menší částice. Nevýhodou je větší utlumení signálu při průchodu oblačností. Kompromisem mezi dostatečnou detekovatelností částic a uspokojivým dosahem signálu vznikly tři hlavní pásma využívaná meteorologickými radary. Přehled se základními parametry pásem je vidět v Tabulce 3. [2, 12, 13]

Tabulka 3: Hlavní pásma pro meteorologické radary [12, 13, 16]

	Vlnová délka	Frekvence	Časové rozlišení	Prostorové rozlišení
X-pásmo	3 cm	10 GHz	1-5 min	100-1000 m
C-pásmo	5 cm	5 GHz	5-10 min	250-2000 m
S-pásmo	10 cm	3 GHz	10-15 min	1000-4000 m

Radary fungující v S-pásmu se používají zejména v tropických oblastech a obecně na místech silných konvekčních srážek. V těchto případech vznikají hydrometeory větších velikostí. Díky větší vlnové délce nedochází k tak velkému útlumu signálu a srážková oblačnost je zachycena v celém objemu. Tyto radary jsou například využívány v USA. [13, 17]

C-pásmo se naopak využívá pro zachycení srážek v mírných zeměpisných šířkách s rozmanitými a dynamickými povětrnostními podmínkami. Tyto radary jsou používány zejména v Evropě. Díky menší vlnové délce jsou radary schopny zachytit i menší srážkovou oblačnost. K volbě radarů používajících C-pásmo přispívá i výrazně nižší cena a rozměry. Radary disponují menším dosahem, ale vzhledem k velikosti většiny evropských států a mírnému klimatu jsou nejvýhodnější variantou. [13, 17]

Radary využívající X-pásmo jsou vzhledem k poměrně malé velikosti a velké přesnosti využívány v letadlech, autech nebo na lodích. Nedávný výzkum také ukázal slibné využití těchto radarů na urbanizovaných povodích. Vytvořená síť malých, levnějších radarů může poskytovat záznamy srážek s vysokým rozlišením, jak časovým, tak prostorovým (cca 1 minuta a 100 m). Na druhou stranu mají radary s touto vlnovou délkou menší dosah než radary využívající S-pásmo a C-pásmo. [12, 13, 16, 17]

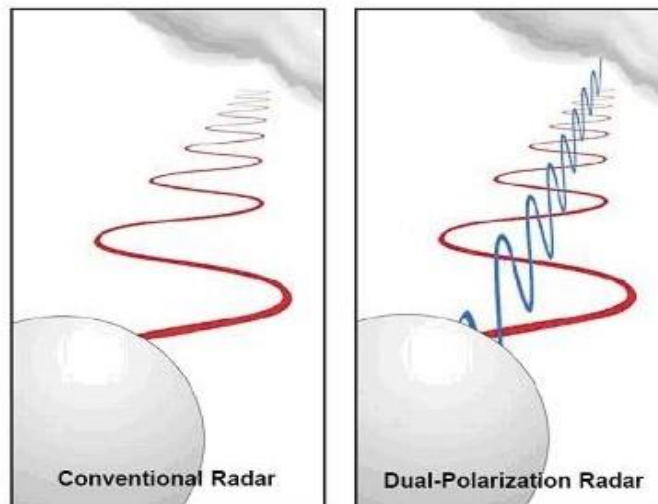
#### 2.2.2.1.1 Dopplerovský radar

Dopplerovské radary využívají Dopplerova jevu k určení radiální složky rychlosti radiolokačního cíle, tzn. že kromě odrazivosti Z je radar schopen měřit i frekvenci signálu zpětně rozptýleného k radaru. Z hodnoty frekvence, na které funguje radar, frekvence přijatého signálu a rychlosti vyslané vlny je dopočítána rychlost cíle. Tímto

vylepšením je možné lépe sledovat směr pohybu oblačnosti, ale i odlišit nemeteorologické cíle, jako jsou vrcholky hor, špičky stromů apod. [13, 18]

#### 2.2.2.1.2 Polarimetrický radar

Technologie polarimetrických radiolokátorů byla prvně zmíněna v 70. letech minulého století a od této doby se pracovalo na zdokonalení této technologie. Princip polarimetrických radarů spočívá v rozdělení výkonu vyslaného signálu na vysílání s horizontální polarizací a s vertikální polarizací. Na Obrázku 4 je vidět základní rozdíl mezi konvenčními radary s nepolarizovaným vysíláním a polarimetrickými radary s horizontální a vertikální polarizací. [12, 18]

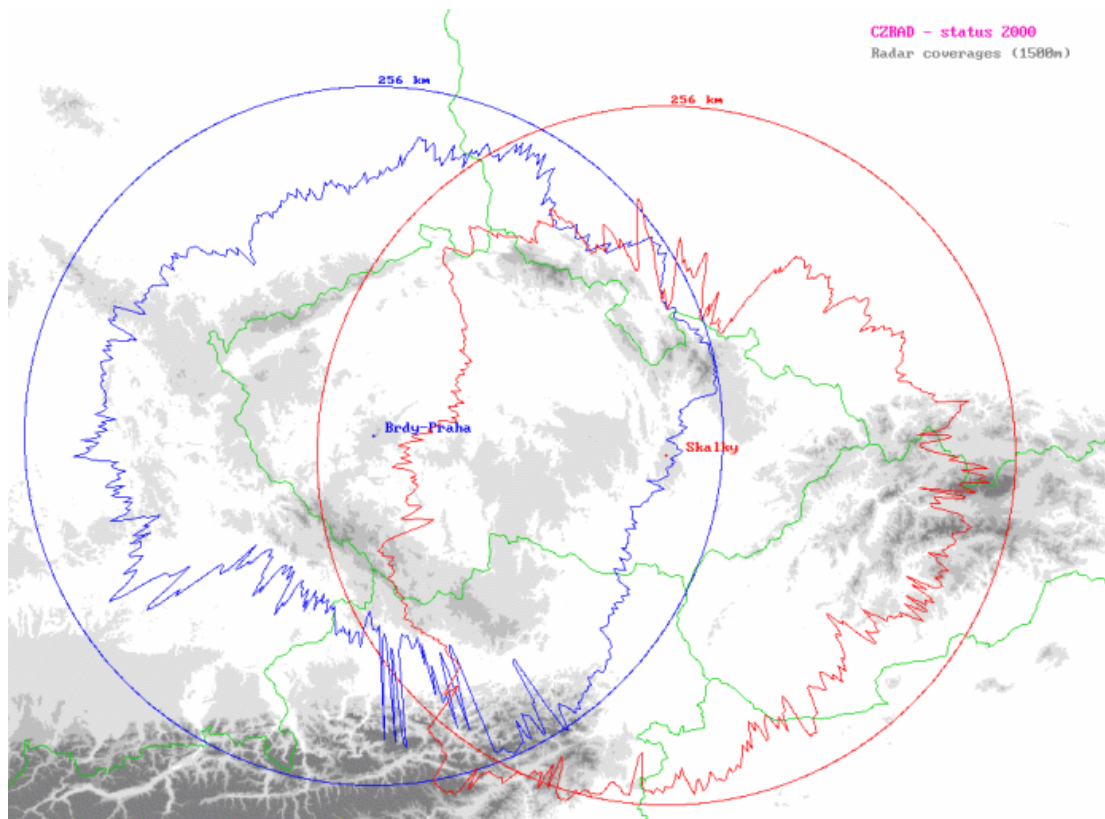


Obrázek 4: vlevo konvenční radar, vpravo polarimetrický radar (NOAA)

Obecně padající hydrometeory nejsou kulaté, zejména dešťové kapky se dle své velikosti při pádu deformují. Pro obě polarizace je zpětně rozptýlený signál od deformovaného hydrometeoru rozdílný. Vyhodnocením těchto rozdílů je možné zpřesnit odhad srážek, rozlišit druh hydrometeoru a lépe určit signály od stabilních nemeteorologických cílů. [12, 13]

### 2.2.2.2 Radarová síť CZRAD

Česká radarová síť CZRAD zahrnuje dva meteorologické radary provozované ČHMÚ. Jeden v Brdech na vrcholu Praha a druhý na střední Moravě na vrcholu Skalky u Protivanova.



Obrázek 5: Dosah meteorologických radarů CZRAD [15]

Prvním radarem z těchto dvou byl radar Skalky, který je v provozu od roku 1995. O 4 roky později následovalo zprovoznění druhého radaru v Brdech, čímž bylo zajištěno pokrytí celého území České republiky a blízkého okolí (viz Obrázek 5). Oba radary byly v roce 2015 nahrazeny novými dopplerovskými polarimetrickými radary typu WRM200 od finské společnosti Vaisala. Radary operují v C-pásmu s vlnovou délkou 5,3 cm a s maximálním dosahem 256 km. Radary poskytují data ve vysokém časovém i prostorovém rozlišení, 5 minut a 1x1 km<sup>2</sup>. Celkový přehled parametrů obou radarů CZRAD je vidět v Tabulce 4. [15, 19]

Tabulka 4: Parametry meteorologických radarů CZRAD [15]

RADAR		
Stanoviště	Skalky u Protivanova	Brdy – Praha
Oblast	střední Morava	střední Čechy
Nadmořská výška	730 m n. m.	860 m n. m.
Výška antény	767 m n. m.	916 m n. m.
Interval měření	5 min	5 min
V provozu	od roku 1995	od roku 1999
Typ radaru	Vaisala WRM200	Vaisala WRM200
Frekvenční pásmo	C	C
Dopplerovský mód	ano	ano
Polarimetrický mód	ano	ano
ANTÉNA		
průměr	4,5 m	4,5 m
šířka svazku	0,95°	0,95°
polarizace	horiz. / horiz. + vert.	horiz. / horiz. + vert.
VYSÍLAČ		
vlnová délka	5,3 cm	5,3 cm
frekvence	5645 MHz	5630 MHz
impulsní výkon	250kW	250 kW

### 2.2.3 Mikrovlonné spoje

Mikrovlonné spoje (MV spoje) primárně tvoří komunikační síť, na které fungují mobilní telefony. Jejich využití na povodích je poměrně novým způsobem získávání údajů o srážce. Důvodem zkoumání dalších alternativních zdrojů informací o srážkách je nedokonalost ostatních zdrojů jako jsou srážkoměry nebo radary. Srážkoměry poskytují bodovou informaci o srážce, a i při vytvořené srážkoměrné síti neposkytují dostatečný popis prostorové variability srážky. Radar je schopen tuto variabilitu zachytit, ale funguje na principu nepřímého měření ve velkých výškách nad terénem, kde nemusí naměřená intenzita srážky odpovídat srážce, která skutečně dopadá na povodí. [20]

MV spoje vnášejí do hydrologie městského povodí nový pohled. Poskytují informace o srážce v nízkých hladinách nad terénem a jsou schopny zachytit prostorovou variabilitu srážky v téměř reálném čase. Další velkou výhodou je reálná existence těchto spojů, tzn. že není potřeba vynakládat velké finanční prostředky na budování sítě jako při zřizování srážkoměrných sítí nebo při výstavbě meteorologických radarů. [20, 21]

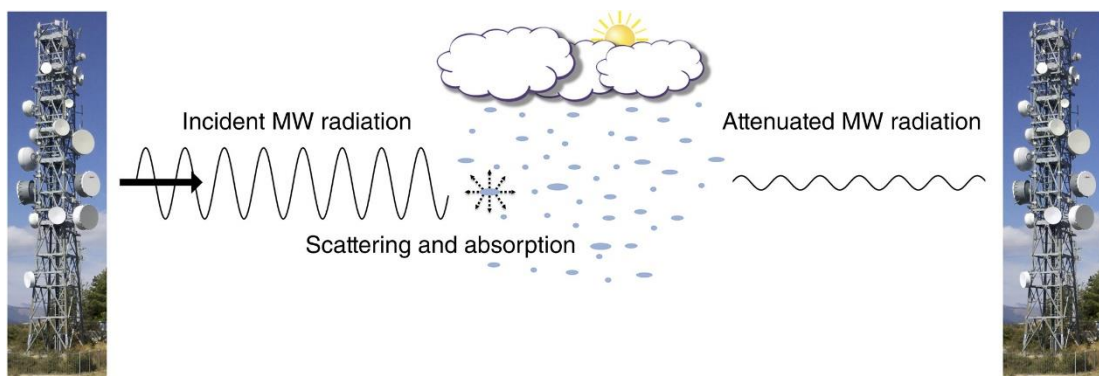
Přestože data z MV spojů poskytují řadu výhod, tak stále vykazují i řadu chyb. Například chyby vzniklé při stanovení hodnoty útlumu způsobené vodním filmem na parabole antény nebo také nejistoty spojené s tvorbou srážkových map. Z těchto důvodů se při využití MV spojů přiklání ke kombinaci s dalšími zdroji informací o srážkách. Rekonstruovaná data z MV spojů je možné korigovat daty ze srážkoměrů nebo v kombinaci s radarovými měřeními mohou být vytvořeny vylepšené srážkové mapy. V oblastech s nízkým nebo žádným pokrytím srážkoměry nebo radary je možné využít MV spoje v kombinaci se satelitním pozorováním oblačnosti, tato varianta je v současné době využívána např. v Keni. [20, 22]

Využití MV spojů pro odhad srážek na povodí je v současné době velmi diskutovaným tématem s velkým potenciálem do budoucna. S přibývajícím vědci, kteří se tímto tématem zabývají, je tento výzkum stále rozšiřován o nové poznatky.



### 2.2.3.1 Základní princip

MV spoj je tvořen dvěma anténami na odlišných místech. První anténa vysílá elektromagnetické záření o dané frekvenci a druhá jej přijímá. V současné době jsou typickými frekvencemi pro MV spoje frekvence mezi 5 až 80 GHz. Při odhadu srážek z MV spojů je využito faktu, že pro elektromagnetické záření o této frekvenci je déšť hlavním zdrojem útlumu signálu. Na základě útlumu způsobeného deštěm je možný výpočet průměrné srážkové intenzity podél spoje pomocí mocninné funkce (podrobněji Kapitola 3.3.4 Příprava mikrovlnných dat). [20]



Obrázek 6: Základní princip MV spojů pro odhad srážek. [20]

Na Obrázku 6 je znázorněn princip odhadu srážek pomocí MV spojů. Vysílaný mikrovlnný signál (Incident MW radiation) je při průchodu srážkou utlumen vlivem rozptylu a absorpce (Scattering and absorption). K přijímači se následně dostane utlumený signál (Attenuated MW radiation). Pro výpočet intenzity srážek je nutné mít informace jak o vyslaném signálu, tak i přijatém. S tímto požadavkem nicméně přicházejí komplikace. Data využívaná pro stanovení intenzity srážky jsou jen vedlejším produktem, který slouží telekomunikační společnosti k vyhodnocení stability spojů. Vzhledem k tomu, že sběr a záznam těchto dat není primárním účelem MV spojů, jsou data ukládána nejčastěji v 15 min intervalech nebo v některých případech nejsou ukládána vůbec. Dalším problémem je záznam dat s přesností pouze na desetiny nebo jednotky decibelů. Za účelem zkvalitnění dat o srážkách z MV spojů vznikají různé softwary, které umožňují zápis všech potřebných dat v požadovaných intervalech a s požadovaným rozlišením. [20, 21]

Předešlý postup popisuje vyhodnocení útlumu pouze jediného spoje. Pro zachycení prostorové variability deště nad povodím je nutné rekonstruovat data ze všech MV spojů do srážkových map.

### 2.2.3.2 Mikrovlnné spoje v České republice

Pro měření srážek jsou v České republice využívány mikrovlnné spoje společnosti T-Mobile Czech Republic a.s., která disponuje největší sítí MV spojů ze všech operátorů působících v ČR – přibližně 10 tisíc, z nichž se desetina nachází v Praze. Všechny spoje pracují na principu plného duplexu, tzn. že komunikace probíhá v obou směrech současně a antény fungují jako vysílač i přijímač zároveň. [23, 24]

Pro získávání dat z MV spojů byl ve spolupráci Katedry hydrauliky a hydrologie Fakulty stavební ČVUT a společnosti T-Mobile vyvinut software umožňující sběr dat ze všech spojů s intervalem ukládání 10 sekund [23].

V současné době je pro měření intenzity srážek na území hl. města Prahy využívána přibližně jen 1/5 MV spojů.

## 3 Materiál a metody

V této části byly nejdříve stručně popsána vybraná povodí pražské stokové sítě, dostupné měrné profily a softwarové prostředky využité během práce. Dále byla popsána příprava jednotlivých srážkových dat a příprava modelů, které byly potřeba provést před samotným spuštěním simulací. Na konec byl stručně popsán samotný proces simulace, exportu dat a jejich zpracování pro další využití.

### 3.1 Vybraná povodí

K simulaci byla vybrána dvě urbanizovaná povodí v Praze, povodí EF a povodí Solidarita. Povodí byla zvolena vzhledem k dostupnosti dat a s ohledem na jejich velikost. Povodí EF je území odvodňované kmenovými stokami E a F a pokrývá značnou část Prahy. Naopak povodí Solidarity zahrnuje výrazně menší, ucelené území.

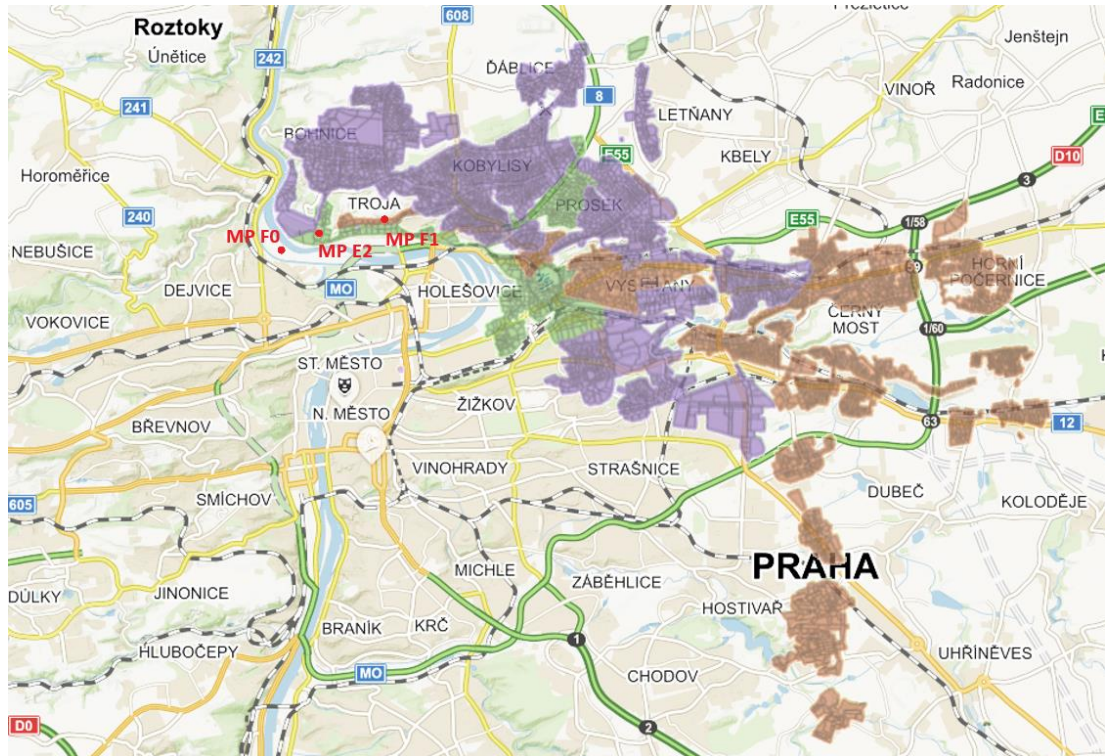
#### 3.1.1 Povodí EF

Povodí EF je oblast odvodňovaná do kmenových stok E a F. Tato oblast o rozloze cca 30 km<sup>2</sup> zahrnuje severovýchodní část hl. města Prahy. Rozsah území odvodňované stokami E a F je znázorněn na Obrázku 7, kde jsou barevně odlišeny územní celky, které odvodňuje výhradně stoka E, stoka F a území, které může být odvodněno oběma stokami. Uzávěrový profil celého povodí je v blízkosti ÚČOV, kdy vody z kmenové stoky E jsou přiváděny k ČSSH (čerpací stanici spodního horizontu ÚČOV) a vody z kmenové stoky F k ČSHH (čerpací stanici horního horizontu ÚČOV).

Na modelovaném povodí se nachází celkově 24 odlehčovacích komor (viz Tabulka 5 a Příloha 7: Umístění odlehčovacích komor na povodích). Většina vod z komor je svedena do Vltavy nebo Rokytky, vody z OK v Petrovicích jsou zaústěny do Botiče.

Tabulka 5: Přehled odlehčovacích komor na povodí EF

Odlehčovací komora	Kmenová stoka	Lokalita	Zaústění vod
OK 13F	F	Prosecká	Rokytká
OK 11F	F	Primátorská	Rokytká
OK 5F	F	Nad Rokoskou	Vltava
OK 6F_1	F	Květinářská	Vltava
OK 6F_2	F	Květinářská	Vltava
OK 3F	F	Areál Psychiatrické nem. Bohnice	Vltava
OK 30FE	EF	Podkovářská	Rokytká
OK 33E	E	Pod Tábořem	Rokytká
OK 29FE	EF	Pod Harfou	Rokytká
OK 17E	E	Na břehu	Rokytká
OK 16E	E	Sokolovská	Rokytká
OK 7E	E	Povltavská	Vltava
OK 4EF	EF	Trojská	Vltava
OK 25E	E	Elsnicovo náměstí	Rokytká
OK 23E	E	Voctářova	Vltava
OK 20EF	EF	Poděbradská	Rokytká
OK 1F_ZOO	F	Areál zoologická zahrady Praha	Vltava
OK 1EF	EF	Areál zoologická zahrady Praha	Vltava
OK 18E	E	Granitová	Rokytká
OK 10E	E	Zenklova	Rokytká
OK 2F	F	Areál zoologická zahrady Praha	Vltava
OK 120E	E	Povltavská	Vltava
OK 19E	E	Poděbradská	Rokytká
DUN Petrovice	F	Petrovice	Botič



Obrázek 7: Povodí EF: zelená – stoka E, hnědá – stoka F, fialová – stoka E i F, červená – umístění měrných profilů na povodí  
Zdroj mapového podkladu: Mapy.cz

Na kmenových stokách E a F jsou provozovány tři stálé měrné profily, jejich přehled společně se základními informacemi je v Tabulce 6. V každém profilu je měřena hloubka a rychlost proudění, pomocí rovnice kontinuity je dopočítáván průtok. Všechny měrné profily jsou vybaveny telemetrickým zařízením pro přenos dat na dispečink. Správcem všech stálých měrných profilů na povodí je společnost PVS, a.s. (Pražská vodohospodářská společnost), jejich provozovatelem je společnost PVK, a.s. (Pražské vodovody a kanalizace) [25]

Tabulka 6: Měrné profily na povodí EF [25]

Měrný profil	Kmenová stoka	Lokalita	Příčný profil
E2 – ZOO	E	Areál ZOO Praha	DN 1900
F0 – ÚČOV	F	V blízkosti ČSHH ÚČOV	T 1800/1500
F1 – Nad Kazankou	F	křiž. ulice Nad Kazankou a U Lisu	DN 3200

V této síti je umožněno přepojení odpadních vod z kmenové stoky F do kmenové stoky E. Toto přepojení je prováděno v rozdělovací komoře Pod Havránkou, současně mohou být převáděny i vody z Bohnického sběrače. V případě převodu

veškerých vod do stoky E jsou tyto vody přivedeny ještě před měrný profil E2-ZOO. Průtok v měrném profilu F0-ÚČOV je v těchto obdobích nulový. Takto byly vody přiváděny v období od 10.9.2014 do 31.12.2014, celý rok 2015 kromě období od 7.10. do 19.10. a v termínu ledna až dubna 2017 bylo cca 2/5 odpadních vod z kmenové stoky F a Bohnického sběrače přivedeno na ČSSH, zbytek vod byl přiveden spolu s vodami ze stoky E přes MP E2-ZOO k ČSSH. Ve zbytku roku 2017 byly všechny vody převedeny stokou E k čerpací stanici spodního horizontu. [25, 26]

Ze 12 vybraných událostí byly pouze tři události (23.5.2014, 8.7.2014 a 11.7.2014), u kterých byly odpadní vody ze stoky F a Bohnického sběrače přivedeny k MP F0-ÚČOV. Při ostatních událostech byly všechny vody z kmenové stoky F a Bohnického sběrače převedeny do stoky E před měrný profil E2-ZOO a dále na ČSSH.

### 3.1.2 Povodí Solidarita

Povodí Solidarita pokrývá území Strašnic, Vinohrad, Vršovic a Nuslí, rozloha tohoto území je cca 12 km<sup>2</sup> – viz Obrázek 8



Obrázek 8: Povodí Solidarita

Zdroj mapového podkladu: Mapy.cz

Na povodí Solidarita je provozováno celkem 11 odlehčovacích komor (viz Tabulka 7 a Příloha 7: Umístění odlehčovacích komor na povodích), vody z odlehčovacích komor, mimo jednu, jsou svedeny do Botiče.

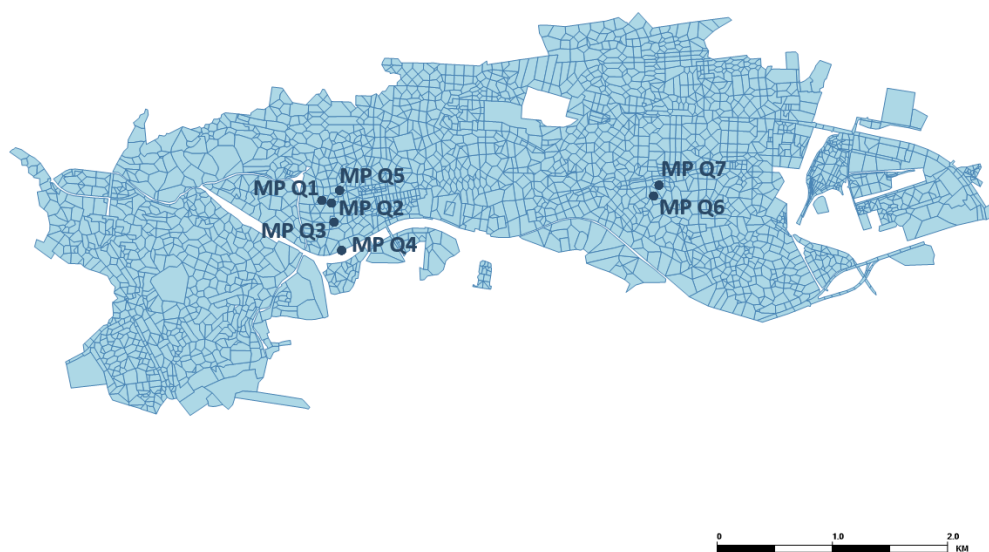
Tabulka 7: Přehled odlehčovacích komor na povodí Solidarita

Odlehčovací komora	Kmenová stoka	Lokalita	Zaústění vod
OK 36K	K	Vnislavova	Vltava
OK 38K	K	Čiklova	Botič
OK 43K	K	Křesomyslova	Botič
OK 46K	K	Bartoškova	Botič
OK 53K	K	Jivenská	Botič
OK 55K	K	U Michelského mlýna	Botič
OK 60K	K	Oblouková	Botič
OK 61K	K	Vršovická	Botič
OK 62K	K	Přípotoční	Botič
OK 63K	K	U seřadiště	Botič
OK 103K	K	Vršovická	Botič

Na povodí Solidarita se nenachází žádný stálý měrný profil, ale v období května až června 2017 probíhala na povodí monitorovací kampaň PVK, při které byly zřízeny dočasné měrné profily a srážkoměr. Měrné profily, jejich lokalita a příčný profil jsou znázorněny v Tabulce 8 a na Obrázku 9. Uzávěrový profil povodí je na severozápadním okraji povodí, kde jsou vody zaústěny do kmenové stoky K, která po zaústění vod z povodí Solidarita křižuje řeku a dále pokračuje k ÚČOV. [27]

Tabulka 8: Měrné profily na povodí Solidarita [27]

Měrný profil	Lokalita	Příčný profil
Q1	přítok do OK 60K – Oblouková	ID 600 K
Q2	přítok do OK 61K – Vršovická	ID 1960 SKL
Q3	přítok do OK 62K – Přípotoční	ID 1600 ZCI
Q4	přítok do OK 63K – U Seřadiště	HA 2400/3000 ZCI
Q5	ul. Minská	VP 800/1430 ZCI
Q6	přítok do RK Nosická	VP 800/1430 ZCI
Q7	druhý přítok do RK Nosická	HP 2000/2500 ZCI



Obrázek 9: Umístění měrných profilů na povodí Solidarita



## 3.2 Programy MIKE Powered by DHI

MIKE, ze softwarové skupiny Powered by DHI, je skupina programů umožňující analyzovat a modelovat různé typy problémů v oblasti vodního inženýrství. [28]

### **MIKE Urban+**

Hlavním využívaným programem byl MIKE Urban+, který je nejnovějším modelovacím softwarem společnosti DHI (Danish hydraulic institute) a má být nástupcem v současné době používaného programu MIKE Urban.

MIKE Urban+ umožňuje tvorbu modelů, spouštění simulací a hodnocení kvality vody pro vodovodní systémy, pro kanalizační síť jednotnou i oddílnou anebo simulaci záplav v městském prostředí. [29]

Tento software nově podporuje snadnou implementaci rastrových dat na povodí, jako jsou v mém případě radarová data a rekonstruovaná data z časových řad mikrovlnných spojů.

### **Gandalf**

Další program ze softwarové skupiny Powered by DHI, program byl použit pro úpravu časových řad a převod do formátu DFS0.

Tento program je určený zejména pro zpracování dat z měrných kampaní, reporting měření a podrobnou analýzu objektů s možností prezentace výsledků. Tento software byl například použit v rámci zpracování projektu „Generel odvodnění hlavního města Prahy“. [30, 31]

### **MIKE Operations**

Pro převod rastrových dat do požadované formátu DFS2 byl použit program MIKE OPERATIONS – MIKE Workbench. Do tohoto softwaru byly nejdříve jednotlivě nahrány ASC soubory pro radarová data a pro data z mikrovlnných spojů ve formě dočasných rastrů. S těmito rastry bylo možné následně interně pracovat, upravovat a posléze převést a uložit ve formátu DFS2. [32]

Tento software je především využíván pro modelování předpovědí a řízení vodovodních, kanalizačních či říčních systémů v reálném čase. Nicméně zahrnuje velké množství nástrojů k práci s daty, včetně nástrojů GIS i s možností psaní vlastních skriptů v jazyce Python.

### **MIKE View**

Programový prostředek MIKE View slouží pro prohlížení souborů s výsledky vytvořenými programem MIKE Urban+, konkrétně soubory s příponou RES1D. MIKE View umožňuje snadné vykreslování průtoků, hloubek nebo rychlostí v daném místě, vykreslení Q-H křivek nebo podélných profilů s možností animace. Pro další práci s daty je možné data ve zvolených uzlech nebo úsecích exportovat do souboru ve formátu TXT.

### **MIKE Zero**

Program MIKE Zero slouží k prohlížení časových řad ve formátech DFS0, DFS2 a k vytváření základních statistik (max, min, průměr, odchylka).

### 3.3 Příprava vstupních srážkových dat

Data ze srážkoměrných stanic, z radarů a z mikrovlnných spojů byla získána v různých tvarech a formátech, proto bylo nutné tato data uspořádat, upravit a převést do potřebných formátů.

#### 3.3.1 Výběr srážkových událostí

Výběr událostí byl pro povodí EF zúžen na roky 2014, 2015 a 2017. Tyto roky byly voleny především s ohledem na dostatek dat z monitoringu probíhajícího na povodí. Na povodí Solidarita se nenachází stálý měrný profil, a tak výběr událostí byl omezen na období května až června 2017, kdy na povodí probíhala monitorovací kampaň.

Srážkové události byly předvybrány podle radarových snímků. Vybírány byly události s velkou časovou a prostorovou variabilitou. Pro povodí EF bylo vybráno 12 událostí z let 2014, 2015 a 2017 a pro povodí Solidarita tři významné události z května až června roku 2017. Tyto události byly porovnány se záznamy srážkoměrů na vybraných povodích tak, aby se vyloučily případy, kdy radar zaznamenal větší srážku, než skutečně dopadla na povodí. Předvýběr událostí byl na základě srážkoměrných dat změněn, kdy u většiny byl upraven začátek a konec události a dvě události musely být vyloučeny a nahrazeny jinými.

Po tomto srovnání byl uzavřen výběr událostí, v Tabulce 9 a Tabulce 10 jsou vypsány jednotlivé události, jejich trvání a maximální intenzity ze srážkoměrných dat.

Tabulka 9: Vybrané srážkové události na povodí EF

č.	Začátek události (UTC)	Konec události (UTC)	Trvání události [min]	Max intenzita (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	Max. 10 min. intenzita (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
	-	-			
1	23.5.2014 13:40	23.5.2014 15:30	110	194,6	103,1
2	8.7.2014 09:45	8.7.2014 11:00	100	198,6	112,0
3	11.7.2014 13:20	11.7.2014 14:25	65	161,7	84,4
4	19.9.2014 20:45	19.9.2014 21:35	50	83,6	52,4
5	27.4.2015 18:20	27.4.2015 18:50	30	85,8	26,9
6	29.5.2015 21:00	29.5.2015 22:00	60	101,6	50,8
7	27.7.2015 14:35	27.7.2015 15:15	40	70,4	34,7
8	22.6.2017 23:00	23.6.2017 00:20	80	55,9	28,4
9	23.6.2017 01:10	23.6.2017 02:00	50	58,1	27,7
10	28.6.2017 13:05	28.6.2017 13:30	25	77,9	30,5
11	11.7.2017 07:25	11.7.2017 08:35	70	51,5	35,3
12	11.8.2017 12:20	11.8.2017 14:15	115	42,1	23,6

Tabulka 10: Vybrané srážkové události na povodí Solidarita

č.	Začátek události (UTC)	Konec události (UTC)	Trvání události [min]	Max intenzita (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	Max. 10 min. intenzita (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
	-	-			
1	22.6.2017 20:00	22.6.2017 22:00	120	155,5	53,3
2	22.6.2017 23:00	23.6.2017 00:15	75	58,9	27,7
3	28.6.2017 13:05	28.6.2017 14:20	75	126,2	40,3

### 3.3.2 Příprava srážkoměrných dat

Srážkoměrná data ze stálé srážkoměrné sítě poskytla společnost PVS a.s., která je správcem a provozovatelem vodohospodářského majetku hlavního města Prahy. [33]

Tato data byla poskytnuta ve formátu TXT ve středoevropském čase. Pro každý rok bylo vytvořeno vždy 23 souborů se záznamy srážkoměrů. Každý soubor obsahoval záznamy srážek z jednoho srážkoměru.

#### Formát zápisu srážkoměrných dat:

YYYY	MM	DD	HH	MM	SE	Value
2014	01	01	00	00	00	0.00000
2014	01	01	01	00	00	0.00000
...	...	...	...	...	...	...

Použitý časový krok měření byla 1 minuta od počátku deště až do 30 minut po konci deště, za bezdeštného období byl časový krok měření 1 hodina. [34]

Na povodí EF se nachází celkem 5 srážkoměrů, jsou to SR08-Kyje, SR10-Ládví, SR13-Prosek, SR15-Hrdlořezy a SR19-ÚČOV, k výpočtům byla ještě použita data ze srážkoměru SR05-Bruska. Na povodí Solidarita je pouze na severozápadním okraji povodí srážkoměr SR12-Flora. V rámci monitorovací kampaně PVK byl na povodí nainstalován dočasný srážkoměr. Pro výpočty na povodí byly využity další srážkoměry v okolí – SR08-Kyje, SR11-Karlov, SR14-Zelená liška a SR15-Hrdlořezy.

Nejprve v každém textovém souboru byly nalezeny zaznamenané hodnoty odpovídající časům vybraných událostí. Tyto hodnoty byly zapsány do zvláštního souboru tak, aby mohly být porovnány s vybranými událostmi dle radarových snímků.

Pro povodí EF byly jednotlivé roční záznamy srážkoměrů spojeny do jednoho souboru tak, aby záznamy tvořily souvislou čtyřletou řadu (hodnoty v roce 2016 byly nulové).

Tyto soubory byly převedeny pomocí programu GANDALF do formátu DFS0, tj. formát časových řad, který využívá MIKE URBAN+. V rámci programu byl proveden i posun jednotlivých řad o hodinu tak, aby všechna data byla v UTC (Coordinated Universal Time).

### 3.3.3 Příprava radarových dat

Radarová data byla získána od ČHMÚ (Českého hydrometeorologického ústavu) ve formátu RPD. RPD je univerzální formát nezávislý na výrobci radaru. Tato data se skládala z textové hlavičky, která obsahovala základní parametry objemového měření a z binárních dat, která následovala ihned za hlavičkou. [35]

Obdržená data obsahovala celkem 4332 vybraných záznamů z let 2014, 2015 a 2017. Jednotlivé události byly měřeny po 5 minutách na území 750 x 550 km<sup>2</sup>, kdy naměřená hodnota se vždy vztahovala ke středu pixelu.

Formát RPD byl převeden do textového formátu a byly získány hodnoty odrazivosti. Vzhledem k faktu, že radar měří pouze sílu odraženého signálu (odrazivost) a neměří vlastní srážky, bylo zapotřebí pomocí Marshall-Palmerova vztahu, který vyjadřuje závislost odrazivosti a intenzity srážky, tyto hodnoty převést.

Marshall-Palmerův vztah:

$$Z_e = aI_R^b \quad (1)$$

kde  $Z_e$  je radiolokační odrazivost [mm<sup>6</sup>.m<sup>-3</sup>],  $I_R$  je intenzita srážky [mm.h<sup>-1</sup>] a  $a$  i  $b$  jsou bezrozměrné empiricky určené koeficienty. Tyto koeficienty se mění dle geografické oblasti a typu srážek. Nejčastěji používané hodnoty v Evropě jsou  $a=200$  a  $b=1,6$ . Hodnoty parametrů by bylo možné pro různé typy srážek v oblasti vždy určit odlišné, ale dle dalších výzkumů jsou nepřesnosti způsobené použitím stejných hodnot parametrů zanedbatelné ve srovnání s chybami radarových odhadů srážek. Tyto chyby jsou například zbytkové pozemní cíle, které způsobují nadhodnocení srážek nebo také podcenění srážek ve velkých vzdálenostech od radaru nebo v horských oblastech. [13]

Od ČHMÚ byly získány i odpovídající obrázky k datům a souřadnice jednotlivých pixelů v souřadnicovém systému S-42, který byl vojenským souřadnicovým systémem na území České republiky. Tento systém je od roku 2006 nahrazen systémem WGS 84, který využívá vojenská aliance NATO. Nicméně v jiných odvětvích je systém S-42 využíván nadále. [36]

Dvanáct vybraných událostí na povodí EF zahrnovalo 475 záznamů z celkových 4332. Pro povodí Solidarita to bylo celkem 96 záznamů. Každý záznam byl vektor s 412 500 prvků, každá hodnota ve vektoru odpovídala intenzitě srážky v jednom pixelu 1 x 1 km<sup>2</sup>.

Pomocí softwaru MATLAB (**MAT**rix **LAB**oratory) byl sepsán skript, který v opakujícím se cyklu, kdy doba opakování byla dána podmínkou, postupně načítal vektory s intenzitou srážek pro předem daná data a časy. Následně se tato data ořízla z území 750 x 550 km<sup>2</sup> na území nad Prahou o velikosti 60 x 60 km<sup>2</sup> a uspořádala se do čtvercové matice. Následný příkaz zapsal vytvořenou matici do souboru ve formátu ASC s předepsanou hlavičkou. Tento postup se opakoval pro každý soubor dat, dokud platila počáteční podmínka.

ASC formát nebo také ESRI ASCII Grid je rastrový formát používaný pro přenos informací do nebo ze systémů pracujících na základě buněk nebo rastru. Každý soubor ve formátu ASC začíná hlavičkou, za kterou následují data. [37]

#### Základní stavba ESRI ASCII grid:

Parametry		Popis
ncols	xxx	počet sloupců
nrows	xxx	počet řádků
xllcenter	xxx	x-souřadnice pixelu v levém dolním rohu – na střed
yllcenter	xxx	y-souřadnice pixelu v levém dolním rohu – na střed
cellsize	xxx	velikost pixelu
NODATA_value	xxx	hodnota pro zápis v pixelu bez informace
row 1	...	
row 2	...	
...	...	
row n	...	

Pro software MIKE URBAN+ bylo nutné převést souřadnice a data do souřadnicové systému S-JTSK. Tento převod byl proveden pomocí Geografického informačního systému (GIS).

Formát ASC byl zvolen na základě jednoduché konverze do formátu DFS2, tj. formát dat, který využívá MIKE URBAN+ pro rastrová data. Tento převod byl proveden pomocí MIKE OPERATIONS – MIKE Workbench.

### 3.3.4 Příprava mikrovlnných dat

Data z mikrovlnných spojů na území hl. města Prahy byla získána od společnosti T-Mobile Czech Republic a.s. v rámci spolupráce s Katedrou hydrauliky a hydrologie Fakulty stavební ČVUT. V roce 2017 docházelo k velkým výpadkům v měření a zejména pro povodí Solidarita nebylo pokrytí MV spoji ideální.

Prvním krokem při zpracování obdržených dat o útlumech byl převod na srážkovou intenzitu. Nejdříve byl vypočítán celkový útlum spoje  $A$  jako rozdíl mezi úrovní signálu vyslanou a přijatou. Dále byl dle rovnice (2) stanoven specifický útlum spoje.

$$k = \max\left(\frac{A-B-A_w}{L}, 0\right) \quad (2)$$

kde  $k$  [dB.km<sup>-1</sup>] je specifický útlum způsobený deštěm,  $A$  [dB] je celkový útlum spoje,  $B$  [dB] je požadovaná hodnota útlumu, která se stanovuje pro každou událost zvlášť,  $A_w$  [dB] je útlum v důsledku vlnutí antény a  $L$  [km] je celková délka spoje.

Srážková intenzita byla stanovena pro každý spoj dle R-k modelu (3), který popisuje vztah mezi specifickým útlumem a srážkovou intenzitou.

$$R = \alpha k^\beta \quad (3)$$

kde  $R$  [mm/h] je intenzita srážky,  $k$  [dB.km<sup>-1</sup>] je specifický útlum způsobený deštěm a  $\alpha$  i  $\beta$  jsou koeficienty závislé na frekvenci, polarizaci spoje, okolní teplotě, skupenství apod.

Dalším krokem byla rekonstrukce srážkových polí z odhadnutých srážkových intenzit pomocí algoritmu navrženého Goldshteinem et al. Algoritmus několika iteracemi stanoví intenzitu srážky podél jednotlivých MV spojů. V dalším kroku byla provedena extrapolace výsledných dat do dvourozměrné mřížky. [5]



Takto vytvořená srážková pole byla uložena ve formátu CSV po událostech v samostatných adresářích. Pro událost 23.5.2014 nebylo dostatek dat z MV spojů, a tak je v dalších simulacích tato varianta vynechána.

Data ve formátu CSV zahrnovala minutové záznamy vybraných událostí na území 30x30 km<sup>2</sup> nad Prahou v souřadnicovém systému S-JTSK. Každý CSV soubor obsahoval vektor dat, kde každý řádek odpovídal srážkové intenzitě v jedné buňce pole (tj. 900 hodnot na každý soubor). Ke každému záznamu byly vytvořeny i obrázky odpovídající datům.

Následně byly veškeré soubory CSV zpracovány obdobným skriptem jako radarová data. Do softwaru MatLab byly postupně nahrávány soubory CSV, které byly uspořádány do matice a následně s předepsanou hlavičkou zapsány do jednotlivých souborů ve formátu ASC. Jedinou odlišností vzhledem ke zpracování radarových dat byl vstupní formát a souřadnicový systém.

Všechny vytvořené soubory byly opět převedeny do formátu DFS2.

### 3.4 Příprava a nastavení modelů

Oba potřebné modely byly poskytnuty společností PVS a.s. ve formátu MDB, tj. formát dat využívaný softwarem MIKE URBAN pro tvorbu modelů. Tyto modely byly deterministické, distribuované simulační modely. Pro simulaci povrchové odtoku z dílčích povodí byla využita metoda izochron. Oba modely byly rovněž zkalibrovány a verifikovány.

Tyto modely musely být importovány do nového programu MIKE URBAN+, který pracuje v jiném formátu dat pro modely, ve formátu MUPP. Tento převod, vzhledem k nedávnému vydání programu MIKE URBAN+, vykazuje několik chyb.

Převod modelu Solidarita byl vcelku bez problému, jen některým prvkům musely být dopsány parametry. Naopak v modelu pro povodí EF byly během převodu ztraceny parametry veškerých uzlů, vzhledem k počtu uzlů v modelu nebylo možné parametry ručně doplnit. Tento problém byl vyřešen až za spolupráce s dánskou pobočkou DHI, kde pro převod byla využita budoucí verze programu MIKE URBAN+. Po převodu modelu povodí EF bylo potřeba už jenom najít znovu cestu k pomocným souborům, popřípadě ručně doplnit několik dalších parametrů ztracených během převodu.

Pro následné výpočty bylo nutné nejdříve napočítat bezdeštný průtok v síti, tzv. „HotStart file“ tak, aby v momentě, kdy byly spuštěny jednotlivé události, byl systém naplněný a průběh jednotlivých veličin odpovídal reálné situaci.

Pro výpočty s daty ze srážkoměrů byly do modelu načteny jednotlivé časové řady se záznamy intenzity srážek ve formátu DFS0. Tyto řady zahrnovaly roky 2014-2017, kdy potřebný úsek pro konkrétní událost si software vždy přiřadil sám. Přiřazení srážkových dat z jednotlivých srážkoměrů dílčím povodím probíhá metodou Thiessenových polygonů.

Radarová data a data z mikrovlákových spojů byla nahrávána do softwaru odlišným způsobem. Data byla vložena ve formátu DFS2. Časové řady zahrnovaly pouze modelovaná období, nikoliv souvislé řady jako u dat ze srážkoměrných stanic. Využití rastrových dat je založeno na principu přiřazení určité váhy jednotlivým dílčím povodím.

### 3.5 Proces simulace

Prvním krokem bylo definování okrajových podmínek, většina podmínek byla specifikovaná už v rámci obdrženého modelu, jediné přidané okrajové podmínky byly srážky z jednotlivých zdrojů. U okrajových podmínek s daty ze srážkoměrných stanic byly definovány polohy jednotlivých srážkoměrů a následně nahrány odpovídající časové řady ve formátu DFS0. Radarová, resp. mikrovlnná data byla definována jako rastrová data, poté byly nahrány jednotlivé časové řady ve formátu DFS2. V rámci nastavení rastrových dat se otevře v nabídce další záložka, kde probíhá distribuce srážky na povodí v podobě přiřazení určité váhy jednotlivým dílčím povodím.

V rámci modelu povodí EF musely být definované i regulace průtoku při některých událostech, protože v těchto obdobích docházelo k převodu vody v rámci kmenových stok. Přiřadit regulaci průtoku určitému úseku je možné v záložce „Potrubí a kanály“, musí se zde definovat k jakému uzlu je regulace vztažena a hodnota regulace, která je definována závislostí  $Q_{\max}$  a  $H$ .

Nejdůležitějším krokem je nastavení samotné simulace. V prvním kroku byly nastaveny v záložce „Obecné“ – začátky a konce simulace. Dále byl nastaven typ simulace, který se má provést, zda tzv. „Povodí“ a/nebo „Síť“. V simulaci „Povodí“ je počítán odtok z povodí a povrchový odtok. V simulaci „Síť“ je počítán samotný průběh srážky ve stokové síti. Pro výpočet se srážkoměrnými daty mohly oba typy simulací běžet souběžně, pro rastrová data musela být nejdříve spočítána simulace „Povodí“, kdy vstupní okrajovou podmínkou byla časová řada se srážkovými daty z radaru, resp. CML. Teprve následně mohla být vypočítána simulace „Síť“, kde naopak musela být okrajová podmínka s časovými řadami vypnuta a jako okrajové podmínky byly externě nahrány výsledkové soubory vzniklé v rámci prvního výpočtu. Dále byl v záložce „HD“ (Hydrodynamika) definován výpočetní krok (konkrétně 1 sekunda) a přiřazen tzv. HotStart file.

Posledním krokem před samotným spuštěním je validace, kdy software vyhodnotí všechny nedostatky modelu nebo nastavení a vypíše seznam s chybami a varováními. Chyby jsou problémy, které je nutné před spuštěním simulace vyřešit,

naopak varování jsou pouhým upozorněním a simulace může proběhnout v pořádku i s nimi.

Při spuštění vlastní simulace jsou znovu vyhodnocena všechna varování a teprve následně je spuštěn výpočet.

Tento postup musel být opakován pro každou událost a každý zdroj dat.

Po dokončení simulace je softwarem vytvořeno několik výsledkových souborů. V základním nastavení jsou vytvořeny 3 soubory s příponou RES1D, kde jsou uloženy veškeré časové řady týkající se odtoku z povodí, povrchového odtoku a procesů probíhajících v rámci stokové sítě. Dalšími jsou souhrnné soubory ve formátu HTML obsahující informace o simulaci a základní statistiky jako jsou celkový povrchový odtok, celkové ztráty, počáteční a koncové objemy apod.

Pomocí programu MIKE View lze otevřít a zpracovat data z výsledkových souborů RES1D. V MIKE View byly exportovány časové řady s průtoky pro zvolené měrné profily a byly rovněž exportovány průtokové řady na všech odlehčovacích komorách tak, aby mohl být určen celkový odlehčený objem. Všechna exportovaná data jsou uložena ve formátu TXT. Tato data jsou pro další zpracování převedena do programu Microsoft EXCEL.

## 4 Analýza výsledků

### 4.1 Zvolené statistické veličiny

#### Pearsonův korelační koeficient $r$

Pearsonův korelační koeficient vyjadřuje míru lineární závislosti mezi vybranými daty. Hodnoty koeficientu jsou počítány dle vzorce (4):

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}}, \quad (4)$$

kde  $r$  je Pearsonův korelační koeficient [-],  $x$  a  $y$  jsou hodnoty jednotlivých veličin a  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  jsou aritmetické průměry veličin. [38]

Koeficient může nabývat hodnot od -1 do 1. Rovná-li se korelační koeficient 1 je závislost vybraných dat pozitivně lineární (přímá závislost), pro koeficient roven -1 je závislost negativně lineární (nepřímá závislost). Je-li korelace nulová jsou data na sobě nezávislá. [38]

#### Nash-Sutcliffe efficiency koeficient $NSE$

Nash-Sutcliffe efficiency koeficient nebo také koeficient účinnosti modelu, slouží k vyhodnocení kvality modelovaných průtoků v závislosti na průtocích měřených. [38]

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{m_i} - Q_{sim_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{m_i} - \bar{Q}_m)^2}, \quad (5)$$

kde  $NSE$  je Nash-Sutcliffe efficiency koeficient [-],  $Q_{m_i}$  je měřený průtok v čase  $i$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],  $Q_{sim_i}$  je modelovaný průtok v čase  $i$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] a  $\bar{Q}_m$  je průměrná hodnota měřeného průtoky [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]. [38]

Rozsah hodnot NSE je od  $-\infty$  do 1, pokud je koeficient roven 1 vykazují naměřené a simulované průtoky perfektní shodu. Je-li koeficient roven 0, jsou simulované průtoky přesné jako průměr naměřených průtoků. Záporné hodnoty ukazují, že modelované hodnoty jsou statisticky horší než průměr z měřených hodnot. [38]

### **Relativní chyba objemu $\delta_V$**

Relativní chyba objemu byla vypočítána pro porovnání reálně proteklých objemů vody a proteklých objemů při využití jednotlivých zdrojů srážek (Rovnice 6).

$$\delta_V = \frac{V_{sim} - V_m}{V_m}, \quad (6)$$

kde  $\delta_V$  je relativní chyba objemu [%],  $V_{sim}$  je celkový objem vody, který protekl daným měrným profilem za daný čas (model) [ $m^3$ ] a  $V_m$  je celkový objem vody, který protekl daným měrným profilem za daný čas (měření) [ $m^3$ ].

Záporné hodnoty relativní chyby objemu znamenají podhodnocení, naopak kladné hodnoty nadhodnocení.

## 4.2 Výsledky a diskuze

V této části jsou statisticky a graficky zpracovány výstupy ze simulačního modelu. Kromě vyhodnocení a vykreslení průtoků v jednotlivých měrných profilech pro vybrané události, jsou rovněž v tabulkách vypsány hodnoty celkového povrchového odtoku a celkové objemy přepadlé na odlehčovacích komorách.

Dalšími zpracovanými daty jsou samotná srážková data. Pro možnost porovnání bodových měření srážkoměrů a rastrových dat byly vytvořeny průměrné plošné úhrny.

### 4.2.1 Průměrné plošné úhrny

Vytvořením průměrných plošných úhrnů srážek na jednotlivých povodích bylo umožněno porovnání bodových měření ze srážkoměrů a rastrových srážkových dat. Pro stanovení průměrných plošných úhrnů byly nejdříve přiřazeny jednotlivé pixely rastrových dat k jednotlivým srážkoměrům. V dalším kroku byly ve všech vybraných pixelech vypočítány celkové úhrny a podle přiřazení určitému srážkoměru byly zprůměrovány. Získané hodnoty úhrnů jsou vypsány v Tabulkách 11 a 12.

První tři události na povodí EF se vyznačují velkými intenzitami a velkou prostorovou variabilitou srážky. U všech třech událostí obě měření, jak radary, tak MV spoje podhodnocovaly velké intenzity a zejména u radarů je podhodnocení poměrně velké. Konkrétně u události 8.7.2014 je vidět velké podhodnocení úhrnů srážek radarem v rámci srážkoměrů SR10-Ládví, SR13-Prosek a SR15-Hrdlořezy, na kterých byly zaznamenány největší úhrny. Tyto srážkoměry v pořadí zaznamenaly 21 mm, 27 mm a 30,5 mm, zatímco hodnoty úhrnů u radaru jsou pro tyto srážkoměry cca o 10 mm nižší. V případě události 8.7.2014 je rovněž patrné, že záleží na poloze srážkoměru vůči srážce. Dle vykreslených map úhrnů (viz Příloha 5 – Obrázek 2) je vidět, že srážkoměr SR19-ÚČOV se nacházel na okraji srážky a v tomto případě nezachytil skutečné úhrny, které dopadly na území tomuto srážkoměru příslušející. Naopak tuto prostorovou variabilitu rastrová data zachytila, a i dle map úhrnů byly naměřeny celkové úhrny v okolí srážkoměru kolem 10 mm.

Pokud porovnáme hodnoty úhrnů při událostech, kdy intenzita srážky byla nižší, je možné pozorovat odlišné chování rastrových dat. V případě radarových měření jsou hodnoty úhrnů podhodnoceny, naopak s daty z MV spojů jsou hodnoty úhrnů vyšší než hodnoty naměřené srážkoměry. Tento jev je vidět např. u událostí 29.5.2015 nebo 27.7.2015.

Z celkového pohledu na hodnoty průměrných plošných úhrnů můžeme říci, že rastrová data mají velký stupeň nejistoty. Data z MV spojů sice celkem dobře reprezentují prostorovou variabilitu srážky, ale nadhodnocují běžné srážkové intenzity a velké intenzity podhodnocují. U srážkových intenzit měřených radarem jsou podhodnocovány nejen velké intenzity, ale rovněž nižší intenzity.



Tabulka 11: Průměrné plošné úhrny srážek nad povodím EF

Průměrné plošné úhrny	SR05 – Bruska			SR08 – Kyje			SR10 – Ládví			SR13 – Prosek			SR15 – Hrdlořezy			SR19 – ÚČOV		
	Srážk.	Radar	MV	Srážk.	Radar	MV	Srážk.	Radar	MV	Srážk.	Radar	MV	Srážk.	Radar	MV	Srážk.	Radar	MV
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
23.05.2014	8,2	8,9		24,4	7,4		31,2	16,2		20,5	21,7		23,2	21,9		18,8	17,1	
08.07.2014	5,5	6,6	7,3	19,6	8,6	13,5	21,0	11,6	17,4	27,0	17,0	25,1	30,5	20,3	23,3	1,8	12,7	10,0
11.07.2014	1,7	1,8	6,0	9,3	3,7	11,0	10,9	4,8	10,8	18,3	8,2	14,7	19,5	6,1	16,5	1,4	1,4	5,5
19.09.2014	2,5	3,8	4,6	1,5	2,4	4,2	6,1	3,3	8,6	11,1	4,2	10,1	2,1	3,1	4,9	9,7	4,1	9,9
27.04.2015	3,5	0,7	2,8	0,2	0,1	1,7	4,5	0,7	2,0	3,1	1,2	2,4	1,5	1,4	1,6	2,9	0,9	1,7
29.05.2015	11,2	7,4	20,1	8,8	7,7	13,3	11,4	8,4	15,1	8,5	8,5	19,1	11,2	8,3	16,9	7,7	7,4	13,4
27.07.2015	3,5	2,9	4,2	1,3	2,2	5,1	4,8	3,8	8,1	4,8	3,3	8,0	2,1	2,1	5,0	6,4	4,3	8,0
22.06.2017	6,8	5,6	13,2	7,8	9,8	18,3	8,8	11,0	14,8	11,9	12,0	16,8	7,6	7,5	13,7	10,3	9,4	17,8
28.06.2017	0,0	0,5	4,8	0,0	3,7	3,1	8,7	7,3	4,7	5,5	12,1	6,2	1,1	7,5	3,9	0,0	1,6	2,8
11.07.2017	5,9	3,2	5,8	1,4	2,8	5,1	9,5	7,4	11,1	3,7	4,9	8,6	1,7	2,5	4,7	9,7	6,9	13,7
11.08.2017	9,2	9,8	18,0	12,9	19,8	25,3	12,0	14,9	19,6	13,2	12,3	19,3	13,8	11,5	18,7	11,1	10,2	17,4

Tabulka 12: Průměrné plošné úhrny srážek nad povodím Solidarita

Průměrné plošné úhrny	SR00 – dočasný			SR08 – Kyje			SR11 – Karlov			SR12 – Flore			SR14 – Zelená liška			SR15 – Hrdlořezy		
	Srážk.	Radar	MV	Srážk.	Radar	MV	Srážk.	Radar	MV	Srážk.	Radar	MV	Srážk.	Radar	CML	Srážk.	Radar	MV
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
22.06.2017	19,4	17,3	24,5	16,9	17,1	27,1	19,3	18,7	26,8	20,1	19,7	26,4	19,5	18,0	23,7	16,1	16,3	18,3
28.06.2017	3,9	17,7	4,2	5,3	20,0	4,7	0,9	0,6	3,5	6,8	5,5	3,9	0,0	1,6	1,3	1,5	10,2	2,6

Pro další porovnání byly pro jednotlivé události stanoveny celkové srážkové úhrny, které dopadly na povodí (viz Tabulka 13 a Tabulka 14). Spolu s celkovými úhrny byly vypočítány i absolutní a relativní chyby radarových měření a měření pomocí MV spojů vzhledem k naměřeným úhrnům pomocí srážkoměrů.

Při pohledu na hodnoty relativních chyb v rámci jednotlivých událostí je jednoznačně vidět podhodnocení srážek při měření srážek radarem a nadhodnocení v případě MV spojů.

Při případném dalším hodnocení musí být vzato v úvahu, že při předchozím porovnávání byly úhrny naměřené srážkoměry považovány za správné, přestože má na měření pomocí srážkoměrů vliv prostorové uspořádání srážky.

Tabulka 13: Celkové srážkové úhrny a hodnoty absolutních a relativních chyb radarových měření a měření MV spojů vzhledem ke měřením pomocí srážkoměrů – povodí EF

	Celkové úhrny			Absolutní chyba		Relativní chyba	
	Srážk.	Radar	MV	Radar	MV	Radar	MV
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[%]
23.05.2014	126,2	93,2		-33,0		-26,1	
08.07.2014	105,4	76,8	96,7	-28,6	-8,7	-27,1	-8,2
11.07.2014	61,0	25,9	64,5	-35,1	3,5	-57,6	5,7
19.09.2014	33,0	20,9	42,2	-12,1	9,2	-36,7	27,8
27.04.2015	15,8	5,1	12,3	-10,6	-3,5	-67,3	-22,1
29.05.2015	58,9	47,7	97,9	-11,2	39,0	-19,0	66,3
27.07.2015	22,7	18,7	38,4	-4,1	15,7	-17,9	69,0
22.06.2017	53,1	55,3	94,6	2,1	41,5	4,0	78,2
28.06.2017	15,3	32,8	25,5	17,5	10,2	114,6	67,0
11.07.2017	31,8	27,8	49,0	-3,9	17,3	-12,4	54,3
11.08.2017	72,1	78,5	118,3	6,5	46,2	9,0	64,1

Tabulka 14: Celkové srážkové úhrny a hodnoty absolutních a relativních chyb radarových měření a měření MV spojů vzhledem ke měřením pomocí srážkoměrů – povodí Solidarita

	Celkové úhrny			Absolutní chyba		Relativní chyba	
	Srážk.	Radar	MV	Radar	MV	Radar	MV
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[%]
22.06.2017	111,5	107,2	146,8	-4,3	35,3	-3,8	31,7
28.06.2017	18,4	55,6	20,3	37,2	1,9	202,3	10,5

## 4.2.2 Povodí EF

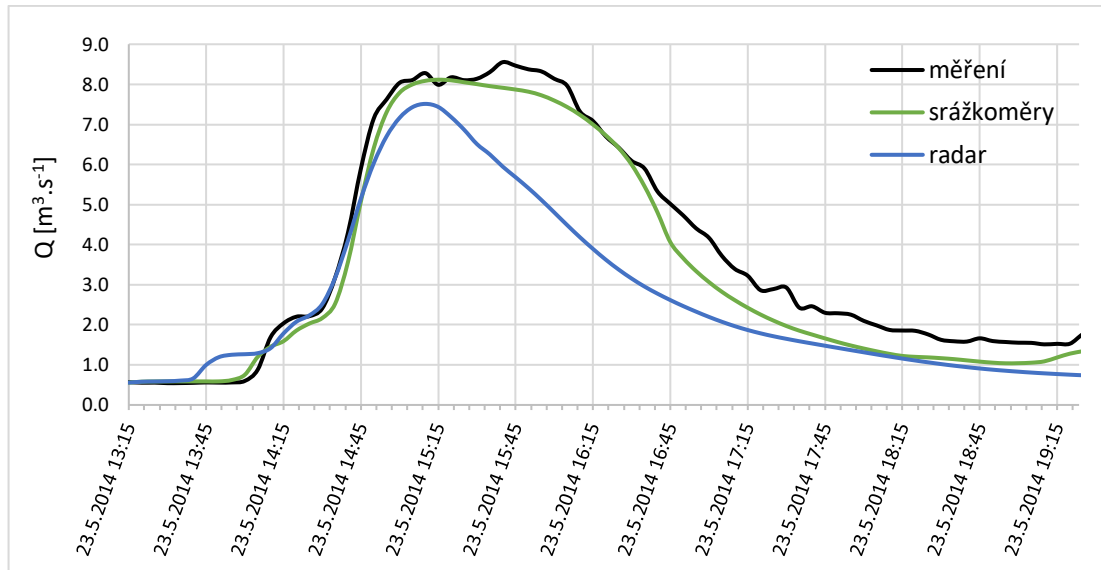
### Událost 23.5.2014

Během této události docházelo k výpadkům měření průtoku v měrném profilu E2-ZOO, a proto není tento měrný profil zahrnut do hodnocení. Pro nedostatek dat z MV spojů jsou při této události vyhodnocena jen data ze srážkoměrů a z radarových měření.

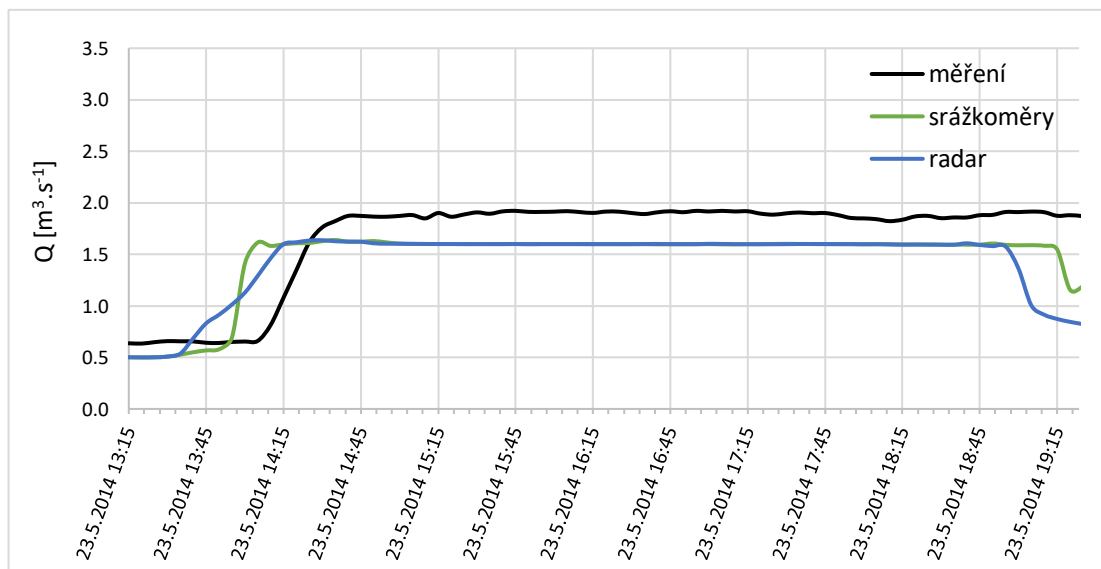
Tabulka 15: Základní charakteristiky události 23.5.2014 ( $R_{max}$  – maximální intenzita srážky,  $R_{10min\_max}$  – maximální 10 minutová intenzita srážky)

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
1	23.5.2014 13:40	23.5.2014 15:30	110	194,58	103,08

Při této simulaci oba zdroje srážkových dat vykázaly velmi vysoké hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu i NSE (Nash-Sutcliffe efficiency), zejména v měrném profilu F1-Nad Kazankou. Průběh průtoků v měrném profilu F0-ÚČOV je ovlivněn blízkou čerpací stanicí ÚČOV, odlišné hodnoty jsou tedy spíše dány nastavením čerpací stanice v modelu. Vysoké hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu u všech dat ukazují silnou lineární závislost měřených a simulovaných hodnot. Je tedy zřejmé, že simulační model je schopen dobře interpretovat i rastrová data. Dle vyhodnocení průměrných plošných úhrnů radarová měření celkově srážku podcenila, zejména v případě srážkoměru SR08-Kyje, který se nachází nejdále od uzávěrového profilu povodí. Proto nástup srážky je dobře nasimulován, ale pokles průtoku nastává dříve.



Graf 1: Průběh průtoků – událost 23.5.2014 – MP F1-Nad Kazankou



Graf 2: Průběh průtoků – událost 23.5.2014 – MP F0-ÚČOV

Tabulka 16: Hodnoty kritérií – událost 23.5.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP F1-Nad Kazankou	0,993	0,972	-
MP F0-ÚČOV	0,843	0,947	-
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP F1-Nad Kazankou	0,964	0,935	-
MP F0-ÚČOV	0,550	0,649	-
<b>Relativní chyba objemu</b>			
MP F1-Nad Kazankou	-10,6 %	-5,9 %	-
MP F0-ÚČOV	-11,4 %	-13,3 %	-

S celkovým podhodnocením srážek v případě radaru korespondují i nižší hodnoty celkového povrchového odtoku. Odlišně se chovají hodnoty přepadlých objemů na odlehčovacích komorách, kdy celkový objem je při simulaci s radarovými daty větší. Většina těchto rozdílů vznikla na přepadech OK 4EF (Trojská), OK 1EF (areál Zoo) a OK 1F\_ZOO (areál Zoo). Všechny tyto komory odlehčují vody ze severní části povodí, tomuto území přísluší srážkoměr SR19-ÚČOV, který během této události celkově zachytil 18,8 mm srážky. Dle vykreslených map úhrnu srážek z radarových měření dopadlo na toto území kolem 25-30 mm. Proto pravděpodobně i přes nižší srážky jsou celkové přepadlé objemy vyšší.

Tabulka 17: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 23.5.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	1407542,1	763506,7	-

Tabulka 18: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 23.5.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
DUN Petrovice	0,0	0,0	-
OK 16E	2394,4	3389,2	-
OK 17E	1285,9	1880,2	-
OK 29FE	0,0	0,0	-
OK 2F	9617,5	8742,8	-
OK 30FE	0,0	0,0	-
OK 33E	8810,9	9778,1	-
OK 3F	4095,4	3608,9	-
OK 6F_1	6396,2	4775,6	-
OK 6F_2	3428,0	3019,9	-
OK 10E	63,0	68,9	-
OK 120E	30,1	0,0	-
OK 18E	154,7	125,8	-
OK 19E	3683,9	1437,1	-
OK 1EF	9991,4	17576,2	-
OK 1F_ZOO	45883,1	48456,3	-
OK 20EF	568,7	462,1	-
OK 23E	885,5	831,7	-
OK 25E	0,0	0,0	-
OK 4EF	15866,1	30442,7	-
OK 7E	0,0	0,0	-
OK 5F	751,0	371,0	-
OK 11F	0,0	0,0	-
OK 13F	3308,8	5267,1	-
<b>Σ</b>	<b>117 214,6</b>	<b>140 233,4</b>	-

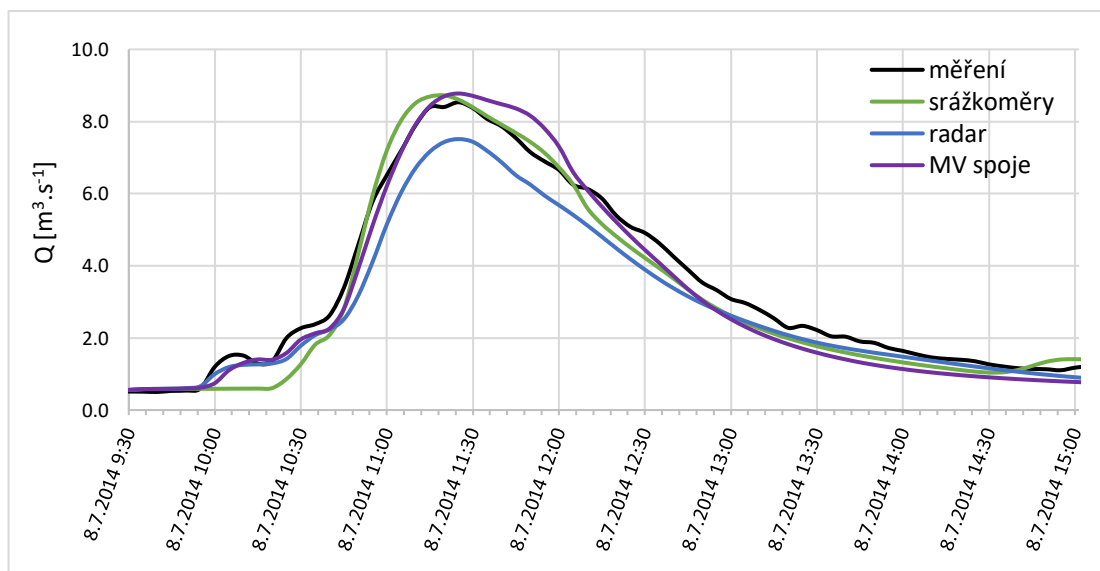
### Událost 8.7.2014

Během této události docházelo k výpadkům měření průtoku v měrném profilu E2-ZOO, a proto není tento měrný profil zahrnut do hodnocení.

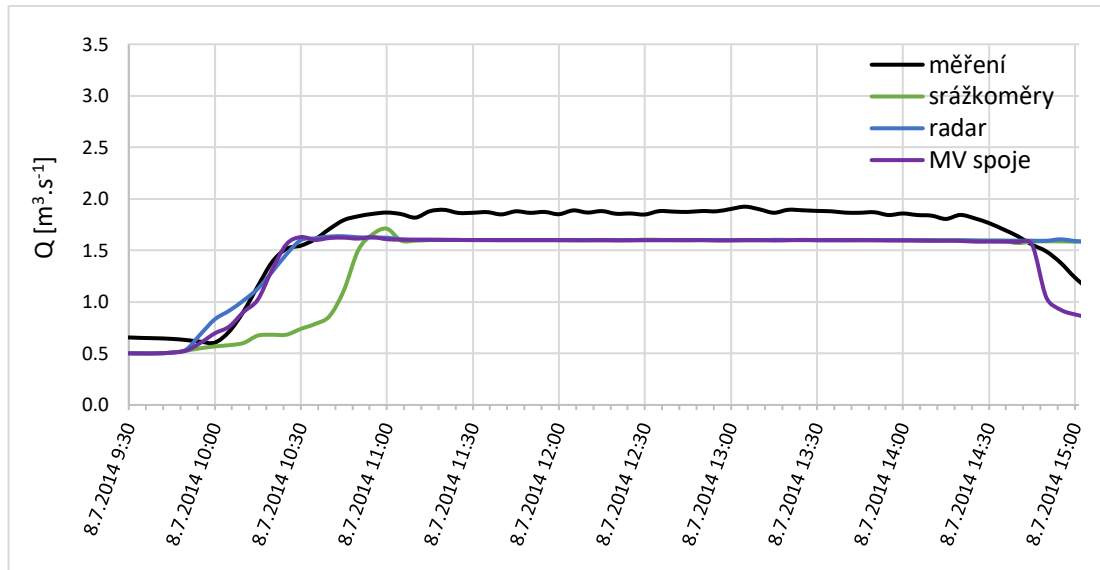
Tabulka 19: Základní charakteristiky události 8.7.2014

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
2	8.7.2014 09:45	8.7.2014 11:00	100	198,6	112,0

Při této události se na rozdílném průběhu průtoků u jednotlivých zdrojů srážkových dat podílelo zejména prostorové rozložení srážky nad povodím. Tuto prostorovou variabilitu nebyly srážkoměry schopny zachytit, a proto jsou v obou grafech nepřesně zachyceny vzestupné větve u srážkoměrů. Radarová měření a měření pomocí MV spoju naopak tento nástup zachytily a lépe korelují s naměřenými daty. Nižší kulminační průtok u radaru v měrném profilu F1 je dán celkovým podhodnocením srážek oproti srážkoměrům.



Graf 3: Průběh průtoků – událost 8.7.2014 – MP F1-Nad Kazankou



Graf 4: Průběh průtoků – událost 8.7.2014 – MP F0-ÚČOV

Tabulka 20: Hodnoty kritérií – událost 8.7.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP F1-Nad Kazankou	0,990	0,996	0,992
MP F0-ÚČOV	0,877	0,940	0,965
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP F1-Nad Kazankou	0,962	0,932	0,969
MP F0-ÚČOV	0,353	0,692	0,664
<b>Relativní chyba objemu</b>			
MP F1-Nad Kazankou	-7,1 %	-15,2 %	-6,1 %
MP F0-ÚČOV	-16,4 %	-9,4 %	-12,8 %

Podhodnocení srážek z radarových měření je vidět i na hodnotách celkového povrchového odtoku a přepadlých objemů na odlehčovacích komorách. Naopak hodnoty obou veličin z MV spojů jsou vyšší, přestože dle průměrných plošných úhrnů jsou MV spoje oproti srážkoměrům rovněž podhodnoceny, ale nikoliv tak výrazně jako u radaru. Toto odlišné chování může být způsobeno spíše nepřesným zachycením prostorového rozložení srážky pomocí srážkoměrů, než chybami modelu nebo MV spojů. Ukázkou je například celkový úhrn zachycený srážkoměrem SR19-ÚČOV, který se nachází na okraji srážky a zachytil pouze 1,8 mm. Naopak jak radarová měření, tak měření z mikrovlnných spojů dle průměrných plošných úhrnů zde zachytily úhrny nad 10 mm.

Tabulka 21: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 8.7.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	227952,0	134650,2	320497,4

Tabulka 22: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 8.7.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
DUN Petrovice	0,0	0,0	0,0
OK 16E	4007,5	1694,2	3059,2
OK 17E	2957,5	844,8	2171,9
OK 29FE	225,6	0,0	136,4
OK 2F	1820,6	7977,3	7501,2
OK 30FE	0,0	0,0	0,0
OK 33E	9886,8	6326,5	12292,1
OK 3F	1055,6	2007,0	1383,3
OK 6F_1	6125,4	4155,8	5923,4
OK 6F_2	2895,0	2381,8	2712,0
OK 10E	182,8	70,3	222,8
OK 120E	635,2	40,9	975,4
OK 18E	258,8	131,6	339,8
OK 19E	3295,4	1632,1	3568,6
OK 1EF	7760,8	7000,0	9798,4
OK 1F_ZOO	37184,7	30952,9	38639,7
OK 20EF	503,6	249,8	635,5
OK 23E	741,0	555,7	742,0
OK 25E	31,5	0,0	1738,6
OK 4EF	9893,9	8818,8	11124,1
OK 7E	0,0	0,0	0,0
OK 5F	548,0	124,7	881,3
OK 11F	444,5	0,0	180,7
OK 13F	7204,0	1396,3	4251,8
<b>Σ</b>	<b>97 658,2</b>	<b>76 360,6</b>	<b>108 278,4</b>



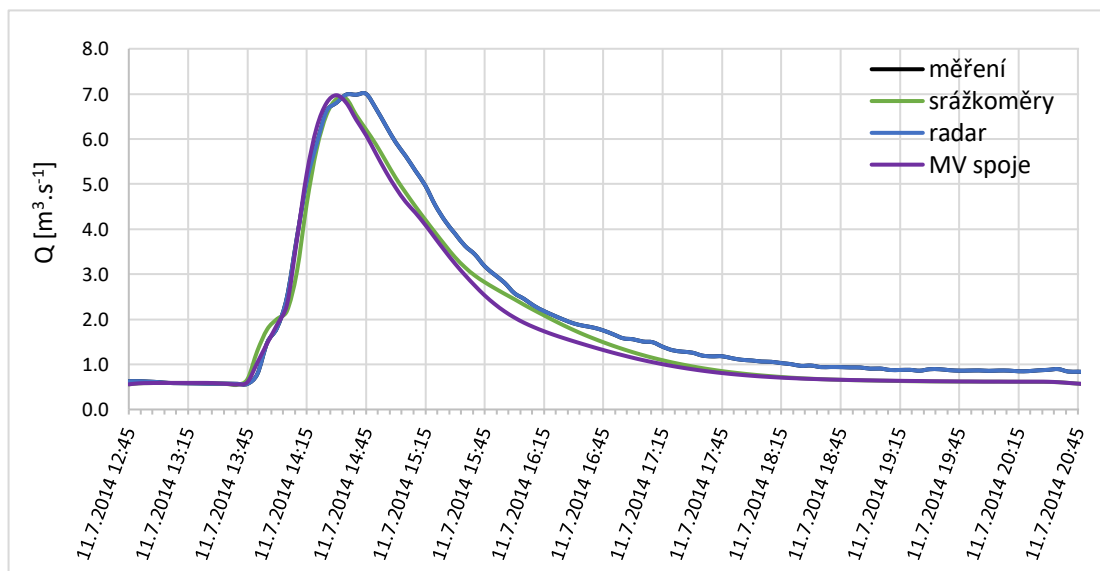
### Událost 11.7.2014

Během této události docházelo k výpadkům měření průtoku v měrném profilu E2-ZOO, a proto není tento měrný profil zahrnut do hodnocení.

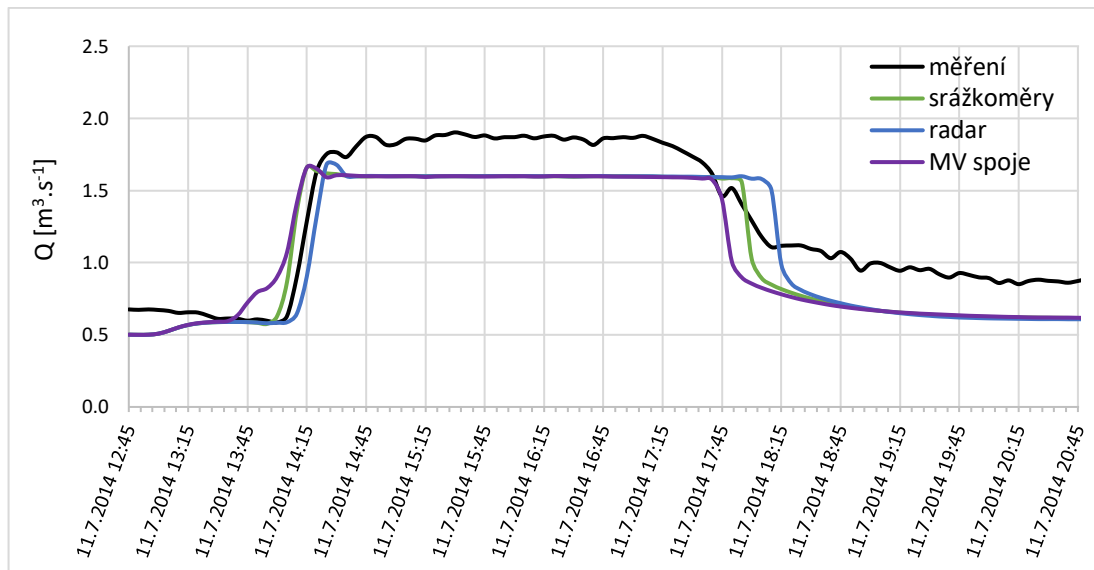
Tabulka 23: Základní charakteristiky události 11.7.2014

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
3	11.7.2014 13:20	11.7.2014 14:25	65	161,7	84,4

Tato událost vykazuje velmi vysoké hodnoty kritérií u všech zdrojů dat. Dle průměrných plošných úhrnů vykazují data z mikrovlnných spojů lehké podhodnocení vyšších intenzit, ale na druhou stranu výrazně nadhodnotily nízké intenzity. Radar naopak nízké intenzity naměřil téměř totožné, ale u vysokých intenzit byly záznamy podhodnocené. Na Grafu 5 je vidět, že průběh průtoků v tomto profilu je velmi ovlivněn škrťací tratí na odlehčovacích komorách výše po toku, proto i přes rozličné hodnoty úhrnů jednotlivých zdrojů dat, je průběh průtoku velmi podobný.



Graf 5: Průběh průtoků – událost 11.7.2014 – MP F1-Nad Kazankou



Graf 6: Průběh průtoků – událost 11.7.2014 – MP F0-ÚČOV

Tabulka 24: Hodnoty kritérií – událost 11.7.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP F1-Nad Kazankou	0,994	0,972	0,990
MP F0-ÚČOV	0,954	0,954	0,934
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP F1-Nad Kazankou	0,965	0,835	0,948
MP F0-ÚČOV	0,743	0,745	0,694
<b>Relativní chyba objemu</b>			
MP F1-Nad Kazankou	-12,9 %	-20,5 %	-15,8 %
MP F0-ÚČOV	-15,5 %	-15,3 %	-16,0 %

Nízké hodnoty celkového povrchového odtoku a celkových přepadlých objemů při využití srážkových dat z radarů oproti srážkoměrům opět odpovídají nízkým hodnotám celkových úhrnů srážek.

Tabulka 25: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 11.7.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	531555,2	311747,4	544184,5

Tabulka 26: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 11.7.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
DUN Petrovice	0,0	0,0	0,0
OK 16E	2650,1	1031,3	1967,6
OK 17E	2004,2	324,5	1574,3
OK 29FE	34,3	0,0	10,9
OK 2F	1147,4	178,7	2007,1
OK 30FE	0,0	0,0	0,0
OK 33E	4993,2	1371,1	7641,4
OK 3F	332,3	0,0	1,6
OK 6F_1	3251,0	448,7	2257,1
OK 6F_2	1515,1	987,1	1180,0
OK 10E	110,2	7,6	89,6
OK 120E	188,1	0,0	16,6
OK 18E	24,7	0,0	253,6
OK 19E	1295,8	494,0	2274,8
OK 1EF	3371,6	0,0	3075,1
OK 1F_ZOO	20963,3	16662,5	20039,5
OK 20EF	198,7	91,9	406,9
OK 23E	530,8	626,3	508,4
OK 25E	0,0	0,0	0,0
OK 4EF	4769,6	1599,9	3871,3
OK 7E	0,0	0,0	0,0
OK 5F	435,8	0,0	91,7
OK 11F	619,4	0,0	57,5
OK 13F	4680,8	1471,7	2250,3
<b>Σ</b>	<b>53 116,4</b>	<b>25 295,3</b>	<b>49 575,1</b>

**Událost 29.5.2015**

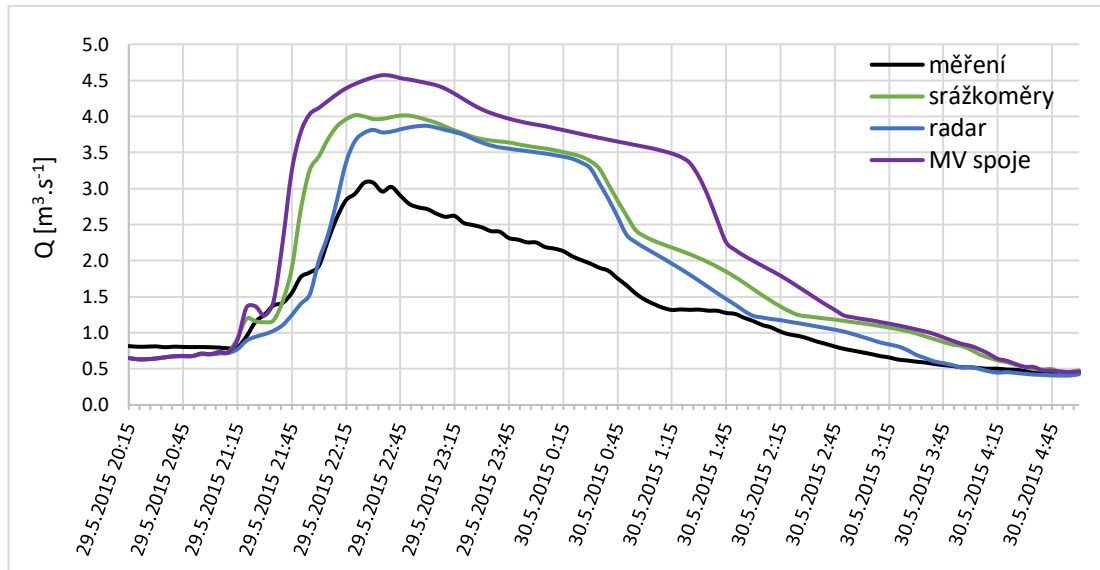
Při této události byly všechny vody z kmenové stoky E a z Bohnického sběrače převedeny do stoky E před měrný profil E2-ZOO. Průtok v měrném profilu F0-ÚČOV je nulový.

*Tabulka 27: Základní charakteristiky události 29.5.2015*

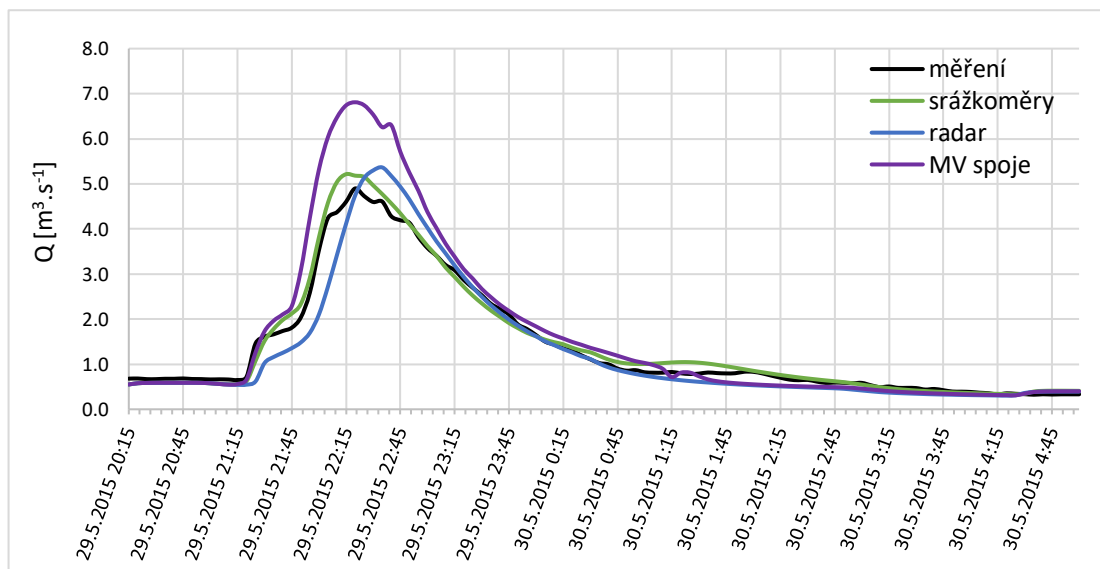
č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
6	29.5.2015 21:00	29.5.2015 22:00	60	101,6	50,8

Tato událost je oproti předešlým mírnější. Proto i ovlivnění měrného profilu F1 škrtící trati není tak výrazné. Hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu jsou u všech zdrojů velmi vysoké. Hodnoty NSE ukazují v případě měrného profilu F1-Nad Kazankou vcelku uspokojivou shodu, zejména u srážkoměrů a radaru. Naopak hodnoty NSE měrného profilu E2-ZOO jsou nízké, u MV spojů jdou hodnoty dokonce do záporných čísel. Nicméně nízkou hodnotu kritéria ukazují všechny zdroje dat, a proto jsou výsledky spíše dány nastavením modelu.

Pokud se díváme pouze na simulované hodnoty, tak ukazují velmi podobné chování, ale s odlišnými hodnotami průtoků. Všechny tyto odlišnosti jsou způsobeny vstupními srážkovými daty. Výrazně vyšší průtoky v případě MV spojů jsou způsobeny celkovým nadhodnocením srážek nad povodím. Radary naopak srážky mírně podhodnotily.



Graf 7: Průběh průtoků – událost 29.5.2015 – MP E2-ZOO



Graf 8: Průběh průtoků – událost 29.5.2015 – MP F1-Nad Kazankou

Tabulka 28: Hodnoty kritérií – událost 29.5.2015

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP E2-ZOO	0,973	0,962	0,944
MP F1-Nad Kazankou	0,994	0,970	0,989
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP E2-ZOO	0,007	0,356	-1,396
MP F1-Nad Kazankou	0,982	0,925	0,737
<b>Relativní chyba v objemu</b>			
MP E2-ZOO	43,4 %	27,5 %	69,6 %
MP F1-Nad Kazankou	3,9 %	-7,3 %	17,9 %

Odlišnosti radarových měření a měření MV spojů jsou vidět i na hodnotách celkového povrchového odtoku a celkových přepadlých objemů na odlehčovacích komorách. Hodnoty z MV spojů jsou oproti hodnotám ze srážkoměrů výrazně vyšší a hodnoty z radaru naopak nižší.

Srážka povodí zasáhla rovnoměrně, a proto hodnoty celkových přepadů i přepady na jednotlivých odlehčovacích komorách odpovídají celkovému trendu.

Tabulka 29: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 29.5.2015

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	424765,5	331070,9	614249,8

Tabulka 30: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 29.5.2015

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
DUN Petrovice	0	0,0	0,0
OK 16E	732,9	638,6	2142,5
OK 17E	259,38	50,1	1048,1
OK 29FE	0	0,0	0,0
OK 2F	4093,62	3688,6	6160,3
OK 30FE	0	0,0	0,0
OK 33E	2338,86	1467,2	5542,7
OK 3F	623,64	0,0	702,5
OK 6F_1	1672,08	864,7	1749,6
OK 6F_2	1352,58	1384,1	1934,2
OK 10E	2,34	10,4	86,2
OK 120E	0	0,0	0,0
OK 18E	0	0,0	235,4
OK 19E	981	921,1	2443,6
OK 1EF	28623,78	23866,1	39289,4
OK 1F_ZOO	0	0,0	0,0
OK 20EF	121,5	64,6	375,7
OK 23E	646,32	594,7	317,8
OK 25E	0	0,0	0,0
OK 4EF	5205,42	3680,8	6850,9
OK 7E	0	0,0	0,0
OK 5F	20,46	0,0	0,0
OK 11F	0	0,0	0,0
OK 13F	320,16	188,9	3011,5
<b>Σ</b>	<b>46 994,0</b>	<b>37 419,8</b>	<b>71 890,4</b>

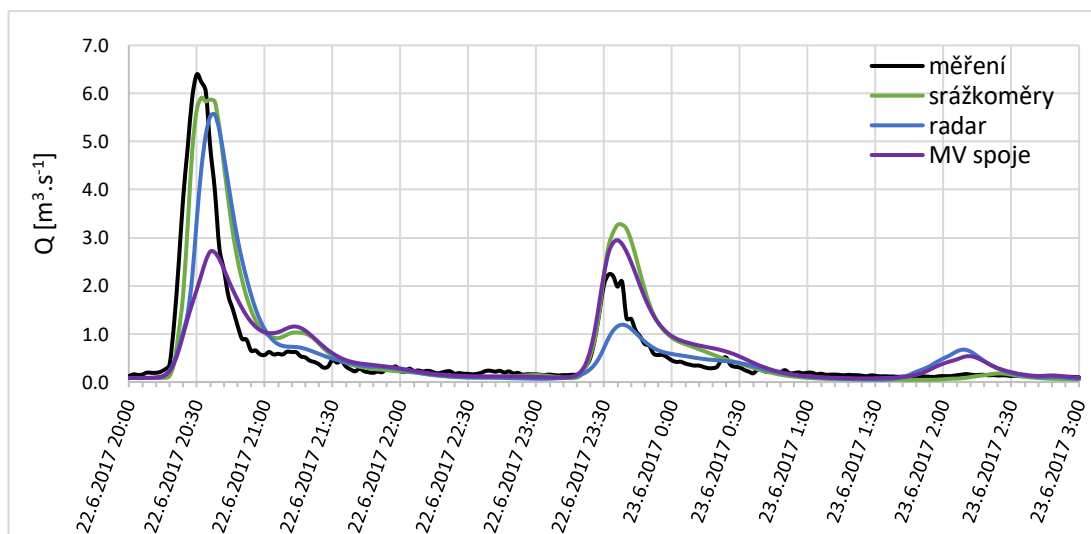
### 4.2.3 Povodí Solidarita

#### Události 22.6.2017

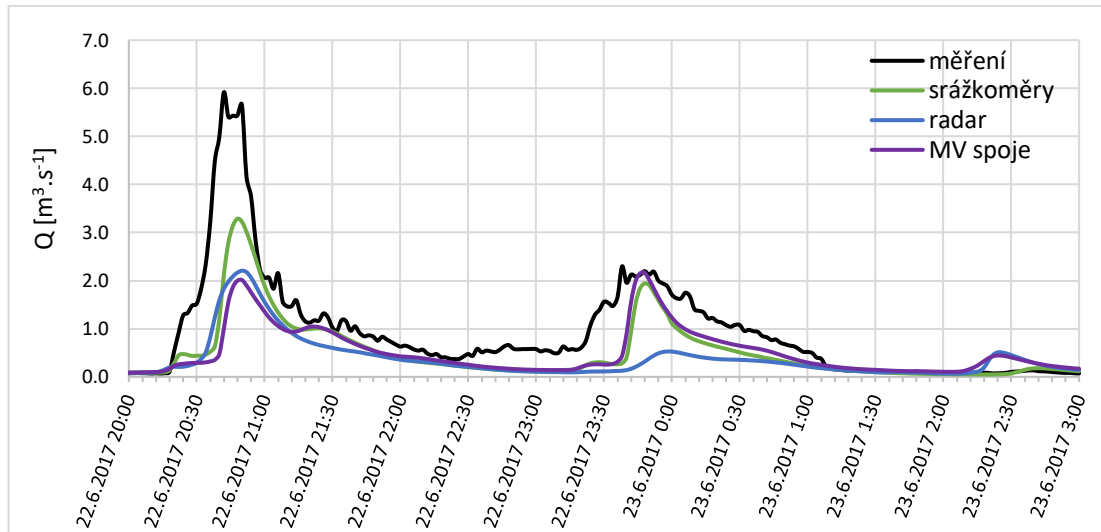
Tabulka 31: Základní charakteristiky událostí 22.6.2017

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
1	22.6.2017 20:00	22.6.2017 22:00	120	155,5	53,3
2	22.6.2017 23:00	23.6.2017 00:15	75	58,9	27,7

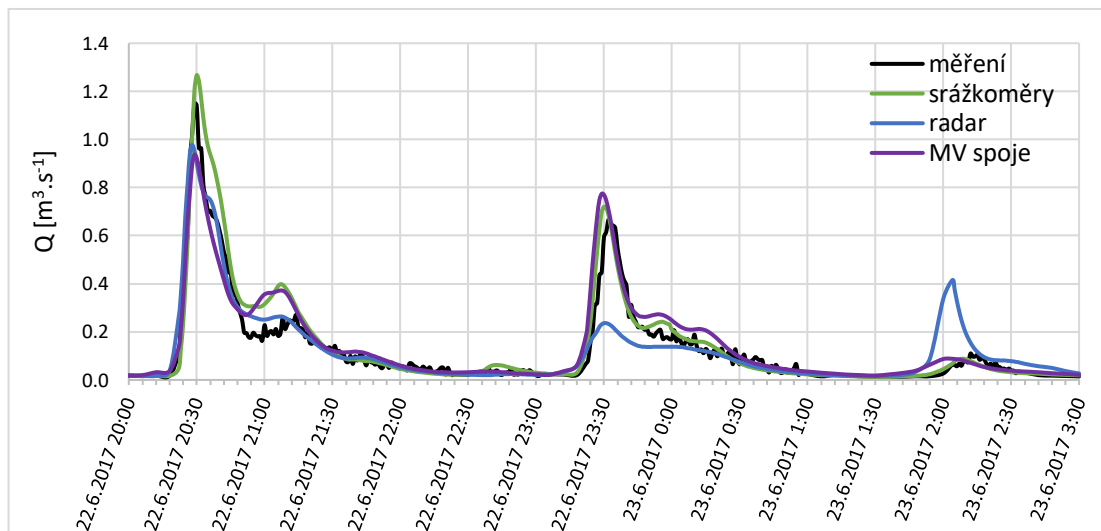
Podle hodnot kritérií při této události dosáhly nejlepší shody s měřeními průtoky simulace s daty ze srážkoměrů. Z grafů je vidět, že radar správně nezachytil druhou srážku a výstupy vykazují nižší průtoky. Toto lehké podhodnocení u radaru lze pozorovat rovněž v rámci hodnot průměrných plošných úhrnů.



Graf 9: Průběh průtoků – události 22.6.2017 – MP Q2



Graf 10: Průběh průtoků – události 22.6.2017 – MP Q3



Graf 11: Průběh průtoků – události 22.6.2017 – MP Q6

Tabulka 32: Hodnoty kritérií – události 22.6.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP Q2	0,902	0,781	0,705
MP Q3	0,864	0,832	0,725
MP Q6	0,967	0,891	0,937
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP Q2	0,738	0,591	0,494
MP Q3	0,518	0,248	0,294
MP Q6	0,875	0,791	0,869
<b>Relativní chyba v objemu</b>			
MP Q2	22,9 %	0,5 %	3,9 %
MP Q3	-45,5 %	-59,2 %	-45,4 %
MP Q6	13,8 %	0,6 %	15,6 %



Podhodnocení radaru je znatelné rovněž na hodnotách celkového povrchového odtoku i přepadlých objemů.

*Tabulka 33: Celkový povrchový odtok z povodí Solidarita pro jednotlivá srážková data – události 22.6.2014*

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	271 346,4	224 165,8	279 597,6

*Tabulka 34: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí Solidarita – události 22.6.2017*

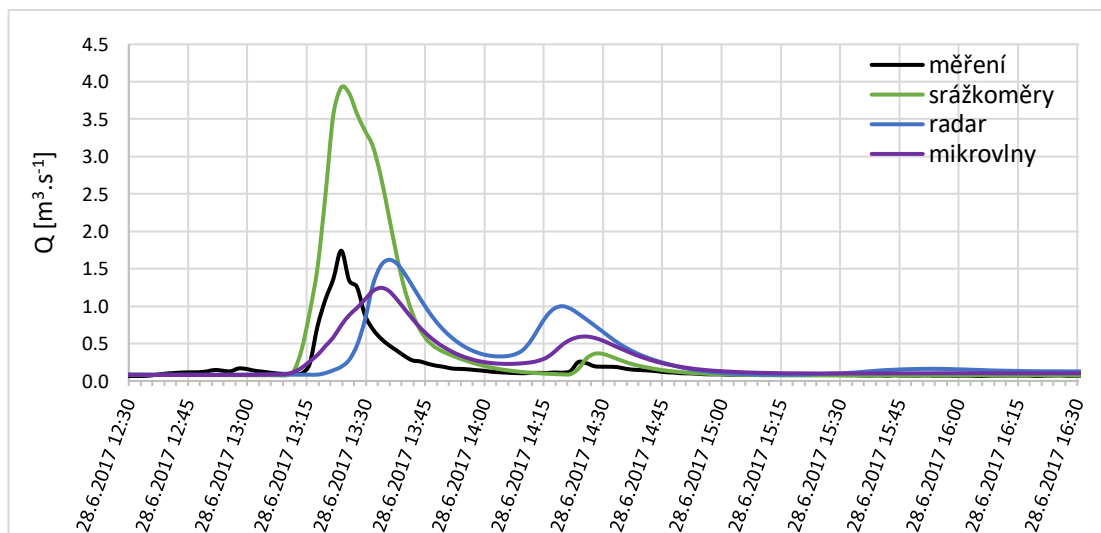
	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
OK 103K	345,6	530,6	840,1
OK 36K	14226,1	9529,0	16826,9
OK 38K	1978,9	2193,6	3303,5
OK 43K	2977,8	2067,3	4621,1
OK 46K	1228,1	1133,8	1989,7
OK 53K	65,9	163,4	393,6
OK 60K	374,8	0,0	0,0
OK 61K	10356,7	8422,4	7656,9
OK 62K	4419,8	2009,0	3388,7
OK 63K	5808,8	2277,3	3788,8
OK 55K	0,0	0,0	0,0
<b>Σ</b>	<b>41782,6</b>	<b>28326,5</b>	<b>42809,2</b>

## Událost 28.6.2017

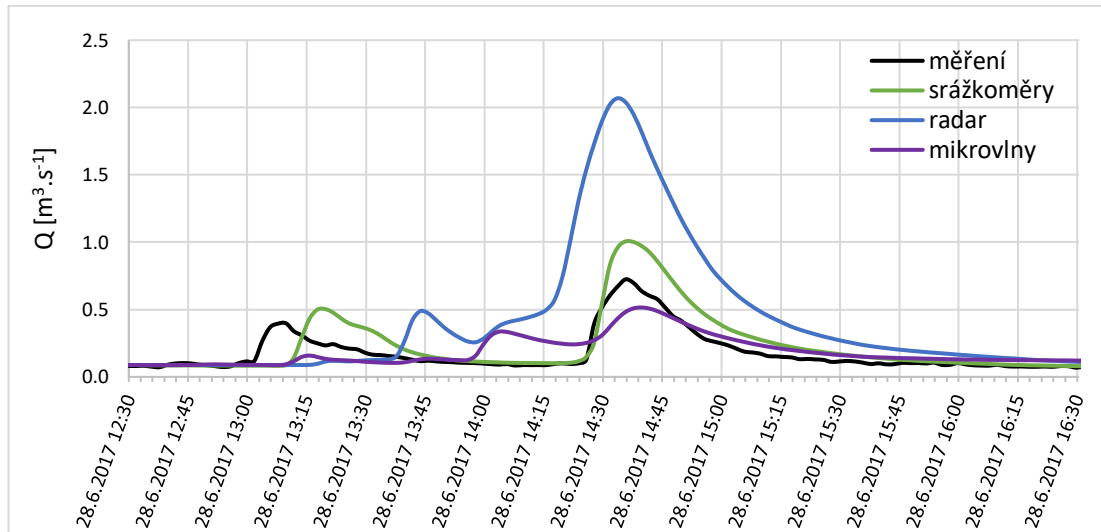
Tabulka 35: Základní charakteristiky události 28.6.2017

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
3	28.6.2017 13:05	28.6.2017 14:20	75	126,18	40,3

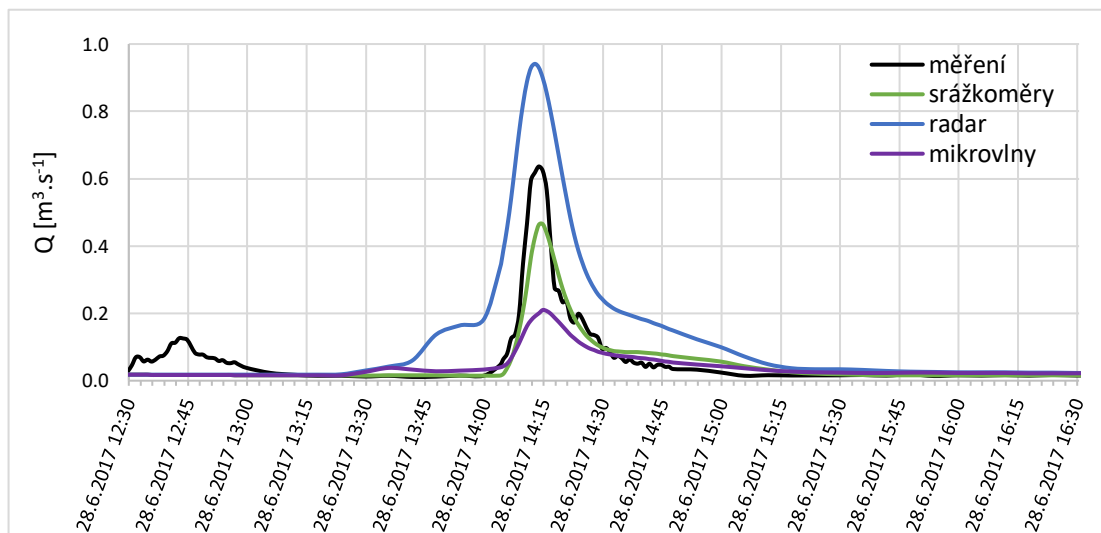
Dle vykreslených map celkových úhrnů jsou hodnoty úhrnů na povodí velmi variabilní. Proto i průtoky v jednotlivých měrných profilech vykazují odlišné chování, které závisí na tom, na jakou a jak velkou část povodí srážky dopadly. Dle vyhodnocení průměrných srážkových úhrnů radar nadhodnotil velké intenzity, a to se projevuje jak v Grafu 13 a 14, tak rovněž na hodnotách kritérií. Srážkoměry a MV spoje vykazují o něco lepší shodu s měřenými daty. Zejména hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu u srážkoměrů jsou velmi vysoké, tzn. že srážkoměry dobře zachytily průběh srážky nad povodím.



Graf 12: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP Q2



Graf 13: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP Q3



Graf 14: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP Q6

Tabulka 36: Hodnoty kritérií – událost 28.6.2017 – povodí Solidarita

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP Q2	0,954	0,286	0,674
MP Q3	0,912	0,810	0,742
MP Q6	0,930	0,885	0,869
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP Q2	-3,892	-1,184	0,269
MP Q3	0,391	-7,543	0,533
MP Q6	0,822	-0,667	0,421
<b>Relativní chyba v objemu</b>			
MP Q2	99,0 %	67,0 %	39,1 %
MP Q3	26,2 %	125,0 %	11,8 %
MP Q6	-11,1 %	108,5 %	-20,2 %

Nadhodnocení srážkových intenzit radarem je patrné i na hodnotách celkového povrchového odtoku a na hodnotách celkových přepadlých objemů na odlehčovacích komorách.

Tabulka 37: Celkový povrchový odtok z povodí Solidarita pro jednotlivá srážková data – událost 28.6.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	52 405,7	63 170,6	54 487,8

Tabulka 38: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí Solidarita – událost 28.6.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
OK 103K	0,0	0,0	0,0
OK 36K	628,3	64,9	398,8
OK 38K	0,0	0,0	85,7
OK 43K	0,0	0,0	0,0
OK 46K	0,0	0,0	233,9
OK 53K	0,0	0,0	0,0
OK 60K	156,7	0,0	0,0
OK 61K	2787,3	2034,6	1649,6
OK 62K	314,9	2064,8	0,0
OK 63K	0,0	2679,2	0,0
OK 55K	0,0	0,0	0,0
<b>Σ</b>	<b>3887,2</b>	<b>6843,5</b>	<b>2368,1</b>

#### 4.2.4 Diskuze

Při celkovém pohledu na výsledky je patrné, že nejlepší shody bylo dosaženo při simulacích s daty ze srážkoměrů. Hlavní příčinou bude pravděpodobně kalibrace. Jednotlivé srážkoměry a celá srážkoměrná síť jsou na rozdíl od nepřímých měření, v podobě radarových odhadů a odhadů intenzit srážek z MV spojů, pravidelně kalibrovány jak staticky, tak dynamicky [2]. Určitá kalibrace probíhá i v rámci srážkoměrné sítě, kdy pravidelně probíhá časová synchronizace měření jednotlivých srážkoměrů [2]. K lepším výsledkům při simulacích s daty ze srážkoměrů rovněž přispěl fakt, že simulační model byl kalibrován a verifikován na data ze srážkoměrů. V případě kalibrace nepřímých měření jsou zpravidla využívána data z bodových měření.

Na povodí EF, zejména při událostech s vyššími celkovými úhrny, byly průběhy průtoků v měrných profilech ovlivněny škrtící tratí na odlehčovacích komorách ležících nad měrnými profily. Tento jev je nejvíce patrný u měrného profilu F1-Nad Kazankou, v jehož blízkosti se nachází odlehčovací komora 4EF-Trojská. Velmi dobré výsledky při všech simulacích v tomto profilu byly dosaženy schopností modelu správně simulovat škrcení na odlehčovacích komorách.

Více informací o srážce a jejím vlivu na povodí poskytly hodnoty přepadlých objemů na jednotlivých odlehčovacích komorách. V rámci jednotlivých událostí je vidět vztah mezi hodnotami přepadlých objemů na jednotlivých odlehčovacích komorách a prostorovou variabilitou srážky. Při tomto hodnocení byly v některých případech patrné nedostatky v případě měření pomocí srážkoměrů. Pokud srážkoměr ležel na okraji srážky a nezachytil ji, byl ovlivněn celkový povrchový odtok z území náležejícího srážkoměru, a tedy i přepady na odlehčovacích komorách příslušející tomuto území.

## 5 Závěr

V této práci byly simulovány srážkové události s rozdílnou časoprostorovou variabilitou. Pro každou událost proběhly tři simulace – s daty ze srážkoměrných stanic, s radarovými daty a s rekonstruovanými srážkovými daty z mikrovlnných spojů. Výstupy ze simulačního modelu byly porovnány s měřenými průtoky a vyhodnoceny.

Hlavní cíle práce byly splněny. Byly zprovozněny modely v softwaru MIKE Urban+, spuštěny simulace jednotlivých srážkových událostí s rastrovými daty a výstupy porovnány s měřenými průtoky.

Hlavní závěry práce lze definovat takto:

- simulační model je schopen dobře interpretovat rastrová data
- přestože byly modely kalibrované na data ze srážkoměrů, tak simulace s rastrovými daty rovněž poskytovaly dobrou představu o průtocích
- vzniklé nepřesnosti simulací s rastrovými daty jsou v zásadě způsobeny nejistotami v měření samotných srážek
  - radar ve většině případů srážky podhodnotil, zvláště vysoké intenzity
  - MV spoje vysoké intenzity podhodnotily a menší intenzity nadhodnotily
  - nejistoty v rastrových datech v obou případech nejsou zanedbatelné, nicméně radarová měření vykazují ještě větší chyby než měření pomocí mikrovlnných spojů
- je patrný vztah mezi přepadlými objemy na odlehčovacích komorách a prostorovou variabilitou srážky nad povodím

Práce ukázala, že první využití plošných rastrových dat z nepřímých měření přináší řadu otázek a problémů. Výhody obecně citované v literatuře, že rastrová data nesou informaci o plošné distribuci srážky, nejsou v této práci dostatečně potvrzeny.

## 6 Literatura

- [1] KREJČÍ, Vladimír, HLAVÍNEK, Petr a Evžen ZEMAN, ed. *Odvodnění urbanizovaných území: koncepční přístup*. Brno: NOEL 2000, c2002. ISBN 80-86020-39-8.
- [2] SUCHÁNEK, Milan, Petr SÝKORA a David STRÁNSKÝ. *Monitoring v městském odvodnění. Část I.-Dešťové srážky*. Líbeznice: Medim pro SOVAK ČR, c2012. ISBN 978-80-87140-25-3.
- [3] FENCL, M., J. RIECKERMANN, M. SCHLEISS, D. STRÁNSKÝ a V. BAREŠ. Assessing the potential of using telecommunication microwave links in urban drainage modelling. *Water Science and Technology*. 2013, **68**(8), 1810-1818. DOI: 10.2166/wst.2013.429. ISSN 0273-1223. Dostupné také z: <https://iwaponline.com/wst/article/68/8/1810/17887/Assessing-the-potential-of-using-telecommunication>
- [4] JAROSLAV, Pastorek. *The effect of different rainfall information on uncertainty in urban runoff modelling*. Prague, 2016. Master's thesis. Czech technical university in Prague.
- [5] FENCL, Martin. *On the suitability of telecommunication microwave links for urban rainfall-runoff modeling*. Prague, 2016. Doctoral thesis. Czech technical university in Prague.
- [6] VOGEL, Tomáš. *Výpočet postupu průtokové vlny*. [přednáška]. Fakulta stavební ČVUT. 2018.
- [7] VOGEL, Tomáš. *Modelování srážkoodtokových vztahů*. [přednáška]. Fakulta stavební ČVUT. 2018.
- [8] DHI. MIKE URBAN+: *Collection System – User Guide*. 2019.
- [9] Dešťové srážky v systému městského odvodnění. *MIKE Powered by DHI* [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: [https://worldwide.dhigroup.com/-/media/shared%20content/presences/emea/czech%20republic/references/clanky/clanek\\_destove\\_srazky.pdf?la=en](https://worldwide.dhigroup.com/-/media/shared%20content/presences/emea/czech%20republic/references/clanky/clanek_destove_srazky.pdf?la=en)
- [10] *Člunkové srážkoměry SR03, SR03/V Návod k obsluze*. 2015. Dostupné také z: <https://www.fiedler.company/sites/default/files/dokumenty/sr03-v1.pdf>
- [11] *Srážkoměr SR02, SR03(RD)*. ČZÚ Praha [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <http://meteostanice.agrobiologie.cz/figs/Prospekt-SR03RD.pdf>

- [12] BERNE, Alexis a Witold F. KRAJEWSKI. Radar for hydrology: Unfulfilled promise or unrecognized potential? *Advances in Water Resources* [online]. 2013, 51, 35th Year Anniversary Issue, 357-366. [cit. 2019-10-16]. ISSN 0309-1708. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.05.005>
- [13] ŘEZÁČOVÁ, Daniela. *Fyzika oblaků a srážek*. Praha: Academia, 2007. Gerstner. ISBN 978-80-200-1505-1.
- [14] Aktuální odhad srážek z radarů a srážkoměrů. *ČHMÚ* [online]. 2011 [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_srinfo.php](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_srinfo.php)
- [15] Český hydrometeorologický ústav – Radarová síť CZRAD. *ČHMÚ* [online]. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info\\_czrad/](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info_czrad/)
- [16] THORND AHL, Søren, Thomas EINFALT, Patrick WILLEMS, Jesper E. NIELSEN, Marie-Claire TEN VELDHUIS, Karsten ARNBJERG-NIELSEN, Michael R. RASMUSSEN a Peter MOLNAR. Weather radar rainfall data in urban hydrology. *Hydrology and earth system sciences* [online]. 2017, 21(3), 1359-1380 [cit. 2019-10-16]. ISSN 1027-5606. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/hess-21-1359-2017>
- [17] Weather radar. *Japan Radio Co., Ltd.* [online]. [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: [http://www.jrc.co.jp/eng/product/weather\\_disaster\\_prevention\\_rivers/weather\\_radar/index.html](http://www.jrc.co.jp/eng/product/weather_disaster_prevention_rivers/weather_radar/index.html)
- [18] KRČMÁŘ, Petr. Na návštěvě meteorradaru Skalky: kde se berou radarové mapy srážek. *ROOT.CZ* [online]. 2019 [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/na-navsteve-meteorradaru-skalky-kdyz-ctvrt-megawattu-sviti-do-mraku/>
- [19] Tisková zpráva: Úspěšná realizace projektu „Upgrade měřicích systémů pro předpovědní a výstražnou službu“. In: *ČHMÚ* [online]. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/Radary/radary.pdf>
- [20] CHWALA, Christian a Harald KUNSTMANN. Commercial microwave link networks for rainfall observation: Assessment of the current status and future challenges. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. 2018, 6(2). DOI: 10.1002/wat2.1337. ISSN 2049-1948. Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wat2.1337>
- [21] CHWALA, Christian, Felix KEIS a Harald KUNSTMANN. Real-time data acquisition of commercial microwave link networks for hydrometeorological applications. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2016, 9(3), 991-999. DOI: 10.5194/amt-9-991-2016. ISSN 1867-8548. Dostupné také z: <https://www.atmos-meas-tech.net/9/991/2016/>



- [22] BAREŠ, Vojtěch, Martin FENCL, Jörg RIECKERMANN, Petr SÝKORA, David STRÁNSKÝ a Michal DOHNAL. Plošná srážková informace v urbanizovaných povodích odvozená z generovaného útlumu mikrovlnných spojů telekomunikační sítě. *Vodní hospodářství*. 2017, **67**(9), 3-7.
- [23] Vysílače umožní přesné měření srážek, a tedy i předpovědi záplav. *T-Press: Tiskové centrum* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.tpress.cz/cs/tiskove-materialy/tiskove-zpravy-t-mobile/vysilace-umozni-presne-mereni-srazek-a-tedy-i-predpovedi-zaplav.html>
- [24] FENCL, Martin, Pavel VALTR, Milan KVIČERA a Vojtěch BAREŠ. Quantifying Wet Antenna Attenuation in 38-GHz Commercial Microwave Links of Cellular Backhaul. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 2019, **16**(4), 514-518. DOI: 10.1109/LGRS.2018.2876696. ISSN 1545-598X. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8525284/>
- [25] HARTIG, Jan. *Zpráva z měření na stálých měrných profilech kmenových stok v povodí ÚČOV Praha*. Praha. 2015-2016
- [26] TYRPEKL, Michal. *Zpráva z měření na stálých měrných profilech kmenových stok v povodí ÚČOV Praha*. Praha. 2018
- [27] KABÁT, Jan. "Aktualizace a správa Generelu odvodnění hlavního města Prahy – část 5 "Přepoččet povodí sběrače Solidarita a CXII včetně měření": Monitorovací kampaň. Praha, 2017.
- [28] Our products. *MIKE Powered by DHI* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products>
- [29] MIKE URBAN+. *MIKE Powered by DHI* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban-plus>
- [30] PRYL, Karel, M. SUCHÁNEK a M. DOLEJŠ. *Monitoring pro GO HMP*. [online]. 2000 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: [https://worldwide.dhigroup.com/-/media/shared%20content/presences/emea/czech%20republic/references/clanky/clanek\\_monitoring\\_pro\\_gohmp.pdf?la=en](https://worldwide.dhigroup.com/-/media/shared%20content/presences/emea/czech%20republic/references/clanky/clanek_monitoring_pro_gohmp.pdf?la=en)
- [31] GANDALF. *DHI Worldwide* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://worldwide.dhigroup.com/cz/monitoring/software>
- [32] MIKE OPERATIONS. *MIKE Powered by DHI* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-operations>
- [33] Kdo jsme? *Pražská vodohospodářská společnost a.s.* [online]. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <http://www.pvs.cz/pvs/kdo-jsme/>

- 
- [34] Projekty vodohospodářské infrastruktury. In: *MIKE Powered by DHI* [online]. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <http://www.mikepoweredbydhi.com/dhi-worldwide/-/media/58cf396bb5b044d999e4816197cfc35d.ashx>
- [35] NOVÁK, Petr. *Definice formátů radarových dat*. Praha: ČHMÚ – Oddělení radarové, 2006.
- [36] VEVERKA, Bohuslav. *Souřadnicové transformace v GISech a digitální kartografii* [online]. Praha [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <http://old.gis.zcu.cz/kartografie/konference2001/sbornik/veverka/veverka-referat.htm>
- [37] ESRI ASCII Raster format. *ESRI* [online]. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: [http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisengine/java/GP\\_ToolRef/spatial\\_analyst\\_tools/esri\\_ascii\\_raster\\_format.htm](http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisengine/java/GP_ToolRef/spatial_analyst_tools/esri_ascii_raster_format.htm)
- [38] D. N. MORIASI, J. G. ARNOLD, M. W. VAN LIEW, R. L. BINGNER, R. D. HARMEL a T. L. VEITH. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE* [online]. 2007, 50(3), 885-900 [cit. 2019-12-13]. DOI: 10.13031/2013.23153. ISSN 2151-0040.

## 7 Seznam příloh

- Příloha 1: Grafy a tabulky událostí – povodí EF
- Příloha 2: Grafy a tabulky událostí – povodí Solidarita
- Příloha 3: Hyetogramy – povodí EF
- Příloha 4: Hyetogramy – povodí Solidarita
- Příloha 5: Mapy úhrnu srážek – povodí EF
- Příloha 6: Mapy úhrnu srážek – povodí Solidarita
- Příloha 7: Umístění odlehčovacích komor na povodích

## 8 Seznam obrázků

- Obrázek 1: Základna překlopného člunkového srážkoměru s vytápěním [10]
- Obrázek 2: Mapa stálé srážkoměrné sítě na území hl. města Prahy
- Obrázek 3: Blokové schéma meteorologického radaru [13]
- Obrázek 4: vlevo konvenční radar, vpravo polarimetrický radar
- Obrázek 5: Dosah meteorologických radarů CZRAD [15]
- Obrázek 6: Základní princip MV spojů pro odhad srážek. [20]
- Obrázek 7: Povodí EF
- Obrázek 8: Povodí Solidarita
- Obrázek 9: Umístění měrných profilů na povodí Solidarita

## 9 Seznam grafů

- Graf 1: Průběh průtoků – událost 23.5.2014 – MP F1-Nad Kazankou
- Graf 2: Průběh průtoků – událost 23.5.2014 – MP F0-ÚČOV
- Graf 3: Průběh průtoků – událost 8.7.2014 – MP F1-Nad Kazankou
- Graf 4: Průběh průtoků – událost 8.7.2014 – MP F0-ÚČOV
- Graf 5: Průběh průtoků – událost 11.7.2014 – MP F1-Nad Kazankou
- Graf 6: Průběh průtoků – událost 11.7.2014 – MP F0-ÚČOV
- Graf 7: Průběh průtoků – událost 29.5.2015– MP E2-ZOO
- Graf 8: Průběh průtoků – událost 29.5.2015 – MP F1-Nad Kazankou
- Graf 9: Průběh průtoků – události 22.6.2017 – MP Q2
- Graf 10: Průběh průtoků – události 22.6.2017 – MP Q3
- Graf 11: Průběh průtoků – události 22.6.2017 – MP Q6
- Graf 12: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP Q2
- Graf 13: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP Q3
- Graf 14: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP Q6

## 10 Seznam tabulek

- Tabulka 1: Technické parametry základních typů srážkoměrů Fiedler [9, 11]
- Tabulka 2: Stálá srážkoměrná síť na území hl. města Prahy
- Tabulka 3: Hlavní pásma pro meteorologické radary [12, 13, 16]
- Tabulka 4: Parametry meteorologických radarů CZRAD [15]
- Tabulka 5: Přehled odlehčovacích komor na povodí EF
- Tabulka 6: Měrné profily na povodí EF [25]
- Tabulka 7: Přehled odlehčovacích komor na povodí Solidarita
- Tabulka 8: Měrné profily na povodí Solidarita [27]
- Tabulka 9: Vybrané srážkové události na povodí EF
- Tabulka 10: Vybrané srážkové události na povodí Solidarita
- Tabulka 11: Průměrné plošné úhrny srážek nad povodím EF
- Tabulka 12: Průměrné plošné úhrny srážek nad povodím Solidarita
- Tabulka 13: Celkové srážkové úhrny a hodnoty absolutních a relativních chyb radarových měření a měření MV spojů vzhledem ke měřením pomocí srážkoměrů – povodí EF
- Tabulka 14: Celkové srážkové úhrny a hodnoty absolutních a relativních chyb radarových měření a měření MV spojů vzhledem ke měřením pomocí srážkoměrů – povodí Solidarita
- Tabulka 15: Základní charakteristiky události 23.5.2014 ( $R_{\max}$  – maximální intenzita srážky,  $R_{10\min\_max}$  – maximální 10 minutová intenzita srážky)
- Tabulka 16: Hodnoty kritérií – událost 23.5.2014
- Tabulka 17: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 23.5.2014
- Tabulka 18: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 23.5.2014
- Tabulka 19: Základní charakteristiky události 8.7.2014
- Tabulka 20: Hodnoty kritérií – událost 8.7.2014
- Tabulka 21: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 8.7.2014
- Tabulka 22: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 8.7.2014
- Tabulka 23: Základní charakteristiky události 11.7.2014
- Tabulka 24: Hodnoty kritérií – událost 11.7.2014
- Tabulka 25: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 11.7.2014
- Tabulka 26: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 11.7.2014
- Tabulka 27: Základní charakteristiky události 29.5.2015

Tabulka 28: Hodnoty kritérií – událost 29.5.2015

Tabulka 29: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 29.5.2015

Tabulka 30: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 29.5.2015

Tabulka 31: Základní charakteristiky událostí 22.6.2017

Tabulka 32: Hodnoty kritérií – události 22.6.2017

Tabulka 33: Celkový povrchový odtok z povodí Solidarita pro jednotlivá srážková data – události 22.6.2014

Tabulka 34: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí Solidarita – události 22.6.2017

Tabulka 35: Základní charakteristiky události 28.6.2017

Tabulka 36: Hodnoty kritérií – událost 28.6.2017 – povodí Solidarita

Tabulka 37: Celkový povrchový odtok z povodí Solidarita pro jednotlivá srážková data – událost 28.6.2017

Tabulka 38: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí Solidarita – událost 28.6.2017

## Přílohy

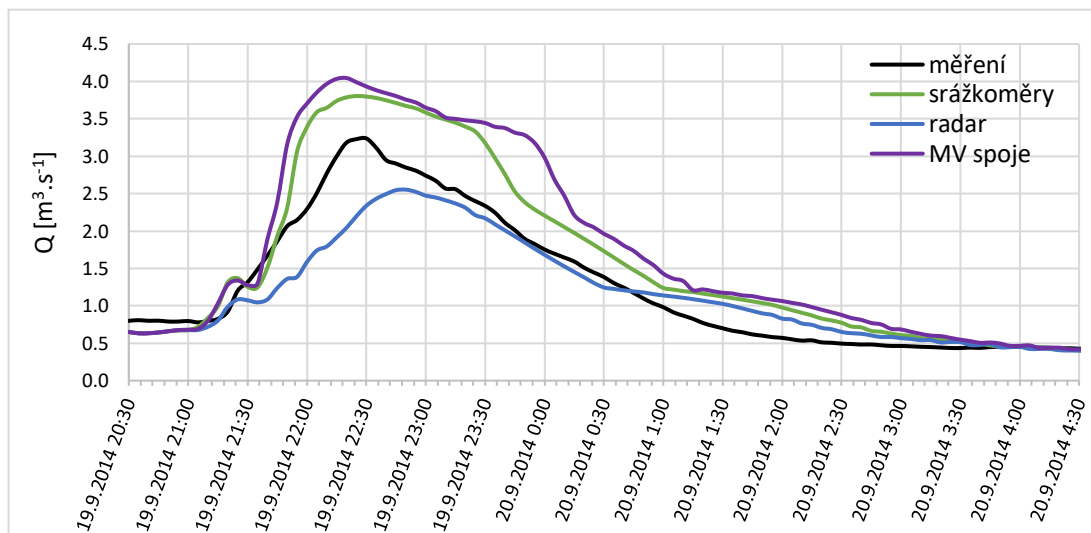
### Příloha 1: Grafy a tabulky – povodí EF

Tato část obsahuje grafy a tabulky, které nebyly uvedeny v kapitole Výsledky.

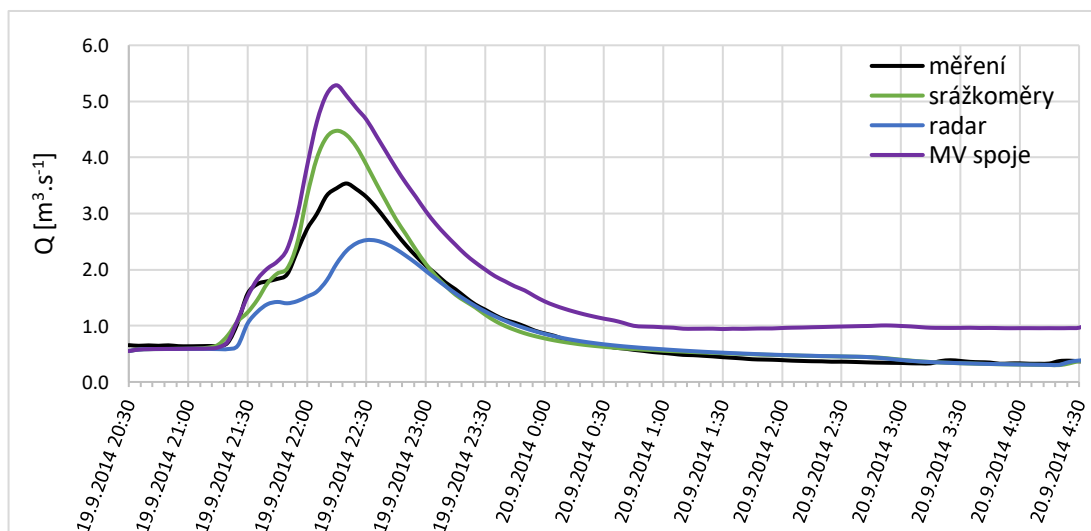
#### Událost 19.9.2014

Tabulka 1: Základní charakteristiky události 19.9.2014

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
4	19.9.2014 20:45	19.9.2014 21:35	50	83,6	52,4



Graf 1: Průběh průtoků – událost 19.9.2014 – MP E2-ZOO



Graf 2: Průběh průtoků – událost 19.9.2014 – MP F1-Nad Kazankou

Tabulka 2: Hodnoty kritérií – událost 19.9.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP E2-ZOO	0,983	0,951	0,973
MP F1-Nad Kazankou	0,987	0,959	0,993
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP E2-ZOO	0,726	0,850	0,451
MP F1-Nad Kazankou	0,923	0,829	0,735
<b>Relativní chyba v objemu</b>			
MP E2-ZOO	26,1 %	-7,8 %	38,6 %
MP F1-Nad Kazankou	7,2 %	-13,1 %	24,1 %

Tabulka 3: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 19.9.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	334500,3	131770,3	540620,9

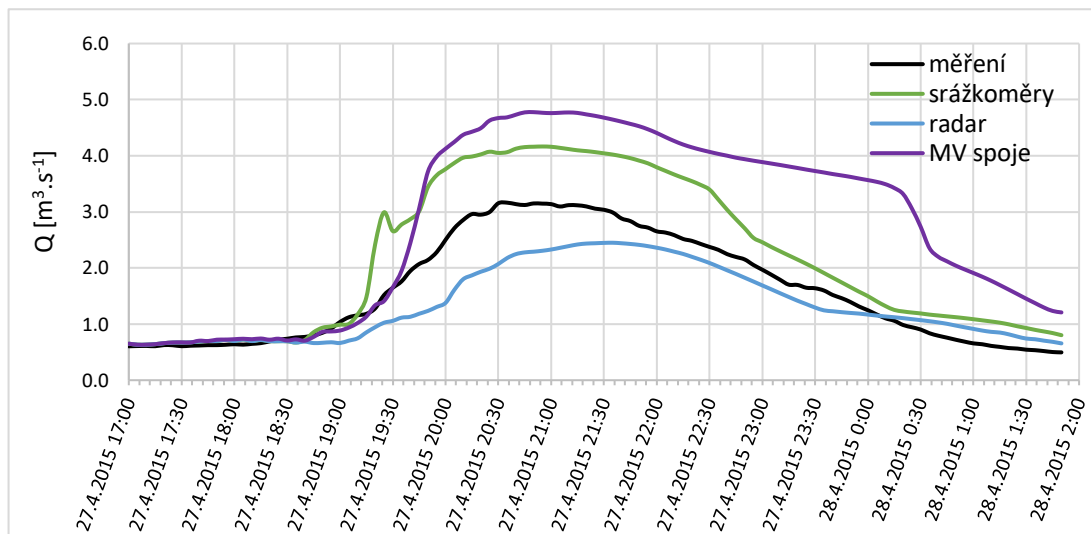
Tabulka 4: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 19.9.2014

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
DUN Petrovice	0,0	0,0	0,0
OK 16E	1413,1	167,2	1023,0
OK 17E	998,6	0,0	632,3
OK 29FE	0,0	0,0	0,0
OK 2F	4676,9	1113,5	5538,8
OK 30FE	0,0	0,0	0,0
OK 33E	0,0	0,0	472,7
OK 3F	178,7	0,0	933,5
OK 6F_1	1416,5	0,0	1711,9
OK 6F_2	1036,0	371,5	1212,7
OK 10E	40,7	0,0	45,9
OK 120E	3,7	0,0	0,0
OK 18E	0,0	0,0	50,5
OK 19E	0,0	215,9	744,2
OK 1EF	17463,7	6629,0	21249,4
OK 1F_ZOO	0,0	0,0	0,0
OK 20EF	0,0	16,6	57,8
OK 23E	275,7	334,3	285,5
OK 25E	0,0	0,0	0,0
OK 4EF	2924,2	1187,8	4946,3
OK 7E	0,0	0,0	0,0
OK 5F	40,0	0,0	18,8
OK 11F	0,0	0,0	0,0
OK 13F	1681,0	0,0	830,4
<b>Σ</b>	<b>32 148,7</b>	<b>10 035,8</b>	<b>39 753,9</b>

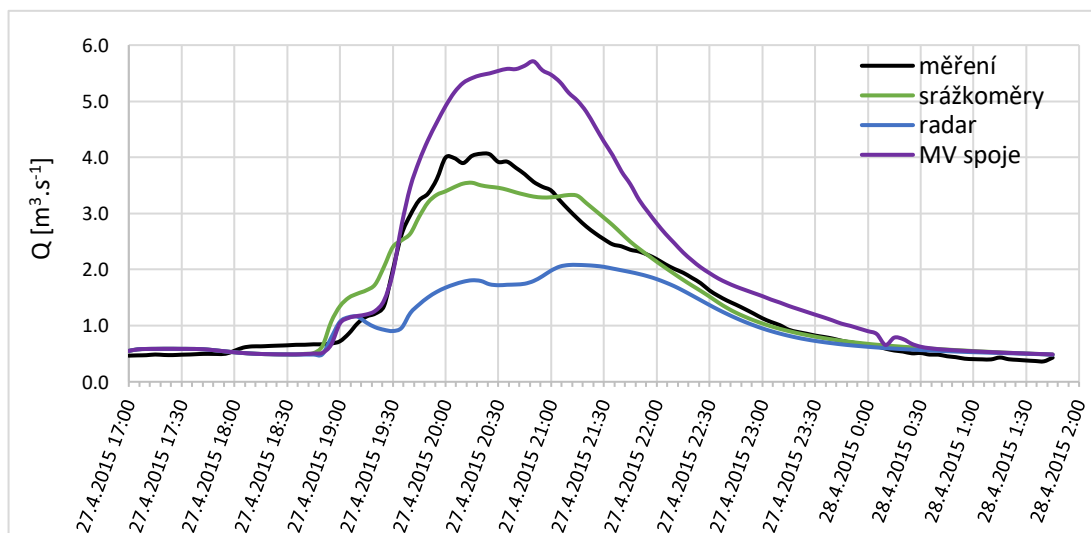
## Událost 27.4.2015

Tabulka 5: Základní charakteristiky události 27.4.2015

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
5	27.4.2015 18:20	27.4.2015 18:50	30	85,8	26,9



Graf 3: Průběh průtoků – událost 27.4.2015 – MP E2-ZOO



Graf 4: Průběh průtoků – událost 27.4.2015 – MP F1-Nad Kazankou



Tabulka 6: Hodnoty kritérií – událost 27.4.2015

	Srážkoměry	Radar	CML
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP E2-ZOO	0,985	0,948	0,898
MP F1-Nad Kazankou	0,979	0,889	0,981
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP E2-ZOO	0,445	0,747	-1,258
MP F1-Nad Kazankou	0,955	0,479	0,523
<b>Relativní chyba objemu</b>			
MP E2-ZOO	33,7 %	-17,3 %	70,6 %
MP F1-Nad Kazankou	0,4 %	-29,9 %	34,5 %

Tabulka 7: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 27.4.2015

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	334500,3	131770,3	540620,9

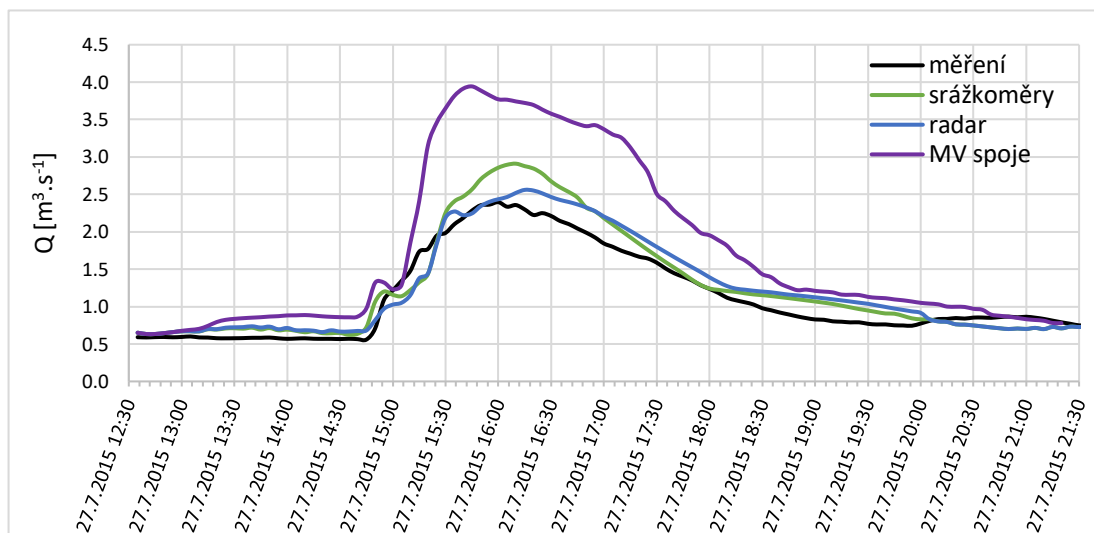
Tabulka 8: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 27.4.2015

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
DUN Petrovice	0,0	0,0	0,0
OK 16E	259,9	0,0	433,4
OK 17E	27,0	0,0	0,0
OK 29FE	0,0	0,0	0,0
OK 2F	8289,4	550,7	10425,2
OK 30FE	0,0	0,0	0,0
OK 33E	0,0	0,0	55,1
OK 3F	0,0	0,0	373,8
OK 6F_1	911,2	0,0	1344,1
OK 6F_2	2215,5	119,7	2891,9
OK 10E	0,0	0,0	25,0
OK 120E	0,0	0,0	108,5
OK 18E	0,0	0,0	0,0
OK 19E	0,0	0,0	852,9
OK 1EF	33023,9	9689,5	50865,5
OK 1F_ZOO	0,0	0,0	0,0
OK 20EF	0,0	0,0	4,3
OK 23E	382,8	75,7	888,4
OK 25E	0,0	0,0	781,3
OK 4EF	6768,4	590,8	9160,6
OK 7E	0,0	0,0	0,0
OK 5F	0,0	0,0	0,0
OK 11F	0,0	0,0	0,0
OK 13F	0,0	0,0	0,0
<b>Σ</b>	<b>51 878,1</b>	<b>11 026,4</b>	<b>78 210,0</b>

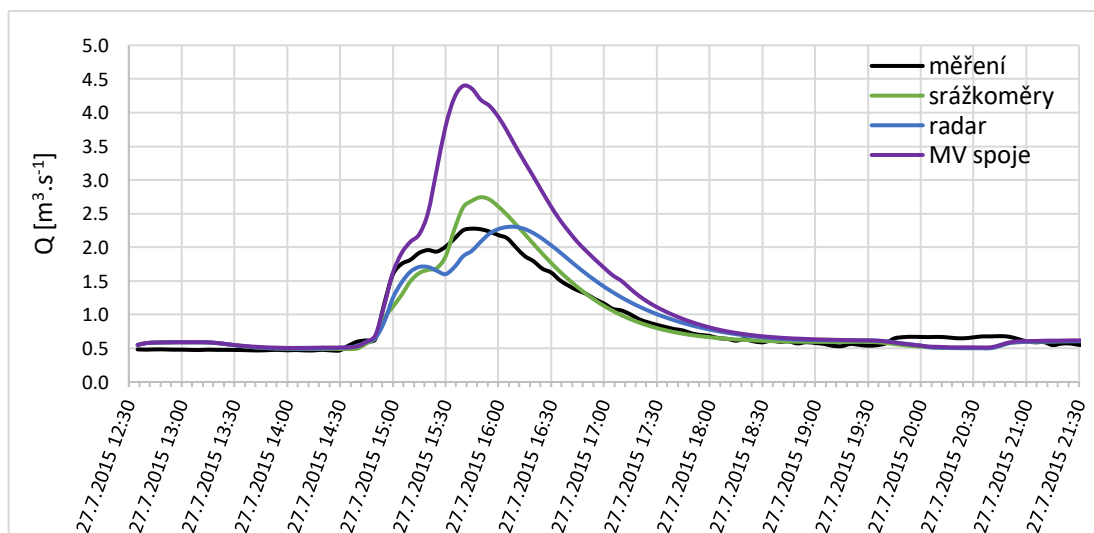
## Událost 27.7.2015

Tabulka 9: Základní charakteristiky události 27.7.2015

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
7	27.7.2015 14:35	27.7.2015 15:15	40	70,4	34,7



Graf 5: Průběh průtoků – událost 27.7.2015 – MP E2-ZOO



Graf 6: Průběh průtoků – událost 27.7.2015 – MP F1-Nad Kazankou

Tabulka 10 Hodnoty kritérií – událost 27.7.2015

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP E2-ZOO	0,974	0,967	0,984
MP F1-Nad Kazankou	0,967	0,950	0,971
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP E2-ZOO	0,853	0,890	-0,921
MP F1-Nad Kazankou	0,915	0,895	-0,412
<b>Relativní chyba v objemu</b>			
MP E2-ZOO	11,6 %	10,3 %	57,2 %
MP F1-Nad Kazankou	1,4 %	3,8 %	40,5 %

Tabulka 11: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 27.7.2015

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	140601,1	143085,4	312892,5

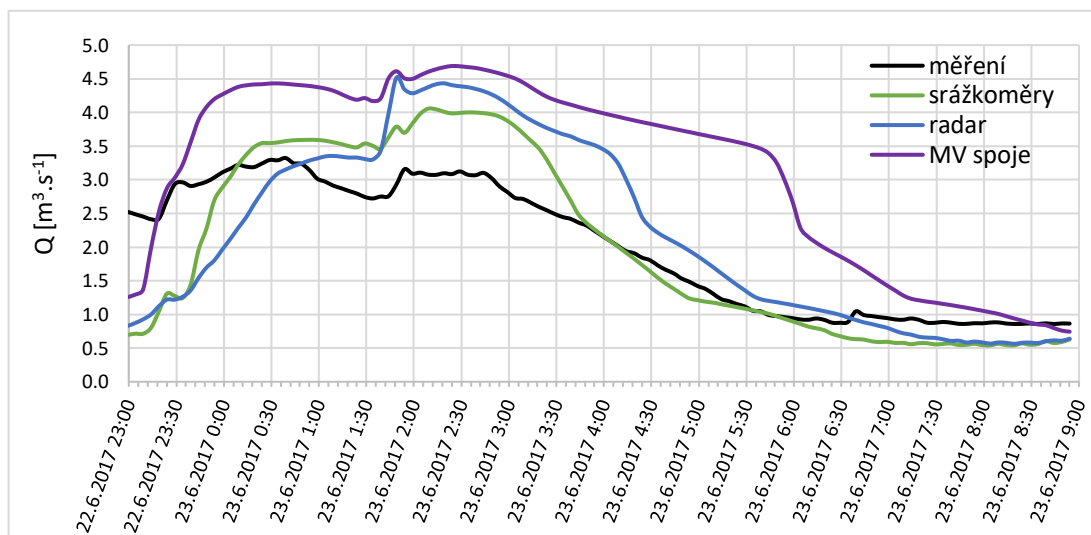
Tabulka 12: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 27.7.2015

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
DUN Petrovice	0,0	0,0	0,0
OK 16E	285,3	121,0	773,8
OK 17E	57,2	0,0	319,6
OK 29FE	0,0	0,0	0,0
OK 2F	2811,1	1698,2	4633,8
OK 30FE	0,0	0,0	0,0
OK 33E	0,0	0,0	1052,3
OK 3F	0,0	0,0	560,0
OK 6F_1	119,6	0,0	1077,5
OK 6F_2	638,9	659,1	1211,5
OK 10E	0,0	0,0	27,3
OK 120E	0,0	0,0	0,0
OK 18E	0,0	0,0	55,7
OK 19E	0,0	42,5	847,5
OK 1EF	8781,2	7954,1	20069,3
OK 1F_ZOO	0,0	0,0	0,0
OK 20EF	0,0	0,0	75,4
OK 23E	211,0	96,4	357,9
OK 25E	0,0	0,0	0,0
OK 4EF	1970,0	2158,6	4582,4
OK 7E	0,0	0,0	0,0
OK 5F	0,0	0,0	0,0
OK 11F	0,0	0,0	0,0
OK 13F	0,0	0,0	865,9
<b>Σ</b>	<b>14 874,1</b>	<b>12 730,0</b>	<b>36 510,0</b>

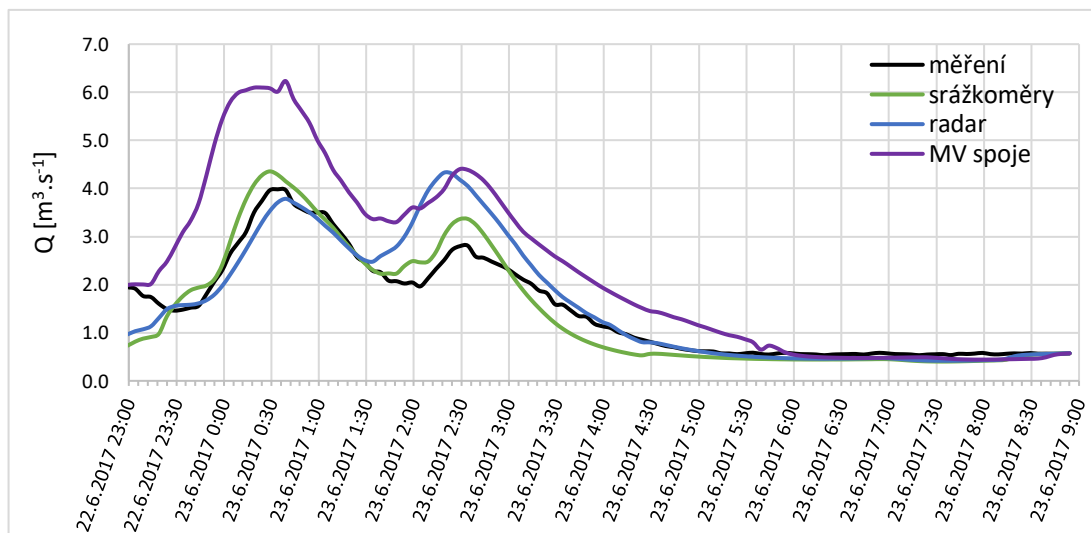
## Událost 22.6.2017 a 23.6.2017

Tabulka 13: Základní charakteristiky události 22.6.2017 a 23.6.2017

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
8	22.6.2017 23:00	23.6.2017 00:20	80	55,9	28,4
9	23.6.2017 01:10	23.6.2017 02:00	50	58,1	27,7



Graf 7: Průběh průtoků – událost 22.6.2017 a 23.6.2017 – MP E2-ZOO



Graf 8: Průběh průtoků – událost 22.6.2017 a 23.6.2017 – MP F1-Nad Kazankou

Tabulka 14: Hodnoty kritérií – událost 22.6.2017 a 23.6.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP E2-ZOO	0,923	0,837	0,854
MP F1-Nad Kazankou	0,987	0,926	0,957
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP E2-ZOO	0,625	0,290	-1,265
MP F1-Nad Kazankou	0,931	0,770	-0,263
<b>Relativní chyba v objemu</b>			
MP E2-ZOO	2,7 %	13,7 %	59,1 %
MP F1-Nad Kazankou	-1,3 %	9,2 %	55,9 %

Tabulka 15: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážk. data – událost 22.6. a 23.6.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	428955,6	455401,8	853260,5

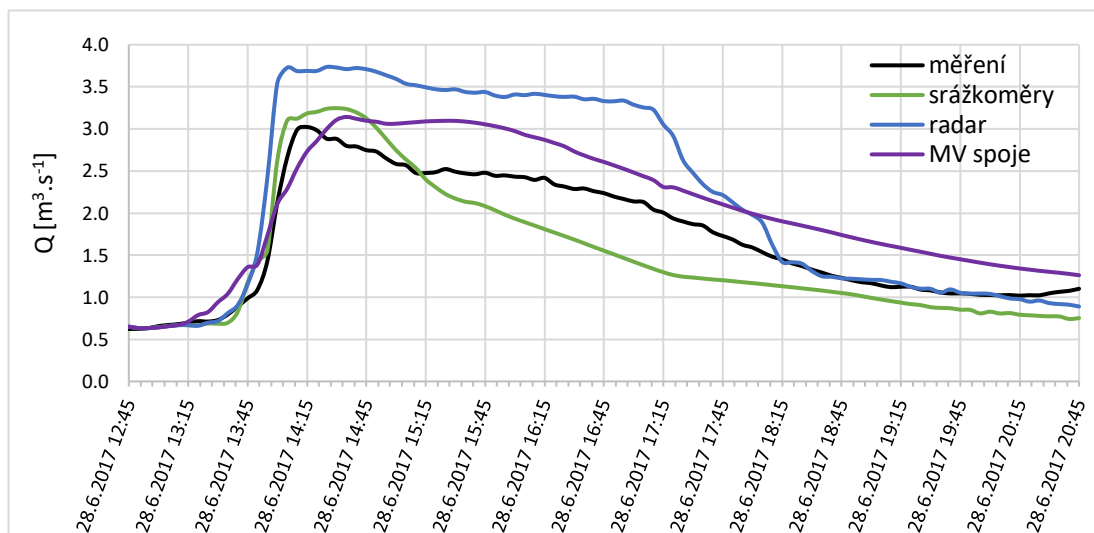
Tabulka 16: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehč. komory – povodí EF – událost 22.6. a 23.6. 2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
DUN Petrovice	0,0	0,0	0,0
OK 16E	806,9	620,2	1376,9
OK 17E	272,0	5,8	682,6
OK 29FE	0,0	0,0	0,0
OK 2F	3804,6	1421,9	7998,4
OK 30FE	0,0	0,0	0,0
OK 33E	1632,1	27,5	5974,1
OK 3F	0,0	0,0	215,3
OK 6F_1	559,9	1253,4	1381,0
OK 6F_2	1802,8	1567,3	2528,9
OK 10E	0,9	24,4	3,4
OK 120E	0,0	104,4	15,1
OK 18E	8,0	10,8	35,9
OK 19E	767,2	1475,9	2201,3
OK 1EF	33766,2	38285,2	68093,0
OK 1F_ZOO	0,0	0,0	0,0
OK 20EF	107,4	28,7	449,5
OK 23E	761,7	696,8	1158,1
OK 25E	0,0	21,3	0,0
OK 4EF	3452,3	3151,6	6148,0
OK 7E	0,0	0,0	0,0
OK 5F	0,0	0,0	0,0
OK 11F	0,0	0,0	0,0
OK 13F	1,1	86,4	402,5
<b>Σ</b>	<b>47 743,0</b>	<b>48 781,6</b>	<b>98 664,0</b>

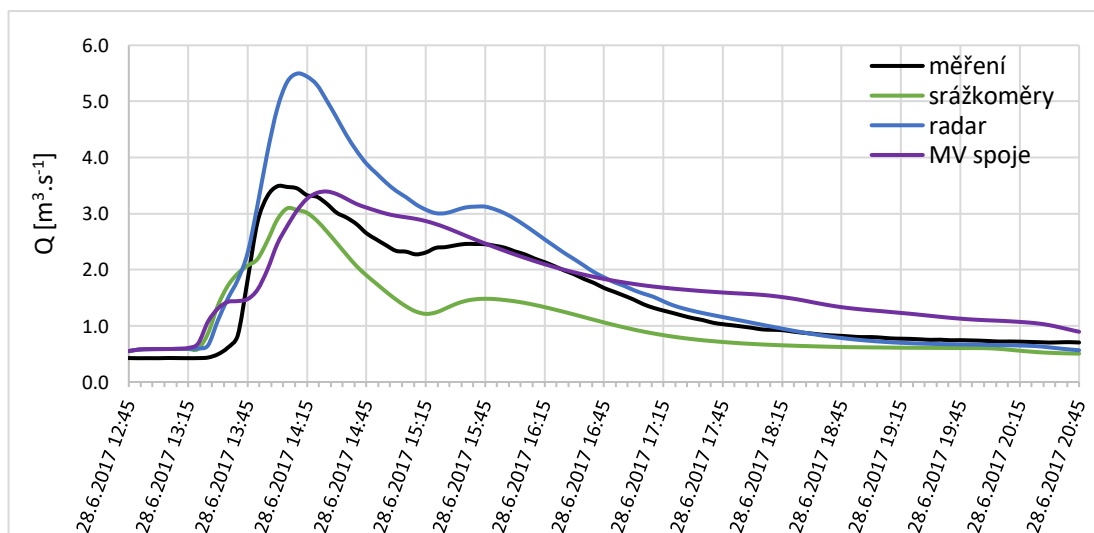
## Událost 28.6.2017

Tabulka 17: Základní charakteristiky události 28.6.2017

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
10	28.6.2017 13:05	28.6.2017 13:30	25	77,9	30,5



Graf 9: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP E2-ZOO



Graf 10: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP F1-Nad Kazankou

Tabulka 18: Hodnoty kritérií – událost 28.6.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP E2-ZOO	0,918	0,980	0,963
MP F1-Nad Kazankou	0,890	0,977	0,919
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP E2-ZOO	0,724	0,108	0,693
MP F1-Nad Kazankou	0,612	0,445	0,746
<b>Relativní chyba v objemu</b>			
MP E2-ZOO	-12,7 %	28,3 %	20,1 %
MP F1-Nad Kazankou	-24,6 %	26,3 %	18,7 %

Tabulka 19: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 28.6.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	201186,6	578309,3	395449,7

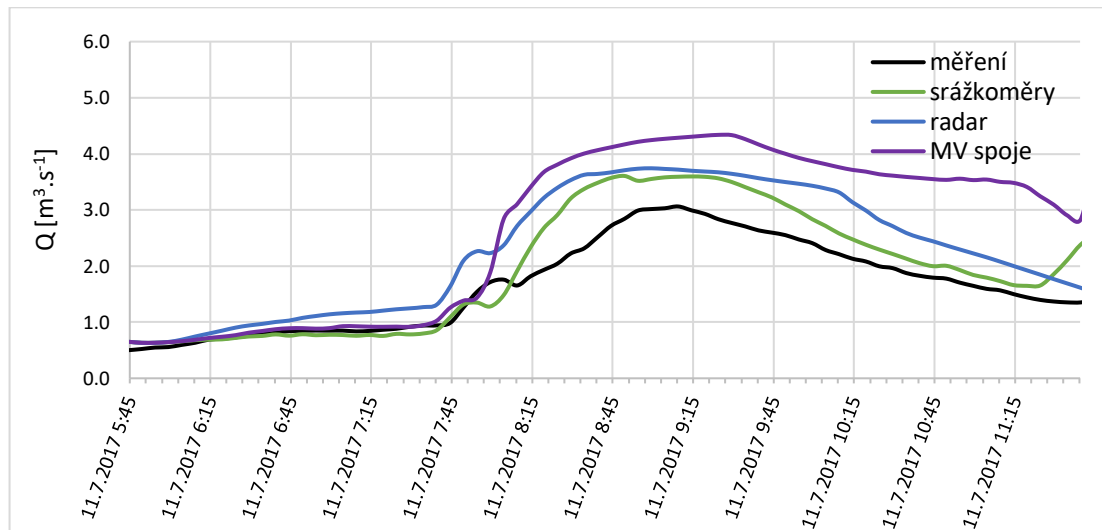
Tabulka 20: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 28.6.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
DUN Petrovice	0,0	0,0	0,0
OK 16E	453,2	3073,0	336,5
OK 17E	255,7	2124,2	64,3
OK 29FE	0,0	0,0	0,0
OK 2F	787,5	707,4	350,5
OK 30FE	0,0	0,0	0,0
OK 33E	613,3	5249,3	396,5
OK 3F	50,9	0,0	0,0
OK 6F_1	1135,7	1738,4	81,4
OK 6F_2	863,2	1045,8	771,7
OK 10E	5,0	53,2	4,3
OK 120E	0,0	9,9	0,0
OK 18E	3,7	123,7	0,0
OK 19E	630,3	1574,9	523,7
OK 1EF	11462,4	29002,6	23334,5
OK 1F_ZOO	0,0	0,0	0,0
OK 20EF	84,5	794,9	45,5
OK 23E	194,9	403,1	443,6
OK 25E	0,0	0,0	0,0
OK 4EF	3459,8	2661,4	1096,1
OK 7E	0,0	0,0	0,0
OK 5F	0,0	13,6	0,0
OK 11F	0,0	0,0	0,0
OK 13F	17,0	2515,7	0,0
<b>Σ</b>	<b>20 017,1</b>	<b>51 091,3</b>	<b>27 448,6</b>

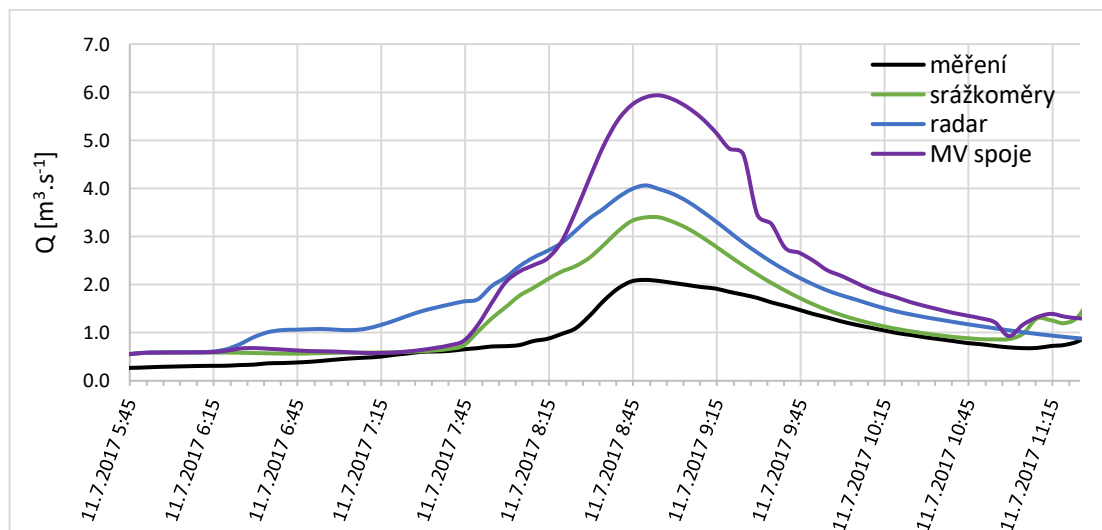
## Událost 11.7.2017

Tabulka 21: Základní charakteristiky události 11.7.2017

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
11	11.7.2017 07:25	11.7.2017 08:35	70	51,5	35,3



Graf 11: Průběh průtoků – událost 11.7.2017 – MP E2-ZOO



Graf 12: Průběh průtoků – událost 11.7.2017 – MP F1-Nad Kazankou



Tabulka 22: Hodnoty kritérií – událost 11.7.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP E2-ZOO	0,982	0,980	0,928
MP F1-Nad Kazankou	0,928	0,907	0,935
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP E2-ZOO	0,728	0,260	-1,427
MP F1-Nad Kazankou	-0,176	-2,407	-7,336
<b>Relativní chyba v objemu</b>			
MP E2-ZOO	16,0 %	37,3 %	59,6 %
MP F1-Nad Kazankou	46,5 %	94,6 %	115,8 %

Tabulka 23: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 11.7.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	305573,7	284925,4	501566,1

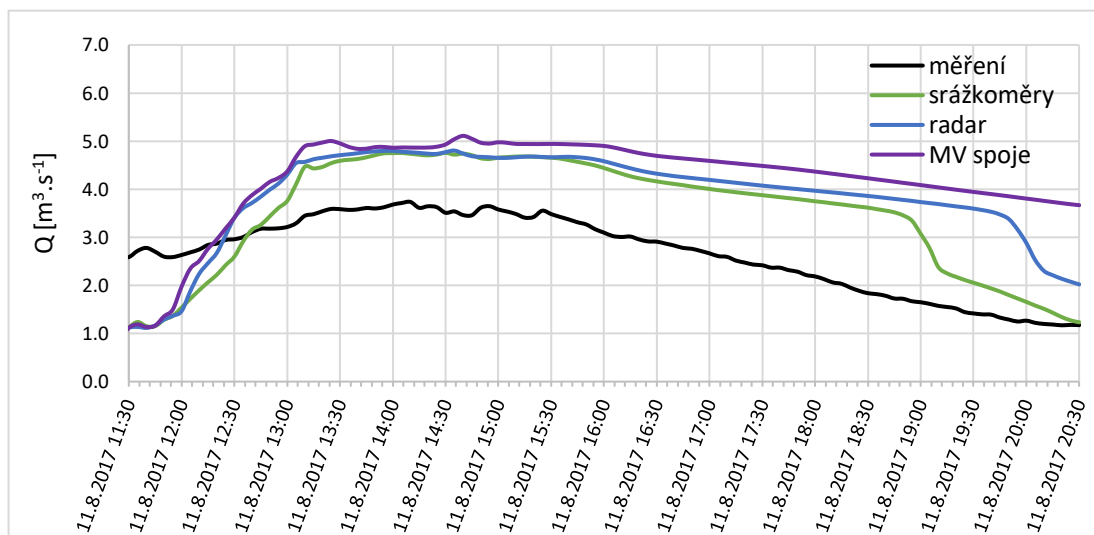
Tabulka 24: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 11.7.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
DUN Petrovice	0,0	0,0	0,0
OK 16E	1042,1	155,5	783,3
OK 17E	679,6	0,0	50,8
OK 29FE	0,0	0,0	0,0
OK 2F	5209,1	4791,8	9643,4
OK 30FE	0,0	0,0	0,0
OK 33E	0,0	0,0	911,0
OK 3F	427,1	405,4	3216,6
OK 6F_1	1560,9	570,4	2078,9
OK 6F_2	1599,4	1190,8	1606,6
OK 10E	24,1	0,0	0,1
OK 120E	0,0	0,0	0,0
OK 18E	0,0	0,0	0,0
OK 19E	13,0	173,6	1002,3
OK 1EF	17087,4	22487,9	30850,4
OK 1F_ZOO	0,0	0,0	0,0
OK 20EF	0,0	0,0	87,4
OK 23E	478,7	388,7	794,7
OK 25E	0,0	0,0	0,0
OK 4EF	4884,8	2675,9	9688,7
OK 7E	0,0	0,0	0,0
OK 5F	0,0	0,0	38,6
OK 11F	0,0	0,0	0,0
OK 13F	552,5	0,0	921,4
<b>Σ</b>	<b>33 558,8</b>	<b>32 840,0</b>	<b>61 674,2</b>

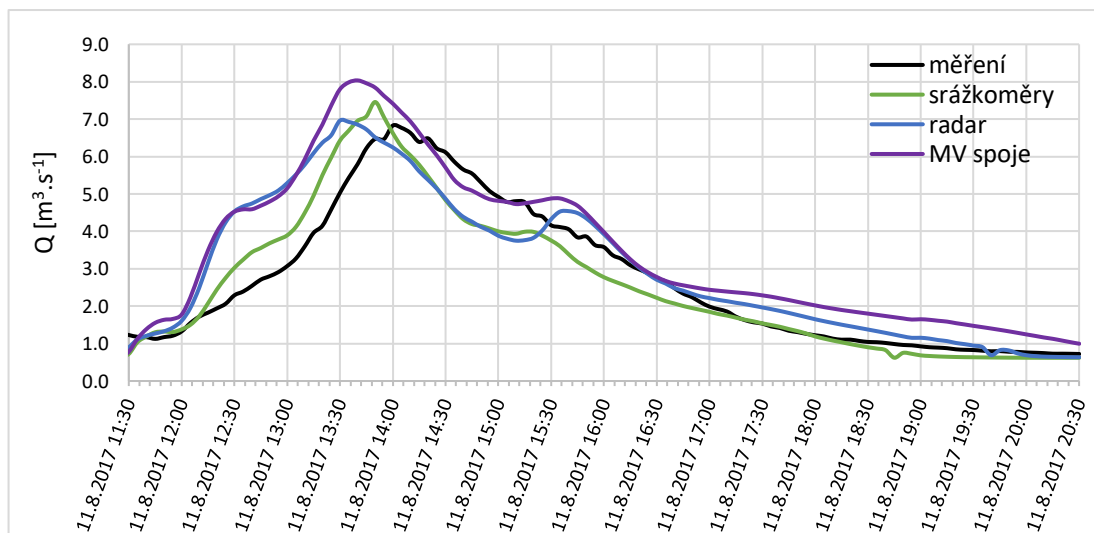
## Událost 11.8.2017

Tabulka 25: Základní charakteristiky události 11.8.2017

č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
12	11.8.2017 12:20	11.8.2017 14:15	115	42,1	23,6



Graf 1315: Průběh průtoků – událost 11.8.2017 – MP E2-ZOO



Graf 14: Průběh průtoků – událost 11.8.2017 – MP F1-Nad Kazankou

Tabulka 26: Hodnoty kritérií – událost 11.8.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP E2-ZOO	0,809	0,702	0,562
MP F1-Nad Kazankou	0,946	0,882	0,923
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP E2-ZOO	-0,958	-1,198	-4,056
MP F1-Nad Kazankou	0,887	0,735	0,661
<b>Relativní chyba v objemu</b>			
MP E2-ZOO	35,8 %	44,0 %	54,1 %
MP F1-Nad Kazankou	-4,1 %	11,7 %	28,0 %

Tabulka 27: Celkový povrchový odtok z povodí EF pro jednotlivá srážková data – událost 11.8.2017

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Celkový povrchový odtok</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
	817709,1	1007179,8	1344963,4

Tabulka 28: Přepadlé objemy přes jednotlivé odlehčovací komory – povodí EF – událost 11.8.2017

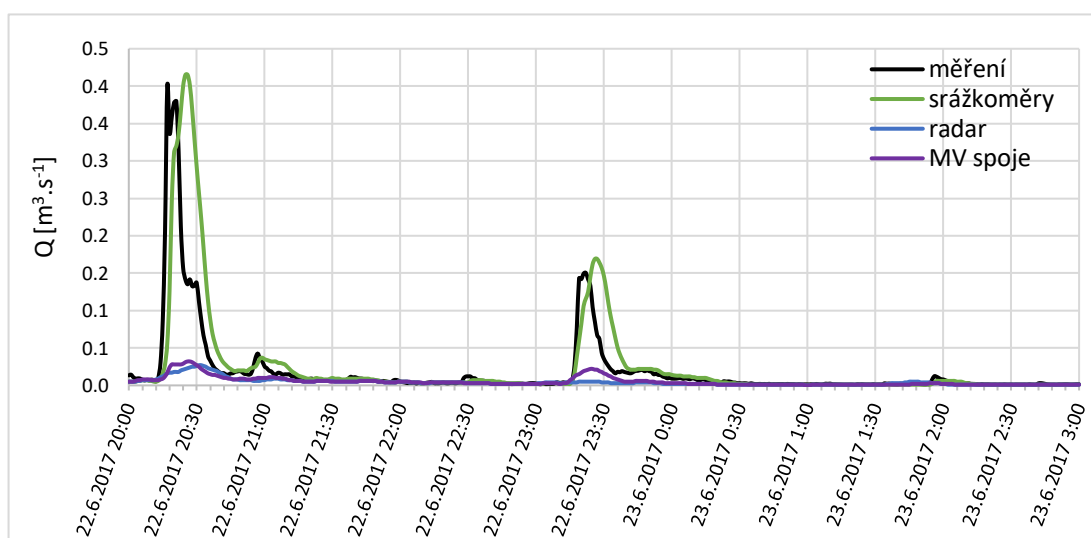
	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Přepady – odlehčovací komory</b>	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
DUN Petrovice	0,0	0,0	0,0
OK 16E	1354,0	1452,9	2973,8
OK 17E	165,7	12,3	1066,3
OK 29FE	0,0	0,0	0,0
OK 2F	10890,7	8695,7	14444,6
OK 30FE	0,0	0,0	0,0
OK 33E	3560,3	5588,3	11177,9
OK 3F	68,9	0,0	601,9
OK 6F_1	2280,8	1778,2	4135,3
OK 6F_2	3406,7	3853,3	4998,1
OK 10E	23,6	10,5	43,8
OK 120E	60,2	76,0	334,7
OK 18E	0,0	0,0	81,2
OK 19E	1728,1	3250,9	4299,7
OK 1EF	70485,8	81659,1	92986,9
OK 1F_ZOO	0,0	0,0	0,0
OK 20EF	199,7	278,3	737,3
OK 23E	1197,6	1565,8	1595,2
OK 25E	731,0	971,6	2744,2
OK 4EF	8189,4	7756,6	12952,1
OK 7E	0,0	0,0	0,0
OK 5F	0,0	0,0	28,3
OK 11F	0,0	0,0	0,0
OK 13F	666,5	11,2	1627,3
<b>Σ</b>	<b>105 009,1</b>	<b>116 960,6</b>	<b>156 828,7</b>

## Příloha 2: Grafy a tabulky – povodí Solidarita

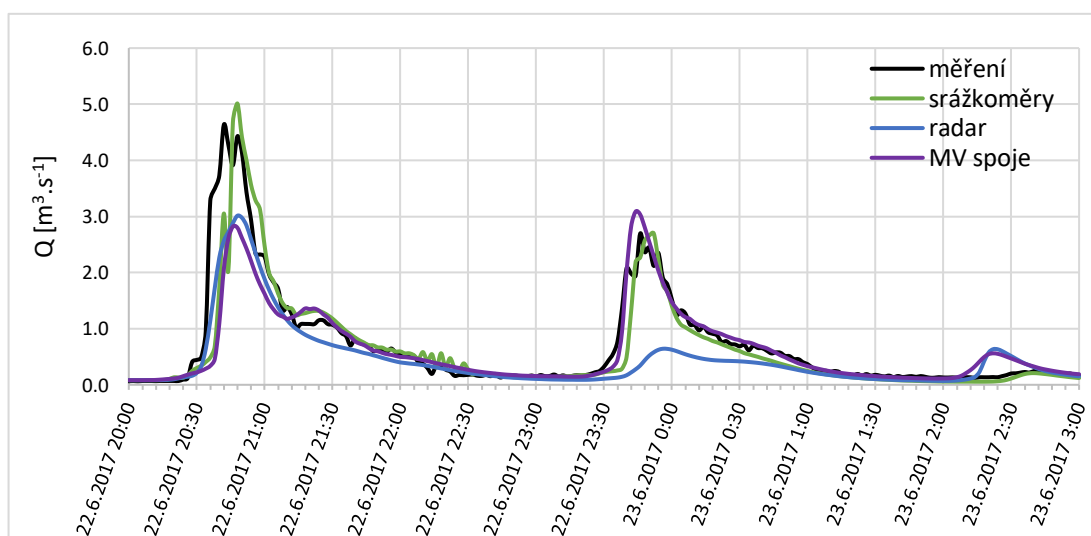
## Události 22.6.2017

Tabulka 29: Základní charakteristiky událostí 22.6.2017

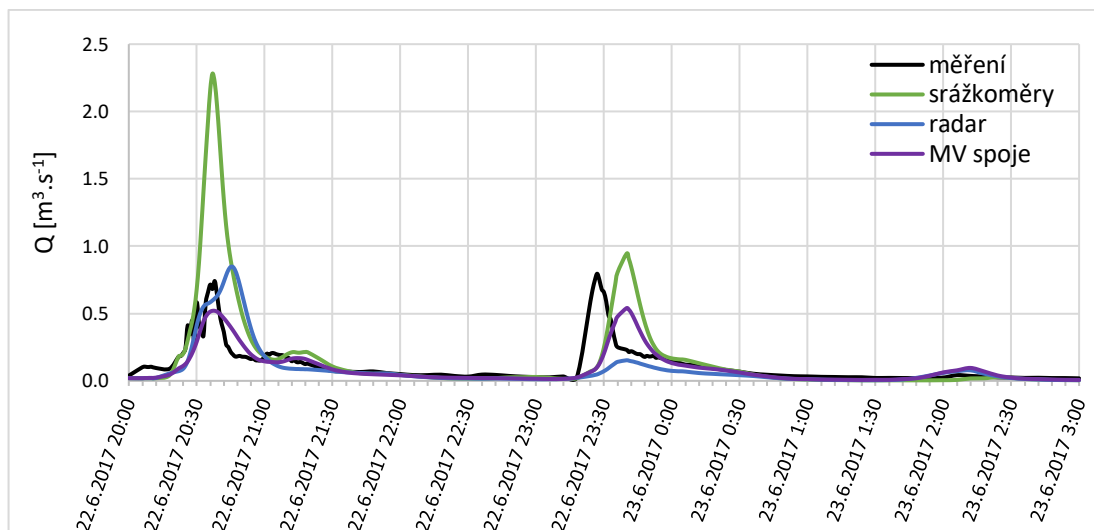
č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
1	22.6.2017 20:00	22.6.2017 22:00	120	155,5	53,3
2	22.6.2017 23:00	23.6.2017 00:15	75	58,9	27,7



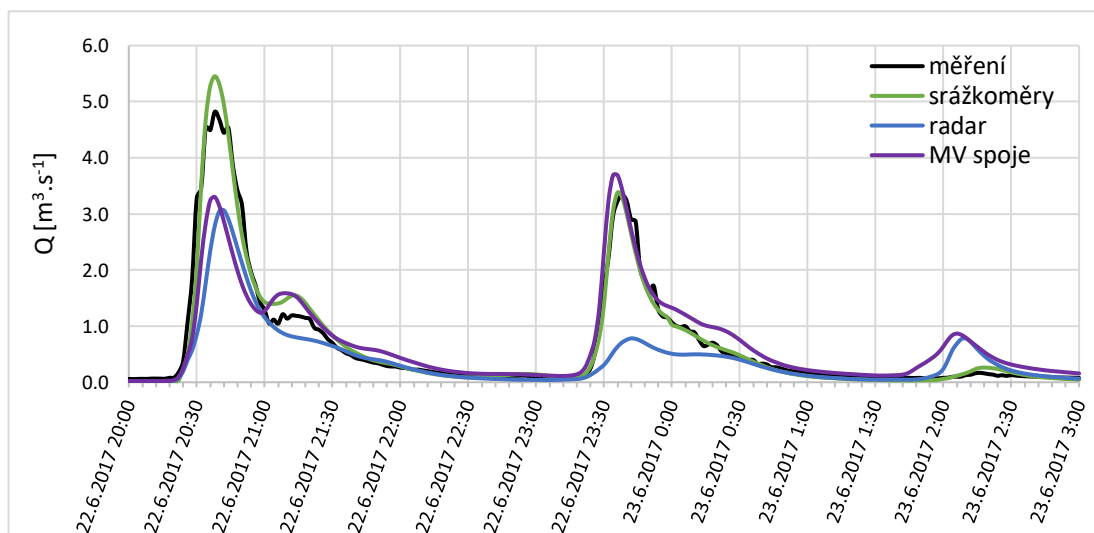
Graf 15: Průběh průtoků – události 22.6.2017 – MP Q1



Graf 16: Průběh průtoků – události 22.6.2017 – MP Q4



Graf 17: Průběh průtoků – události 22.6.2017 – MP Q5



Graf 18: Průběh průtoků – události 22.6.2017 – MP Q7

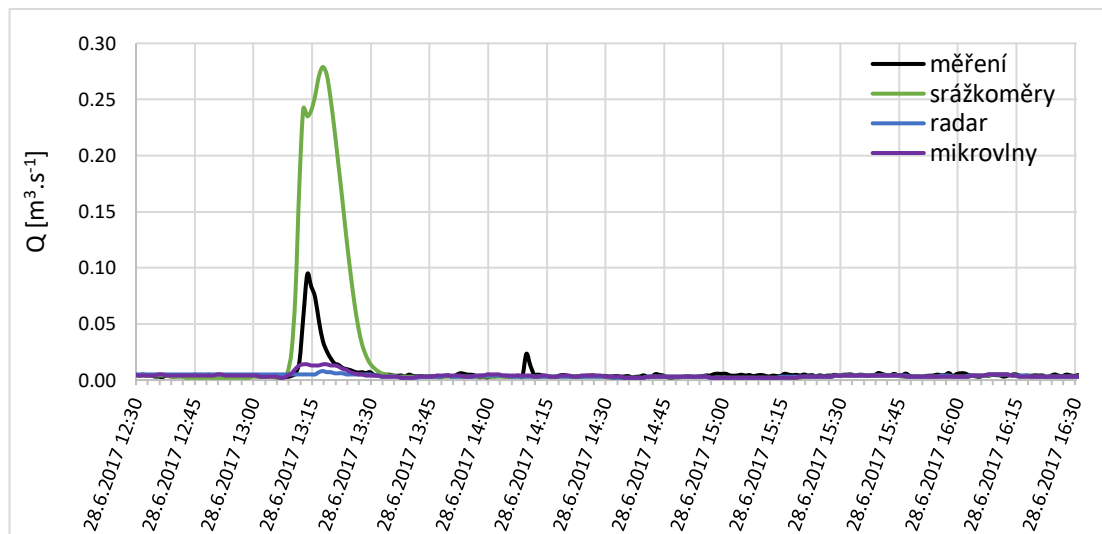
Tabulka 30: Hodnoty kritérií – události 22.6.2017 – povodí Solidarita

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP Q1	0,742	0,605	0,772
MP Q4	0,795	0,874	0,858
MP Q5	0,633	0,425	0,587
MP Q7	0,985	0,869	0,915
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP Q1	0,223	-0,006	0,097
MP Q4	0,581	0,634	0,718
MP Q5	-3,833	-0,391	0,273
MP Q7	0,969	0,588	0,815
<b>Relativní chyba v objemu</b>			
MP Q1	31,3 %	-77,1 %	-73,1 %
MP Q4	-14,9 %	-35,5 %	-9,5 %
MP Q5	43,8 %	-22,7 %	-14,8 %
MP Q7	0,2 %	-37,7 %	7,0 %

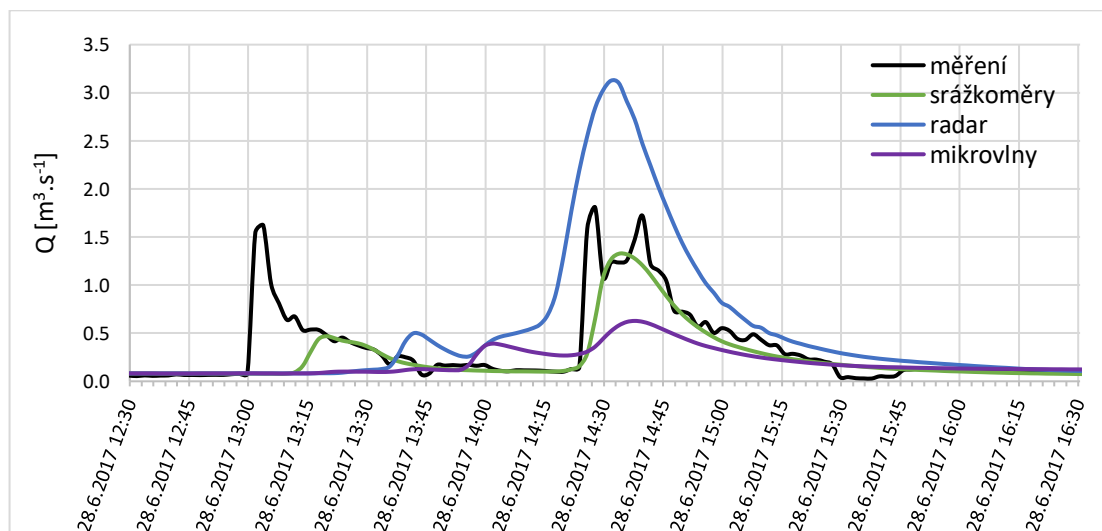
## Událost 28.6.2017

Tabulka 31: Základní charakteristiky události 28.6.2017

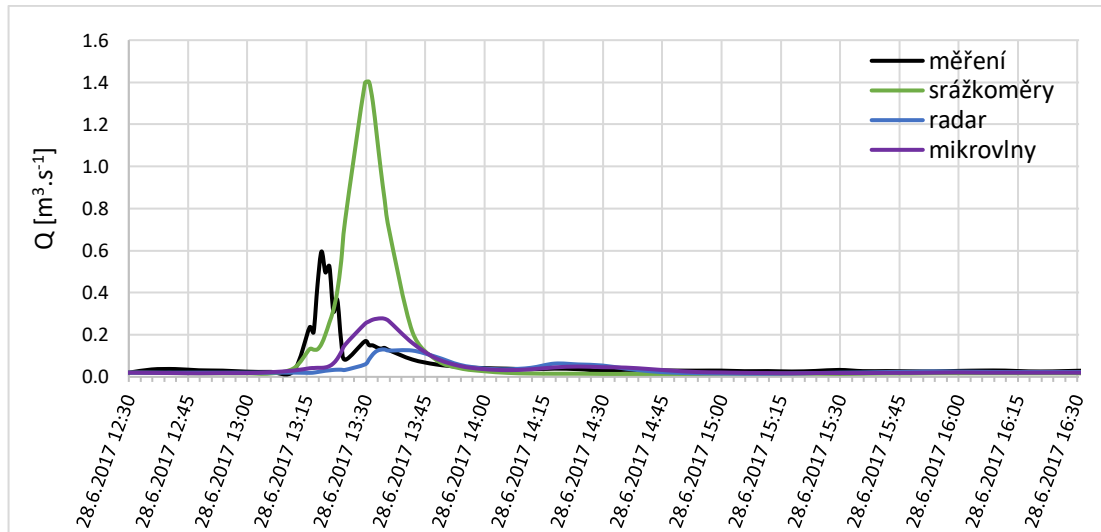
č.	Začátek	Konec	Trvání [min]	$R_{\max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]	$R_{10\min\_max}$ (SR) [mm.h <sup>-1</sup> ]
3	28.6.2017 13:05	28.6.2017 14:20	75	126,18	40,3



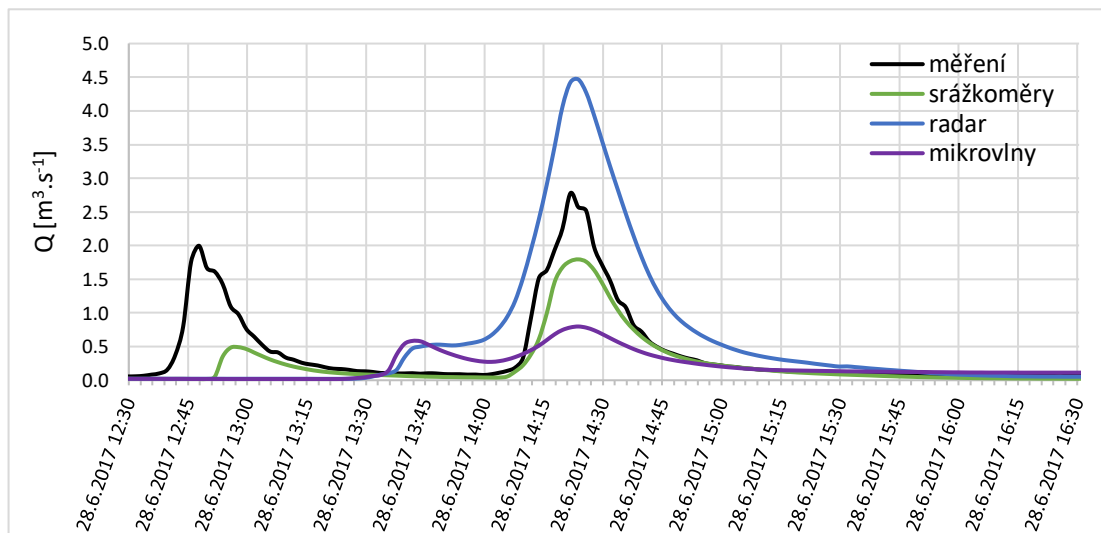
Graf 19: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP Q1



Graf 20: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP Q4



Graf 21: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP Q5



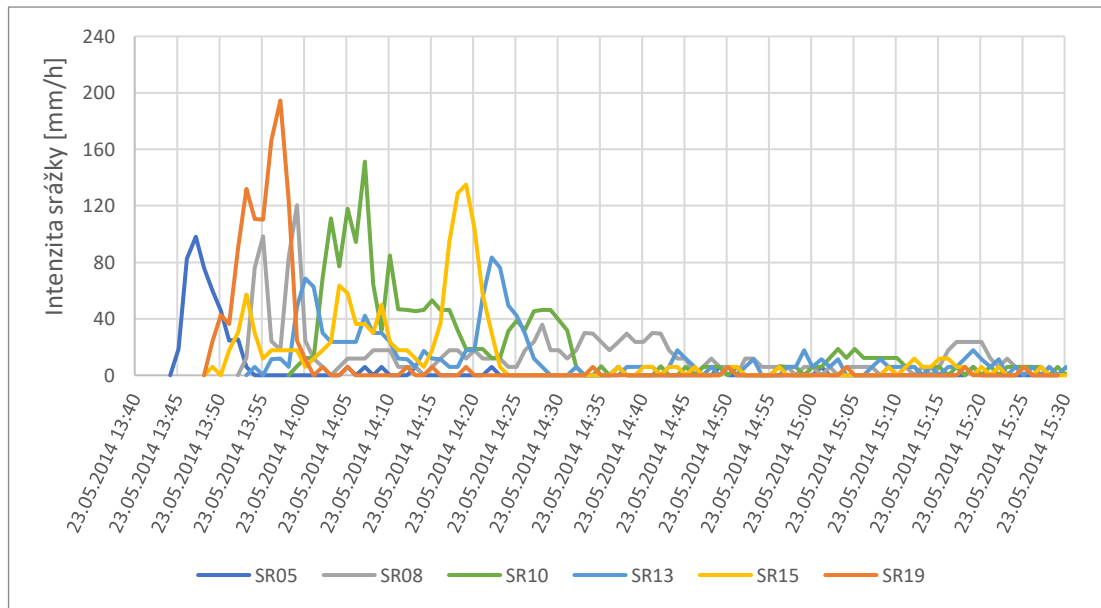
Graf 22: Průběh průtoků – událost 28.6.2017 – MP Q7



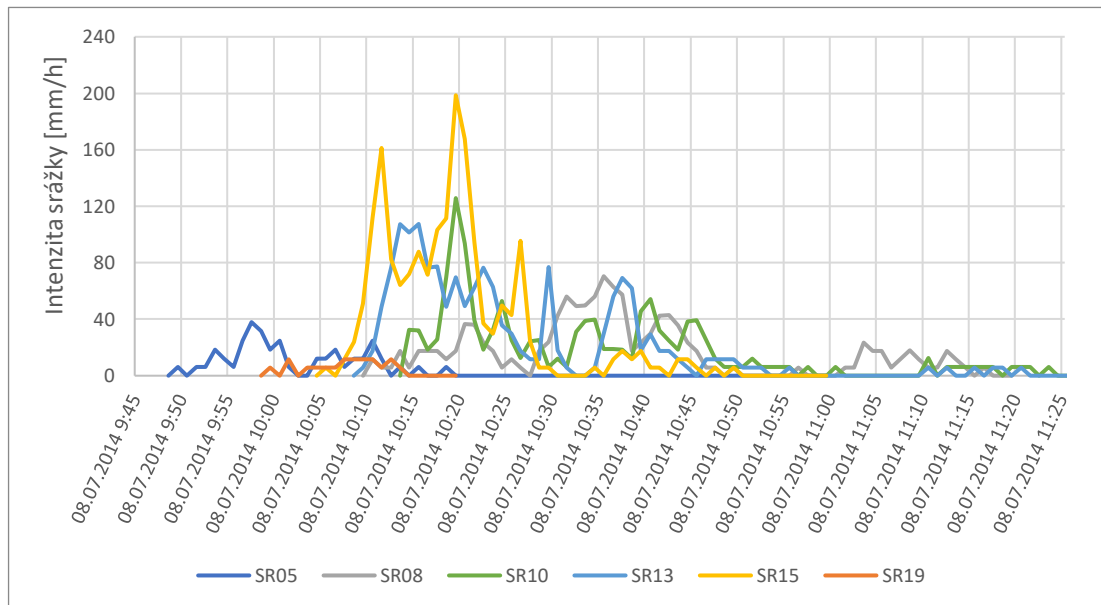
Tabulka 32: Hodnoty kritérií – událost 28.6.2017 – povodí Solidarita

	Srážkoměry	Radar	MV spoje
<b>Pearsonův korelační koeficient</b>			
MP Q1	0,795	0,274	0,722
MP Q4	0,764	0,730	0,619
MP Q5	0,322	0,126	0,253
MP Q7	0,849	0,787	0,581
<b>Nash-Sutcliffe efficiency</b>			
MP Q1	-17,535	0,009	0,239
MP Q4	0,546	-0,818	0,236
MP Q5	-6,308	-0,159	-0,113
MP Q7	0,620	-0,255	0,201
<b>Relativní chyba v objemu</b>			
MP Q1	132,9 %	-32,4 %	-29,4 %
MP Q4	-25,2 %	54,0 %	-35,2 %
MP Q5	57,5 %	-30,6 %	-16,5 %
MP Q7	-42,1 %	42,8 %	-45,1 %

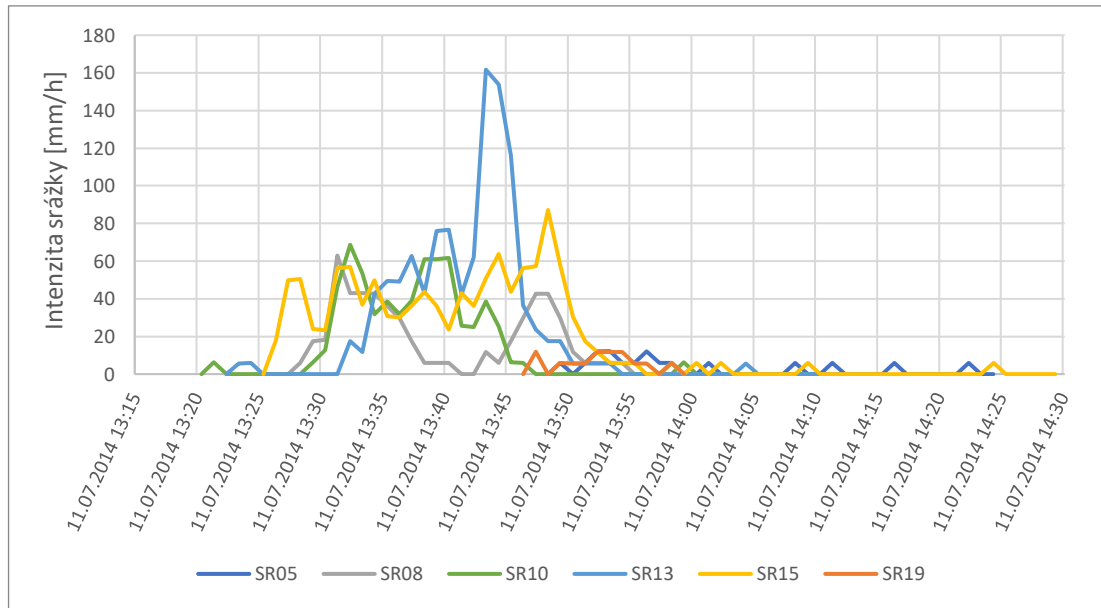
## Příloha 3: Hyetogramy – povodí EF



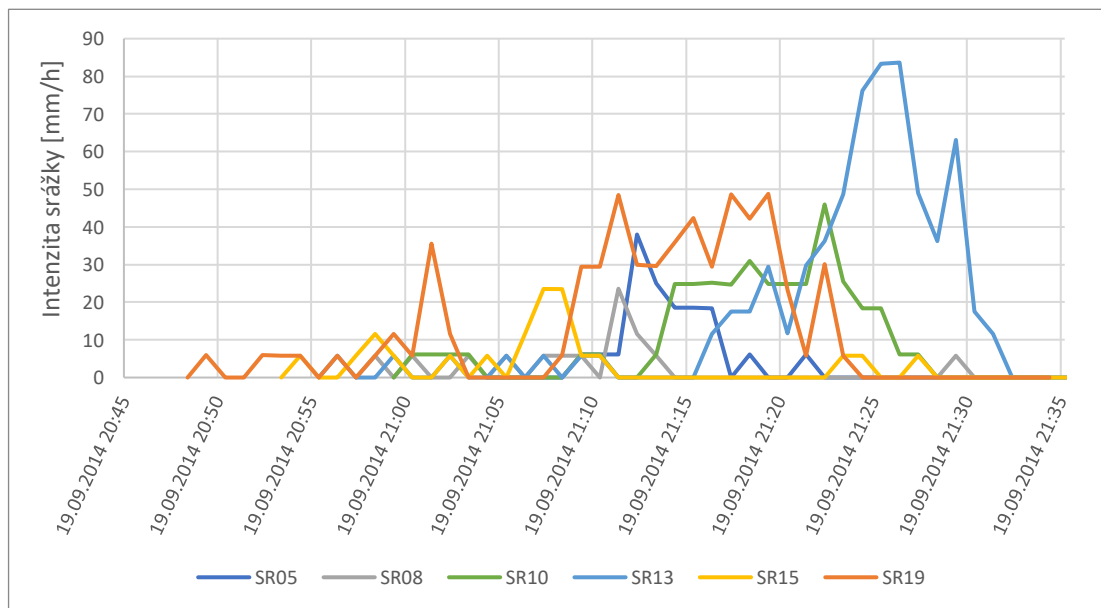
Graf 23: Hyetogram – událost 23.5.2014



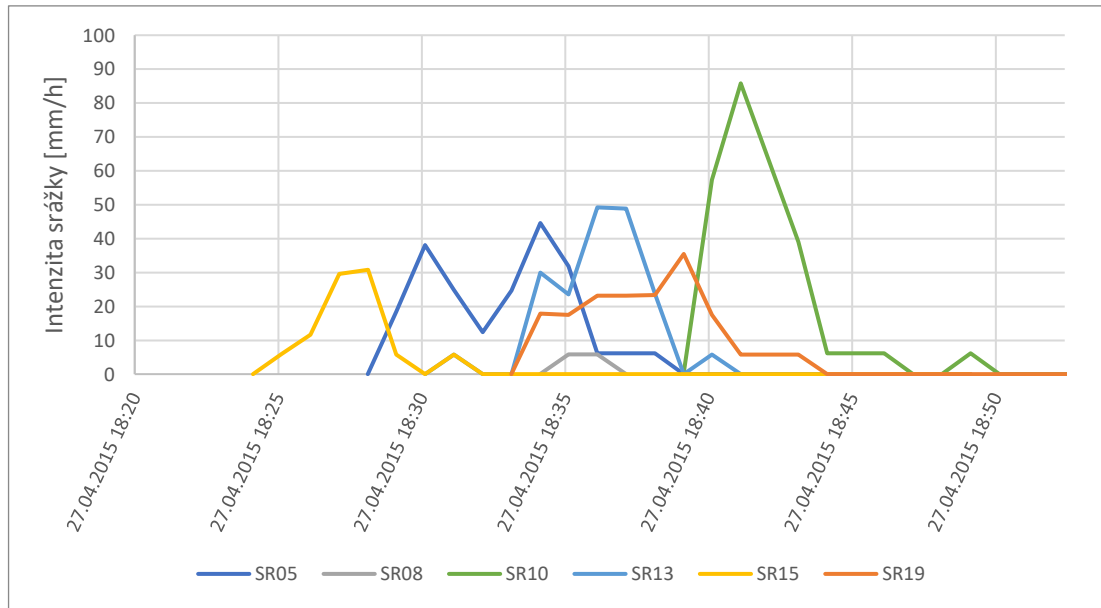
Graf 24: Hyetogram – událost 8.7.2014



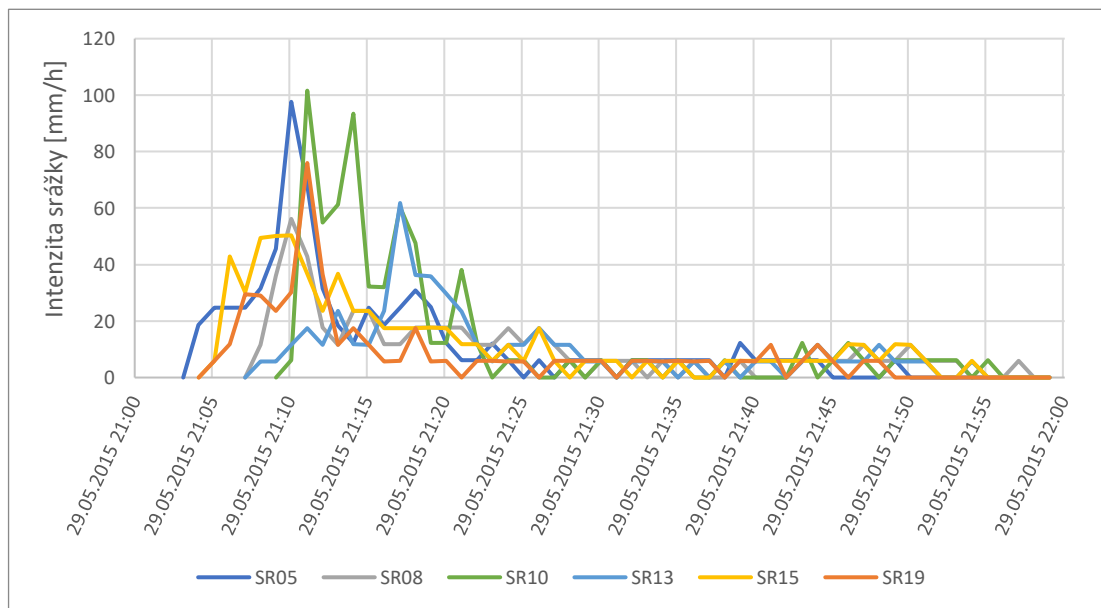
Graf 25: Hyetogram – událost 11.7.2014



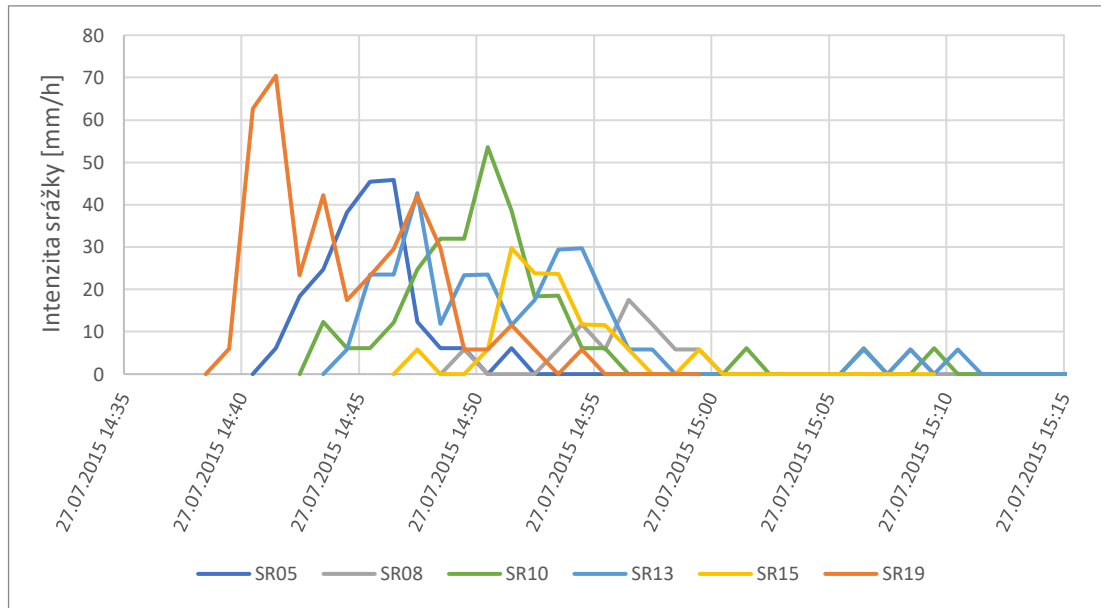
Graf 26: Hyetogram – událost 19.9.2014



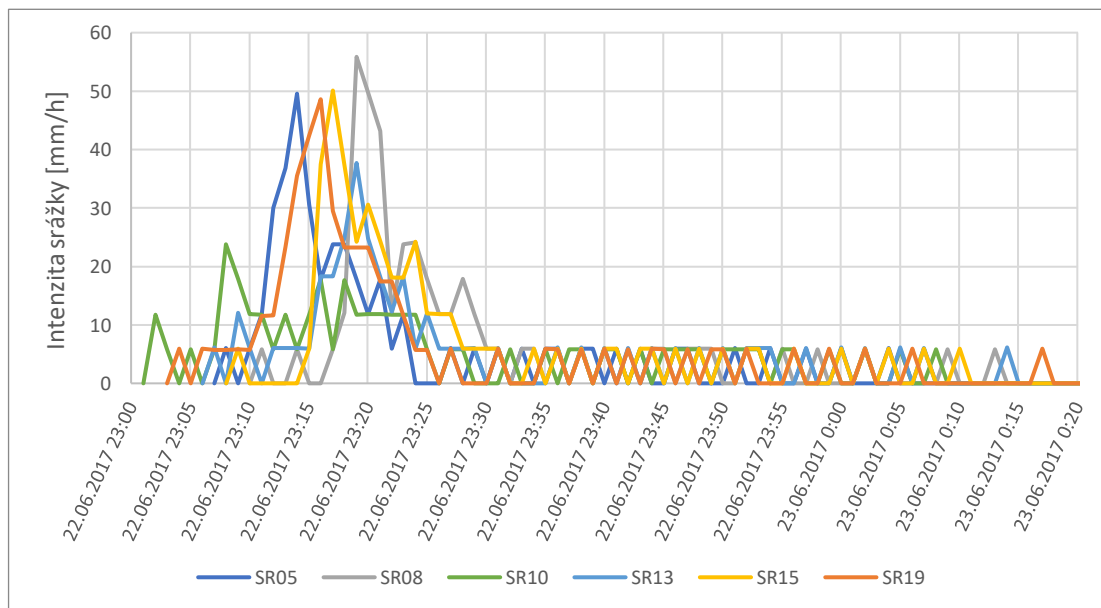
Graf 27: Hyetogram – událost 27.4.2015



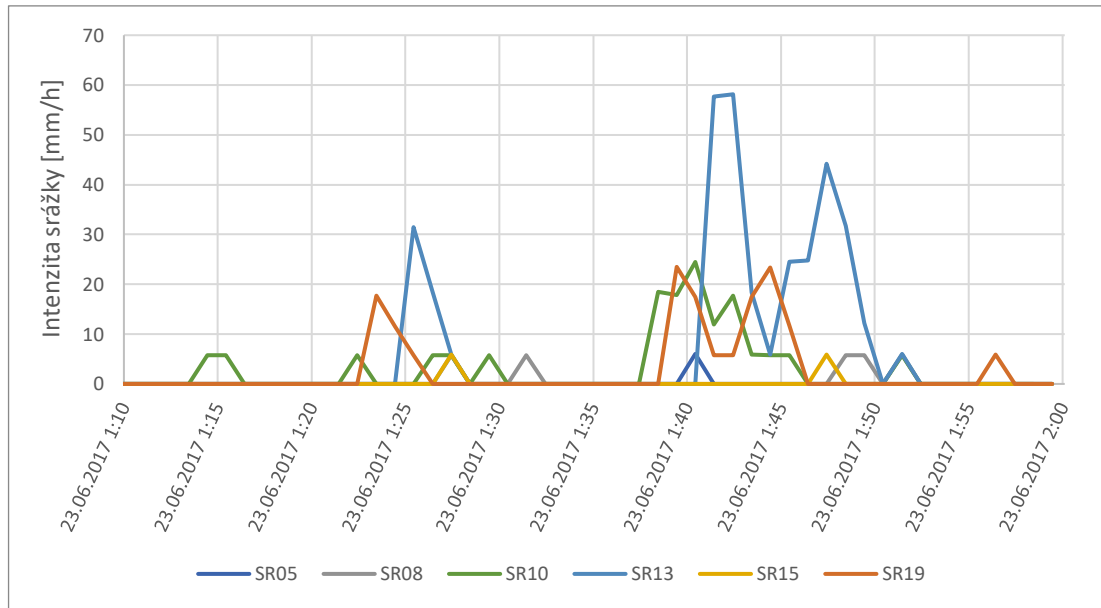
Graf 28: Hyetogram – událost 29.5.2015



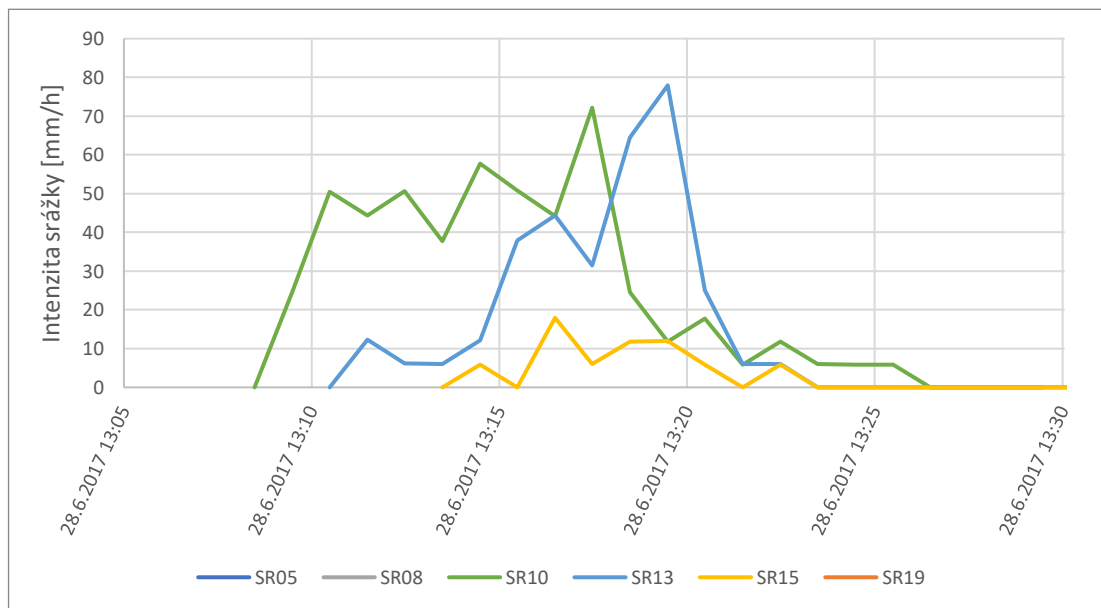
Graf 29: Hyetogram – událost 27.7.2015



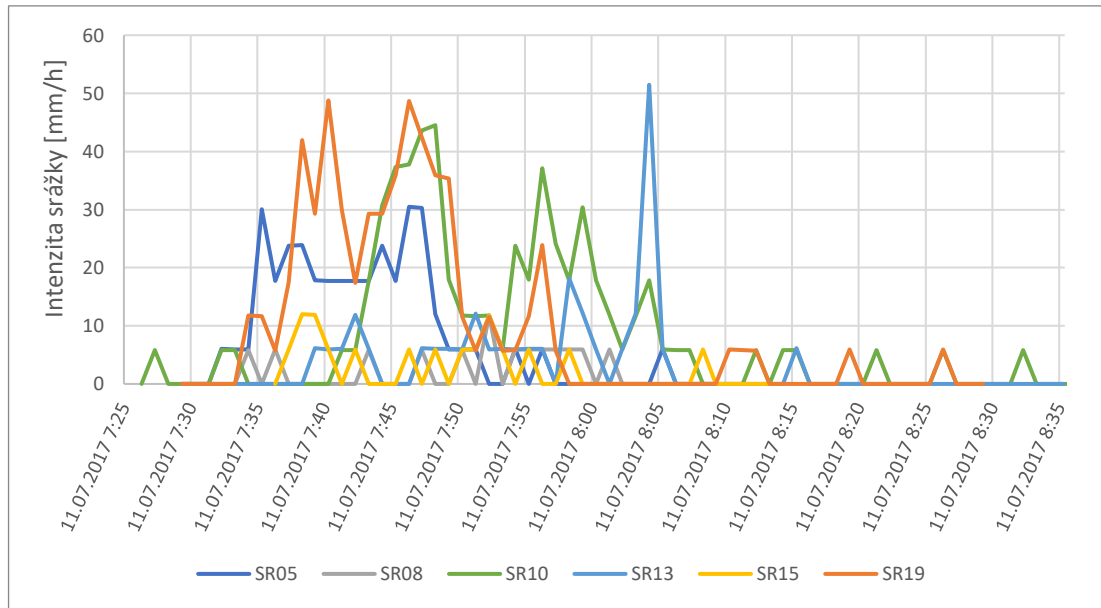
Graf 30: Hyetogram – událost 22.6.2017



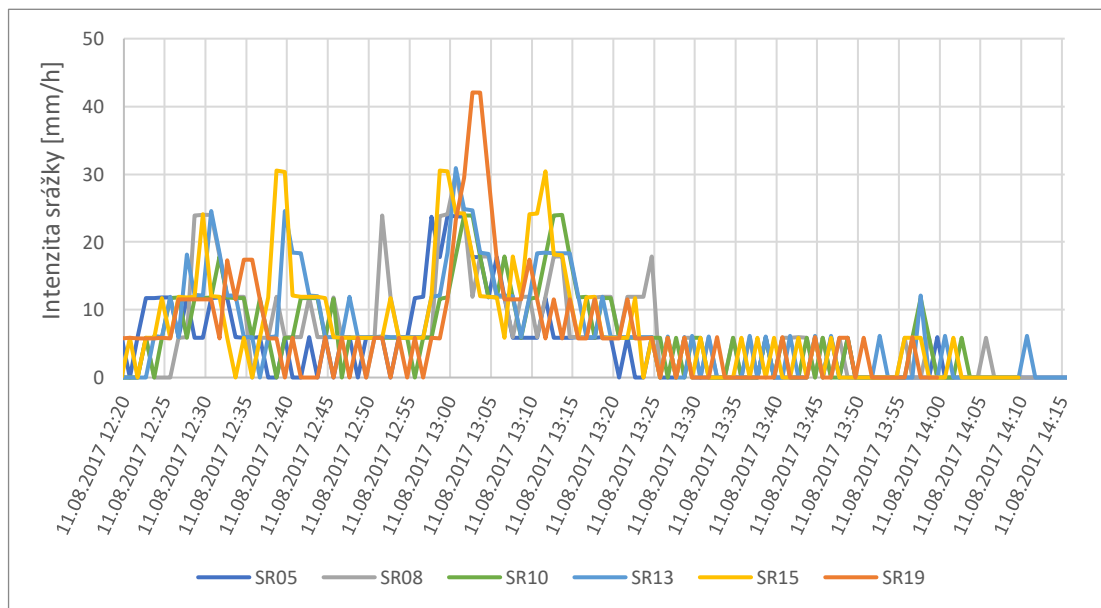
Graf 31: Hyetogram – událost 23.6.2017



Graf 32: Hyetogram – událost 28.6.2017

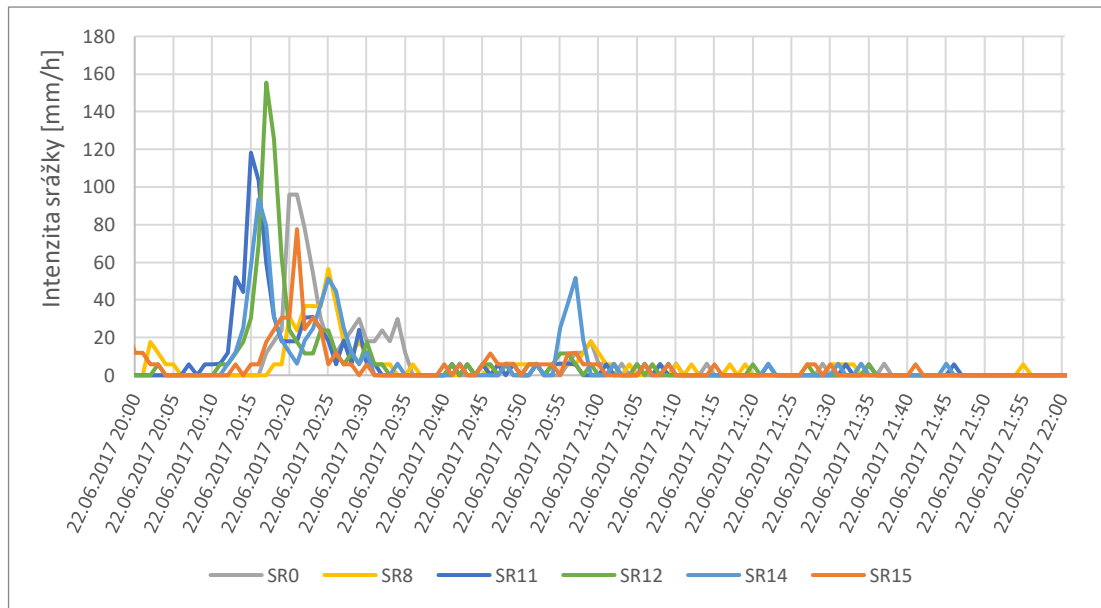


Graf 33: Hyetogram – událost 11.7.2017

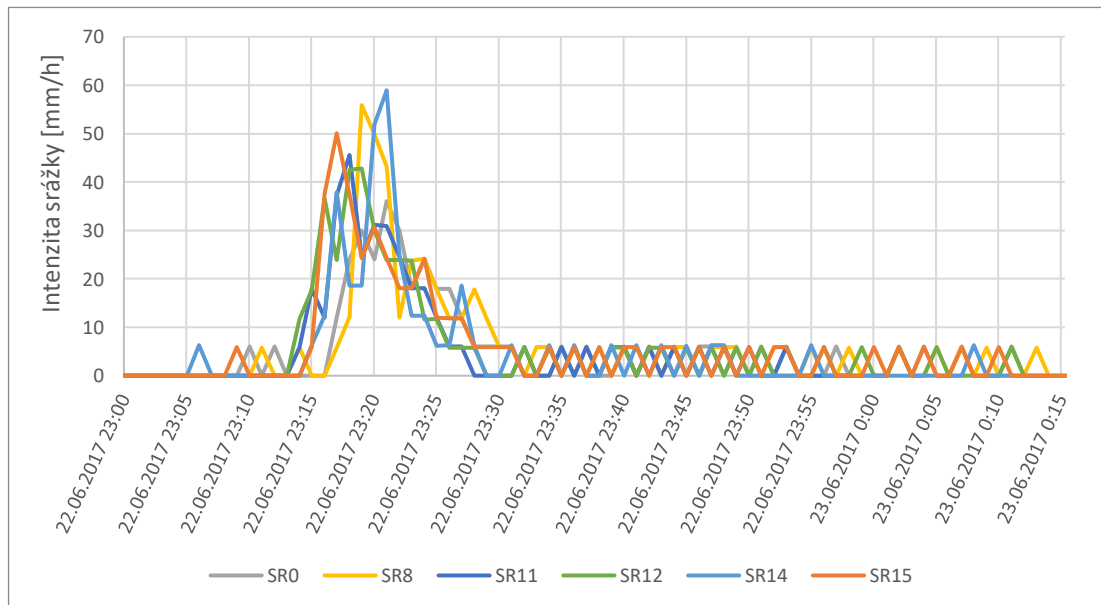


Graf 34: Hyetogram – událost 11.8.2017

## Příloha 4: Hyetogramy – povodí Solidarita

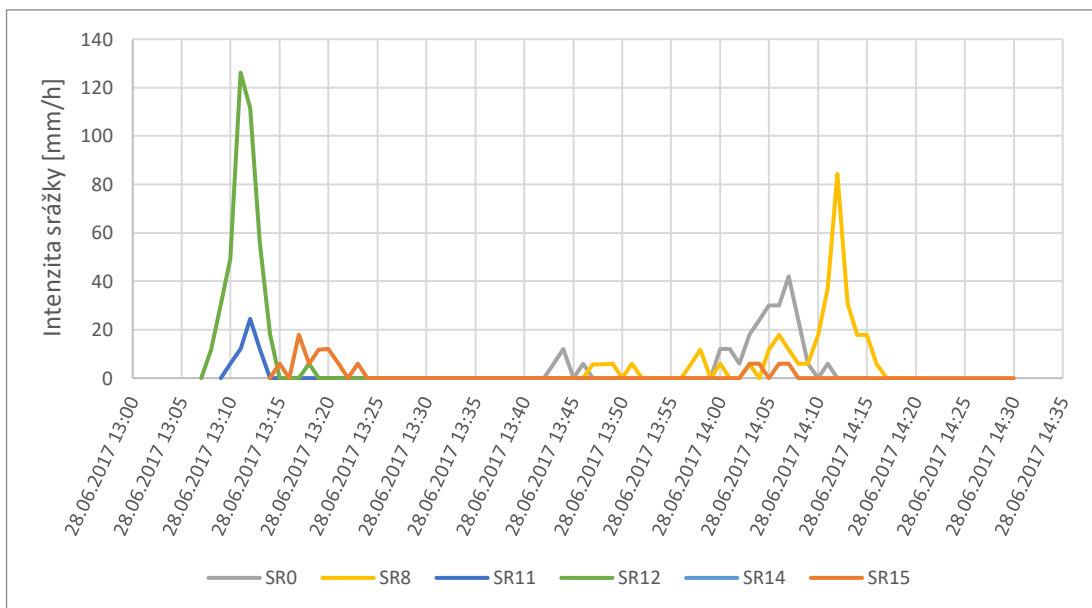


Graf 35: Hyetogram – událost 22.6.2017 20:00



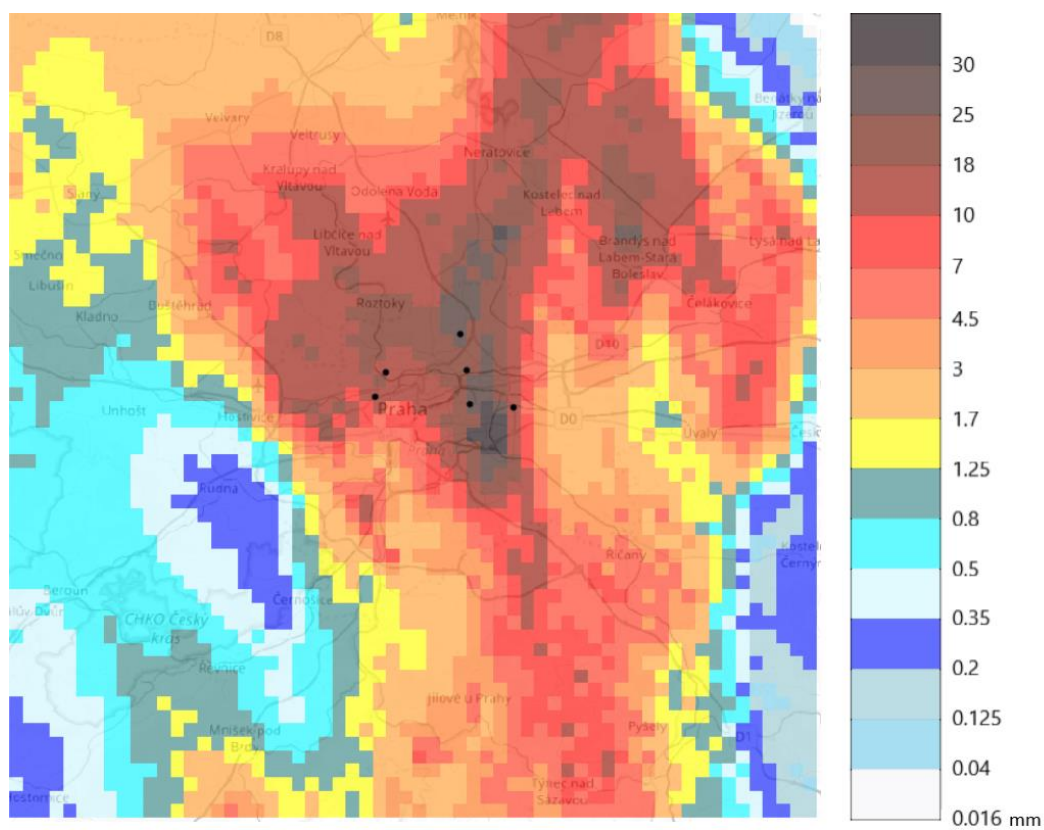
Graf 36: Hyetogram – událost 22.6.2017 23:00



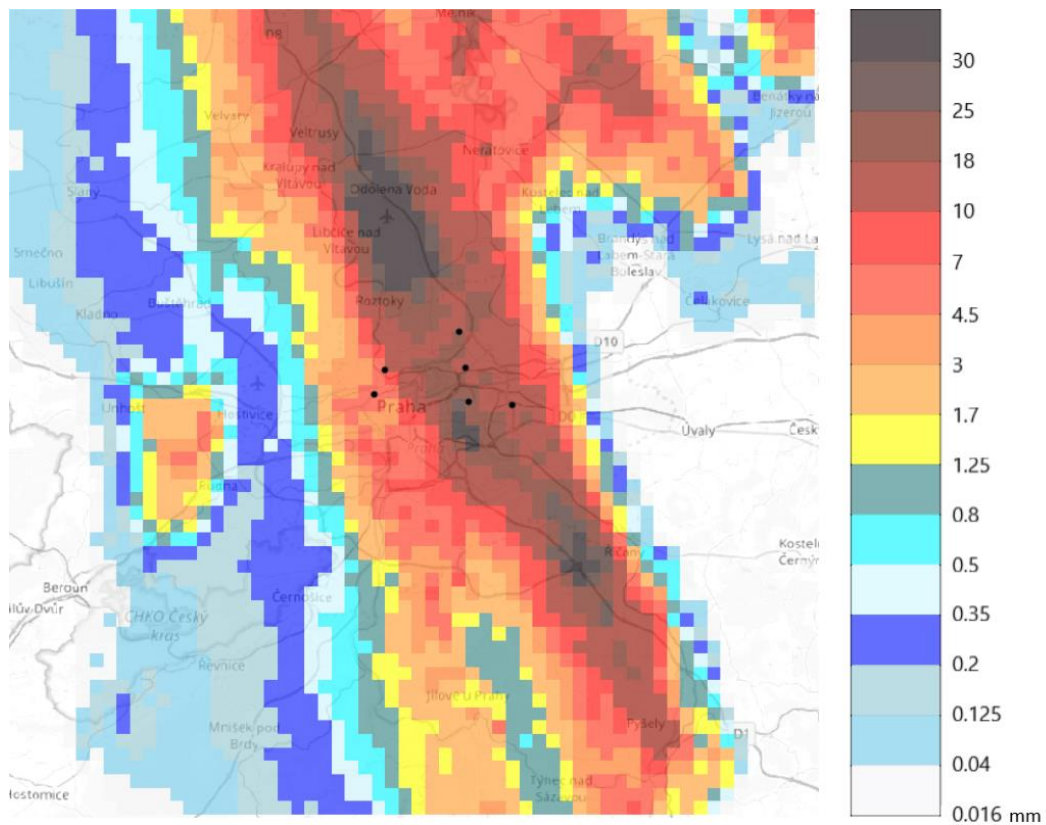


Graf 37: Hyetogram – událost 28.6.2017

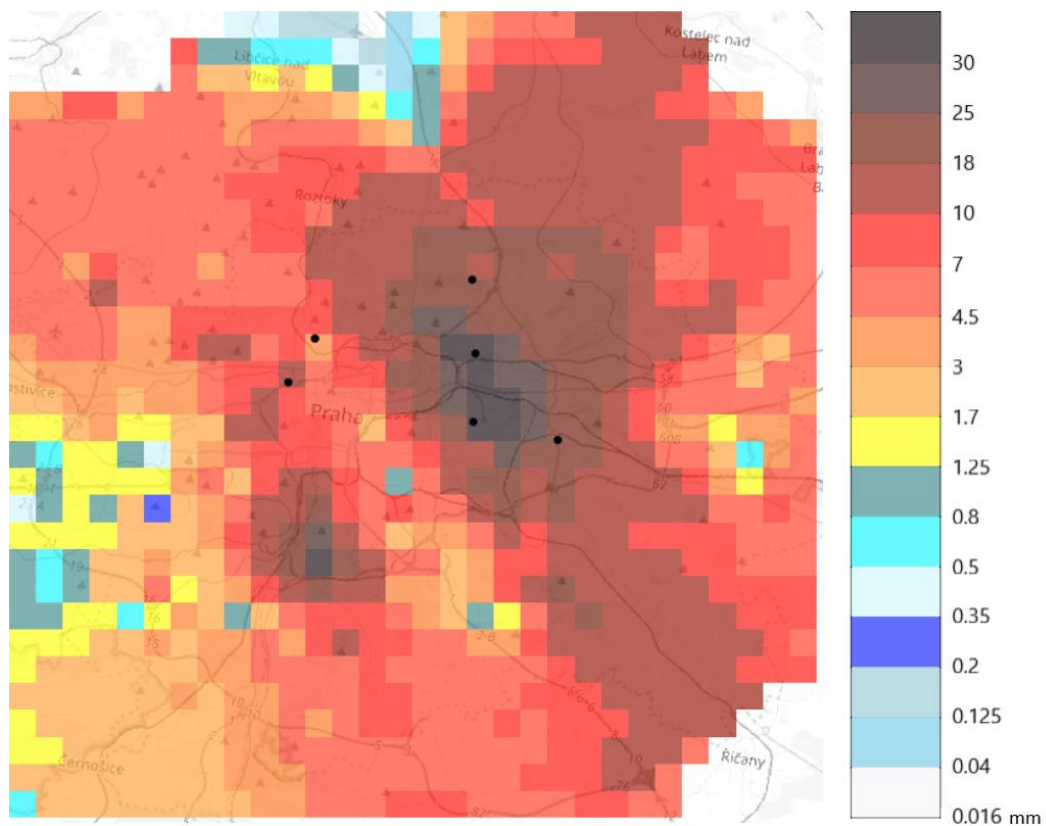
## Příloha 5: Mapy úhrnu srážek – povodí EF



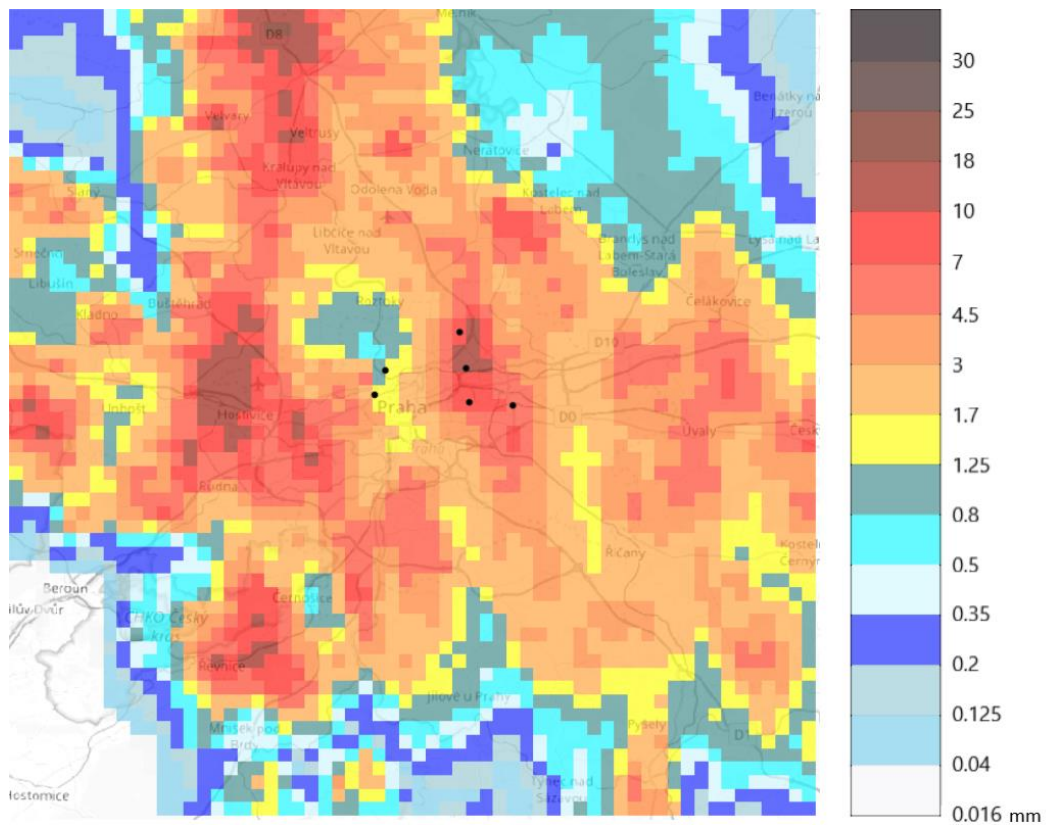
Obrázek 1: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 23.5.2014 (černé body – srážkoměry)



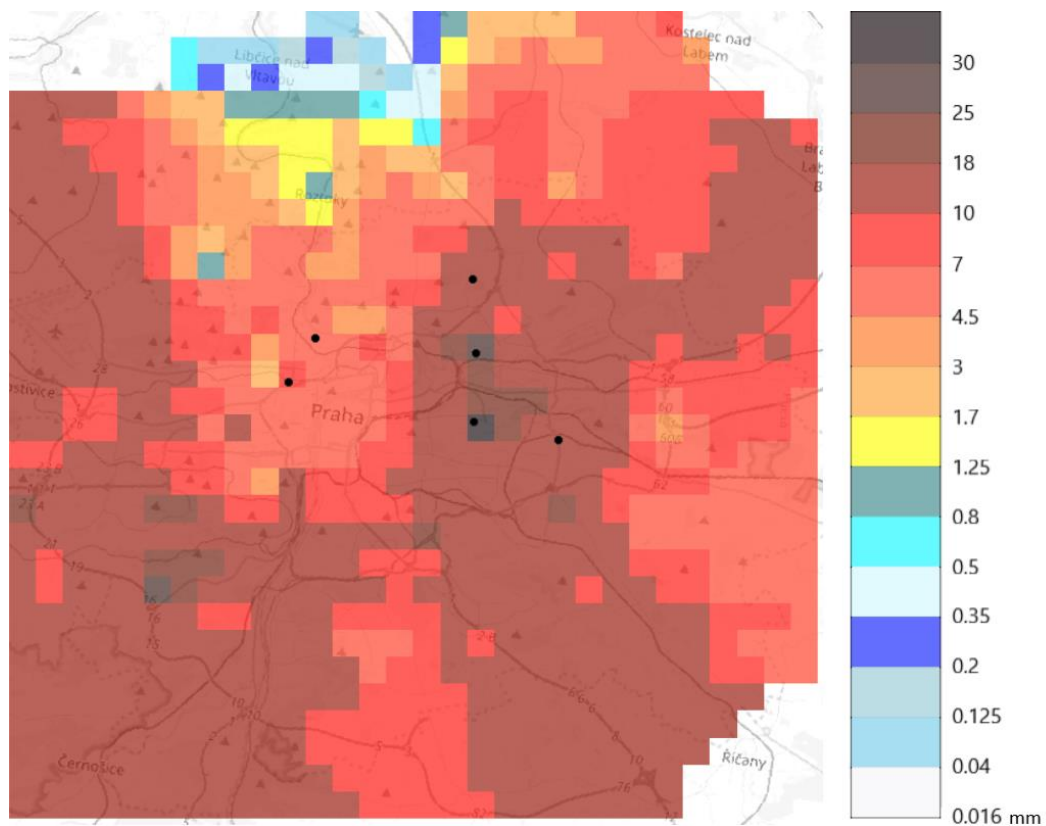
Obrázek 2: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 8.7.2014 (černé body – srážkoměry)



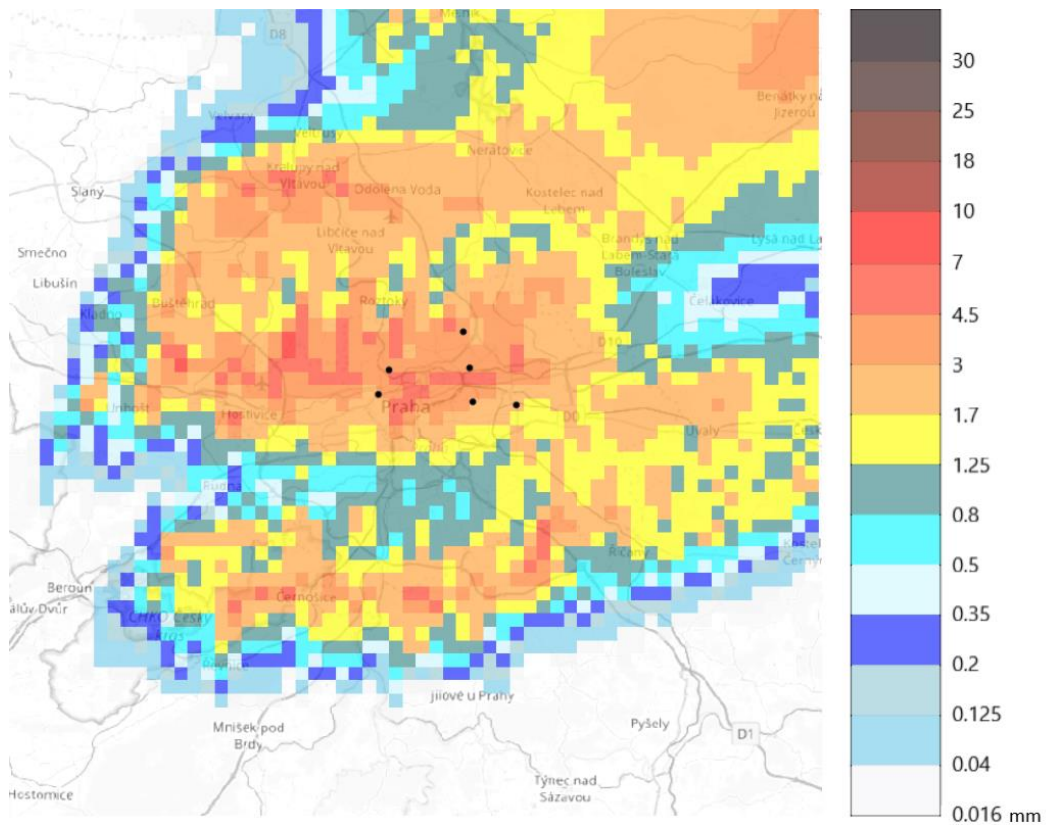
Obrázek 3: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – EF – událost 8.7.2014 (černé body – srážkoměry)



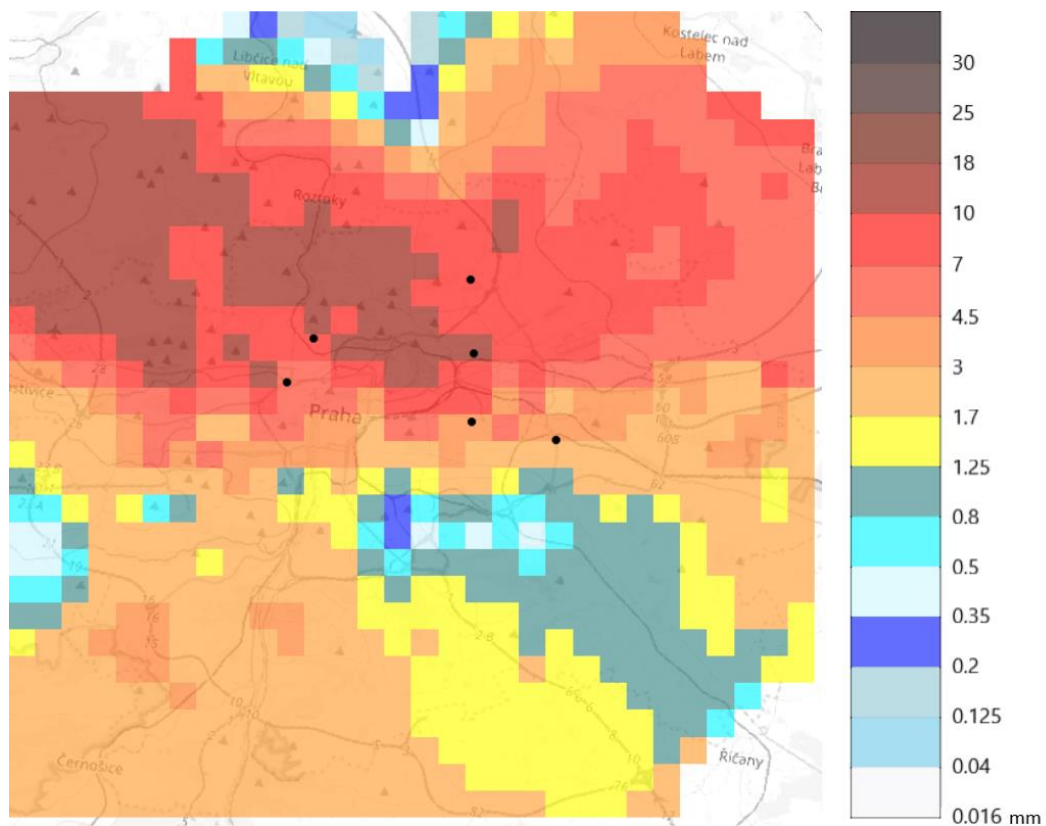
Obrázek 4: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 11.7.2014 (černé body – srážkoměry)



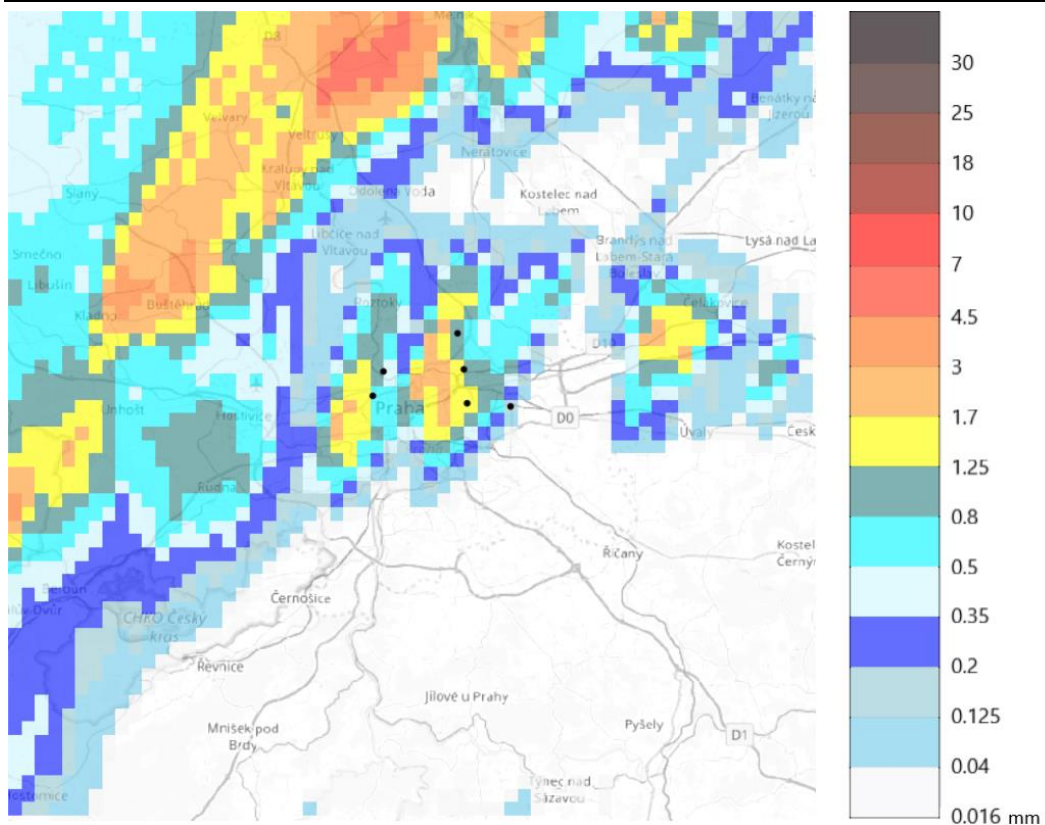
Obrázek 5: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – EF – událost 11.7.2014 (černé body – srážkoměry)



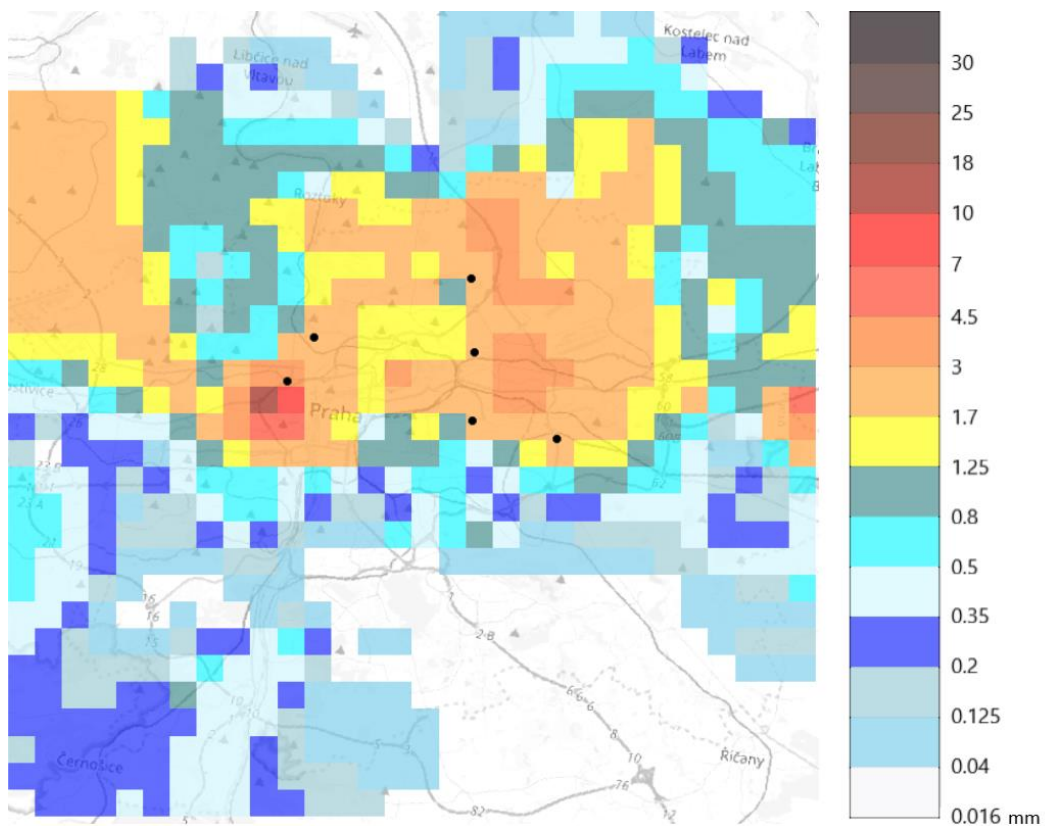
Obrázek 6: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 19.9.2014 (černé body – srážkoměry)



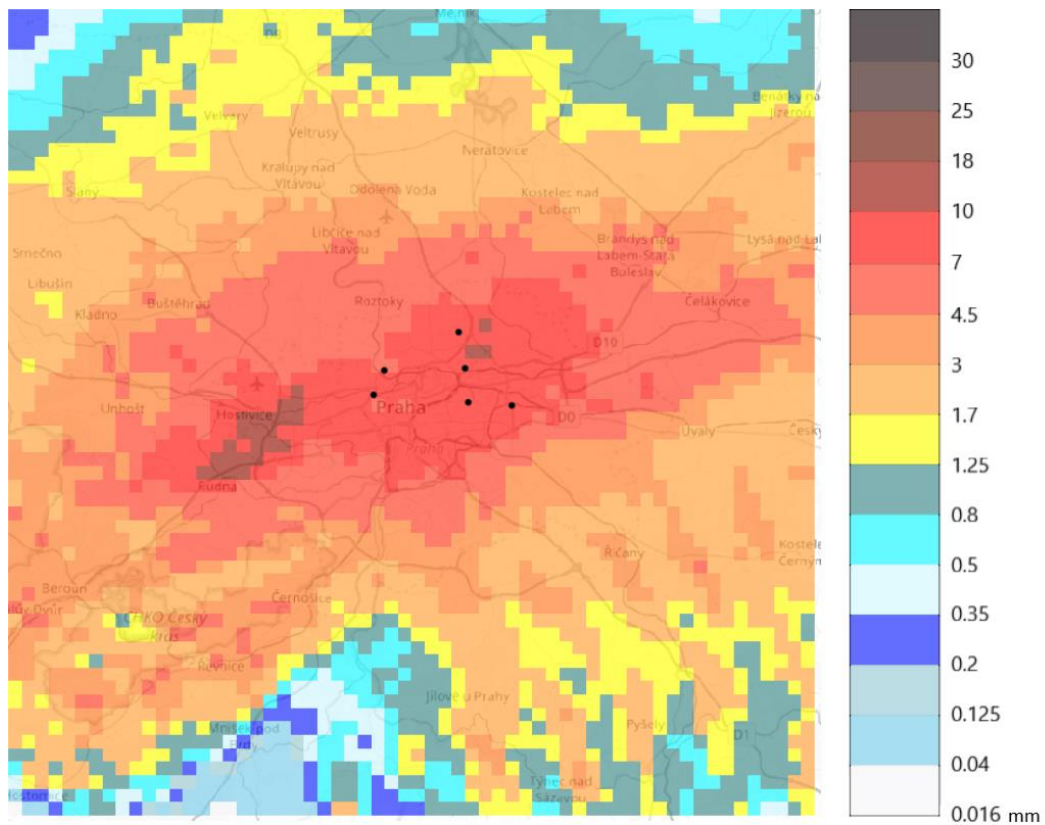
Obrázek 7: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – EF – událost 19.9.2014 (černé body – srážkoměry)



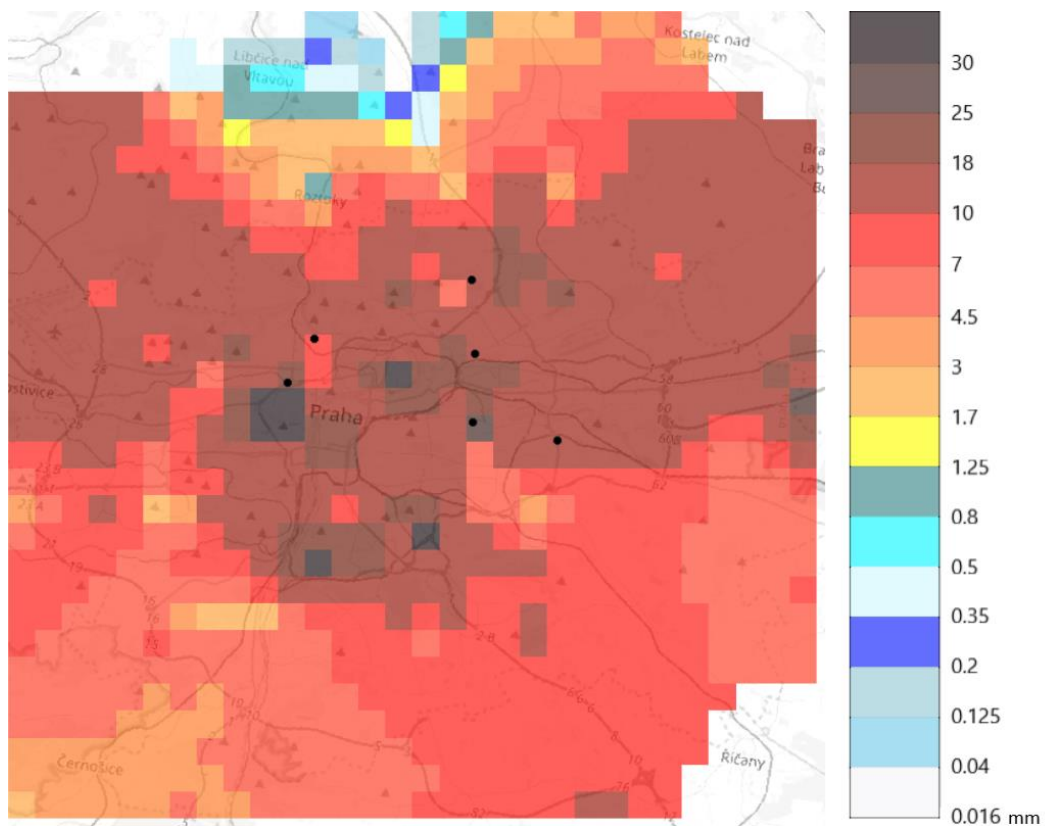
Obrázek 8: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 27.4.2015 (černé body – srážkoměry)



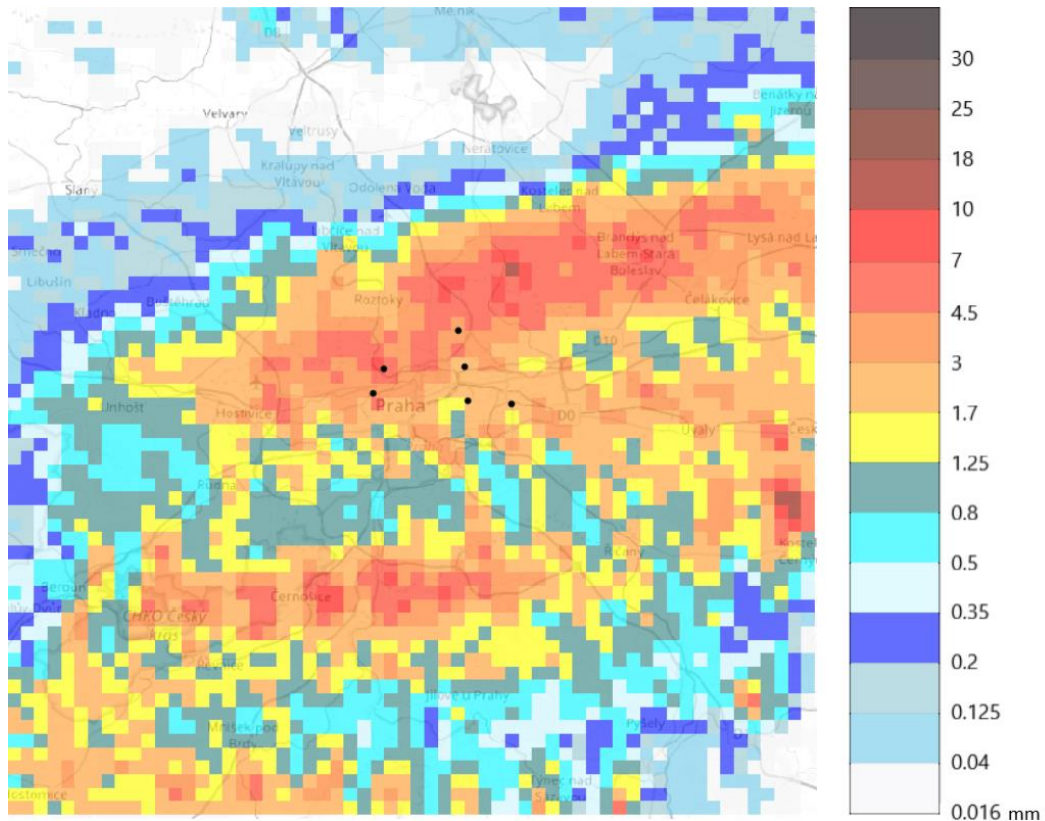
Obrázek 9: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – EF – událost 27.4.2015 (černé body – srážkoměry)



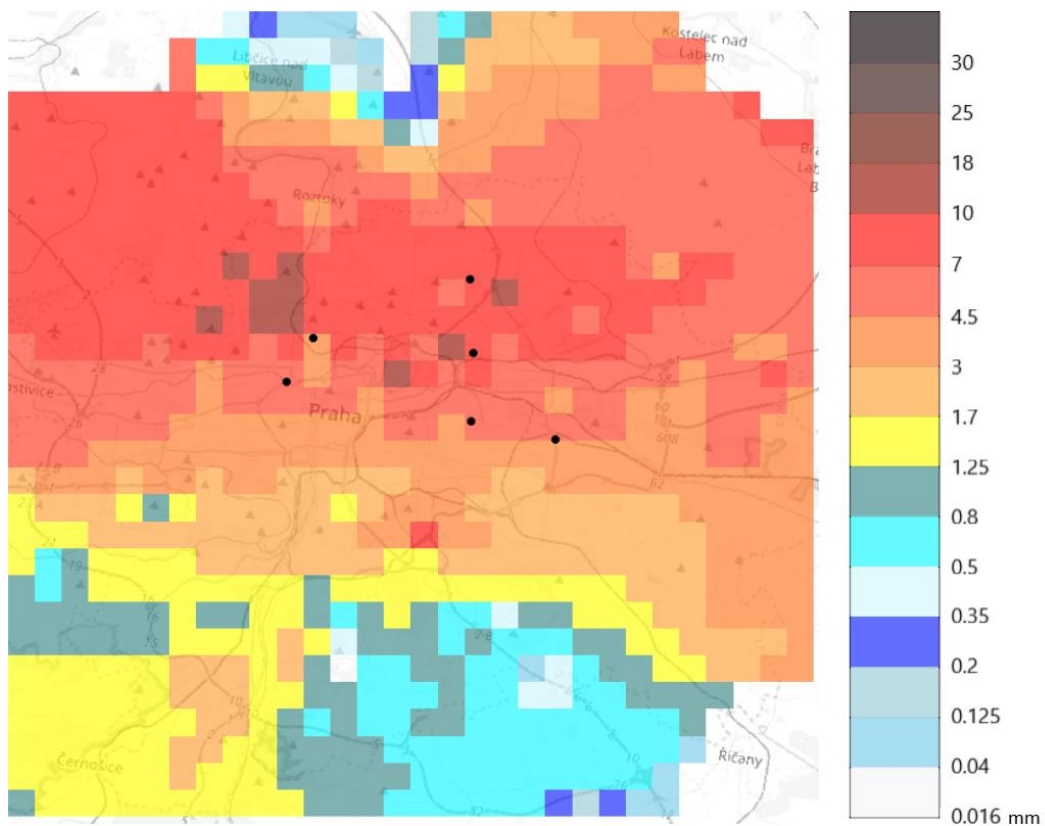
Obrázek 10: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 29.5.2015 (černé body – srážkoměry)



Obrázek 11: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – EF – událost 29.5.2015 (černé body – srážkoměry)

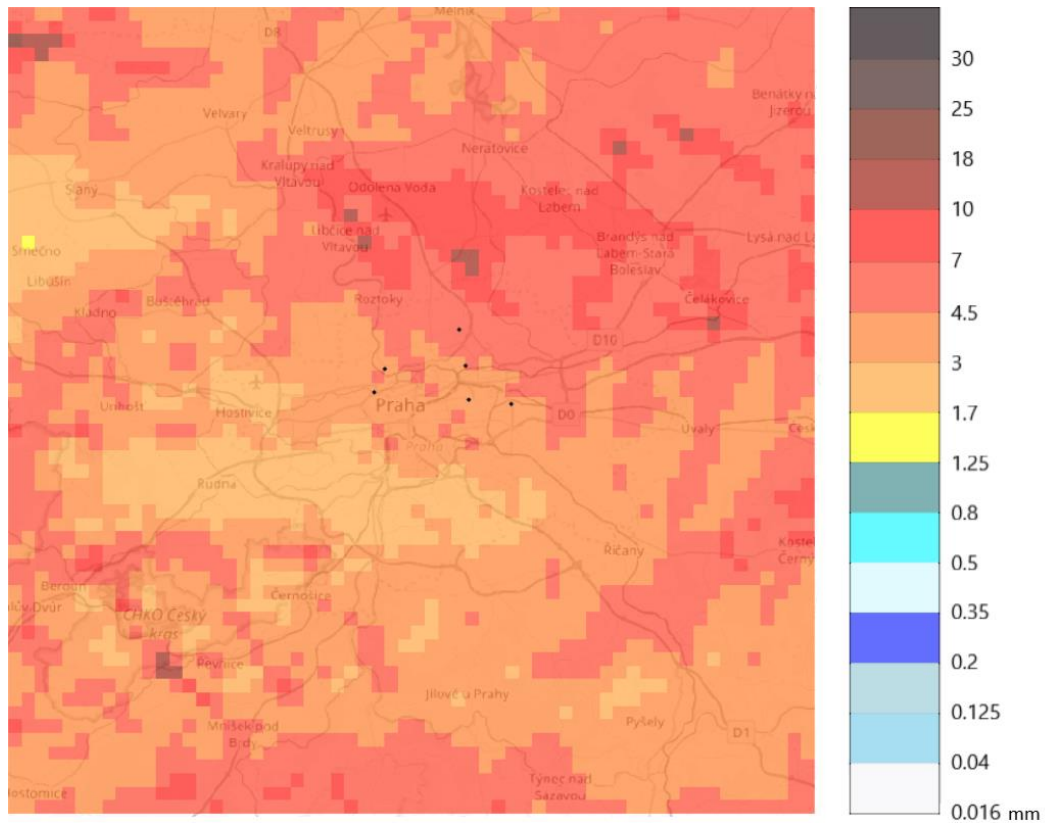


Obrázek 12: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 27.7.2015 (černé body – srážkoměry)

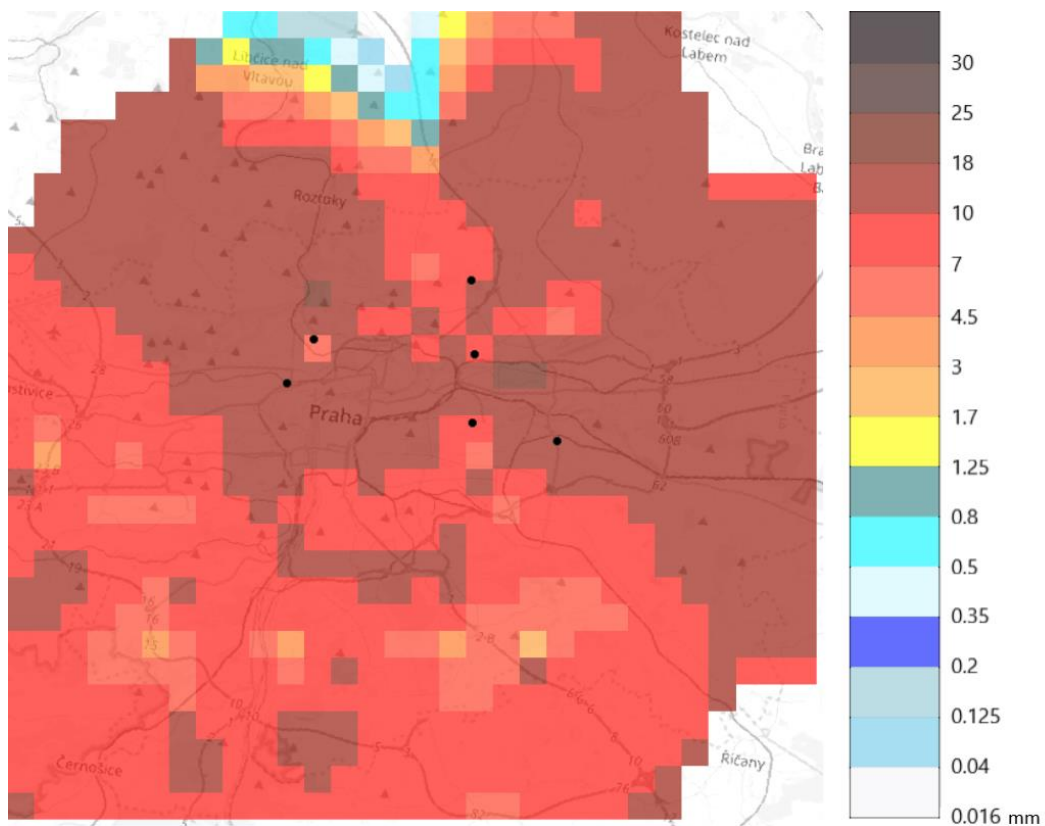


Obrázek 13: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – EF – událost 27.7.2015 (černé body – srážkoměry)

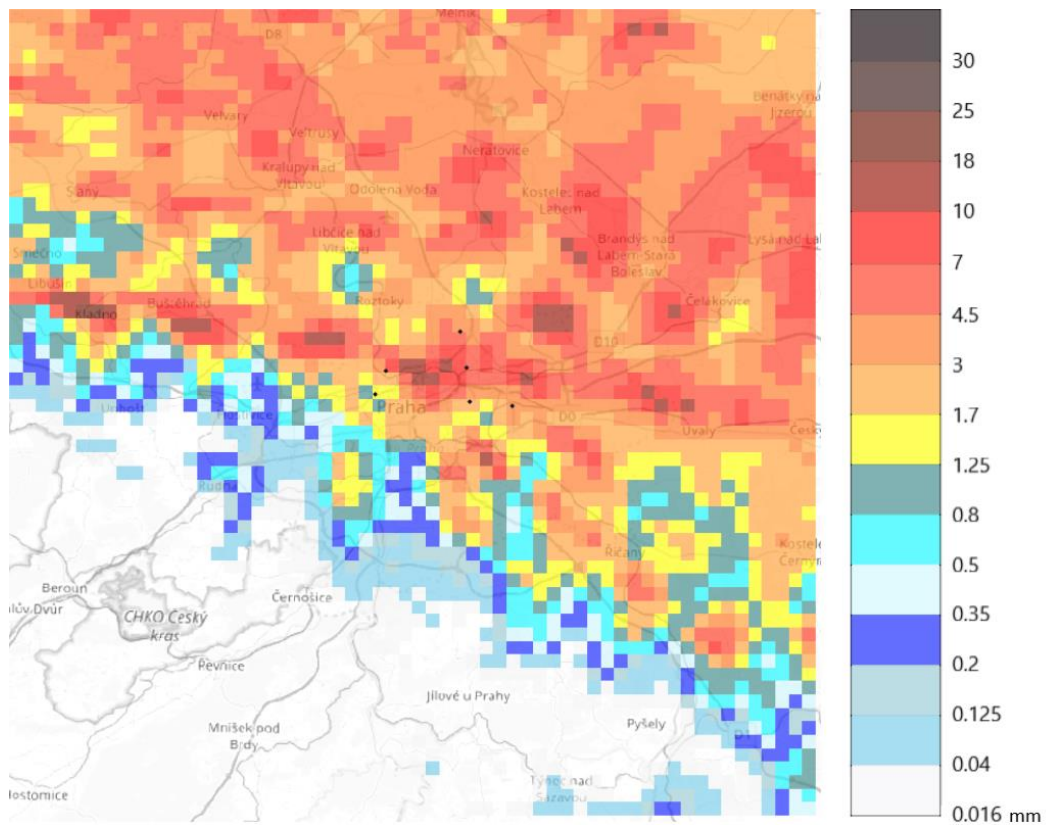




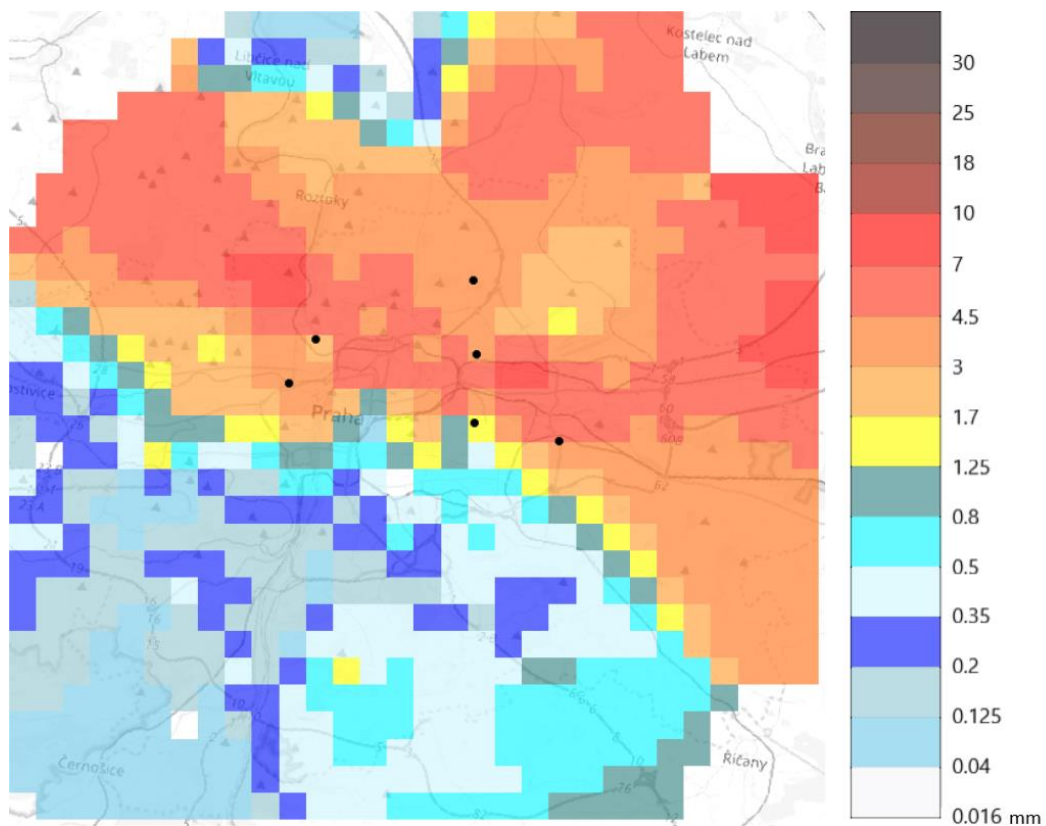
Obrázek 14: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 22.6.2017 (černé body – srážkoměry)



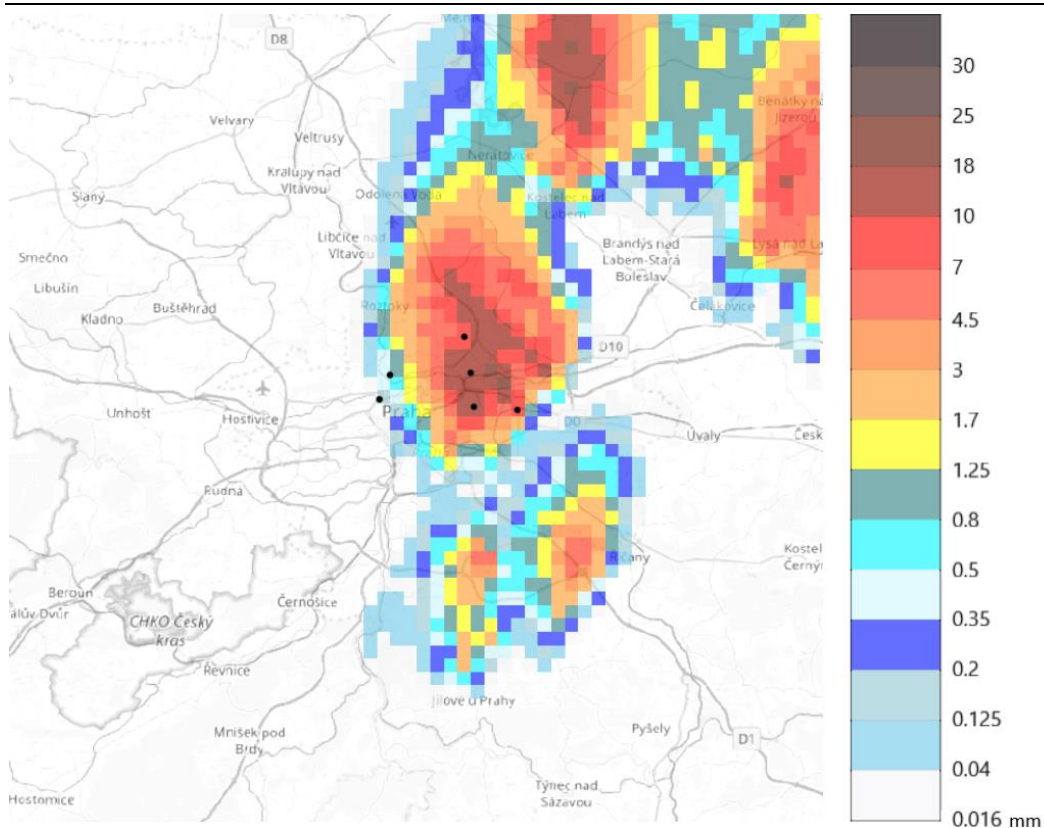
Obrázek 15: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – EF – událost 22.6.2017 (černé body – srážkoměry)



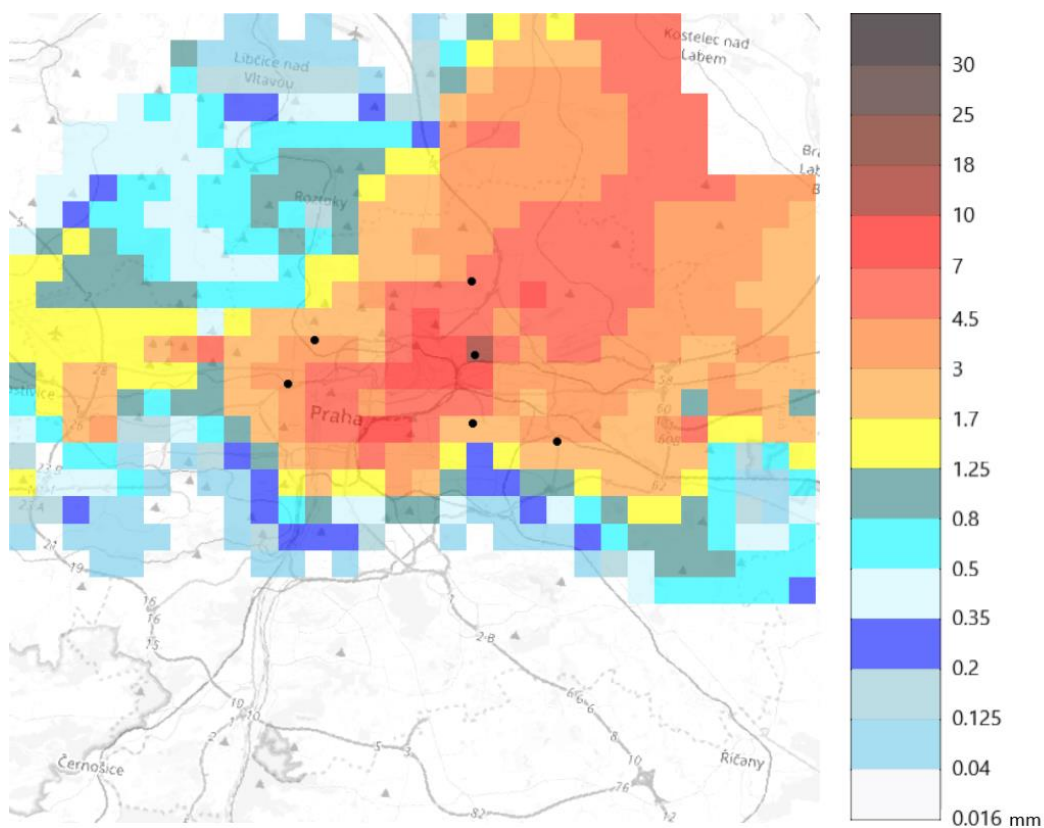
Obrázek 16: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 23.6.2017 (černé body – srážkoměry)



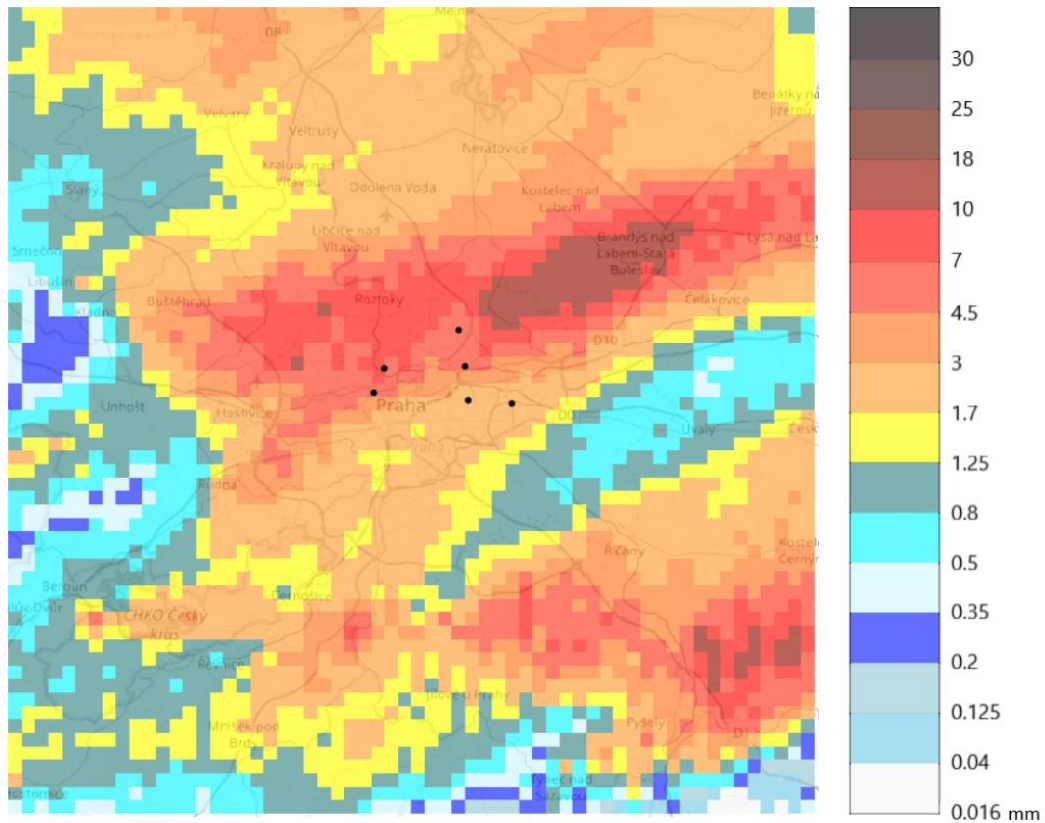
Obrázek 17: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – EF – událost 23.6.2017 (černé body – srážkoměry)



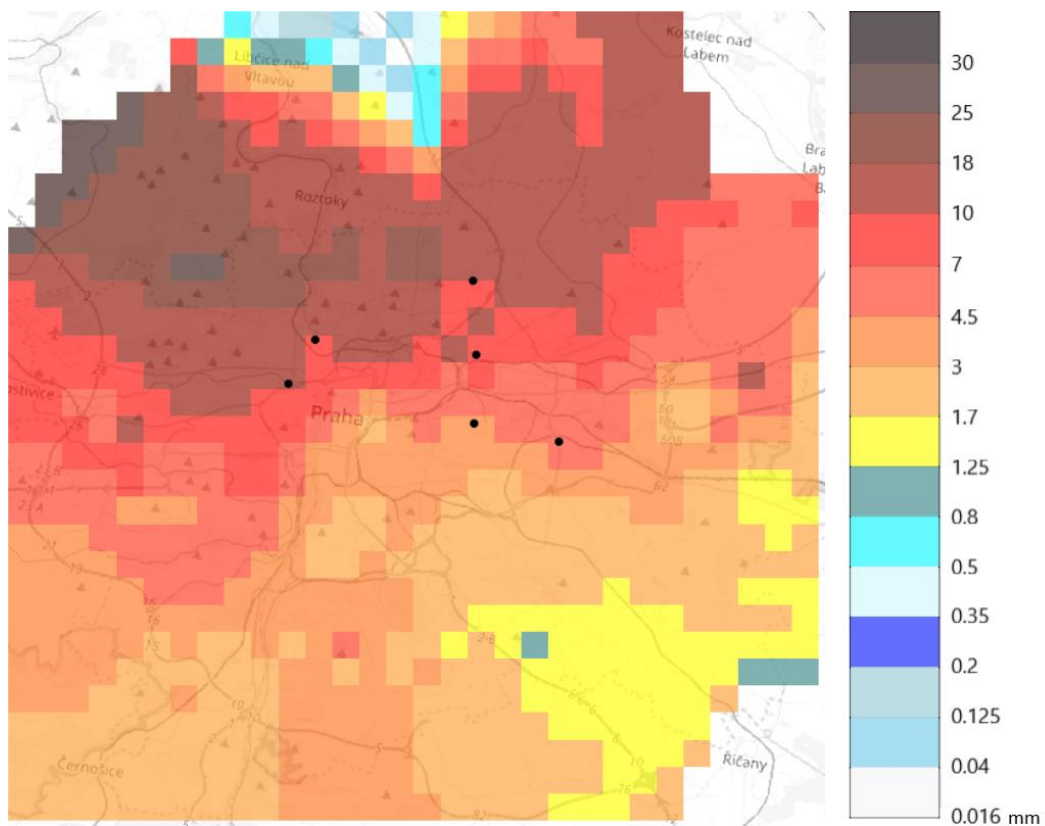
Obrázek 18: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 28.6.2017 (černé body – srážkoměry)



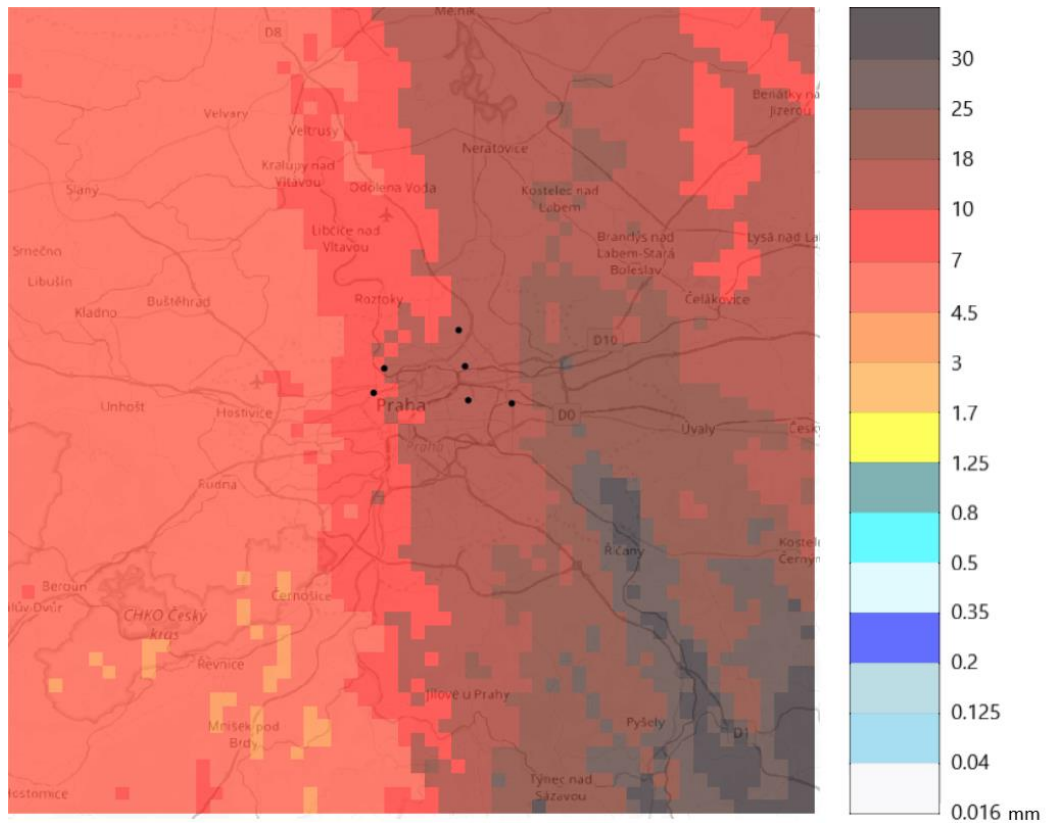
Obrázek 19: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – EF – událost 28.6.2017 (černé body – srážkoměry)



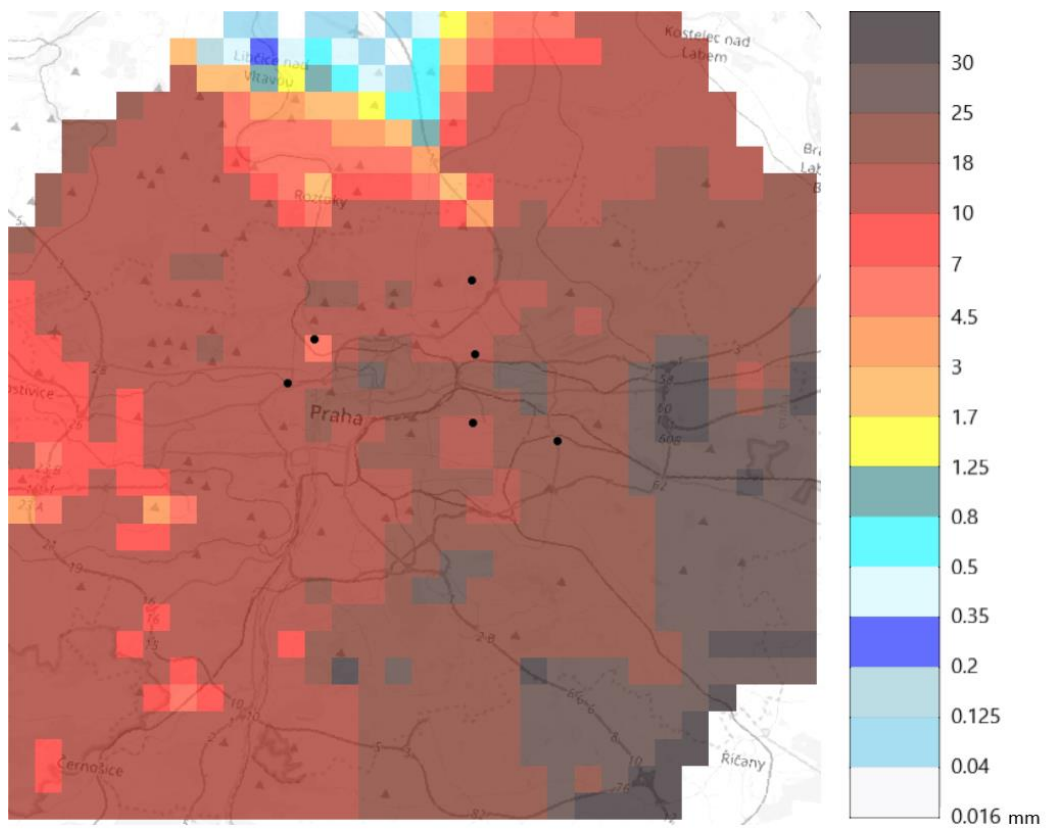
Obrázek 20: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 11.7.2017 (černé body – srážkoměry)



Obrázek 21: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – EF – událost 11.7.2017 (černé body – srážkoměry)

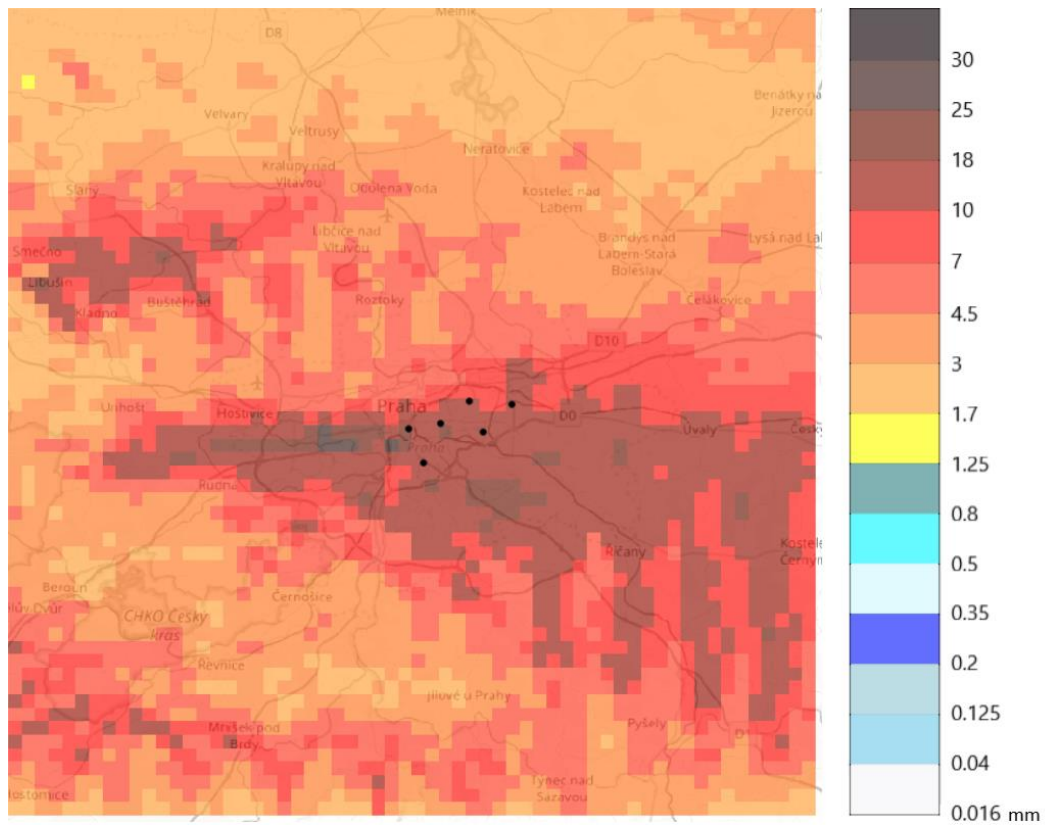


Obrázek 22: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – EF – událost 11.8.2017 (černé body – srážkoměry)

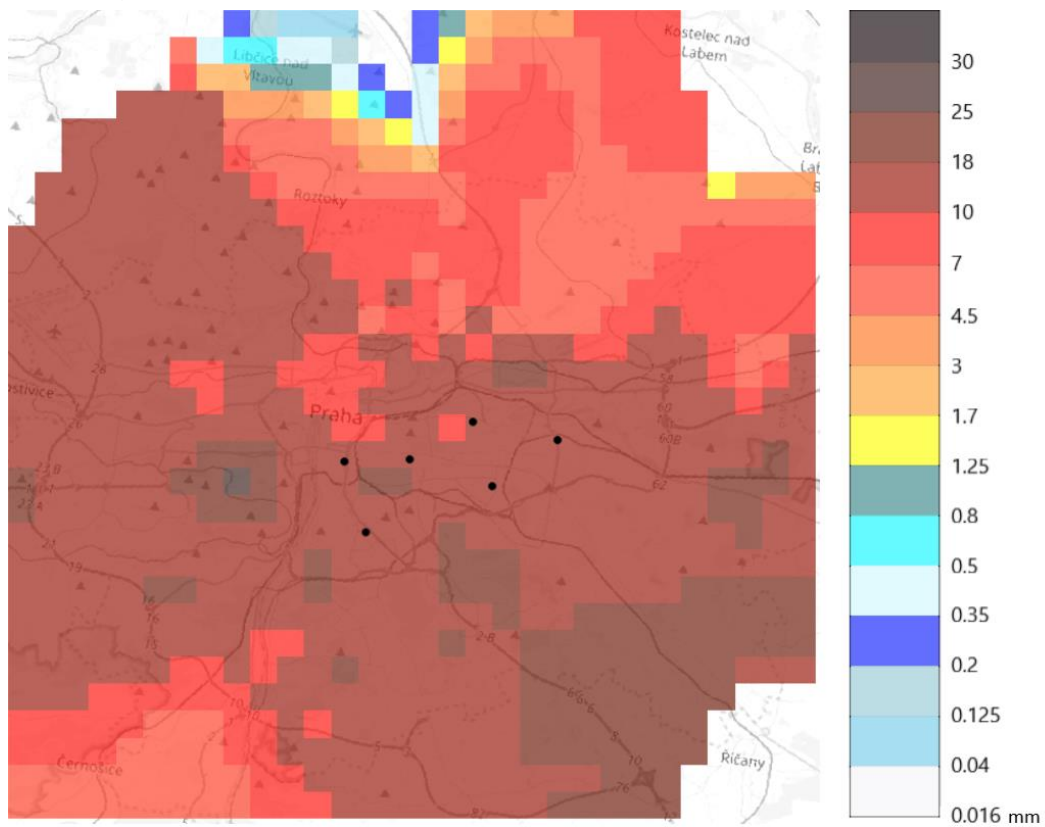


Obrázek 23: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – EF – událost 11.8.2017 (černé body – srážkoměry)

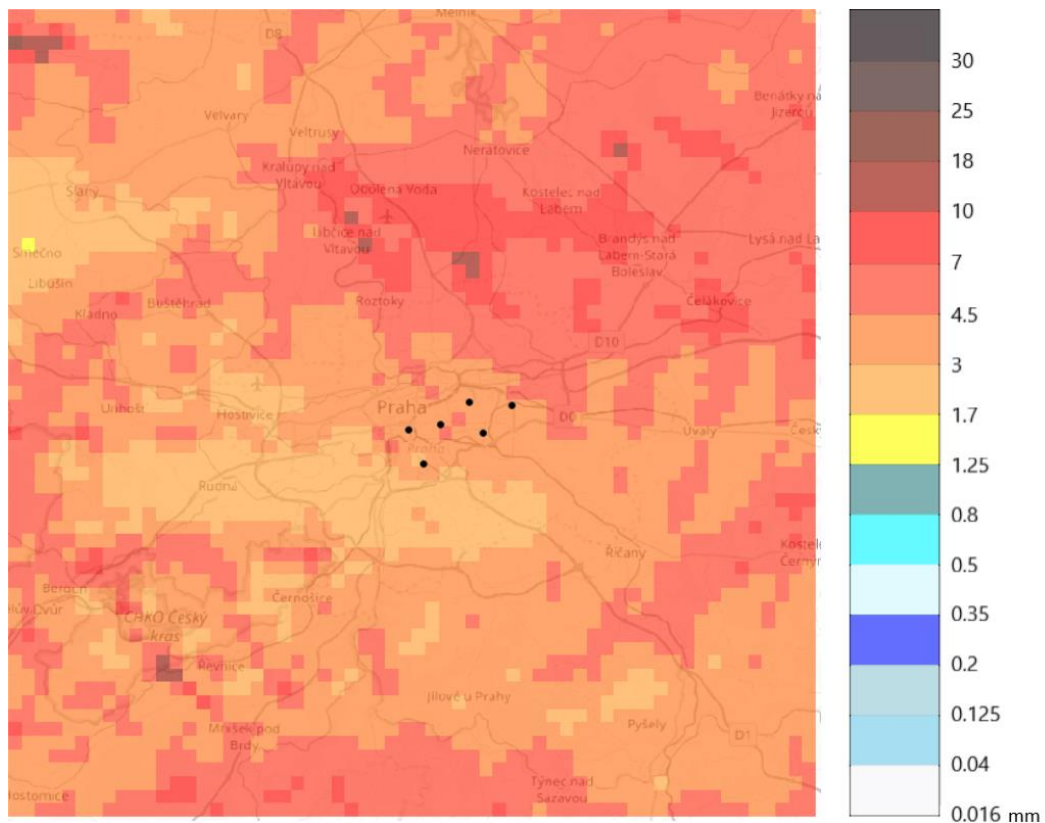
## Příloha 6: Mapy úhrnu srážek – povodí Solidarita



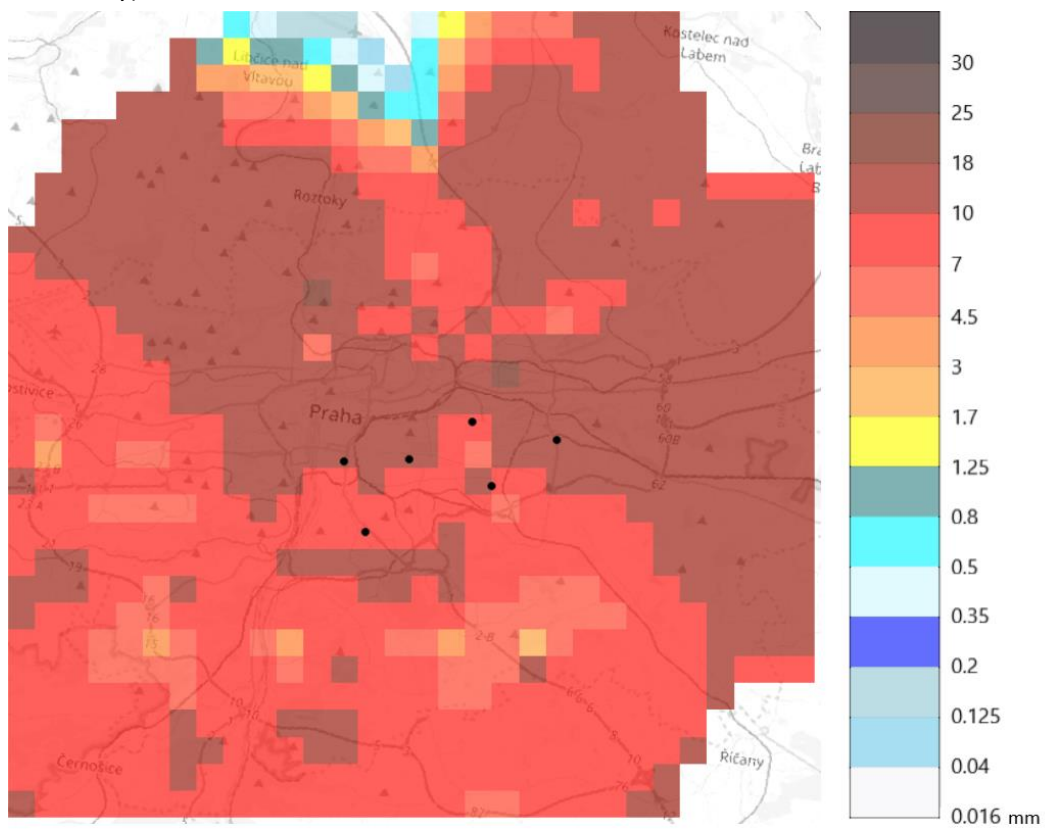
Obrázek 24: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – Solidarita – událost 22.6.2017-1 (černé body – srážkoměry)



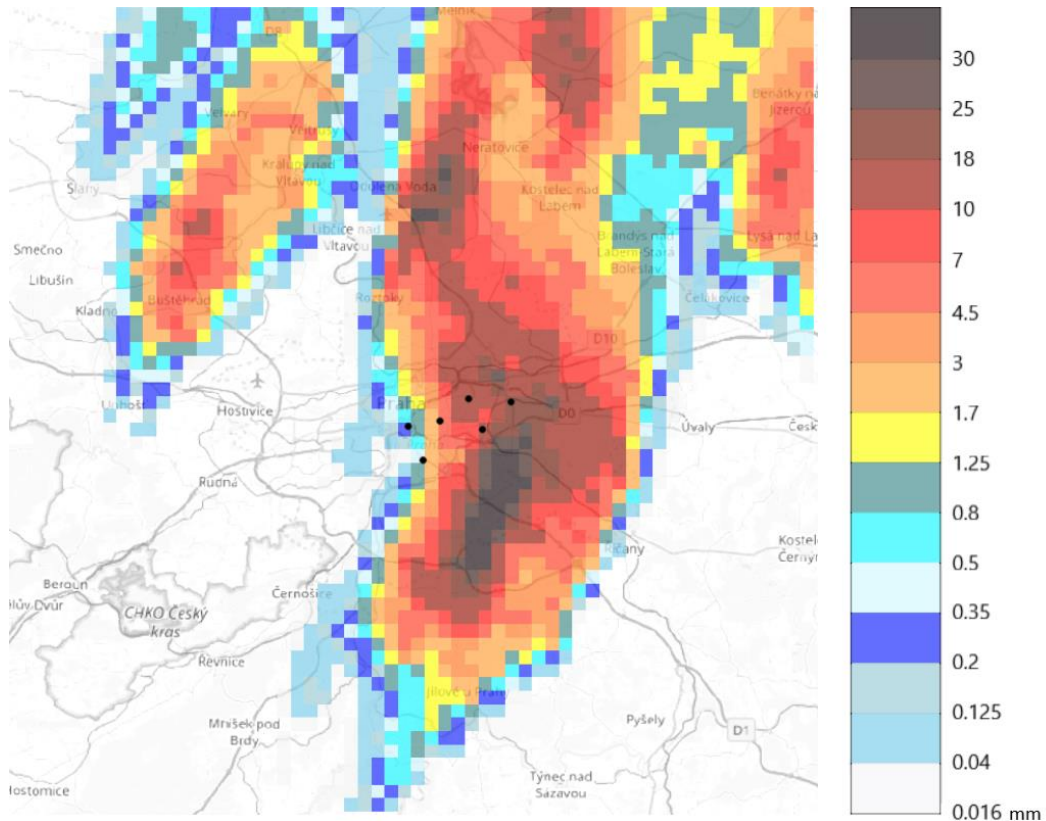
Obrázek 25: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – Solidarita – událost 22.6.2017-1 (černé body – srážkoměry)



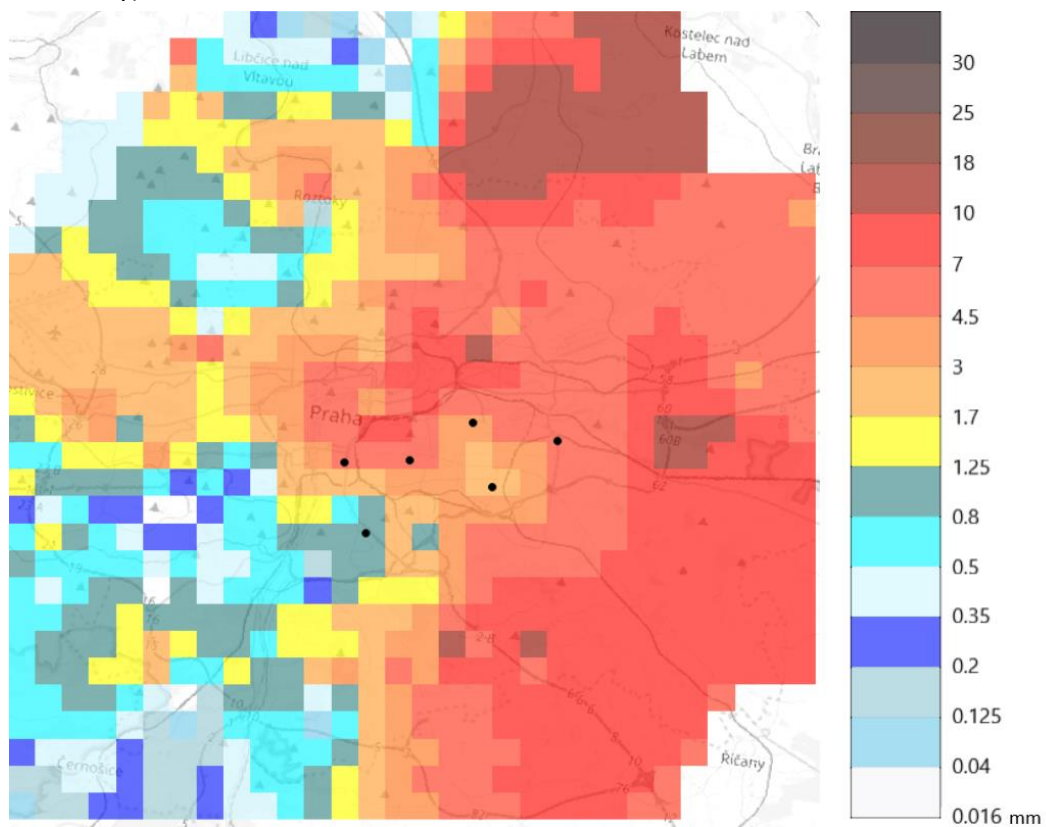
Obrázek 26: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – Solidarita – událost 22.6.2017-2 (černé body – srážkoměry)



Obrázek 27: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – Solidarita – událost 22.6.2017-2 (černé body – srážkoměry)



Obrázek 28: Úhrny srážek – radar (60x60 km<sup>2</sup>) – Solidarita – událost 28.6.2017 (černé body – srážkoměry)



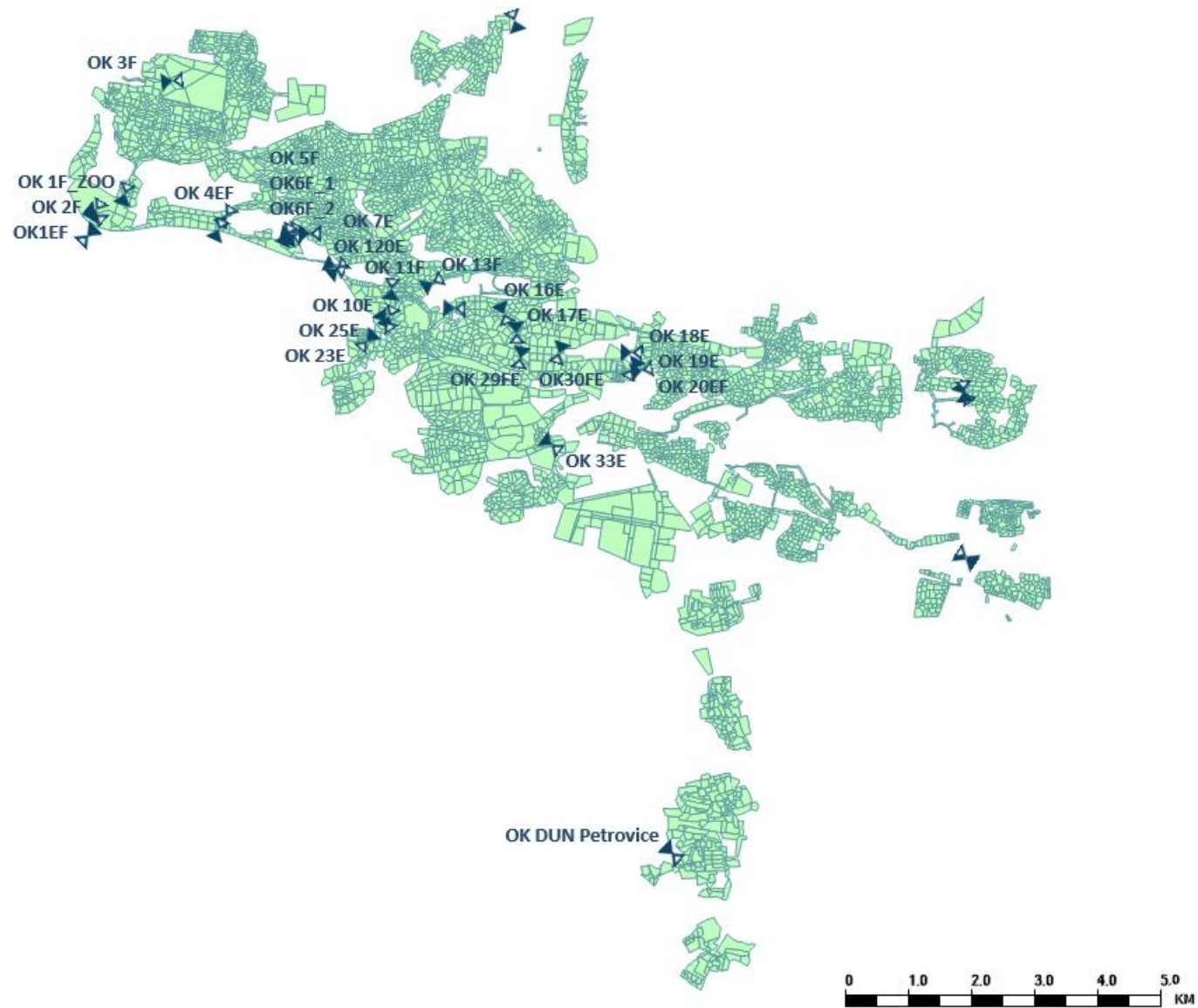
Obrázek 29: Úhrny srážek – MV spoje (30x30 km<sup>2</sup>) – Solidarita – událost 28.6.2017 (černé body – srážkoměry)



## Příloha 7: Umístění odlehčovacích komor na povodích



Obrázek. 30: Umístění odlehčovací komor na povodí Solidarita



Obrázek. 31: Umístění odlehčovacích komor na povodí EF