

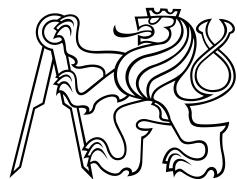
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Praha 2014

Matěj Krejčí

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE
OBOR GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
ANALÝZA A VIZUALIZACE SRÁŽKOVÝCH DAT
Z MIKROVLNNÝCH TELEKOMUNIKAČNÍCH SPOJŮ
POMOCÍ GIS
ANALYSIS AND VIZUALIZATION OF RAINFALL DATA FROM
MICROWAVE LINKS USING GIS

Vedoucí práce: Ing. Martin Landa, Ph.D.
Katedra geomatiky

Praha 2014

Matěj Krejčí



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

studijní program: Geodézie a kartografie

studijní obor: Geoinformatika

akademický rok: 2013/2014

Jméno a příjmení studenta: Matěj Krejčí

Zadávající katedra: Katedra geomatiky

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Landa, Ph.D.

Název bakalářské práce: Analýza a vizualizace srážkových dat z mikrovlnných telekomunikačních spojů pomocí GIS

Název bakalářské práce
v anglickém jazyce Analysis and visualization of rainfalls data from telecommunication microwave links using GIS

Rámcový obsah bakalářské práce: Cílem práce je využití a návrh vlastních GIS nástrojů pro získání lepšího vhledu do srážkových pozorování mikrovlnných (MV) spojů, tj. umožnit efektivní interaktivní práci s MV srážkovými řadami. Těžiště práce bude ležet jak ve vizualizaci dat, tak v definování vhodných funkcí pro časoprostorovou analýzu dat.

Datum zadání bakalářské práce: 25.2.2014 Termín odevzdání: **16.5.2014**
(vyplňte poslední den výuky
příslušného semestru)

Pokud student neodevzdal bakalářskou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student rádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé. Studentovi, který při opakováném zápisu bakalářskou práci neodevzdal v určeném termínu a tuto skutečnost rádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, se ukončuje studium podle § 56 zákona o VŠ č. 111/1998. (SZŘ ČVUT čl. 21, odst. 4)

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

ZDE VLOŽIT ORIGINÁLNÍ ZADÁNÍ

vedoucí bakalářské práce

vedoucí katedry

Zadání bakalářské práce převzal dne: 25.2.2014

.....
student

Formulář nutno vyhotovit ve 3 výtiscích – 1x katedra, 1x student, 1x studijní odd. (zašle katedra)

Nejpozději do konce 2. týdne výuky v semestru odešle katedra 1 kopii zadání BP na studijní oddělení a provede zápis údajů týkajících se BP do databáze KOS.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je analýza modelování dešťových srážek z dat mikrovlnných spojů telekomunikačních operátorů pomocí GIS. Pro konkrétní řešení byl použit open source nástroj GRASS GIS. Data ke zpracování byla uložena v objektově-relační databázi PostgreSQL. K vývoji samotného nástroje byla použita knihovna *GRASS Python Scripting Library*. Tento nástroj implementuje rekonstrukci dešťových srážek na základě uživatelské konfigurace. Další jeho funkcionalitou je příprava srážkových dat plošné reprezentace pro časoprostorové analýzy. Hlavní přínos nástroje spočívá v procesu primárního zpracování dat pro následné analýzy v hydrologii a meteorologii s využitím GIS.

Klíčová slova: GIS, GRASS, Python, PostgreSQL, dešťové srážky, časoprostorová analýza

Abstract

The aim of the thesis is modelling of the rainfall data from microwave links served by telecommunication operators using GIS. In this thesis, well-known open source GRASS GIS is used as a framework. The data to be processed are stored in the object-relational PostgreSQL database. The GRASS Python Scripting Library was used for the GRASS module development. Based on user configuration, the module provides the rainfall data reconstruction. The geospatial data preparation to be used in subsequent spatio-temporal analysis in framework of the temporal GRASS system becomes an additional functionality of the developed module. Thus, the primary data pre-processing for later analysis of hydrological and meteorological processes using GIS tools is considered as a main task of the thesis.

Keywords: GIS, GRASS, Python, PostgreSQL, precipitation, spatio-temporal analysis

Prohlášení

Prohlašuji že bakalářskou práci na téma „Analýza a vizualizace srážkových dat z mikrovlnných telekomunikačních spojů pomocí GIS“ jsem vypracoval samostatně. Veškerá použitá literatura je uvedena v seznamu zdrojů.

V Praze dne
.....
(podpis autora)

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Landovi, Ph.D., za odbornou pomoc a rady, které byly často i nad rámec této práce. Můj dík patří také Ing. Martinu Fenclovi za pomoc a možnost spolupráce na projektu GACR 14-22978S. Rodině děkuji za příjemné a tvůrčí prostředí.

Obsah

Úvod	1
Teoretická část	3
1 Úvod do měření dešťových srážek	4
1.1 Současné nástroje a metody	4
1.2 Mikrovlnné spoje	5
1.3 Porovnání metod	10
2 Použité technologie	14
2.1 Systém GRASS GIS	14
2.2 Databáze PostgreSQL	18
2.3 Extenze PostGIS	20
3 Časoprostorové analýzy	23
3.1 Terminologie	23
3.2 Časoprostorové modely	24
3.3 Úvod do Temporal GRASS framework	27
Praktická část	29
4 Charakteristika dat	29
5 Navržené nástroje pro systém GRASS	32
5.1 Modul r.mwprecip	32
5.2 Modul v.link.precip	42
6 Výstupy modulů a jejich využití	45

6.1	Vizualizace	45
6.2	Temporal GRASS framework	50
Závěr		62
Seznam použitých zkratek		
Použité zdroje		
A	Instalace systému GRASS	
B	Instalace modulů	
B.1	Pomocí grafického rozhraní GRASS	
B.2	Z příkazové řádky GRASS	
C	Ukázka konfigurace parametrů modulu	

Úvod

Předmluva

Enviromentální procesy jsou nedílnou součástí historického vývoje na Zemi a vždy přitahovaly pozornost lidské populace. Obvykle jsou tyto jevy komplexního charakteru a pro jejich pochopení je nutné interdisciplinárních přístupů. S vývojem informačních technologií jsou dostupné ke studiu problematik stále propracovanější metody, které umožňují komplexnější přístup a pochopení dějů v širším kontextu. Mezi tyto metody se bezesporu řadí numerické fyzikálně založené modely, kterých by bez výpočetního výkonu nebylo možno využít. Informační technologie v současné době dosahují velkého rozvoje a rozšíření i díky stále rostoucí výpočetní výkonnosti. Tato skutečnost umožňuje využívat metod, které by ještě do nedávna nebylo možné aplikovat.

Většina modelů, které simulují přírodní procesy, jsou pro jejich komplexnost charakteristické značnými objemy dat, které je nutné spravovat a analyzovat. V posledních desetiletích tuto práci výrazně usnadňují nástroje geografických informačních systémů (GIS), které díky své dostupnosti a možnostem nacházejí nezastupitelné místo ve správě a analýze geografických dat [1]. Jednotlivé nástroje GIS zpravidla nebývají úzce zaměřené na specifické problematiky, ale jejich spíše obecný charakter umožňuje návaznost a možné propojení s vlastními aplikacemi. Tím ulehčuje vytvoření nástrojů pro řešení komplexních systémů.

Motivace

Modelování dešťových srážek je jednou z významných disciplín z oboru enviromentálního modelování. Jestliže se poohlédneme do minulého století, tak právě meteorologie byla jednou z prvních disciplín, která by ze současného pohledu odpovídala pojmu enviromentálního modelování [4, 2]. Odhad a rekonstrukce srážek na zemském povrchu jsou důležitou fází matematického modelování srážko-odtokových procesů. Zájem odborné veřejnosti i rozhodovacích složek v různých sektorech národního hospodářství roste i díky stále hlouběji se projevujícímu dopadu klimatických změn. Oproti rozvoji fyzikálně numerických modelů nebyl technologický pokrok ve sběru

srážkových dat v posledních desetiletích takřka zaznamenán. Pracovníci hydrometeorologických služeb naráží při zpřesňování předpovědí odtoku či vývoje počasí především na problém nízkého pokrytí srážkoměry a tím i nedostatečné dostupnosti časoprostorového rozložení srážkových dat v povodněmi ohrožených oblastí městských aglomerací [3]. Pokrovské operativní metody určování srážek metodou MV (mikrovlnných) spojů proto představují perspektivní využití především v hydrologii urbanizovaných povodí, kde díky hustotě MV sítí mohou sloužit jako podklad vodohospodářských dispečinků operativního řízení při řešení kalamitních povodňových situací [16].

Cíl

Hlavním cílem práce je vývoj nástroje pro zpracování hrubých dat z MV vysílačů v prostředí GIS a současně jejich zpřístupnění pro další analýzy, které pomohou zefektivnit výzkum těchto nových metod. Svým vedlejším výstupem je práce zaměřena na využití výstupů z GIS pro interpretaci plošných srážek. V návaznosti na vývoj nástroje pro zpracování hrubých dat z MV spojů je demonstrováno využití časoprostorových analýz v GIS.

Téma práce vychází z požadavků zpracovatele projektu, který se zabývá problematikou odhadu srážek z MV spojů v rámci projektu "TeleMAS"¹ v souvislosti s modelováním srážko-odtokových procesů v městských povodích. Tento projekt je řešen v úzké vědecké spolupráci s ETH²-EAWAH³ a odborné spolupráci se společnostmi T-Mobile a Veolia ČR a nově i s Ericsson Research (Sweden).

Práce je systematicky rozdělena na část teoretickou a praktickou. V teoretické části je kladen důraz na představení základních pojmu, principů a definic, tvořících východiska pro část praktickou. Ta obsahuje popis funkčnosti nástrojů, které vznikly v rámci této práce a jejich využití ve spojení s ostatními GIS nástroji.

¹GA ČR 14-22978S „Predikce srážkového odtoku v urbanizovaných povodích na základě deštěm generovaného útlumu signálu mikrovlnných spojů telekomunikační sítě“

²Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

³Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz

Teoretická část

Tato kapitola je základním teoretickým východiskem k praktické části práce dotýkající se problematiky MV spojů a použitých technologií pro vývoj vlastních GIS nástrojů.

Geografické informační systémy mimo jiné umožňují poměrně efektivně správu, analýzu a vizualizaci srážkových dat. Jednotlivé metody měření srážek jsou specifické svou charakteristikou jak z prostorového tak časového pohledu.

Metody měření srážek ze své podstaty využívají směřují ke kombinaci plošné a bodové informace, které jsou svoji charakteristikou rozdílné. Srážkoměry produkují bodová data v různých časových intervalech. Naopak výstupem z radaru či meteorologických družic jsou snímky představující plošnou intenzitu srážek. Společně je pro tyto metody potřeba výstupy co nejjednodušeji spravovat a analyzovat, jak v rámci primárního tak sekundárního zpracování. Primární zpracování hrubých měřených dat spočívá v jejich převodu do formy, která umožní analýzy v prostředí GIS, tj. sekundárního zpracování. GIS nástroje splňují tyto požadavky v dostatečném rozsahu a částečně eliminují potřebu vývoje specifických solitérních systémů, které by vycházely ze stejných základů.

Charakteristikou moderních GIS je především velká disponibilita dílčích funkcí, jejichž hlavní přínos spočívá v možnosti vzájemného propojení v rámci rozsáhlých analýz. Pokud dostupné funkce konkrétního GIS nástroje k řešení daných problematik nedostačují, bývá obecně u většiny těchto systémů možnost vývoje vlastních aplikací postavených na knihovnách GIS. Díky tomu je v dnešní době umožněno vyvíjet specifické funkce pro GIS, bez nutnosti vývoje rozsáhlých softwarových produktů vytvářejících základy pro tato nadstavbová rozšíření.

1 Úvod do měření dešťových srážek

Úvod této kapitoly má za cíl přiblížit současné metody měření dešťových srážek, které se liší především v přesnosti, časové variabilitě a vhodnosti výstupu pro další využití. Úvod do problematiky měření srážek poukazuje na klady a zápory metody odhadu srážek pomocí MV spojů.

Dešťové srážky jsou definovány jako produkt vodní páry v kapalném nebo pevném stavu, které padají z oblohy či se kondenzují přímo na zemském povrchu. Srážky mohou mít formu sněhových vloček - pevné skupenství nebo formu dešťových kapek - kapalné skupenství. Množství srážek bývá udáváno v milimetrech kapalné vody spadlé na zemský povrch za časový interval [7].

1.1 Současné nástroje a metody

Srážkoměry

Srážkoměr je přístroj používaný v meteorologii a hydrologii k měření srážkových úhrnů. Dle funkčnosti se srážkoměry dělí na dešťové a na srážkoměry, které měří i srážky pevného skupenství. Tyto srážky se přeměňují na ekvivalent vody a až poté vyhodnocují. Důležité je podotknout, že produktem srážkoměru jsou bodová srážkoměrná data.

Meteorologický radar

Radarová měření délky plošnému pokrytí a dobrému prostorovému i časovému rozlišení dat jsou vhodná pro synoptickou a leteckou meteorologii. Poskytují přehled v reálném čase o pohybu a struktuře srážkových systémů, umožňují velmi krátka dobou předpověď v rádech minut až hodin a z ní plynoucí varování před nebezpečnými meteorologickými jevy [10].

Srážková data se měří obvykle v intervalu 5 -15 minut. Horizontální rozlišení dat bývá 2×2 km, vertikální 1 km. Toto prostorové rozlišení je nutné, aby bylo možné

zachytit jednotlivá srážková jádra přeháněk. Radarové odrazy jsou interpretovány plošně a jsou zobrazovány v barevné stupnici intenzit srážek.

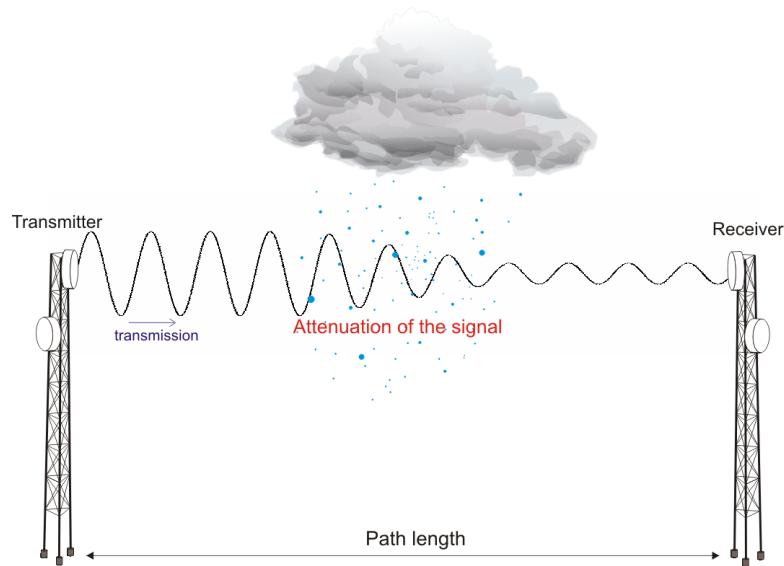
Rozsah meteorologického radaru bývá okolo 250 km. Hodnoty naměřené radarem mohou být použity pro odhad okamžitých intenzit srážek do vzdálenosti přibližně 150 km od radaru [9].

Dálkový průzkum Země

Je důležité zmínit možnost získávání informací o srážkách pomocí DPZ. Tento obor z hlediska meteorologie zaujímá zcela jiný náhled na měření srážek oproti předchozím metodám. DPZ v meteorologii umožňuje globální pohled na meteorologické jevy. Makro náhled na enviromentální jevy, např. cyklóny, tropické bouře, tornáda či pohyb mraků, je podstatný pro sledování a pochopení globálního vývoje klimatu. Do této kategorie spadá pozorování pomocí družic na oběžných dráhách a leteckých prostředků pohybujících se v zemské atmosféře.

1.2 Mikrovlnné spoje

Mikrovlnné spoje (MV) jsou rádiové systémy široce využívané v oblasti telekomunikací (zejména mobilními operátory) k bezdrátovému propojení dvou vzdálených stanovišť. MV spoje operují na frekvencích, kde dešťové kapky představují hlavní zdroj útlumu signálu. Analýza útlumu signálu umožňuje poměrně přesně odhadnout průměrnou srážkovou intenzitu podél spoje. Vzhledem k hustotě sítě MV spojů (např. v Praze řádově stovky až tisíce) jde o relevantní zdroj srážkové informace, který má velký potenciál zlepšit prostorovou informaci o srážkových intenzitách. Využití standardních GIS nástrojů může výrazně zefektivnit jak zpracování dat, tak jejich následnou správu. Vhodná vizualizace těchto dat je důležitým předpokladem pro vylepšení stávajících modelů pro převod útlumu signálu MV spojů na srážkové intenzity i pro další využití těchto dat.



Obr. 1.1: Útlum intenzity mikrovln způsobený srážkami¹

Data

Charakteristika dat z MV spojů je zcela unikátní v oblasti měření srážek. Specifická je především reprezentací hodnoty srážkové intenzity v liniové podobě. MV spoje (linie), umožňují odhadovat pouze průměrnou intenzitu srážky v celé délce spoje a z toho plynou jisté meze této metody. Na hustě osídlených územích bývá pravidlem, že i hustota MV spojů je veliká. V tomto případě je tento zápor částečně potlačen (Evropa). Oproti tomu, při využití MV spojů mimo osídlené lokality, je hustota poněkud menší a to limituje možnosti využití. Příkladem může být transformace srážek do povodí: uvažme např. spoj, který vede kolmo přes cílovou lokalitu. V případě že lokalita zasahuje do desetiny délky spoje, je pravděpodobnost toho, že srážka spadla právě do lokality velmi nízká a to především díky variabilitě intenzit srážek. Oproti tomu transformace srážek do povodí, kde spoj bude ležet v celém území povodí je ideální.

Obecně jsou data z MV spojů měřeny v časovém kroku $\Delta t = 15$ s, ve výšce cca 70 m. Topologie sítě představuje vždy jeden referenční vysílač, na který jsou napojeny dílčí vysílače. Na jednom spoji jsou instalované zpravidla dvě antény. Je tedy k dispozici dvoje měření pro stejný prostorový úsek. V ideálním případě jsou dvě

¹<http://lte.epfl.ch/page-50160-en.html>

antény na stejném prostorovém úseku různých konfigurací (frekvence, polarizace), což umožňuje specifické analýzy.

Princip metody

Mikrovlny jsou elektromagnetické vlny o délce v rozpětí od 1 mm do 1 m. Tomu odpovídá frekvence 0.3 až 300 GHz. V oblasti telekomunikací především mobilních operátorů se tohoto typu vln využívá ke komunikaci mezi jednotlivými vysílači a vysílači s mobilními telefony. Pro rekonstrukci srážek se využívá prvního případu, tedy komunikaci mezi vysílači. Tyto mikrovlnné spoje pracují na frekvencích v rozsahu 24-39 GHz (Praha). Hlavním zdrojem útlumu tohoto frekvenčního rozsahu jsou dešťové kapky. Jednotlivé spoje se vždy skládají ze dvou vysílačů. Vysílač neustále odesílá MV vlny, které jsou nositelem informace zajímavé především pro telekomunikační operátory. Vedlejším produktem této komunikace je údaj o intenzitě signálu, jehož základní jednotkou je decibel (dB). Zaznamenat hodnotu intenzity odeslaného signálu a druhým přijímačem přijatého signálu je možné bez dalších instalací hardware. Pomocí matematického modelu dle ITU-R [11] lze vypočítat průměrné srážky na pomyslné linii MV spoje.

Výpočet srážek

Vysílané hodnoty intenzit signálu tx jednotlivých MV spojů jsou konstantní. Jednotlivé spoje jsou charakterizovány hodnotami:

- **frekvence** f rozsahu 24-39 (GHz),
- **polarizace** signálu ve vertikální V či horizontální poloze H ,
- **vzdálenost** L která je vypočtená v daném souřadnicovém systému v kilometrech (km).

Přijaté hodnoty intenzit rx jsou nositelem informace o útlumu signálu. Rozdílem vyslané tx a přijaté rx intenzity dostaneme výsledný útlum A_r v jednotkách decibel (dB).

$$A_r = tx - rx \quad (1.1)$$

Dalším krokem je určení *baseline*, tedy hodnoty A_0 , která představuje konstantní útlum intenzity signálu MV spoje bez vlivu útlumu signálu dešťovými kapkami. Tato konstanta je udávána v jednotkách decibel (dB). Konstanta A_w je hodnota nadměrného útlumu způsobená mokrou anténou. Z toho plyne výsledný útlum A_m (dB).

$$A_m = A_r - A_0 - A_w \quad (1.2)$$

Výsledný útlum je třeba převést na specifický útlum γ_R ($db \cdot km^{-1}$) pro danou vzdálenost L mezi vysílači MV spojů.

$$\gamma_R = \frac{A_m}{L} \quad (1.3)$$

Dle doporučení ITU P.838 [11] je specifický útlum γ_R a intenzita srážek R ($mm \cdot h^{-1}$) ve vztahu

$$\gamma_R = kR^\alpha \quad (1.4)$$

Koeficienty k a α jsou určeny jako funkce frekvencí f v rozsahu od 1 do 1000 GHz, z následujících rovnic.

$$\log_{10}k = \sum_{j=1}^4 a_j \exp \left[-\left(\frac{\log_{10}f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_k \log_{10}f + c_k \quad (1.5)$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 a_j \exp \left[-\left(\frac{\log_{10}f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_\alpha \log_{10}f + c_\alpha \quad (1.6)$$

kde:

f : frekvence (GHz),

α : dle polarizace α_H nebo α_V ,

k : dle polarizace k_H nebo k_V .

Hodnoty pro konstanty c_k , c_α , m_k , m_α jsou uvedeny v dokumentu ITU-R [11].

Z rovnice (1.4) dostaneme výslednou intenzitu srážek R ($mm \cdot h^{-1}$).

$$R = \left(\frac{\gamma_R}{k} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (1.7)$$

Chyby

Metoda odhadu srážek je založena na předpokladu, že dešťové kapky tlumí intenzitu signálu. Dešťové kapky nabývají mnoha variací velikosti a tvarů. Signál může být tlumen různými objekty počínaje vodní párou, přes mrholení až po velké dešťové kapky či srážky pevného skupenství. Vztah mezi intenzitou srážek R a útlumem γ_R je funkcí frekvence, polarizace a rozložení dešťových kapek DSD.

Na frekvencích mezi 25 a 40 GHz platí takřka lineární závislost a model je téměř nezávislý na teplotě, rozložení dešťových kapek a empiricky vykazuje chyby méně než 10 %. Na nízkých frekvencích okolo 10 GHz přesahuje chyby 20 %. Přesnost určování srážek výše zmíněným modelem dle ITU P.838 je při těchto nízkých frekvencích mnohem více náchylná na rozložení kapek DSD [12].

Určení baseline A_0 je jedním z důležitých a nejvíce ovlivňujících činitelů při výpočtu výsledné srážky R . Jde o pozad'ovou (referenční) úroveň signálu, vůči které je posuzován útlum signálu - veličina nutná k odhadu srážek. Za pozad'ovou hodnotu je považována úroveň signálu během suchého období, která ovšem může kolísat. Proměna *baseline* v čase a je závislá na koncentraci vodní páry v atmosféře a scintilaci². Útlum vysílaných a přijímaných vln ovlivňuje také teplota prostředí, jímž vlna prochází. Dalším činitelem, který může způsobovat kolísání signálu, je vítr. Pro určování baseline se využívá různých metod, například HMM [18], Retrieval Algorithms [16] atd. Metody určení baseline se dají klasifikovat na automatizované a uživatelské. Automatizovaným určováním baseline se myslí především algoritmy, které jsou schopny rozlišovat dešťové a suché období. Některé tyto algoritmy využívají statistických prostředků a jiné např. určují období srážek pomocí dat ze srážkoměrů [16] či radaru.

Nejistoty modelu založeného na vztahu (1.2) jsou především v závislosti γ_{A_m} , A_w na rozložení kapek DSD podél MV spoje.

²Scintilace je jev, při kterém vznikají slabé světelné záblesky (pulsy světla) v některých látkách při dopadu ionizujícího záření.

DSD způsobují nejistoty při určení výsledného útlumu signálu γ_{A_m} . Tyto chyby jsou zapříčiněny integrací jednotlivých úseků tlumících signál na linii MV spoje [13].

Mokré antény jsou značným zdrojem nejistot. Na vysílačích nejsou antény nijak kryty a při dešti moknou. Na anténách se vytváří tenký film vody, který ovlivňuje výsledný útlum signálu. Vytvoření modelu pro eliminaci tohoto problému se do značné míry podařilo (Schleiss et al., 2013) [15]. Součástí výzkumu, pod který tato práce částečně spadá, bude instalace krytu na antény, který by mohl zamezit jejich moknutí. Tato možnost doposud nebyla součástí žádné vědecké práce.

1.3 Porovnání metod

Tato podkapitola je zaměřena na shrnutí vlastností jednotlivých metod a jejich porovnání s metodou MV spojů. Hodnocení jednotlivých metod je založeno na kritériích, která jsou pro měření srážek typická:

- **časová spojitost,**
- **interval sběru dat,**
- **prostorové rozlišení,**
- **disponibilita jednotlivých metod,**
- **chyby.**

V současné době jsou v oblasti hydrometeorologie požadována velmi přesná data ve vysokém prostorovém a časovém rozlišení. Tyto nároky jsou především vytvořeny požadavky hydrologických modelů, jejichž výsledky napomáhají k lepšímu operativnímu řízení odtoku v urbanizovaných územích. Kvalita vstupů dat do těchto modelů je rozhodující pro jejich přesné výsledky, které jsou základem návrhu protipovodňových opatření.

Srážkoměrné sítě tyto požadavky splňují jen částečně. Moderní srážkoměry splňují kritérium schopnosti vytvoření spojité časové řady až v minutových intervalech. Hlavním záporem těchto sítí je nedostatečné prostorové pokrytí. Jelikož datovým výstupem těchto sítí jsou bodová data, je zde problém v nedostatečné hustotě

pokrytí srážkoměry, která prakticky nemůže být nikdy odstraněna. Prostorová variabilita srážek má za následek zachycení či naopak nezaznamenání lokálních maxim, které jsou ve výsledné plošné rekonstrukci zdrojem nezanedbatelných chyb. Měření moderními srážkoměry může být při správné volbě umístění velmi přesné. Toho se v současnosti využívá jako referenčního indikátoru srážek pro kalibraci radarů nebo k určování baseline při odhadu srážek MV spoji, viz kap. 1.2.

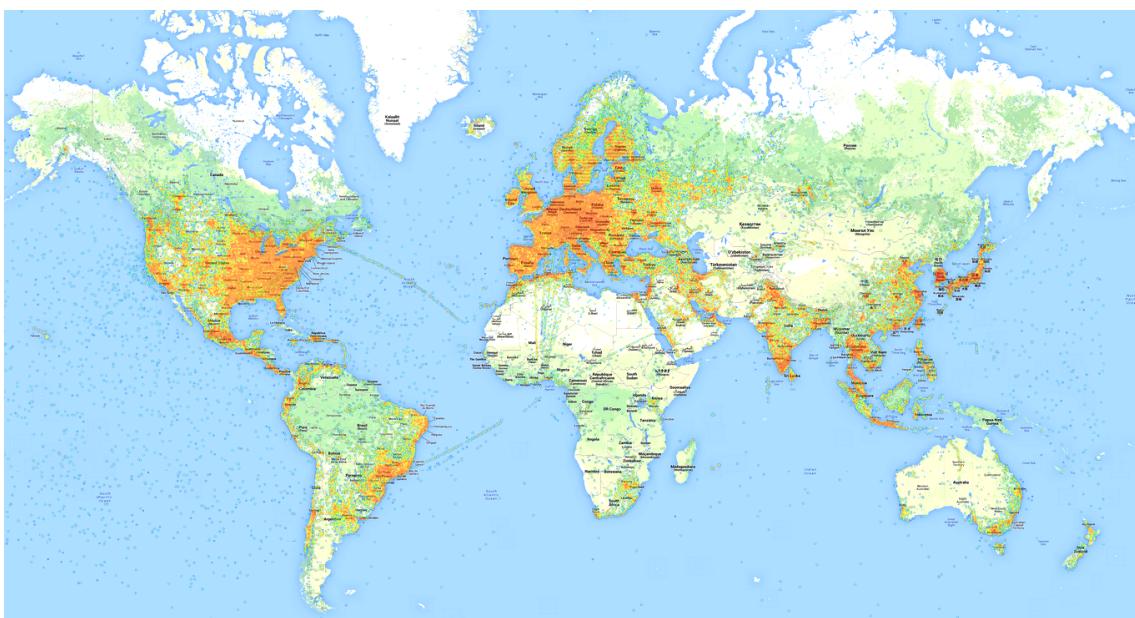
Radar jsou současnou nejvíce využívanou metodou, jejímž produktem je plošné vyjádření srážek. Skutečnost, že se intenzity srážek mohou během intervalu pozorování (5-15 min) řádově měnit, naznačuje nespolehlivost jejich předpovědi v případě bleskových povodní. Mezi kladné vlastnosti radaru bezesporu patří mimo klasické rozlišení v horizontálním směru (plošné) také měření odrazivosti vertikálních profilů. Tuto vlastnost v rozlišení 1 km pro vertikální a 2 km pro horizontální směr ostatní metody neumožňují. Prostorové rozlišení je dále možno pozorovat jen pomocí některých meteorologických družic, které snímají povrch Země pod sklonem jiným než 90 stupňů. Jejich rozlišení je ale v desítkách jednotek horší. Pro zpřesnění radarových srážek pro potřeby hydrologie je potřeba adjustace radarů na pozemní srážkoměry. Obecně vzato je výsledné plošné rozlišení radaru pro srážko-odtokové modely ve městech nedostačující.

Družice se s výše zmíněnými metodami nedají zcela korektně porovnávat. Družice na oběžných drahách slouží především k náhledu na chování klimatu. Snímky pořízené z těchto družic jsou nositelem informací v rozlišení, reflektující spíše obecnou informativní podstatu, např. pohybu front, vývoje cyklónu, globální přehled vývoje počasí či dlouhodobě - klimatu. Jednou z výhod rekonstrukce srážek pomocí metody infračerveného pásma je poměrně vysoká frekvence záznamu snímků v intervalu 15 minut na jakémkoliv místě na Zemi. Při porovnání s pozemním meteo radarem je slabost této metody ve špatném a u některých družic nulovém detektování vertikálních profilů srážkových mraků, což vede k podceňování výsledných srážkových úhrnů.

Mikrovlnné spoje

Metoda odhadu srážek pomocí MV spojů byla předmětem výzkumu už v 80. letech 20. století. Prakticky byla použita až při využití komerčních telekomunikačních spojů v posledním desetiletí. Budoucnost této metody je také v pokrytí osídlených oblastí, kde je právě přesnost odhadu srážek nejvíce vyžadována. Pokrytí s vývojem mobilních technologií se stále zlepšuje. Data jsou sbírána ve velmi malých intervalech běžně po 15 sekundách. Při využití rozsáhlých sítí (Praha - stovky MV spojů), umožňuje tato metoda relevantní časoprostorovou informaci o srážce.

Potenciál MV v hydrometeorologii zasahuje do všech oblastí vědních oborů, kde se využívají srážky jakožto vstupní časové řady. Tato metoda je v současné době spíše vhodná pro lokální využití nežli regionální. Vyplývá to z absence pokrytí sítí mimo osídlené oblasti.



Obr. 1.2: Mapa celosvětového pokrytí signálu telekomunikačních mobilních operátorů.
Pokrytí je vyjádřeno oranžovou a žlutou barvou.³

Jedním z velkých potenciálů této metody je zlepšení přesnosti prostorové informace o srážkách ve vysokém rozlišení. To žádné jiné metody odhadu srážek

³Obrázek byl sejmut z webové aplikace OpenSignal. <http://opensignal.com/>

neumožňují. Výsledky studie [14] poukazují na možnosti částečného nahrazení současných metod nebo možnosti vzájemného se doplňování jednotlivých metod, což by patrně vedlo k zlepšení přesnosti měření srážek.

Jelikož tyto MV spoje operují těsně nad zemským povrchem, vypočtené intenzity by mohly být pomocí nástrojů GIS velkou přesností přiřazovány do jednotlivých dílčích povodí. To by zpřesnilo vstupy do srážko-odtokového modelu a umožnilo lépe modelovat členitá povodí ve velkých městských aglomeracích.

Možnosti využití MV spojů v oblasti meteorologie nekončí u odhadu srážek. Pomocí MV lze také detektovat pevné částice, sníh či vodní páry. Tyto možnosti by mohly napomoci k lepšímu pochopení jevů spojených s přívalovými srážkami [14].

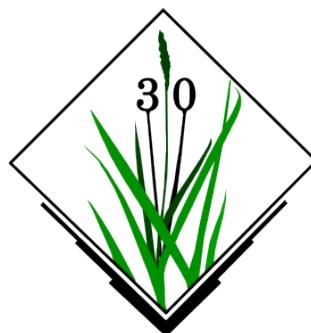
Velkým potenciálem je takřka nulová finanční náročnost pro sběr dat. Telekomunikační sítě mobilních operátorů jsou v hustěji osídlených částech světa běžné. 1.2 V rychle se rozvíjejících zemích třetího světa se v průběhu času stanou telekomunikační sítě samozřejmostí a využití metody odhadu srážek pomocí MV spojů by se mohlo stát více dostupnou oproti budování radarů, pozemních stanic či sítě srážkoměrů.

2 Použité technologie

2.1 Systém GRASS GIS

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) GIS² je multiplatformní geografický systém, šířitelný pod všeobecně veřejnou licencí GNU GPL. Systém je primárně určený pro správu 2D/3D rastrových a vektorových geodat, jejich zpracování, analýzu a vizualizaci. K těmto účelům systém GRASS GIS disponuje několika stovkami nástrojů, tzv. „modulů“. Mimo to je volně dostupných mnoho dalších modulů, které jsou vyvíjeny uživateli v rámci GRASS *AddOns*.

GRASS GIS je na poli GIS software zcela unikátní a to především díky svému rozsahu, čemuž vděčí především dobrovolným vývojářům z komunity GRASS po celém světě, kteří tento dlouholetý projekt vyvíjí. Důkazem jeho kvality jsou uživatelé jako např. *NOAA* či *NASA*.



Obr. 1.3: Logo GRASS GIS vydané symbolicky k 30. výročí od založení projektu³.

Historie

Vývoj GRASS GIS sahá do poloviny osmdesátých let minulého století. Tehdy byl vyvíjen primárně pro americkou armádu, která jej využívala pro územní správu a plánování. Během 90. let se postupně na vývoji projektu podíleli americké federální agentury, univerzity a soukromé společnosti. Hlavní vývoj projektu byl

²<http://grass.osgeo.org/>

³Autorka úpravy oficiálního loga: Žofie Marcela Zetková, <http://grass.osgeo.org/uploads/images/30-years-grass-gis-logo-black-300px.png>

rízen z výzkumných laboratoří (USA-CERL⁴) Champaign, Illinois [19]. Mezníkem historie systému GRASS byl rok 1995, ve kterém se laboratoře CERL zrekli tohoto projektu, čehož následkem bylo přesun vývoje na akademickou půdu. Rok před začátkem nového tisíciletí byla vydána první verze pod licencí GNU GPL, pod kterou je vyvýjen dodnes. V letech 2008 se GRASS GIS zařadil pod hlavičku nadace OSGeo, pod kterou spadá mnoho významných volně šířitelných GIS projektů⁵. Letošním rokem oslavil GRASS dlouhých 30 let vývoje.

Základní terminologické pojmy

Hlavním cílem této sekce je představit základní filosofii uživatelského rozhraní systému GRASS GIS.

Data ke kterým GRASS přistupuje, jsou definována pevně stanovenou adresářovou strukturou. Pro práci v tomto systému, je prvně zapotřebí definovat trojici nastavení. V grafickém rozhraní GRASS wxGUI je implementován průvodce nastavením jednotlivých kroků:

1. **Databanka** v prostředí GRASS je stanovena proměnou `$GISBASE`. Jedná se o standardní adresář umístěný na disku. V tomto adresáři jsou uložena veškerá uživatelská data s vyjímkou externě připojených databází (*např. PostgreSQL, MySQL*).
2. **Lokace** je adresář umístěný v souborové databance. Lokace je definována proměnou `$LOCATION_NAME` a obsahuje data, která nesou informace o souřadnicovém systému a velikosti zájmového území. Pro nastavení lokace je v grafickém rozhraní průvodce nastavením lokace (*Location wizard*), kde je možné zvolit souřadnicový systém na základě několika možností:
 - seznam jednotlivých obecně známých kartografických zobrazení,
 - zadáním unikátního kódu z databáze EPSG.⁶,
 - načtením externích georeferencovaných dat,

⁴<http://www.cicer.army.mil/>

⁵<http://www.osgeo.org/>

⁶<http://www.epsg-registry.org/>

- definováním parametrů souřadnicového systému s využitím pravidel PROJ.4⁷,
 - pomocí Well-known text (WKT)⁸ souboru *.prj*, který je součástí formátu Esri Shapefile.
3. **Mapset** definovaný proměnou \$MAPSET představují jakýsi profil uživatele, či profil ucelených analýz v dané lokaci. Každá lokace musí obsahovat mapset, který má unikátní název **PERMANENT**. Do tohoto mapsetu se z pravidla ukládají vstupní data, ke kterým se z ostatních pracovních mapsetů přistupuje.

Modul je nedílnou součástí navržené architektury tohoto geoinformačního systému. Volba implementace pomocí jednotlivých modulů pochází z doby, kdy výpočetní technika byla v počátcích a šetrné využití operační paměti a procesorového výkonu bylo nezbytností. Jádro systému je napsáno procedurálně v jazyce C a k němu jsou integrovány jednotlivé funkcionality pomocí API, které je v jazyce C a Python. Funkcionality - moduly jsou logicky rozděleny do kategorií podle účelu jejich využití:

db.	d.	g.	i.	ps.	r3.	r.	v.
database	display	general	imagery	postscript	3D raster	raster	vector

Tab. 1.1: Přehled jednotlivých skupin modulů a jejich prefixů v GRASS GIS

Nyní také nově v *GRASS 7* moduly *Temporal GRASS* s prefixem **t**. Jednotlivé moduly se spouštějí pomocí příkazové řádky a nebo v grafickém rozhraní *wxGUI*. Rozhraní modulů umožňuje uživatelský vstup pomocí přepínačů a parametrů např. **r.mwprecip -p database=letnany**. Parametry se dělí na povinné (*required*) a volitelné (*optional*). V modulech jsou také zařazeny globální přepínače, které jsou pro všechny moduly definovány jednotně. Mezi nejčastěji využívané patří **--help**, který do terminálu vypíše veškeré informace o vstupních parametrech včetně jejich popisu.

⁷<http://trac.osgeo.org/proj/>

⁸WKT je značkovací jazyk pro reprezentaci vektorových objektů na digitálních mapách.

GRASS a Python

GRASS GIS v současné době podporuje dva přístupy k volání funkcionalit systému GRASS z programovacího jazyka Python.

Python Scripting Library je variantou API, které tvoří Python podporu pro funkcionality systému GRASS. Princip této knihovny spočívá v zadávání příkazu v analogickém formátu, jako je formát pro spouštění jednotlivých modulů systému GRASS přímo z příkazové řádky.

pyGRASS je objektově orientovaná API knihovna. Výhoda tohoto API spočívá v možnosti přiřazování výsledků z volaných GRASS funkcionalit v podobě objektů. Tento přístup více odpovídá současným trendům a zároveň objektovému návrhu programovacího jazyka Python jako takového.

Plošné interpolace v systému GRASS

Plošné interpolace slouží k odhadu hodnot v prostoru, který je vymezen body se známými hodnotami. Nutnost odhadovat hodnoty má logickou návaznost na problematiku sběru dat. Podobně tomu je i v oblasti hydrometeorologie viz kap. 1.1. Možnou variantou interpolací v GIS systémech je datový vstup reprezentovaný bodovým polem (vektor) a výstup v podobě rastru (grid). Interpolace se také využívají k převzorkování rastrů do jiného rozlišení.

Interpolační metody Jednotlivé interpolační metody se obecně mohou kategorizovat do dvou hlavních skupin a to na deterministické a geostatistické. Deterministické metody jsou charakteristické tím, že pro odhad neznámých využívají neměnnou matematickou funkci. Oproti tomu geostatistické metody, využívají pro odhad sofistikovanějších statistických metod.

V systému GRASS GIS je nativně implementována několik typů interpolací, pro které jsou vstupem bodová vektorová data. Všechny níže zmíněné algoritmy se řadí do skupiny deterministických metod.

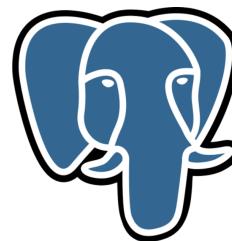
Do geostatistických metod bychom mohli zařadit metodu Kriging, která je v GRASS GIS podporována externě ze statistického systému *R Project*⁹.

interpolace	GRASS modul
Bilinear spline	<code>v.surf.bspline</code>
Bicubic spline	
Regularized spline tension	<code>v.surf.rst</code>
Inverse distance weighting	<code>v.surf.idw</code>

Tab. 1.2: Přehled modulů pro interpolaci v GRASS GIS

2.2 Databáze PostgreSQL

PostgreSQL¹⁰ je open-source projekt, který vznikl v roce 1986. Tento projekt je dnes celosvětově uznávaný, čehož důkazem je využití systému ve světových projektech jako *SourceForge*, *Debian* či *Open Street Map*¹¹. Kvalita systému a rozsáhlá dokumentace je především dílem komunity dobrovolníků, díky kterým je PostgreSQL schopen konkurovat i proprietárním databázovým systémům jako je například Oracle. Tomu také mimo jiné přispívá fakt, že se řadí mezi multiplatformní systémy [27].



Obr. 1.4: Logo PostgreSQL

Vlastnosti

PostgreSQL je systém relační databáze doplněný o objektově orientovaný model. Ten je specifikován v rozšíření standardu SQL3 z roku 1999[26]. Objektový model

⁹<http://www.r-project.org/>

¹⁰<http://www.postgresql.org/>

¹¹<http://www.openstreetmap.org#map=15/49.9503/14.5322>

podporuje objekty, třídy a dědičnost v databázových schématech. Objektově-relační systém pro správu databáze poskytuje střední cestu mezi relační a plně objektově orientovanou databází. To umožňuje vytváření vlastních datových typů a metod, které umožňují vyšší míru abstrakce. Nechybí podpora implementace vlastních procedur buď s využitím jazyka PL/pgSQL nebo externí podpory C/C++ (knihovny libpq a libpq++), Python (PyGreSQL) či Perl (pgsql_perl5).

Objekty umožňují vytváření nových datových typů, konverzí, přetypování, indexů, funkcí, agregačních funkcí, operátorů a dalších.

Funkce umožňují spuštění bloků kódu, které mohou být jak v nativním jazyce PL/pgSQL, tak i v ostatních výše zmíněných podporách. Funkce po spuštění vracejí výsledek v řádcích, tedy tabulkou, kterou je možné využít k dalším příkazům. Podporuje vytvoření vlastních funkcí či využití funkcí standardní knihovny PostgreSQL.

Indexy je možné vytvářet pomocí algoritmů *B-tree*, *hash*, *GIST* a *GIN*¹², nebo lze vytvářet i vlastní. Princip indexu spočívá ve vytvoření specifického sloupce v tabulce, jehož jediný úkol je optimalizovat prohledávání daného sloupce.

Pravidla umožňují přepisování zpracovaného dotazu. Jedno z běžných použití je implementace pohledů, které logicky odkazují na vybrané sloupce v jiných tabulkách. V *PostgreSQL 9.3* jsou nově implementované materializované pohledy (**MATERIALIZED VIEW**), které představují jak charakteristiky tabulky tak i pohledu. Data materializovaných pohledů jsou fyzicky uloženy na disku. Jejich hlavní výhodou je možnost obnovení (**REFRESH**) tabulky na základě logických vazeb z jejího vytvoření.

Triggery (spouštěče) mají funkcionality v podobě kontroly událostí, na které reagují podle své definice. Například při vytvoření nového záznamu provedou definovanou operaci v databázi.

¹²<http://www.postgresql.org/docs/9.1/static/sql-createindex.html>

Datové typy definují druh nebo význam hodnot. PostgreSQL disponuje značným rozsahem datových formátů. Specifickými pro tuto práci jsou: numerické, časové, logické, řadící (enumerate) a geometrické typy.

2.3 Extenze PostGIS

PostGIS¹³ je open-source rozšířením (**EXTENSION**) databáze PostgreSQL o podporu geografických objektů. Jde tedy o velice vhodný nástroj pro využití v GIS. PostGIS implementuje specifikaci *Simple Features for SQL*¹⁴ konsorcia OGC, která v současné době plní funkci standardizační organizace pro geoprostorová data. PostGIS je 2D/3D vektorovou databázovou nadstavbou, vedle které existuje i extenze PostGIS Raster pro data rastrová.



Obr. 1.5: Logo PostGIS ¹⁵

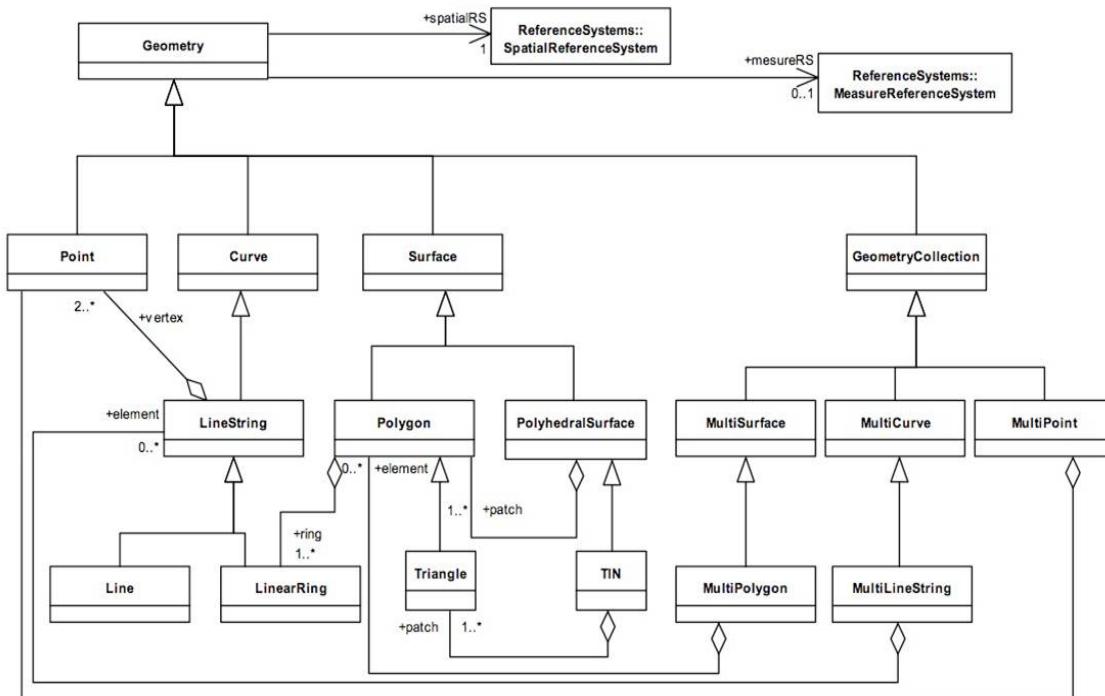
Prostorový model je založen na specifikaci OGC *Simple Feature*, z toho plyne že model nepodporuje geometrickou topologii. OGC definuje jednotlivé operace mezi standardem SQL a prostorovými daty. Souřadnice jednotlivých objektů jsou ukládány v tabulkách, kde každá tabulka je specifická jedním typem geometrie (bod, linie, polygon atd.) a referenčním prostorovým systémem [30].

Souřadnicový systém je v PostGIS definován v tabulce **SPATIAL_REF_SYS**. Obecně známé referenční souřadnicové systémy jsou již předdefinované, ostatní se dají do datečně definovat a upravovat.

¹³<http://postgis.net/>

¹⁴<http://www.opengeospatial.org/standards/sfs>

¹⁵<http://postgis.net/docs/manual-2.1/>



Obr. 1.6: Jednotlivé základní geometrické objekty jsou agregovány do složitějších tzv. multi objektů.¹⁶

Souřadnicové systémy jsou charakterizovány unikátním kódem SRID, který je všeobecně zařízeným formátem v aplikacích GIS. Pro konverze mezi jednotlivými systémy slouží funkce **ST_Transform**.

Geometrie je datovým typem (**geometry**), který představuje geometrickou složku popisu geopravků. Charakteristika tohoto datového typu je dáná standardem OGC *Simple Features*. Sloupec s geometrií je definován pomocí parametrů, které nastavují obecná a geometrická specifika: název, typ, souřadnicový systém apod.

Pro definování typu geopravku jsou k vytvoření funkce **ST_Make***, kde * jsou níže uvedené typy standardu OGC *Simple Features* (příklad v textové reprezentaci WKT):

```

POINT(0 0)
LINESTRING(0 0,1 1,1 2)
POLYGON((0 0,4 0,4 4,0 4,0 0),(1 1, 2 1, 2 2, 1 2,1 1))
MULTIPOINT(0 0,1 2)
MULTILINESTRING((0 0,1 1,2),(2 3,3 2,5 4))
  
```

¹⁶<http://www.opengeospatial.org/standards/sfs>

```
MULTIPOLYGON(((0 0,4 0,4 4),(1 1,2 1,2 2)), ((-1 -1,-1 -2,-2 -2,)))
GEOMETRYCOLLECTIONM(POINTM(2 3),LINESTRINGM(2 3,3 4))
```

Funkce jsou v této nadstavbě zaměřeny na operace s geometrií. Veškeré funkce mají prefix **ST_** (*spatial type*). Část z nich je funkčností analogicky odvozena z nástrojů GIS. Funkce jsou podle svého účelu rozděleny do kategorií. Níže jsou demonstrovány jejich kategorie a nejzákladnější funkce.

Měřícké funkce jsou typické pro prostorové výpočty: plocha **ST_Area**, vzdálenost **ST_distance**, vzdálenost na elipsoidu **ST_length_spheroid** a další.

Geometrické konstruktory slouží k vytváření geometrie podle *Simple Features*, např: bodu **ST_MakePoint**, linie **ST_MakeLine**, polygonu **ST_MakePolygon** ad.

Analytické funkce jsou v PostGIS implementovány dle standardu ISO SQL-MM vyplývající z ISO99, standard o multimédiích [29]. V této kategorii jsou funkce typické pro prostředí GIS. Mezi ně například patří: buffer **ST_Buffer**, validita geometrie **ST_IsValid** nebo sjednocení **ST_Union**.

Konverze umožňují převod mezi různými formami zápisu geometrie (binárními a textovými formáty). Například do rozšířeného formátu WKT:

```
SELECT ST_AsEWKT (geom) FROM link
.....
.....
"SRID=4326;LINESTRING(14.4533605575562 50.0689735412598,
14.4754581451416 50.0387687683105)"
```

Agregační funkce PostGIS jsou v principu stejné jako ve standardu SQL (průměr, max, min) s tím rozdílem, že jsou zaměřeny na prostorová data. Příkladem je funkce pro sjednocení **ST_Union**.

3 Časoprostorové analýzy

Hlavním účelem GIS je vytvoření informačního systému, který umožňuje získávání, ukládání, analýzu a vizualizaci dat vztažených k povrchu Země. Všeobecně je však hlavním cílem vytváření operačních modelů reálného světa, přičemž je pro modelování některých reálných procesů nedílnou součástí časová složka. Z historického pohledu vývoje GIS je zřejmá primární orientace na řešení problémů prostorových dat bez časové složky. V prvních fázích rozvoje GIS nemohla ani být tato otázka z hlediska tehdejších omezení IT technologií i matematických formulací řešena [21]. Systém GRASS v nové verzi *GRASS GIS 7* obsahuje zcela nově navržený balíček modulů TGRASS², který integruje do původního GRASS systému časový rozměr.

Hlavním obsahem této kapitoly je představení časoprostorových datových modelů s primárním zaměřením na model, který je implementován v modulech TGRASS. V praktické části budou představeny základní funkce a analýzy TGRASS pro srážky zrekonstruované pomocí vlastního modulu `r.mwprecip`. K teoretické části byla jako primární zdroj využita kniha *Geographical information system vol.2* [22].

3.1 Terminologie

Tento odstavec pojednává o základní terminologii časoprostorové problematiky v GIS. Hlavním zdrojem definic je publikace [25].

Reprezentace času – jednotlivé stavy geodat jsou odkazovány k časovým okamžikům dvěma způsoby - relativně (*dny, roky, minuty*) či absolutně (*1990-30-06 1:35:59*). Možností relativní reprezentace je vyjádření času v záporné notaci (*-rok*). Další reprezentace je vyjádřena pomocí dělení času (*před – minulý, ted’ – současný, po – budoucí*).

Diskrétně časový model je takový model, kde se proměnné, tedy geodata mění skokově. Geodata jednotlivých okamžiků na sebe navazují podle dostupného či zvoleného časového rozlišení (granularity). Názorným příkladem je sčítání lidu v daném časovém intervalu.

²<http://grass.osgeo.org/grass70/manuals/temporalintro.html>

Kontinuální/spojitý časový model je charakteristický jemným časovým rozlišením. Příkladem jsou data získaná ze seismografu či kontinuálního záznamu průtoku ve vodních tocích.

Časová topologie je termín, který je analogický k termínu prostorová topologie s tím rozdílem, že kromě prostorového zobrazení zavádí i rozměr časový. Časová topologie geodat definuje vztahy mezi jednotlivými stavami daných objektů v datasetu.

Granularita je ve spojení s časoprostorovými daty definována jako velikost základního časového intervalu na časové ose.

3.2 Časoprostorové modely

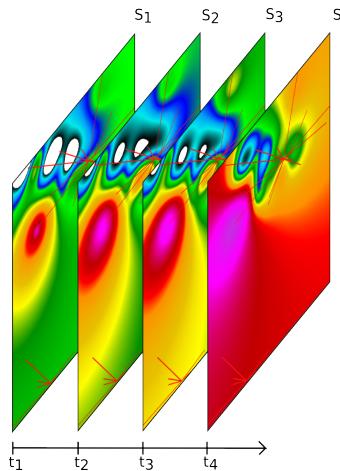
Časoprostorové modely se liší v jednotlivém pojetí vztahů, které propojují časovou složku s prostorovými daty. Současný vývoj a specifické nároky vědních oborů vytvořily poměrně značný počet časoprostorových modelů [25], které jsou často sjednoceny základní myšlenkou a liší se pouze v detailu. Níže jsou přiblíženy principy základních modelů se zaměřením na *Snapshot model*, který je použit jako časoprostorový model v TGRASS.

Snapshot model

Jedná se o jeden z nejednodušších a nejvyužívanějších časoprostorových modelů. U tohoto modelu je začlenění časových složek aplikováno pomocí relačního modelu, který je charakteristický relačními tabulkami, tedy členěním daných vektorových či rastrových rámců do jednotlivých časových vrstev/tabulek.

Výhodou *snapshot* modelu je jeho jednoduchost a především vhodná struktura pro implementaci do GIS. Jak již bylo zmíněno, model uchovává jednotlivé vrstvy pro dané časové okamžiky odděleně. Jednotlivé tématické informace o zájmových oblastech jsou ukládány do separovaných datových vrstev 1.7. Model charakteristikou svého návrhu odpovídá diskrétním systémům. Jednotlivé proměnné - geodata se skokově mění v průběhu času. Z toho mimo jiné pro uplatnění v GIS

³Podkladem pro obrázek byly využity výstupy z modulu `r.mwprecip` (viz praktická část práce).



Obr. 1.7: Jednotlivé snímky S reprezentují geodata v čase t . Obrázek schématicky znázorňuje vývoj dešťových srážek³.

plyne, že jednotlivé snímky nemají informace o stavech předchozího či následujícího časového okamžiku. Nevýhodou tohoto modelu je proto datová redundancy, která je způsobena ukládáním informací pro daný okamžik vždy v plném rozsahu. Jednotlivá geodata jsou uchovávána pro časové okamžiky nenávazně na předchozích. Uvážíme-li pro názornost extrémní případ, kdy časový dataset obsahuje vrstvy znázorňující jev, který byl v průběhu času neměnný, tento model do úložiště počítače zapíše několikanásobně stejné geoinformace. Tato skutečnost je pro práci v GIS poměrně nevýhodná, především v případech kdy změny sledovaných veličin časoprostorových dat mezi jednotlivými okamžiky měření jsou malé. Obecně se v oblasti numerického modelování hydrologických i meteorologických jevů jedná o častý tzv. *scaling* problém, spočívající v potřebě interpretovat průběh různých stavových veličin modelu (v tomto případě např. srážek) značně rozdílného časového vývoje. Mezi nevýhody diskrétního modelování patří skoková interpretace zobrazování procesů svou fyzikální podstatou původně spojitých. V časoprostorovém kontextu při využití GIS modelů tohoto typu to může vyvolat výpočetní stav, při němž dojde k ignorování zásadní změny hodnoty sledované veličiny (např. srážky) v okamžiku nepostihnutelném při zvoleném časovém intervalu měření. Změna ovšem nebude zaznamenána a model založený na této předpokladech bude v praxi nepoužitelný. S ohledem na potřebu porovnávání změn jednotlivých prostorových rámců v čase je díky architektuře modelu nutnost procházení a porovnávání buňky po buňce. To ovšem vede k vysoké výpočetní náročnosti.

Time Composit *The Space-Time Composite Data Model (STC)* byl vyvinut v roce 1988, Lagran [23]. Model STC pracuje s vektorovou interpretací prostorových dat. Jeho princip spočívá v zobrazení linií do roviny, čímž se v průběhu času jednotlivé prostory v projekční rovině sjednotí a tím z nich vznikají polygony – síť. V databázi jsou pak pro jednotlivé polygony uchovávány atributy, které odpovídají jejich historii. Tento model patří mezi diskrétní systémy, kde jednotlivé časové skoky jsou relativní.

Time-stamping model Princip modelu je založen na dvojici časových razítka, které určují čas vzniku a zániku či současného stavu objektu. Časové razítka zániku objektu je definováno třemi stavy `now`, `currnetm` a `null`. Síla tohoto modelu je při aplikacích, kde se jednotlivé objekty v průběhu dlouhé doby mění sporadicky. Model byl navržen a otestován na katastru nemovitostí, kde požadavky přesně odpovídají funkcím tohoto modelu [24].

Event model *Event-Oriented Model* je svým principem podobný modelu Time-stamping. Model *Time-stamping* nedokáže identifikovat jednotlivé změny v rámci datasetu. Oproti tomu je rozšířený o logovací soubor, do kterého jsou zaznamenávány jednotlivé časové instance objektů. Tento soubor představuje časovou topologii, která reprezentuje celou historii změn objektů.

Object-Relationship jako jediný z výše zmíněných datových modelů se zaměřuje na vztahy a popis jednotlivých změn stavu sledované veličiny. Object-Relationship model je specifický dle zaměření dané problematiky. Jeho specifikem je náročnost v definování jednotlivých vztahů mezi objekty.

Objektově orientovaný model *Object-Oriented model* lze svou filosofií přirovnat k objektově orientovaným programovacím jazykům. Umožňuje vytvářet objekty, třídy, metody, instance, dědičnost, operátory a dynamické vazby, tedy vše podstatné pro objektově orientovaný návrh. Díky tomu model umožňuje uceleně simuloval reálné vztahy. Jednotlivé objekty v průběhu času ukládají své entity, které tak tvoří historii instancí. Výhodou objektově orientovaného modelu je možnost jednoduchého a intuitivního přístupu k jednotlivým informacím.

3.3 Úvod do Temporal GRASS framework

Temporal framework v systému GRASS (TGRASS) je součástí nové verze GRASS GIS 7. Je implementován v jazyku C a Python. Data, která spravuje, jsou ukládána buď v databázi SQLite nebo PostgreSQL. Nejčastěji je však využívána výchozí databáze SQLite.

TGRASS je založen na tzv. *snapshot modelu* a dělí se na dvě úrovně: časovou a prostorovou složku. Prostorová složka je převzata ze systému GRASS a je charakterizována 2D/3D vektorovými a rastrovými mapami. Jednotlivé geopravky s časovou charakteristikou jsou pak ukládány do časoprostorových datasetů, které jsou specifické přiřazením časové známky či časových intervalů.

Koncept

Koncept vychází z části již představené terminologie časoprostorových modelů. Je důležité pochopit základní charakteristiky časových závislostí, granularity a časové topologie.

Okamžik a interval charakterizují dva přístupy k časovému modelu. Časový okamžik charakterizuje jeden moment v čase, oproti tomu interval je definován počátečním a koncovým okamžikem nebo pouze počátečním časovým bodem a délou intervalu.

Absolutní a relativní jsou definovány v TGRASS obdobně jako kap. 3.1.

Granularita tj. podrobnost časového rozlišení je v TGRASS přepočítána po každém zásahu do datasetu. Mezi vlastnosti granularity patří i vlastnost, kdy jednotlivé datasety obsahují mezery v čase (gaps), ve kterých nejsou dostupná data.

Časová topologie v problematice časové proměnné závislosti vychází obecně z principu obecné topologie. Časová topologie popisuje vztahy mezi jednotlivými časovými známkami jak pro časový interval 1.8 tak pro časový okamžik. Jednotlivé charakteristiky byly odvozeny z booleovské algebry a aplikovány na časové známky.

	A in relation to B	B in relation to A
A B	equivalent	equivalent
A B	follows/adjacent	precedes/adjacent
A B	overlaps	overlapped
A B	after	before
A B	during	contains
A B	starts	started
A B	finishes	finished

Obr. 1.8: Vztahy mezi časovými intervaly podle Allen, 1983. Zdroj obrázku: [20].

Temporal sampling vychází z časové topologie a určuje jednotlivé vztahy mezi časovými datasety 1.9. Pro představu jsou uvedeny některé vztahy pro časové datasety např. h a B následující: start (A, B mají stejný začátek), during (A během B), overlap (A, B se v čase překrývají), contain (A obsahuje B), equal (A a B jsou stejné), follows (A je za B).

	A in relation to B	B in relation to A
A B	equivalent	equivalent
A B	overlap	overlap
A B		
A B	during	contain
A B		
A B	follows	precedes

Obr. 1.9: Schema vztahů pro temporal sampling [20].

Pomocí těchto výroků lze definovat výběr „časových oken“ z datasetu A na základě datasetu B (např. průnik).

Praktická část

Hlavní směr praktické části je věnován vývoji vlastních GIS modulů, na něž jsou navázány další kroky této práce, které se zaměřují na charakterizaci aplikačního potenciálu. Pro ucelený pohled na danou problematiku jsou v první kapitole 4 praktické části představeny charakteristiky vstupních dat.

Jednotlivé kapitoly praktické části jsou seřazeny na základě chronologického postupu vývoje aplikací:

1. Charakteristika dat 4 - analýza dostupných dat
2. Navržené nástroje do systému GRASS 5 - návrh aplikace, implementace a ovládání
3. Výstupy modulů a jejich využití 6 - testování aplikace

4 Charakteristika dat

Následující text popisuje obecné vlastnosti dat MV spojů s přímou návazností konkrétní analýzy dostupného vzorku dat pro tuto práci.

V současné době je v rámci zadavatelského projektu využíváno naměřených dat z MV spojů od telekomunikačního operátora T-Mobile, která jsou ukládána do databáze PostgreSQL.

Data

Od dubna 2013 jsou sbírána data z 14 MV spojů na pilotním povodí projektu v Praze Letňanech a 7 spojů na území Prahy Michle a okolí. Zároveň jsou k dispozici

3 referenční srážkoměry v okolí MV spojů v Letňanech. V současné době se pracuje na dohodě o poskytování dat většího pokrytí území hl.m. Prahy.

Data jsou v současné době² sbírána ze sítě která se skládá ze dvou uzlů a jejich příslušných spojů.



Obr. 2.1: Současný stav MV spojů dostupných v rámci projektu v lokalitě Praha

Časový krok je determinován odezvou jednotlivých zařízení, která jsou dota-zována sériově. Pro sbírané množství je tak dosaženo časového kroku cca 12-15 s.

Databáze

Pro záznam měřených hodnot je využívána databáze PostgreSQL, která běží na PC na ústředí T-Mobile připojenému na dohledovou síť operátora. Záznam dat pro zmíněné lokality probíhá nepřetržitě od dubna 2013. Dostupná data jsou ve formě zálohy databáze (*database dump*) časového rozsahu jednoho týdne sběru. Databáze obsahuje tabulky `link`, `node` a `record`.

Tabulka link obsahuje informace, ze kterých vysílačů (`fromnodeid`, `tonodeid`) jsou jednotlivé spoje (`linkid`) definovány. Ostatní atributy nebyly využity.

²situace v květnu 2014

linkid	ifname	rxoid	txoid	fromnodeid	tonodeid
43	1/2.1/1	2129920257	2146697473	23	29
44	1/16.1/1	2129922049	2146699265	29	23
45	1/2.1/1	2129920257	2146697473	24	29
46	1/6.1/1	2129920769	2146697985	29	24

Obr. 2.2: Výpis dat z tabulky link (limit 4)

Tabulka node obsahuje klíčové informace o poloze vysílačů v souřadnicovém systému WGS-84 (lat, long) – EPSG 4326.

ipaddress	lat	long	name	nodeid
10.230.79.65	50.069	14.4534	10283A	23
10.230.79.93	50.0375	14.4848	10333A	24
10.230.80.245	50.0404	14.4965	12209A	25
10.230.79.69	50.0458	14.4633	12276A	26

Obr. 2.3: Výpis dat z tabulky node (limit 4)

Tabulka record má atributy time datového typu timestamp; rxpower a txpower v nichž jsou údaje o odeslané a přijaté intenzitě signálu.

linkid	time	rxpower	txpower
43	2013-09-08 23:59:14.913	-48.5	-3
45	2013-09-08 23:59:15.334	-48.5	-4
47	2013-09-08 23:59:15.755	-48.9	2
49	2013-09-08 23:59:16.161	-48.9	-7

Obr. 2.4: Výpis dat z tabulky record (limit 4)

V současné době není do databáze zahrnut atribut s hodnotami o vertikální či horizontální polarizaci signálu (**polarization**). Tyto hodnoty byly přidány do databáze z externího zdroje informací. V současné době probíhá jednání se správcem databáze T-Mobile o přidání tohoto atributu.

5 Navržené nástroje pro systém GRASS

Jedním z hlavních výstupů této práce je návrh a implementace modulu *r.mwprecip* pro zpracování hrubých dat z MV spojů v GIS. K tomuto účelu byl zvolen systém GRASS GIS s využitím rozhraní *GRASS Python Scripting Library*. V rámci vývoje byly vytvořeny dva moduly:

- *r.mwprecip* je modul, který tvoří hlavní GIS nástroj pro zpracování dat MV spojů uložených v databázi.
- *v.link.precip* je doplňkovým modulem k *r.mwprecip*, jehož funkčnost spočívá v nativním přístupu k výsledkům v GRASS GIS.

Použité knihovny Při psaní programu bylo využito jazyka Python, který je podporován knihovnou *GRASS Python Scripting Library* [32]. Ta umožňuje volání GRASS modulů. Mimo to bylo využito dílčích funkcí standardní knihovny *The Python Standard Library*³.

Knihovna *psycopg*⁴ umožňuje v jazyce Python přístup k databázi PostgreSQL. Této knihovny bylo využito pro veškerý přístup do databáze s výjimkou přístupu z GRASS modulů volaných z *GRASS Python Scripting Library*.

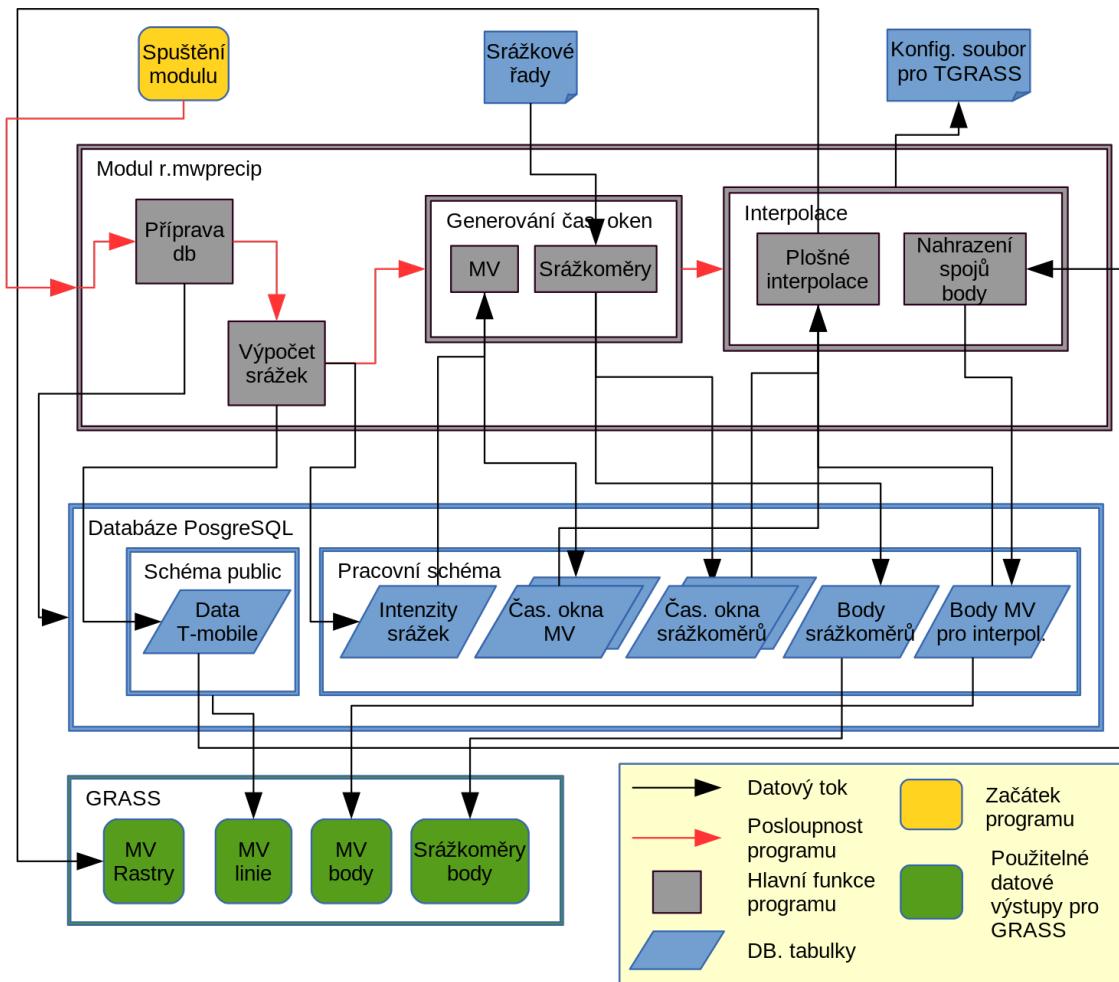
Uživatelské rozhraní Uživatelské rozhraní navržených modulů je definováno sadou přepínačů a parametrů, viz kap. 2.1. Program se ovládá (spouští) buď z příkazové řádky GRASS nebo ve wxGUI, kde se vygeneruje dialogové okno s jednotlivými předem nakonfigurovanými sekczemi.

5.1 Modul r.mwprecip

Primární účel modulu *r.mwprecip* je ve vytvoření rozhraní, pomocí kterého je možno zpracovat hrubá data MV spojů do vhodných formátů pro analýzy v GRASS.

³<https://docs.python.org/3.4/library/>

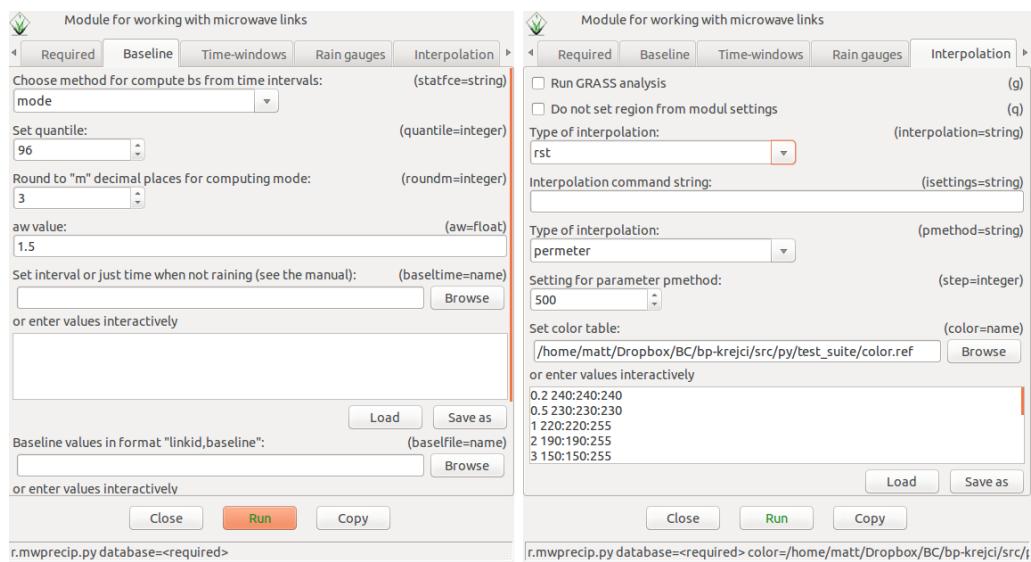
⁴<http://initd.org/psycopg/docs/>



Obr. 2.5: Schéma programu a jeho datových toků

Funkce modulu spočívají jak ve zpracování dat, tak ve výstupu vhodném pro další GIS analýzy. Modul pro výstupní data podporuje dvě základní reprezentace dat. Výstupem jsou interpolované srážky v rastrové podobě a vektorová reprezentace pro jednotlivé MV spoje. K zpracování a analýzám dlouhých časových řad ve zvoleném intervalu je výhodné využít balíčku časoprostorových modulů (TGRASS), které jsou nově v *GRASS GIS 7*. Výstupní data z modulu *r.mwprecip* jsou v kompatibilním formátu s TGRASS. Součástí plné kompatibility jsou automaticky předpřipraveny nutné registrační soubory do uživatelské pracovní složky.

Funkčnost modulu je možné rozdělit do hlavních čtyř skupin, které charakterizují vlastnosti modulu. Na obrázku 2.5 je znázorněn základní princip fungování modulu a jeho datových toků mezi databází, modulem a rozhraním systému GRASS. Zmíněné



Obr. 2.6: Ukázka GUI r.mwprecip sekce Baseline a Interpolation

skupiny funkcí mají následující chronologický postup:

1. **data** - konfigurace a přístup
2. **výpočet srážek** - intenzity srážek z MV spojů
3. **generování časových oken** - vytvoření instancí MV spojů pro časové okamžiky
4. **interpolace** - vytvoření plošných interpolací z „časových oken“

V následujícím textu jsou obecně představeny jednotlivé funkce modulu *r.mwprecip* a s tím spojená jejich možná konfigurace. Konkrétní ukázka nastavení modulu je v příloze C. Uživatelské rozhraní se primárně dělí na již zmíněné čtyři části a následující text je podle tohoto dělení strukturován.

Data

V následujícím textu je popsána příprava databáze a filozofie správy dat.

Příprava databáze se provádí automaticky v prostředí navrženého GRASS modulu a skládá se z jednotlivých dílčích úkonů, které jsou na obecné úrovni popsány v praktické části 2.3 a 2.2. Úpravy databáze jsou:

- **Geometrie** - využití extenze PostGIS (viz kap. 2.3) k vytvoření geometrických prvků pro MV spoje v databázi.
- **Indexy** - vytvoření indexů pro optimalizaci vyhledávání dotazů v databázi. K vytvoření indexů bylo využito algoritmu. *B-tree*.⁵.
- **Funkce** - přidání funkce v jazyku PL/pgSQL k agregaci hodnot daných sloupců a z nich výpočet statistické funkce modus.
- **Konfigurace** - spočívá především v doplnění atributů a vytvořením sekvencí v databázi.

Při každém uživatelském spuštění modulu *r.mwprecip* proběhne kontrola stavu databáze. Při zjištění prvního spuštění je databáze nakonfigurována. Filosofie modulu je založena na předpokladu, že bude sloužit k experimentálním pokusům v rozhraní GRASS GIS. Jednotlivé kroky výpočtů jsou od sebe odděleny tak, aby se při změně parametrů části programu znovu nemusely provádět veškeré výpočty.

Správa dat Modul pracuje v oddělených databázových schematech. Volbou pracovního schéma se vytvoří pracovní složka ve spouštěcím adresáři a databázové schéma v připojené databázi. Vlastnosti správy dat se dají shrnout v následujících bodech:

Z databázového schématu **public** načítá veškerá data z databáze a až na první jednorázovou přípravu databáze do něj nezapisuje. Výsledky modulu se zapisují odděleně do pracovního schématu, který si uživatel pojmenuje pomocí parametru **schema**.

Volbou různých názvů schémat je možné vytvářet jednotlivé pracovní instance daných konfigurací výpočtů a zpětně se k nim vracet.

Modul zapisuje konfiguraci nastavených výpočtů do textových souborů, které jsou uloženy ve složce s názvem zvoleným pro pracovní schéma (parametr **schema**). Složka je umístěna ve spouštěcím adresáři modulu. Při dalsím spuštění modul porovnává nastavení s konfiguračními soubory a na základě toho provede jen část výpočtu se změněnými parametry.

⁵<http://www.postgresql.org/docs/9.2/static/indexes-types.html>

Smazání pracovního schématu lze docílit v sekci *Optional* přepínačem **-r**, který smaže jak pracovní složku, tak schéma z databáze. Této funkce se může mimo jiné využít například při nekorektním ukončení modulu či výpočtu.

sekce	parametry/ přepínače	popis
Required	database	jméno databáze s daty
Baseline	statfce quantile roundm aw basetime baselfile	nastavení výpočtu baseline
Time-windows	interval fromtime totime lignore	nastavení časových oken
Rain Gauges	rgauges	nastavení vstupu srážkoměrů
Interpolation	-g -q interpolation isettings pmethod step color	nastavení interpolací a barev
Database	user password	doplňkové nastavení db
Optional	-p -r schema	informace o db, smazání temp

Tab. 2.1: Přehled parametrů v jednotlivých GUI sekcích

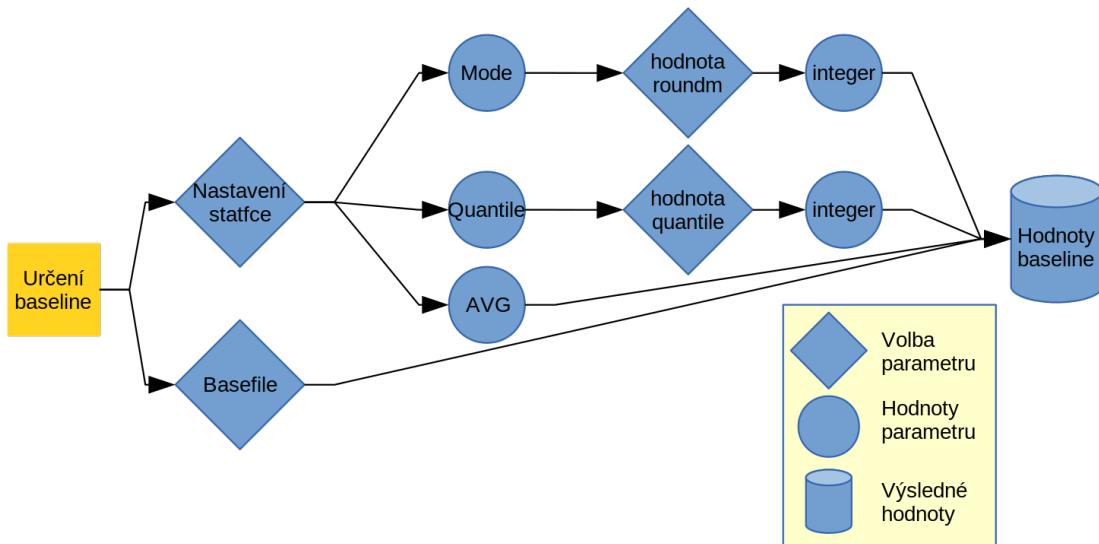
Výpočet srážek

Výpočet srážek a konfigurace se uživatelsky nastavuje v GUI sekci *Baseline*. Zde jsou parametry pro konfiguraci výpočtu intenzit srážek, kde se jedná především o parametry nastavující metody určení baseline⁶. Teoretickým východiskem pro určení baseline je kapitola, 1.2 Mikrovlnné spoje.

Baseline lze primárně určit dvěma způsoby. První metodou je přímé zadání známých hodnot ve formátu CSV. Druhý způsob je umožněn pomocí volby suchého období a z něj spočtení hodnoty baseline na základě statistických funkcí. Schéma volby baseline je znázorněno na obrázku. 2.7.

Zadání známých hodnot umožňuje parametr **baselfile**, do kterého vstupuje textový soubor s hodnotami identifikátorů spojů (**linkid**) a příslušnými hodnotami baseline ve formátu CSV.

⁶určení baseline: jde o určení hodnot útlumu MV signálu během suchého období, které je nutné znát pro výpočet intenzit srážek.



Obr. 2.7: Schéma volby baseline

parametr	typ	explicitní hodnoty
statfce	string	mode avg quantile
quantile	integer	1-100
roundm	integer	-
aw	float	-
basetime	soubor	interaktivní zadání
baselfile	soubor	interaktivní zadání

Tab. 2.2: Parametry v GUI sekci Baseline

Volbou suchých období je možné definovat časové intervaly nebo okamžiky, které slouží jako referenční hodnoty pro určení baseline. Z těch se následně zvolenými statistickými funkcemi vypočtou výsledné hodnoty.

Volba suchých období se definuje do textového souboru, který je vstupní hodnotou do parametru `basetime`, např.:

2013-09-09 07:00:00	-časový okamžik
int	-uvolení intervalu
2013-09-10 04:00:00	-začátek období
2013-09-10 05:00:00	-konec období
2013-09-13 04:55:00	-časový okamžik

První řádek označuje časový okamžik suchého období, na dalším řádku je časový interval uvozený řetězcem `int` a za ním následují dva řádky definující interval. Další řádek reprezentuje další zvolený časový okamžik.

Z vybraných suchých období se určují výsledné hodnoty *baseline* pomocí základních statistických funkcí (parametr `statfce`):

- průměr - určení hodnot baseline prostým průměrováním hodnot pro jednotlivé spoje,
- modus - určení pomocí funkce modus. Z podstaty této funkce je nutno nastavit zaokrouhlení (parametr `roundm`) dat, které je provedeno před samotným výpočtem funkce modus,
- kvantil - určení hodnot uživatelsky nastaveným kvantilem. Hodnota kvantilu se nastavuje parametrem `quantile`.

Posledním parametrem v této sekci je `Aw` a vyplývá ze vztahu 1.2.

Časová okna

„Časová okna“ jsou druhou samostatnou GUI sekcí s názvem *Time-windows*. Vytvoření „časových oken“ přímo navazuje na vypočtené hodnoty z minulé sekce. Principiálně jde o vytvoření tabulek v databázi vždy pro jeden časový okamžik. K tomu je třeba převedení srážkových řad s nepravidelným krokem na časové řady s krokem pravidelným. Konfigurovatelné funkce této GUI sekce jsou následující:

1. převedení srážkových řad na konstantní časový krok,
2. vynechání zvolených MV spojů z výpočtu,
3. generování „časových oken“ ze zvoleného intervalu,
4. načtení časových řad z referenčních srážkoměrů.

Jednotlivé konfigurovatelné funkce jsou v tomto pořadí popsány v následujících odstavcích:

Převod na konstantní krok je nastavitelný parametrem `interval`, který je explicitně nastaven na hodnoty *minute* (minuta), *hour* (hodina) a *day* (den). Minuta je nastavena jako výchozí. Například při volbě *minute* jsou srážky v kroku cca 15 sekund zprůměrovány a výsledná hodnota se zapíše do databáze jako průměrná minutová srážka. Jelikož se hodnota počítá jako průměr, intenzita srážek je v $[mm \cdot h^{-1}]$ i v případě generování „časových oken“ v jiném časovém intervalu.

parametr	typ	explicitní hodnoty
<code>interval</code>	string	minute, hour, day
<code>fromtime</code>	timestamp	YYYY-MM-DD H:M:S
<code>roundm</code>	integer	YYYY-MM-DD H:M:S
<code>ignore</code>	soubor	linkid

Tab. 2.3: Parametry v GUI sekci Time-window

Vynechání spojů je možné pomocí vstupního souboru do parametru `ignore`, který definuje jednotlivé spoje, které mají být z „časových oken“ vynechány. Tato funkce je vytvořena k zamezení přidání chybných nebo cíleně vynechaných spojů do „časových oken“, která by tak ztrácela validitu pro plošné interpolace. Hodnoty `linkid` se zadávají po řádku vždy ve formátu datového typu (integer) odvozeného z databázové tabulky `link`.

Generování časových oken ze zvoleného intervalu má přímou návaznost na plošné interpolace srážek a další analýzy v GRASS. Jedná se o převedení tabulky s časovou řadou na tabulky, které představují vždy pouze data pro jeden okamžik.

Časový úsek, ze kterého jsou „časová okna“ vytvářena, je vymezen krajními hodnotami: *fromtime* (začátek intervalu) a *totime* (konec intervalu). Vstupní hodnoty jsou datového typu (timestamp) ve formátu *"YYYY-MM-DD H:M:S"*.

V sekci *Optional* je přepínač `-p`, který vypisuje na standardní výstup informaci o začátku a konci časového rozsahu datasetu pro zjištění možného maximálního intervalu.

Načtení časových řad ze srážkoměrů je umožněno pomocí parametru `rgauges`. Srážkoměrná data jsou načítána v časových řadách, jejichž rozměr je intenzita srážky v $[mm \cdot h^{-1}]$. Struktura vstupního souboru je následující:

```
2                                #id srážkoměru
50.151634                         #WGS84 šířka
14.508727                         #WGS84 délka
2013-09-01 00:00:00,6.12           #hodnoty ve formátu CSV
2013-09-01 00:01:00,12.18          #"YYYY-MM-DD H:M:S, hodnota"
2013-09-01 00:02:00,12.12
...
...
```

Vstupem do parametru `rgauges` je cílová složka se soubory, které jsou načteny dávkově. Pro jednotlivé srážkoměry se vytvoří vektorová geometrie reprezentovaná body, která je uložena do databáze PostgreSQL. Pro vytvoření „časových oken“ z dat srážkoměrů slouží v zásadě identické nastavení jako pro tvorbu „časových oken“ intenzity srážek z MV spojů.

Interpolace

Plošné interpolace srážek reprezentují jeden z hlavních výstupů modulu `r.mwprecip`. GUI sekce *Interpolation* je charakteristická třemi částmi:

- volba výpočetního regionu - nastavení oblasti a rozlišení rastru
- interpolace bodů podél spojů - nahrazení linií body
- plošné interpolace srážek - volba a konfigurace interpolačních metod

Následující odstavce popisují výše zmíněné tři hlavní oblasti nastavení GUI sekce *Interpolation*:

Volba výpočetního regionu Modul `r.mwprecip` má pro dávkové generovaní interpolací nastaven výpočetní region na výchozí hodnoty, které definují jeho oblast. Výchozí nastavení modulu lze ignorovat přepínačem `-q` a využít tedy nastavení globální či nastavené modulem `g.region`.

parametr	typ	explicitní hodnoty
interpolation	string	rest, idw, bspline
isettings	string	
pmethod	string	permeter, count
step	integer	
color	string	hodnota R:G:B

Tab. 2.4: Parametry v GUI sekci Interpolation

Interpolace bodů podél spojů Současná verze GRASS GIS neumožňuje interpolaci z liniové reprezentace dat, což není při porovnání s ostatními GIS neobvyklé. Parametr **pmethod** definuje metodu interpolace bodů podél spojů. Explicitně je nastaven na hodnotu *permeter* (po metrech) a při volbě této metody je provedena interpolace bodů v pevně stanoveném kroku po metrech [m]. Hodnota se nastavuje parametrem **step**.

Parametr **step** je využit i k definování druhé explicitní hodnoty *count* (počet). Hodnota *count* rozloží rovnoměrně body podél MV spojů ve jejich zvoleném počtu dle nastavení parametru (**step**).

Plošné interpolace srážek K určení interpolovaných hodnot je možno využít tří modulů ze stabilní verze GRASS. Jedná se o metody *rst*(regular spline with tension), *idw* (invese distance weighting) a *bspline* (bicubic spline tension).

Interpolace lze definovat jak uživatelsky, tak i automatizovaně (výchozími hodnotami jednotlivých modulů).

Uživatelské nastavení jednotlivých interpolací lze provést pomocí parametru **isettings**, do kterého je vstupem textový řetězec ve formátu *GRASS Python Scripting Library*. Řetězce je možné konfigurovat ve wxGUI daných modulů a z výstupního terminálu jej lze kopírovat.

Některé parametry (vstup/výstup map) pro dané interpolační metody musí být nastaveny ve formátu podle tabulky 2.5.

Příkladem uživatelské konfigurace může být interpolace IDW (r.surf.idw) s parametry pro nastavení hodnoty exponentu **power** a počtu bodů **npoints**, ze kterých se daná buňka interpoluje.

interpolace	parametr	hodnota
r.surf.rst	input	points_nat
	elevation	out
	zcolumn	attribute_col
r.surf.idw	input	points_nat
	output	out
	column	attribute_col
r.surf.bspline	input	points_nat
	raster_output	out
	column	points_nat

Tab. 2.5: Povinné nastavení parametrů pro jednotlivé interpolační moduly.

```
#Ukázka možného vstupu parametru i settings
grass.run_command( "v.surf.idw", input=points_nat,
                    column=attribute_col, output=out, npoints=25, power=2.5 )
```

5.2 Modul v.link.precip

Hlavní vlastnosti tohoto modulu jsou v umožnění jednoduššího přístupu k výsledkům z primárního modulu. Modul *r.mwprecip* při vytváření „časových oken“ zapisuje tabulky („časová okna“) do databáze. Vektorová geometrie reprezentovaná liniemi (MV spoje) a body (pro interpolaci) je v databázi pro zamezení redundancy dat v samostatné tabulce, nikoliv pro každé „časové okno“. Pro analýzy a další využití výsledků v GRASS GIS je podstatné, aby bylo možné jednotlivá „časová okna“ připojovat k vektorovému podkladu a s vhodně nastavenou škálou barev je zobrazovat. Toho lze docílit sledem po sobě jdoucích volání jednotlivých modulů ze systému GRASS. Pro jednoduchost byl vytvořen modul *v.link.precip*, který to umožňuje uživatelsky přístupné formě.

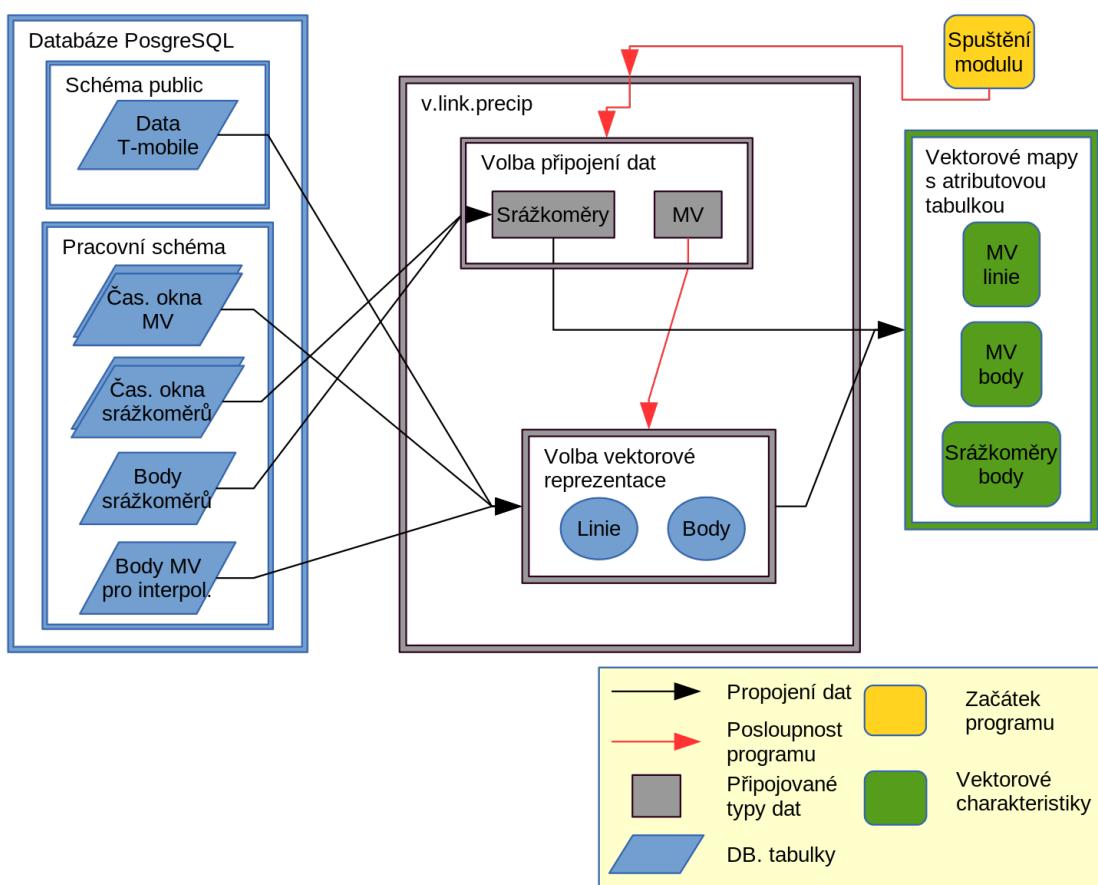
Funkce modulu spočívají v připojování či vytváření vektorových podkladů s atributovými tabulkami intenzit srážek. Funkce modulu umožňují:

- MV spoje je možno reprezentovat liniemi, nebo nahrazenými body daných

linií. Na základě této volby a zvoleného časového okamžiku se připojí příslušné „časové okno“ (atributová tabulka) s výsledky intenzit srážek z MV spojů.

- Srážkoměry jsou logicky reprezentovány bodovou vrstvou. K té je možné výše zmíněným principem připojit příslušná „časová okna“ ze zvoleného okamžiku.

Mimo to je lze pro zvolený okamžik data nejen připojovat, ale i vytvářet vektorové mapy s připojenými příslušnými daty. V tomto případě dochází k redundancii dat.



Obr. 2.8: Schéma připojení vektorových vrstev k atributovým tabulkám

Použití modulu

Modul při prvním spuštění vytvoří vektorovou vrstvu v nativním formátu GRASS na základě vytvořené geometrie v databázi PostgreSQL. K ní připojí zvolenou ta-

bulkem reprezentující „časové okno“. Při dalším připojení jiného „časového okna“ je původně připojená tabulka odpojena a k té samé vektorové vrstvě se připojí tabulka nová. Modul je tvořen dvěma GUI záložkami *Required* a *Optional*.

Záložka Required obsahuje pouze povinné parametry. Parametr `schema` označuje pracovní schéma, ve kterém jsou uloženy výsledky pro zobrazení. Parametr `type` nastavuje, zda chceme připojovat hodnoty ke srážkoměrům nebo k MV spojům. Při volbě MV spojů je možné určit, zda chceme připojit hodnoty k vektorové mapě v podobě spojů či bodů (body z interpolace). Možnosti konfigurace jsou znázorněny ve schématu 2.8

Záložka Optional obsahuje přepínače a parametry:

-c slouží pro případ, kdy bude nutno pracovat s více „časovými okny“ najednou.

Přepínač `-c` „časová okna“ nepřipojuje k vektorové vrstvě `"link_nat"`, ale vytváří nové s názvem (`"view" + < hodnotatimestamp >`). Při této volbě dochází k redundancii dat vektorových vrstev.

-a umožňuje dávkově vytvořit pro všechna „časová okna“ z modulu `r.mwprecip` vektorové vrstvy s připojenými tabulkami. Tato funkce je vhodná k přípravě dat pro časoprostorové analýzy.

-p vypíše na standardní výstup hodnoty připojené atributové tabulky.

-r vymaže dočasné soubory z pracovního schématu.

Parametr `layername` nastavuje výchozí vektorovou vrstvu, ke které chceme připojit výsledky v podobě „časových oken“. Podmínkou je, že daná vektorová vrstva musí obsahovat identifikátory (linkid). V praxi zde budou nejčastěji připojovány vrstvy vytvořené v rámci výpočtu primárního modulu `r.mwprecip`. Ty jsou pojmenovány `linkpoints` s postfixem hodnoty parametru `step` (počet bodů či zvolený rozestup mezi body). Pro připojení liniových vrstev MV spojů je výchozí název `link`. Škála barev pro vektorovou vrstvu se nastaví nastavit parametrem `color`, kde vstupní hodnota je textový soubor analogický k formátu škály barev pro plošné interpolace.

6 Výstupy modulů a jejich využití

Následující kapitola částečně vyplynula z testování vytvořených modulů a je rozdělena na dvě podkapitoly:

- Vizualizace 6.1 a
- Temporal GRASS framework 6.2.

V první části je kladen důraz na prostorovou interpolaci srážek, kde jsou demonstrovány interpolační metody. Zde není zahrnuta analýza výsledků jednotlivých interpolačních metod. Jedná se o ukázku možných vizualizací výsledků s nastíněním problematik plošných interpolací z MV spojů.

V druhé části je otestován nově navržený časoprostorový model V GRASS GIS s využitím výsledků z vlastních modulů. Jelikož se jedná o poměrně novou část GRASS GIS, která byla doposavad ve fázi vývoje, kapitola může posloužit jako forma návodu pro uživatele GRASS.

6.1 Vizualizace

V následujících ukázkách jsou demonstrovány vizualizace datových výstupů z modulu `r.mwprecip`. Vizualizace je možné kategorizovat na základě datových charakteristik:

- vektorové mapy jsou vizualizované pomocí linií a bodů, které vycházejí z vytvořené geometrie v databázi,
- rastrové mapy zobrazují plošné srážky vycházející z plošných interpolací.

Vektorové mapy lze vizualizovat na základě široké škály volby parametrů. V níže uvedených příkladech bylo využito znázornění bodu pomocí čtverce, který na základě zvolené škály barev charakterizuje hodnotu intenzit srážek, ze kterých se provedla interpolace. Konfigurovat vizualizaci vektorových vrstev je možno provést s využitím modulu `d.vect` a `v.color`.

Ukázky grafických výstupů vektorových map jsou sjednoceny s výstupy plošných interpolací, které jsou znázorněny v podkapitole (Plošná interpretace srážek).

Rastrové mapy v případě výstupů modulu *m.rwprecip* reprezentují plošná srážková data, která jsou odhadem interpolačních metod. K vizualizaci je vytvořena škála barev odvozená od stupnice používané k radarové odrazivosti srážkových intenzit. Škálu barev je možno zvolit jak z předdefinovaných možností, tak z vlastní konfigurace. K nastavení škály barev rastrů slouží modul *r.color*.

K vhodné vizualizaci rastrových map lze využít modul *g.gui.animation*, který umožňuje vytvářet animace z po sobě jdoucích rastrů.

Součástí další kapitoly jsou obrázky reprezentující ukázky vizualizovaných rastrových map.

Plošná interpretace srážek

Na níže uvedené plošné interpolace nenavazují rozsáhlé analýzy jejich přesnosti, ale primárně poukazují na novou problematiku interpolačních metod, která definuje možný směr dalších výzkumů. V textu jsou pouze rozebrány základní charakteristiky interpolací v GRASS GIS a jejich typické vlastnosti.

Výsledek plošných interpolací je ovlivněn mnoha faktory, které se podílejí na správnosti interpolovaných hodnot. Interpolace z liniových vektorů je obecně v GIS neobvyklá a jediným východiskem pro využití podporovaných interpolačních metod v GRASS je nahrazení liniové reprezentace body. K tomto účelu byly do modulu *r.mwprecip* přidány funkce pro interpolaci bodů podél MV spojů.

MV spoje jsou poměrně hustě rozmístěny a z toho plyne velká variabilita v možném rozložení a volbě počtu bodů. Z ukázek interpolací je patrné, že počet bodů vstupujících do interpolací má velký vliv na jejich výsledky. Zcela jistě má vliv na výsledek i dostupný vzorek dat. Ten se skládá ze dvou uzlů, které jsou od sebe, při porovnání s reálnou hustotou rozložení uzlů, velmi vzdálené. Při využití disponibilních vysílačů, např. sítí T-mobile, by prostorovou mezeru doplnilo několik desítek dalších. Tím jsou výstupy následujících interpolací oproti možným výsledkům značně ovlivněny.

Rozlišení a region rastrové mapy nastavuje automaticky modul *r.mwprecip*. Přepínačem **-g** lze výchozí nastavení ignorovat.

```
# Výchozí nastavení modulu r.mwprecip
grass.run_command(g.region,
                   vect=link,
                   res=00:00:01,
                   n=n+00:00:20,
                   w=w-00:00:20,
                   e=e+00:00:20,
                   s=s-00:00:20)
```

Parametr **vect** umožňuje nastavení velikosti výpočetního regionu na základě území vektorové mapy (MV spojů) ohraničené minimálním obdélníkem. Parametr **res** nastavuje velikost rozlišení výpočetního regionu, který je možno definovat v délkové nebo stupňové míře a to podle výchozího referenčního systému dané lokace. Parametry **n**, **s**, **e**, **w** určují rozšíření či zmenšení daného výpočetního regionu ve směrech jednotlivých světových stran.

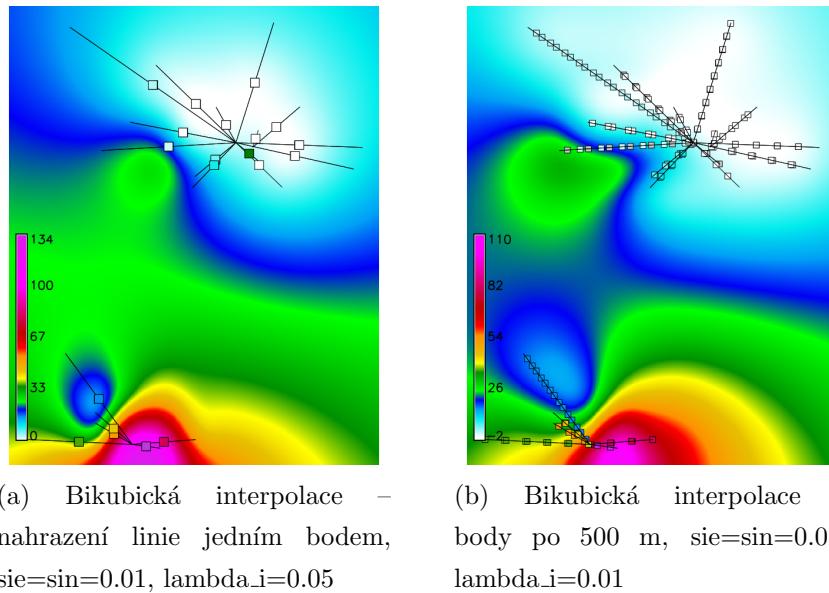
v.surf.bspline

Modul *v.surf.bspline* má parametr **method**, který umožňuje volby bilineární a bikuické interpolace.

Parametry **sie** a **sin**, určují vzdálenost spline křivky pro jednotlivé kroky ve směrech východ-západ (**sie**) a sever-jih (**sin**). Maximální hodnota **sie** a **sin**, určuje vzdálenost spline křivky pro jednotlivé kroky ve výše uvedených směrech. Pro oba směry by neměla být menší než vzdálenost známých bodů ².

Parametr **lambda_i** (Thykono regularization parameter) ovlivňuje vyhlazení interpolace. Při volbě malé **lambda_i** jsou interpolované hodnoty více závislé na vstupních hodnotách; vysoké **lambda_i** vytvoří výsledný rastr „jemnější“. Pro optimální zjištění parametru slouží přepínač **-c**, který pro nastavenou délku křivky spline vypočte RMS charakteristiky.

²6.2



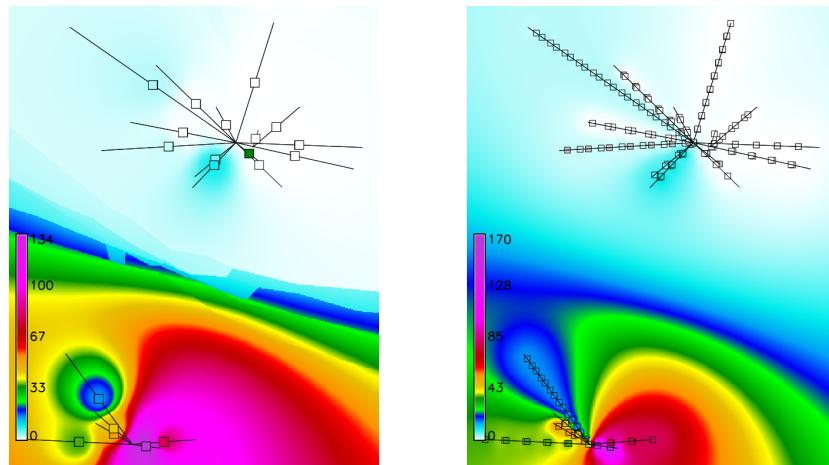
Obr. 2.9: Názorné porovnání výsledků bikubické interpolace s různou volbou rozložení bodů

v.surf.idw

Modul `v.surf.idw` umožňuje nastavení exponentu `power` a počet známých bodů `npoints`, ze kterých se odhadovaný bod určuje 2.1.

Metoda Inverse Distance Weighting (IDW) v GRASS nedisponuje některými nastaveními, které by byla vhodná pro odhad plošných srážek pomocí MV. Jedním z nastavení je podpora rozdělení na sektory, která by byla v tomto případě výhodná pro rozdělení interpolované mapy na segmenty. Z nich by se do výpočtu neznámé buňky zahrnoval zvolený počet bodů. Dalším důležitým omezením u metody IDW je určení vzdálenostní bariéry, která ignoruje vzdálené body při výpočtu. Z volby možných dvou parametrů vyplynulo několik poznatků:

Volba počtu bodů z nichž se provádí interpolace, má velký vliv výsledky. IDW je vhodná interpolační metoda pro rovnoměrně rozmištěné známé body. V tomto případě je vhodné výpočetní region rozdělit do dvou částí, čímž se do jisté míry nahradí chybějící parametr pro maximální vzdálenost. Při takovémto postupu však není simulována reálná situace možných výsledků s využitím plnohodnotného vzorku dat (hustota MV spojů). Při plošné interpolaci z dostupného



(a) IDW interpolace – nahrazení linie jedním bodem, npoints=15, power=1.5

(b) IDW interpolace – body po 500 m, npoints=150, power=1.5

Obr. 2.10: Názorné porovnání výsledků interpolace IDW s různou volbou rozložení bodů

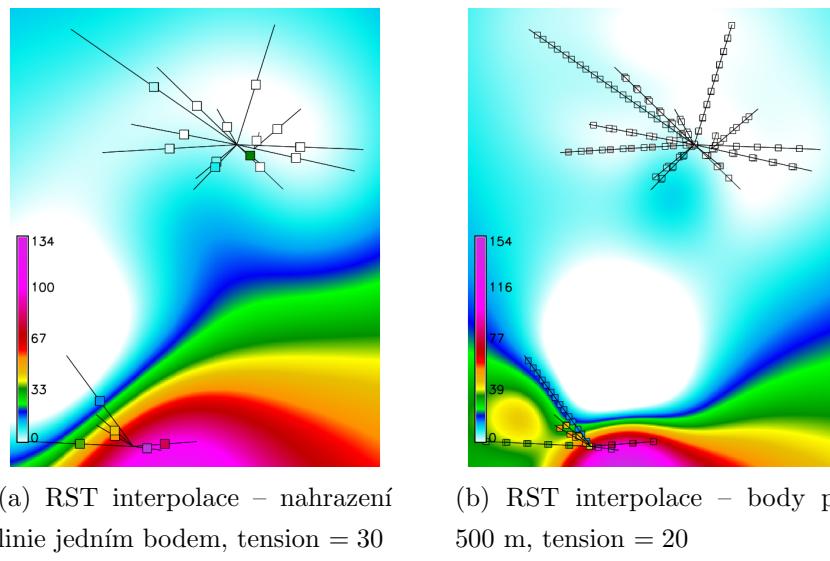
vzorku dat a konfiguraci interpolace viz. obr. 2.10 a), je způsobován na pomyslné hranici mezi danými lokalitami nespojitý povrch.

Volba exponentu ovlivňuje váhu (vzdálenost) jednotlivých bodů. Při volbě vysokého exponentu je odhadovaná buňka vypočtena s velkou váhou nejbližších známých bodů. S přímou návazností na volbu exponentu je metoda IDW charakteristická tvořením interpolačních artefaktů v podobě koncentrických isolinií, které se často nazývají *”bull eyes”* (býčí oči).

Jednou z možných chyb interpolace IDW je přenesení hodnoty (srážek) přes mezilehlý známý bod. V praxi pak dochází k tomu, že vysoké srážkové intenzity ze známého bodu mohou přeskočit oblast se známou nulovou srážkou a použít ji zcela chybně pro výpočet dané buňky. Zamezením tohoto jevu se zamezuje pomocí specifické úpravy metody IDW, která spočívá v rozdělení oblasti na kvadranty, ze kterých zasahuje do výpočtu pouze nejbližší bod [35].

v.surf.rst

Metoda Regular Spline with Tension (RST) odhaduje neznámé hodnoty pomocí spline křivky, která je definována jako funkce procházející měřenými body a má



Obr. 2.11: Názorné porovnání výsledků interpolace RST s různou volbou rozložení bodů

minimální křivost. Z toho mimo jiné plyne, že interpolované hodnoty mohou nabývat hodnot mimo interval hodnot známých, což má za důsledek, že při interpolaci srážek mohou vznikat srážky záporné.

Metodu RST představuje v GRASS modul *v.surf.rst*. Mimo výškové mapy povrchu generuje jiné specifické rastry vyplývající z generovaného povrchu: mapu sklonu, orientace, zakřivení a dalších. Dále umožňuje volbu maximální a minimální vzdálenosti bodů při segmentaci. Mezi charakteristické parametry této metody patří: **dmin** a **dmax** umožňující nastavení minimální a maximální vzdálenosti mezi body; parametr **tension** určující napětí povrchu. Obrázek 2.11 znázorňuje dva výsledné rastry s rozdílnou konfigurací bodů a nastavením tenze.

6.2 Temporal GRASS framework

Kapitola je zaměřena na možné využití *Temporal GRASS framework* (TGRASS) pro analýzu výsledků z modulu *r.mwprecip*. Protože je TGRASS poměrně nový a v současné době existuje jen několik málo nastínění jeho možné aplikace, bude následující text částečně psán stylem podobným formě návodu. Tato forma je zv-

olena z důvodu, aby mohl text sloužit jako úvod pro experimentální využití modulu v GRASS GIS v rámci problematiky MV spojů. Tento směr má logickou návaznost na zadání projektu.

Pro názornost bylo využito výstupů z modulu *r.mwprecip* ve zvoleném časovém intervalu tří dnů. Jednotlivá „časová okna“ byla vygenerována v časovém kroku 1 minuta. Rastrové mapy byly interpolovány metodou RST a IDW pomocí jednoho bodu uprostřed linie (*pmethod=count, step=1*).

Základní operace

Volba databáze pro správu časoprostorových má dvě možnosti: databáze SQLite (nativní v GRASS), která je nastavena jako výchozí nebo modulem *t.connect* definovat připojení k externí databázi PostgreSQL.

Vytvoření časoprostorového datasetu je prvním nezbytným krokem a slouží k němu modul *t.create*, např: ³.

```
t.create output=temporalLetnany title="MV letnany" \
           description="ukazka vytvoreni datasetu"
```

Registrace jednotlivých map do datasetu je druhým nutným krokem. Modul *r.mwprecip* do pracovní složky automaticky generuje soubor vhodný pro tuto registraci (ve formátu ”<název mapy> <separátor> <časová známka>”).

```
temp14.lview2013_09_11_23_19_rst | 2013-09-11 23:19:00
```

Registraci map do časového datasetu umožňuje modul *t.register*

```
t.register input=temporalLetnany file=/adresar/tmp_temp14/ \
             timewin_1_2013-09-08_23:59:00|2013-09-11_23:59:00
```

Pro kontrolu úspěšné registrace je možné využít modul *t.info*.

³<http://grass.osgeo.org/grass70/manuals/t.create.html>

```
t.info input=temporalLetnany
```

Po spuštění se vypíše tabulka s obecnými informacemi o časovém datasetu. Jednou s užitečných funkcí je vypsání celé historie příkazů v daném datasetu. Vypíše se přepínačem **-h**.

Další fází je kontrola topologie časového datasetu a provádí ji modul *t.topology*.

Odstranění a kontrola patří mezi podstatné základní operace při práci s časoprostorovým datasetem.

t.remove smaže celý časoprostorový dataset.

t.rename umožňuje přejmenování datasetu.

t.unregister odstraní zvolené připojené mapy z datasetu

t.support umožňuje úpravy metadat

Vytvoření sub datasetu zle v případě, že již jeden časový dataset existuje. Mohou nastat dva případy, kdy je vhodné využít modul *t.rast.extract*.

První je situace, kdy jsou z modulu *r.mwprecip* vygenerována „časová okna“ z většího časového intervalu, než chceme využít k analýzám TGRASS. V takovém případě je možné při registraci interaktivně editovat registrační soubor, nebo využít *t.rast.extract* a definovat v parametru **where** podmítku, která vymezí časová rozsah nového datasetu.

Modul mimo jiné podporuje mapový kalkulátor, kde parametr **expression** umožňuje pomocí mapové algebry definovat nahrazení jednotlivých buněk jinými.

```
t.rast.extract input=temporalLetnany where="start_time > \
2013-09-10 23:59:00" output=selected_precip base=new_prec_map \
expression="if(precipitation < 0, null(), precipitation)"
```

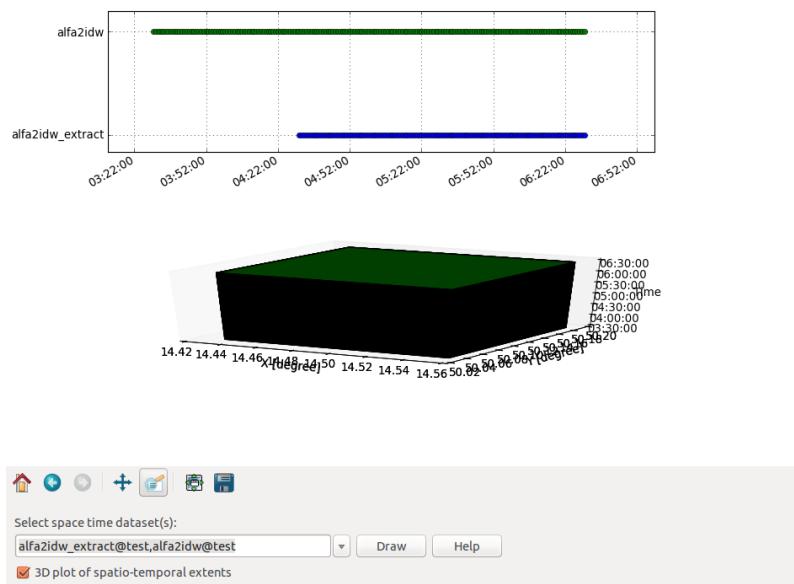
Ve tomto případě jsou nahrazeny hodnoty menší než 0 (MV šum - chyby) hodnotou NULL. To je výhodné například pro vizualizaci srážek nad podkladovou mapou, kde je vodné, aby nulové hodnoty byly průhledné.

Export časoprostorových datasetů např. pro zálohování či přenesení na jiné úložné médium se provede pomocí modulu *t.rast.export* pro rastrové datasety a *t.vect.export* pro vektorové datasety.

Modul *t.rast.out.vtk* umí exportovat rastry do textové formy *VTK DataFile Version 3.0*. Export tímto modulem je možnost, jak dávkově exportovat data z modulu *r.mwprecip*.

Atributovou tabulkou časoprostorového datasetu lze vypsat modulem *t.vect.db.select*. Volbou oddělovače jednotlivých sloupců (**separator**), lze např. uzpůsobit výstup do formátu Comma Separated Values (CSV).

Zobrazení časoprostorových datasetů umožňuje modul *g.gui.timeline* 2.12, který na časové ose zobrazuje zvolené časoprostorové datasety a jejich granularitu. Modul dokáže zobrazit jak časovou osu ve 2D, tak časovou krychli ve 3D.



Obr. 2.12: Modul *g.gui.timeline* pro grafický náhled časových datasetů

Vytvoření intervalů Při registraci map jsou časové známky registrovány jako absolutní bod v čase. Pro některé analýzy je třeba pracovat s časovými intervaly. Modul *t.snap* vytvoří automaticky intervaly podle granularity datasetu.

Posunutí časového datasetu Posunutí časového datasetu v čase může být využito například při změně času nebo při práci s daty s různými časovými referencemi. Modul *t.shift* umožňuje posunutí datasetu o absolutní hodnotu.

```
t.shift input=rastr@tletnany granularity=1 hours
```

Tímto příkazem jsem posunuli časový dataset o 1 hodinu dopředu.

t.merge je modul, který umožňuje spojení dvou časových datasetů. K nastavení slouží dva parametry - **inputs**, do něhož vstupuje libovolné množství datasetů, které mají být spojeny v jeden **output**. Podmínkou je, že spojované datasety musí být stejného časového typu (absolutní nebo relativní).

Základní analýzy

Agregační funkce slučují buňky o stejných rastrových souřadnicích do jednoho rastru na základě zvolené matematické funkce (průměr, suma, max, min atd.). Rastry jsou slučovány podle zvoleného časového kroku.

Modul, který implementuje agregační funkci, se jmenuje *t.rast.aggregate*

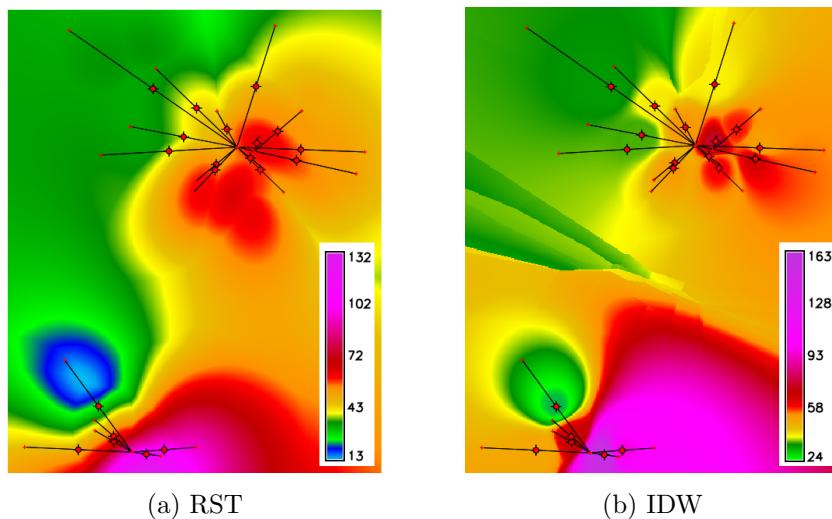
V příkladě uvedeném níže byly pomocí agregační funkce vytvořeny rastry reprezentující sumy srážkových intenzit po 15 minutách. Vytvořený dataset je nazván *temporalLetnany*.

```
t.rast.aggregate input=temporalLetnany output=temporal_aggreg \
    basename=sum15minute granularity=15 minutes method=sum
```

Jinou agregační funkcí je *t.rast.aggregate.ds*, která má na vstupu dva datasety *a* a *b*. Agregací datasetu *a* podle datasetu *b*, tedy vytvoření časové topologie *a* podle předlohy *b*.

Další možností je modul *r.rast.series*, který využívá k agregaci jiných algoritmů a je určen pro analýzu celého datasetu bez zvolené *granularity*. Příkladem je vytvoření rastru s maximálními intenzitami srážek v celém časovém intervalu datasetu. Byly vytvořeny maximální intenzity časového datasetu z plošných interpolací 2.13 RST a IDW.

```
t.rast.series input=idwt method=maximum output=idwt_seriesmax  
t.rast.series input=rstt method=maximum output=rstt_seriesmax
```



Obr. 2.13: Srážková maxima z celého časoprostorového datasetu

Mapová algebra se v rámci TGRASS dělí na dva typy:

t.rast.mapcalc plně podporuje funkčnost mapové algebry *r.mapcalc*. Z časoprostorového modelu podporuje například start_time, end_time, které jsou nejčastěji využívané.

t.rast.mapcalc2 umožňuje využívat časoprostorové algebry, která je v současně dostupných GIS nástrojích první svého druhu.⁴

Použití `t.rast.mapcalc` je analogické pro klasickou mapovou algebru v systému GRASS s rozdílem, že do výpočtu nevstupují jednotlivé rastry, ale časoprostorové datasety.

Statistické informace jednotlivých rastrů v časovém datasetu lze vypsat pomocí modulu *t.rast.univar*. Modul vypíše po jednotlivých řádcích pro dané rastry jejich základní statistické charakteristiky. Pro výpis ve formátu s hlavičkou charakterizující dané hodnoty je možné využít přepínač **-h**.

⁴Modul nebyl oficiálně představen. Zdroj informace pochází z nepublikovaných materiálů autora (Soren Gebbert).

```

id|start|end|mean|min|max|mean_of_abs|stddev|variance|coeff_var| \
sum|null_cells|cells|first_quartile|median|third_quartile|percentil

alfa1.lview2013_09_09_00_01_rst@test4|2013-09-09 00:01:00 \
|None|0|0|0|0|0|-nan|0|0|242109|0|0|0|0

```

Observace Modul *t.vect.observe.strds* umožňuje definovat vektorovou bodovou vrstvu jako observační objekt. Jednotlivé body této vrstvy pak zaznamenávají informaci o hodnotě rastru. Prakticky se v databázi vytváří pro každý rastr ze zvoleného datasetu jedna tabulka. Výsledkem z observace je nový časoprostorový vektorový dataset.

Při volbě observačních bodů v místech dostupných referenčních srážkoměrů je umožněno z výsledků observace porovnat interpolované body s referenčními hodnotami. Vektorovou vrstvu lze zvolit buď z databázové tabulky srážkoměrů nebo přidat jednotlivé body s využitím modulu *v.in.ascii*.

```

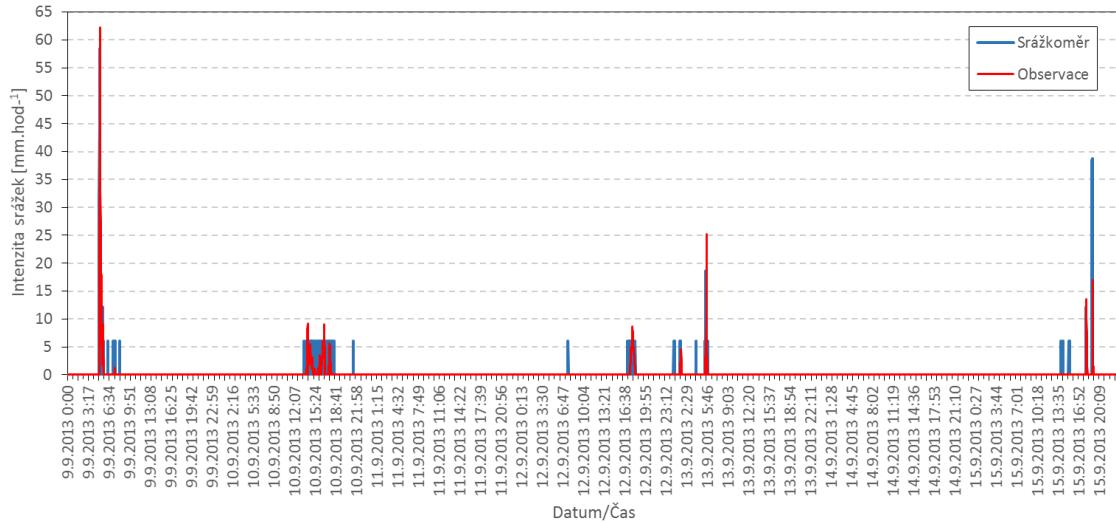
# Přidání vektorové bodové vrstvy
v.in.ascii input=
 1|50.152761|14.506575
 2|50.141651|14.519106
 3|50.133124|14.501339

output=srazkomery
columns="id text,y double precision,x double precision"
x=3 y=2

# Nasavení observace
t.vect.observe.strds input=srazkomery strds=idw_gama \
  output=observace vector_output=observace_vec columns=precip

```

Ve zvolené výchozí databázi se vytvoří „časová okna“ v časovém kroku granularity datasetu. Z dané observace je možné výsledky prohlížet v databázi nebo využít modul *t.vect.select*, který vypíše tabulkou do řádku s hlavičkami a oddělovačem podle nastavení parametru **separator**. Je tedy možné například vytvořit standardizovaný výstup formátu CSV.



Obr. 2.14: Porovnání měření srážkoměru s observací rastrového datasetu

Modul *t_vect.observe* v současné době nemá zcela vyladěnou správu RAM. Při větších počtech vstupních rastrů se data ukládají do virtuální paměti a rychlosť procesu se zpomalí⁵. Řešením je rozdělení datasetu na menší části (*t.rast.extract*).

Kombinace TGRASS a GRASS

Suma z plošných interpolací Modulem *r.mwprecip* jsou vygenerována minutová „časová okna“ z jednoho dne. Z oken jsou dále interpolovány plošné srážkové intenzity metodou RST a IDW. Cílem analýzy je vytvořit raster, který by charakterizoval srážkové úhrny z intervalu 3 hodin. Odečtením rasterů od sebe je získán objem vody, který představuje objemovou odchylku pro dané dva rastery ve zvoleném časovém intervalu.

Okna z *r.mwprecip* byla v ($mm \cdot h^{-1}$) po jedné minutě, abychom počítali s reálnými úhrny, převedeme na ($mm \cdot min^{-1}$). Pro porovnání obou interpolačních metod je možné v *r.mapcalc* vytvořit raster, jehož buňky představují absolutní hodnotou rozdílu dvou interpolačních metod. Modulem *r.univar* určíme základní statistické charakteristiky včetně sumy všech buněk rozdílného rasteru. Ta charakterizuje objemovou odchylku dvou rasterů ze tří hodin v (mm) ze zvoleného regionu.

⁵Při observaci rastru rozsahu jednoho týdne o časovém kroku 1 minuta (cca 10000 rastrov) trval výpočet 17 hodin a zabral 10 GB virtuální paměti (Ubuntu 13, AMD X3).

```

# Vytvoření datasetu
t.create output=rst_gama semantictype=mean title=Letnany
t.create output=idw_gama semantictype=mean title=Letnany

# Registrace map
t.register input=idw_gama@test file=timewin_l_idw
t.register input=rst_gama@test file=timewin_l_rst

# Kontrola
t.info input=rst_gama@test
t.info input=idw_gama@test

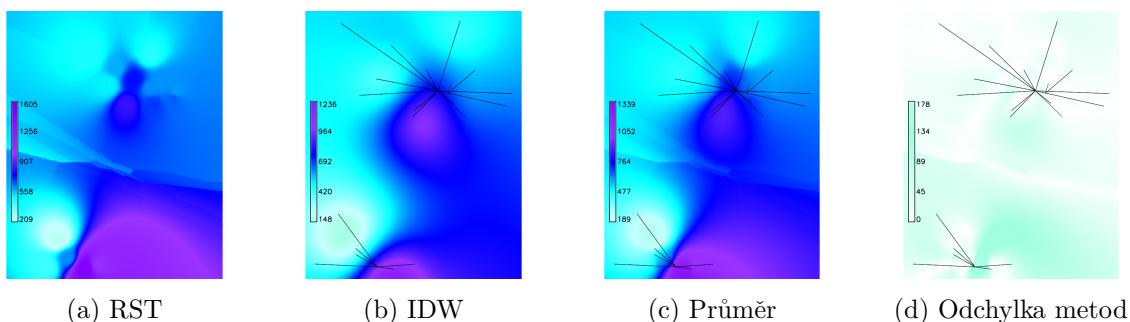
# Vytvoření subdatasetů
t.rast.extract input=idw_gama@test where=(start_time>2013-09-09\
    03:30:00) and (start_time<2013-09-09 06:30:00) \
    output=idw_gama_extract
t.rast.extract input=rst_gama@test where=(start_time>2013-09-09\
    03:30:00) and (start_time<2013-09-09 06:30:00) \
    output=rst_gama_extract

# Suma za 3 hodiny
t.rast.aggregate input=idw_gama_extract@test output=\ 
    idw_gama_extract_agg basename=gama3aggidw granularity=3 \
    hours method=sum
t.rast.aggregate input=rst_gama_extract@test output=\ 
    rst_gama_extract_agg basename=gama3aggrst granularity=3 \
    hours method=sum
# Průměr ze dvou map
t.rast.mapcalc inputs=idw_gama_extract_agg@test ,\ 
    rst_gama_extract_agg@test expression=(idw_gama_extract_agg@test+\ 
    rst_gama_extract_agg@test)/2 output=gamaSUM basename=gama_sum

```

Analýza demonstruje agregaci pouze do jednoho časového okna (rastru). V případě, že bychom chtěli vytvořit agregaci po třech hodinách z intervalu několika dní, v poslednímu kroku bychom využili *t.rast.mapcalc* místo *r.mapcalc*.

Transformace srážek do povodí Vytvoření nástroje pro přenesení hrubých dat do formy vypočtených srážek v GIS prostředí bylo prvním a potřebným krokem



Obr. 2.15: Rastry charakterizující rozdílné výsledky z jednotlivých interpolačních metod

k dalšímu možnému vývoji dalších GIS nástrojů. Jedním z možných postupů je automatická klasifikace a transformace srážek do definovaných subpovodí, která by byla vstupem pro srážko-odtokový hydrologický model.

Zjednodušená varianta úlohy demonstруuje využití funkcí GRASS a TGRASS pro transformaci srážek do subpovodí. Postup je následující:

1. Prvním krokem je vytvoření plošných interpolací z modulu *r.mwprecip*.

```
r.mwprecip.py -g database=letnany basetime=/adresar/norain \
    interval=minute lignore=/adresar/ignore pmethod=count \
    step=1
```

Vstupem do parametru `basetime` jsou dva časové intervaly období sucha vyplývající z měření srážkoměrů. Sumy srážek jsou vytvořeny po 1 minutě. Do parametru `lignore` vstupuje soubor s definovanými spoji (`linkid`), které vykazují vysokou chybovost. Linie spojů byly nahrazeny vždy jedním bodem, ze kterých se interpolují hodnoty intenzit srážek pomocí interpolace RST (výchozí nastavení). Výpočetní region je nastaven automaticky modulem `r.mwprecip`.

2. Následuje založení časoprostorového datasetu, registrace map a agregace po 15 minutách s funkcí sumace 6.2.
 3. Modul *r.in.gdal* umožňuje importovat rastrová data většiny obecně známých formátů. Model terénu ze Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)⁶ je

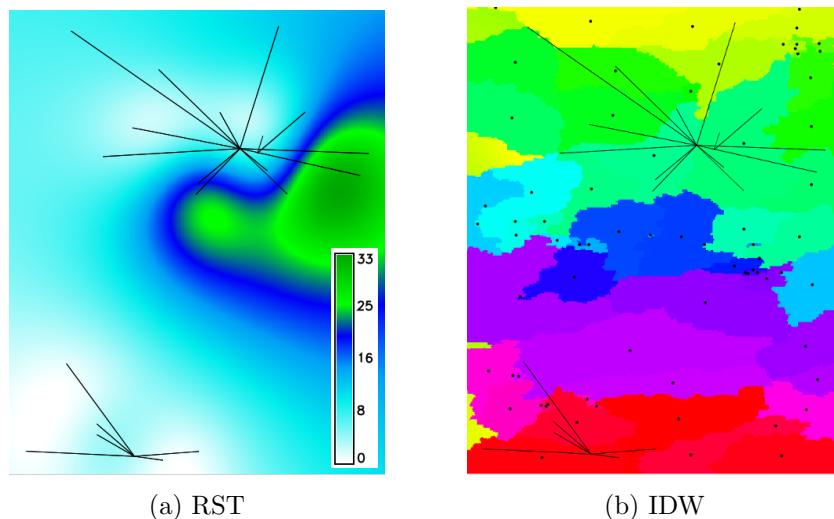
⁶<http://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/>

využit k vytvoření akumulace vody a z té vyplývající jednotlivá povodí v následujícím kroku.

4. Modul *r.watershed* umožňuje vytvoření teoretické vodní sítě, která je odvozena ze sklonu terénu. Jednotlivé vodní sítě představují teoretickou akumulaci vody. Z ní je možné určit subpovodí. Tento krok nám umožňuje demonstrovat úlohu bez dostupných reálných vektorových vrstev o jednotlivých povodích.

```
r.watershed elevation=dem_srtm threshold=5000 \
    accumulation=accumulation basin=basin
```

Parametr **threshold** určuje jemnost segmentace jednotlivých povodí. Menší hodnota vede k většímu počtu povodí.



Obr. 2.16: a) Agregovaný rastr - suma za 15 minut; b) povodí s bodovou vrstvou představující hodnoty jednotlivých povodí.

5. Posledním krokem je určení objemu srážek, které spadly do daných povodí. K tomu je vhodné využít modul *r.volume*, pro který jsou vstupními parametry rastr s hodnotami a rastr s klasifikovanými územími. Pro vstup rastru s hodnotami je použit výstupní rastr z *t.rast.aggregate*. Z názvu *max15minute_148* nelze poznat, o jaký časový interval se jedná; pro získání této informace je určen modul *t.rast.list*.

```
sum15minute_103 test3 2013-09-10 01:44:00 2013-09-10 01:59:00
```

```
r.volume input=sum15minute_103 clump=basin \
centroids=volume output=/adresar/r.volumeinfo
```

Odtud lze vybrat mapu z požadovaného intervalu, která je vstupem (`input`) pro `r.volume`.

Výsledkem je vektorová bodová mapa 2.16, kde ke každému bodu je připojena tabulka s hodnotami výsledků (sum, avg). Parametr `output` umožňuje uložení tabulky ve formě textového souboru se statistikami celé plochy výpočetního regionu. Aby výsledné hodnoty jednotlivých povodí byly v jednotkách stejných jako vstupní rastry ($mm \cdot h^{-1}$), je nutno výsledný objem vydělit počtem minut, po kterých byla nastavena aggregace.

Ve výše zmíněných příkladech byly demonstrovány jednoduché analýzy, které sloužily především k otestování datových výstupů z vlastních modulů a zároveň demonstrovaly základní a pokročilejší funkce časoprostorového modelu TGRASS.

Závěr

Téma zadání ”Analýza a vizualizace srážkových dat z mikrovlnných telekomunikačních spojů pomocí GIS“ vycházelo z přímých požadavků zadavatele² této práce, který spolupracuje na projektu mezinárodního charakteru. Mezi hlavní požadavky patřilo zpracování naměřených dat do vhodné formy v prostředí GIS. Tento krok je první a potřebný k dalším požadavkům vývoje GIS aplikací v rámci problematiky MV spojů. Sekundárním cílem práce bylo prověřit možné využití výsledků z vlastních modulů v rámci balíčku časoprostorových funkcí systému GRASS.

Modul *r.mwprecip* umožňuje výpočet srážek metodou MV spojů z externí databáze, ve které jsou uložena hrubá data z mikrovlnných vysílačů. Výstupem modulu jsou srážková data ve vhodném formátu jak pro standardní funkce GRASS tak pro časoprostorové analýzy. Vypočtená data jsou dostupná jak ve formě časových oken, tak ve f vhodné pro export pro jiná využití. Výstupní formát modulu podporující *Temporal GRASS framework* umožňuje větší možnosti při analýze časových řad srážek včetně dávkového exportu ve vhodném formátu pro vstup do srážko-odtokových modelů.

Vývoji vlastních modulů předcházela studia spojená s programovacím jazykem Python a problematikou databáze PostgreSQL. Kombinace těchto dvou nástrojů způsobovala problém s optimalizací zápisů do databáze. Při tisících až desetitisících zápisů do databáze vznikala vysoká strojová náročnost, která v rámci dostupných funkcí Python knihovny *psycopg* nešla zcela korektně odstranit. Současná implementace využívá zápisů do přechodných souborů s následným dávkovým načtením do databáze.

Prvotní pochopení nároků na daný GIS modul nasvědčovalo výhodě koncipovat psaní kódu procedurálně. V závěru psaní aplikace bylo zjištěno, že objektově orientovaný návrh by byl vhodnější a to především pro zvyšující se počet funkcí modulu. V rámci práce proběhl pokus o objektově orientovaný návrh, který nebyl z časového důvodu dokončen. Modul *r.mwprecip* je v současné době otevřený doplnění nových funkcí pro určení baseline a to především pro vývoj nových metod

²Odpovědný řešitel: Ing. Vojtech Bareš Ph.D, řešitel: Ing. Martin Fencl: GA ČR 14-22978S „Predikce srážkového odtoku v urbanizovaných povodích na základě deště generovaného útlumu signálu mikrovlnných spojů telekomunikační sítě“

jejího určování. Moduly, které vznikly v rámci této práce, byly přidány do *GRASS Add-ons* repozitáře a jsou současně volně dostupné pro uživatele systému GRASS.

V rámci vývoje aplikace s využitím *GRASS Python Scripting Library* bylo ze vzniklých požadavků na implementaci poukázáno na možné vylepšení dvou funkcí modulu *v.in.ogr*, které následně byly vedoucím práce v GRASS GIS upraveny.

Práce ukazuje na možné nové směry výzkumu v oblasti interpolací srážek z liniových reprezentací, které jsou zcela novým jevem na úrovni GIS. S velkou pravděpodobností bude v nejbližší době ze strany T-Mobile zpřístupněn pro projekt kvalitnější vzorek dat z pohledu hustoty MV spojů, který by umožňoval výzkum založený na významnějším datovém podkladu.

Závěrem lze konstatovat, že vlastní modul pro systém GRASS GIS dostatečně prokázal v rámci testování svou funkčnost a splnil předpoklad vytvoření datového rozhraní pro standardní a časoprostorové analýzy v prostředí GIS.

Seznam použitých zkratek

ANSI American National Standards Institute

API Application Programming Interface

CSV Comma Separated Values

DDL Data Definition Language

DML Data Manipulate on Language

DMT Digitalní Model Terénu

DSD Drop Size Distribution

DPZ Dálkový Průzkum Země

EPSG Geodetic Parameter Set

GIS Geographic Information System

GNU GPL GNU General Public License

GRASS Geographical Resources Analysis Support System

GUI Graphical User Interface

HMM Hidden Markov Model

IDW Inverse Distance Weighting

ITU International Telecommunication Union

MV mikrovlnny

OGC Open Geospatial Consortium

OSGeo Open Source Geospatial Foundation

ORDBMS Object-Relational Database Management System

RAM Random Access Memory (operační paměť)

RGB Red Green Blue

RST Regular Spline with Tension

RMS Root Mean Square

RSL Received Signal Level

STC The Space-Time Composite Data Model

SRTM Shuttle Radar Topography Mission

SRID Spatial Reference System Identifier

SQL Structured Query Language

TGRASS Temporal GRASS Framework

WKT Well-known text

wxGUI WxPython - based GUI for GRASS

Literatura

- [1] COPPOCK J.T., RHIND D.W. *The History of GIS* In Maguire D.J., Goodchild M.F., and Rhind D.W. (editors) Geographical Information Systems : Principles and Applications, 1991, Volume 1
- [2] NEBEKER, Frederik. *Calculating the weather: meteorology in the 20th century* San Diego: Academic Press, c1995, vii, 255 p. ISBN 01-251-5175-6.
- [3] SLAVÍČEK, Marek. *Zkoumání srážkoodtokových vztahů v urbanizovaném území* Praha, 2003. Disertační práce Ph.D. ČVUT.
- [4] Hydrometeorological Prediction Center *A Brief History of the Hydrometeorological Prediction Center* [cit. 2014-04-14] URL: <http://www.hpc.ncep.noaa.gov/html/WPC_history.pdf>
- [5] SENE, Kevin. *Flash floods forecasting and warning*. 2013. Dordrecht: Springer, 2013. ISBN 978-940-0751-644.
- [6] STRANGEWAYS, Ian. *Precipitation: theory, measurement and distribution*. New York: Cambridge University Press, 2007, x, 290 p. ISBN 978-052-1851-176.
- [7] World Meteorological Organization. *Guide to meteorological instruments and methods of observation CHAPTER 6*. WMO-No. 8. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2008. ISBN 978-926-3100-085.
- [8] Česká republika, *Návod pro pozorovatele meteorologických stanic*. In: Metodický předpis č. 13. Ostrava, 2013. URL: <http://old.chmi.cz/OS/pdf/metodicky_navod/MP.pdf>
- [9] KOHOUT, Jan. *Zpracování a prezentace srážkových dat měřících stanic meteorologického radaru pro ČHMÚ. Informační technologie pro praxi*. Ostrava: TANGER, 2003. s. 101-103. ISBN 80-85988-90-9.

- [10] KRÁČMAR, Jan. Český hydrometeorologický ústav. *Meteorologické radiolokátory*. ČHMÚ. [online]. 1997-2011 [cit. 2014-04-06]. URL: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info_radar/index.html>
- [11] RECOMMENDATION ITU-R P.838-3. *Specific attenuation model for rain for use in prediction methods*. ITU-R, (1992-1999-2003-2005). URL: <https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-E.pdf>
- [12] CARLTON,W. Ulrich. *Natural Variations in the Analytical Form of the Raindrop Size Distribution*. Department of Physics and Astronomy, Clemson University: Journal of Climate and Applied Meteorology, 1983, roč. 1983, č. 22. URL: <http://radarmet.atmos.colostate.edu/AT741/papers/Ulbrich_DSD.pdf>
- [13] ZINEVICH, A., H. MESSER a P. ALPERT. *Prediction of rainfall intensity measurement errors using commercial microwave communication links*. Atmospheric Measurement Techniques [online]. 2010, vol. 3, issue 5, s. 1385-1402 [cit. 2014-04-13]. DOI: 10.5194/amt-3-1385-2010. URL: <<http://www.atmos-meas-tech.net/3/1385/2010/>>
- [14] MESSER, H. *Environmental Monitoring by Wireless Communication Networks.*, Science [online]. 2006-05-05, vol. 312, issue 5774, s. 713-713 [cit. 2014-04-14]. DOI: 10.1126/science.1120034. URL:<<http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1120034>>
- [15] M, Schleiss, Rieckermann J. a Berne A. *Quantification and Modeling of Wet-Antenna Attenuation for Commercial Microwave Links*[online]. 06 únor 2013. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 2013[cit. 2014-04-13]. Volume:10.
- [16] OVEREEM, Aart, Hidde LEIJNSE a Remko UIJLENHOET. *Country-wide rainfall maps from cellular communication networks* [online]. 2012 [cit. 2014-04-13]. 110: 8. DOI: 10.1073/pnas.121796111. URL: <<http://www.pnas.org/content/110/8/2741.full>>
- [17] LEIJNSE, H., R. UIJLENHOET a J. N. M. STRICKER. *Rainfall measurement using radio links from cellular communication networks*. Water

- Resources Research [online]. 2007, vol. 43, issue 3, n/a-n/a [cit. 2014-04-13]. DOI: 10.1029/2006WR005631. URL:<<http://doi.wiley.com/10.1029/2006WR005631>>
- [18] Asaf Rayitsfeld, Rana Samuels, Artem Zinevich, Uri Hadar, Pinhas Alpert, *Comparison of two methodologies for long term rainfall monitoring using a commercial microwave communication system*. Atmospheric Research, Volumes 104–105, February 2012, Pages 119-127, ISSN 0169-8095, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.08.011>. URL: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809511002626>>
- [19] Historical Notes. *GRASS GIS* [online]. 1998-2014 [cit. 2014-04-17]. URL: <<http://grass.osgeo.org/home/history/>>
- [20] Sören GEBBERT a Edzer PEBESMA. *A temporal GIS for field based environmental modeling*. [online]. 2014, vol. 53, s. 1-12. DOI: 10.1016/j.envsoft.2013.11.001. URL: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136481521300282X>>
- [21] SMITH, Michael J, Michael F GOODCHILD a Paul LONGLEY. *Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools* [online]. 4th ed. Winchelsea, UK: The Winchelsea Press, c2013, s. 130-135 [cit. 2014-04-18]. ISBN 9781906221980.
- [22] LONGLEY, Paul *Geographical information systems: principles, techniques, management, and applications* [online]. 2nd ed., abridged. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2005., ch 8, [cit. 2014-04-18]. ISBN 0471735450.]
- [23] G. Langran and N.R. Chrisman. *A framework for temporal geographic information*. In: *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization* 25.3 (1988), pp. 1–14.
- [24] J. HUNTER, Gary a Ian P. WILLIAMSON. *Journal of Geographic Information System* The Development of a Historical Digital Cadastral Database. 1990, no.2, s. 167-179. URL: <http://csdila.unimelb.edu.au/publication/journals/ipw_90_historicalDCDB.pdf>
- [25] PELEKIS, Nikos, Babis THEODOULIDIS, Ioannis KOPANAKIS a Yannis THEODORIDIS. Literature Review of Spatio-Temporal Database Models. *The Knowledge Engineering Review*. 2004, September 2004, č. 19, s. 235-274.

- [26] ISO/IEC 9075-2:1999. *Information technology: Database languages SQL*. Part 2: Foundation. SQL/Foundation, 2011.
- [27] CHEN, Hao, Heechul HEECHUL a Jin XIAO. *Concept Architecture of PostgreSQL*. 2009. URL: <<http://www.inf.fu-berlin.de/lehre/WS09/DBS-Tech/Material/ConceptArchPostres.pdf>>
- [28] BARĚŠ, Pavel. *Implementace materializovaných pohledů v PostgreSQL*. Praha, 2010. Bakalářská práce. ČVUT FIT. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Kotala.
- [29] STOLZE, Knut. *SQL/MM Spatial: The Standard to Manage Spatial Data in Relational Database Systems*. 2003.<<http://doesen0.informatik.uni-leipzig.de/proceedings/paper/68.pdf>>
- [30] CHRISTL, Arnulf. *Introduction to Spatial Data Management with Postgis* [online]. [cit. 2014-04-20]. URL: <http://www.mapbender.org/presentations/Spatial_Data_Management_Arnulf_Christl/Spatial_Data_Management_Arnulf_Christl.pdf>
- [31] Mitas, L., Mitasova, H., *Geographical Information Systems* 2002; Burrough and McDonnell; Bonham-Carter, 1996, URL: <http://csiss.org/learning_resources/content/good_sa/#Interpolation>
- [32] GRASS Development Team. *GRASS 7 Programmer's Manual* [online]. c2000-2011, generated on Sat Apr 16 2011 [cit. 2011-03-19]. URL: <<http://grass.osgeo.org/programming7>>
- [33] HOFIERKA, Jaroslav, Helena MITASOVA, Lubos MITAS a Juraj PARAJKA. *Multivariate Interpolation of Precipitation Using Regularized Spline with Tension*. Blackwell Publishers Ltd, 108 Cowley Road, Oxford 2002.
- [34] KEYS, R. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing* Cubic convolution interpolation for digital image processing. [online]. 1981, vol. 29, issue 6, s. 1153-1160 [cit. 2014-04-29]. DOI: 10.1109/TASSP.1981.1163711.URL: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1163711>>
- [35] KREJČÍ, Jakub. *Možnosti simulace dopadů vývoje klimatu koncepčním hydrologickým modelem* Praha, 2011. Disertační. ČZU v Praze. Vedoucí práce Jiří Zezulák.

Přílohy

A Instalace systému GRASS

Postup instalace systému GRASS se odvíjí od dané platformy operačního systému. Následující ukázka postupu je pro systém GNU/Linux (distribuci Ubuntu), podrobnosti instalace pro systém MS Windows jsou popsány na portálu [freegis](#)².

Pomocí balíčku

Nejjednodušší je nainstalovat stabilní verzi GRASS, která je dostupná v balíčku. Lze jej nainstalovat pomocí správce balíčků *Synaptic* nebo z příkazové řádky:

```
$ sudo apt-get install grass70 grass70-gui
```

Ze zdrojového kódu

Ke stažení zdrojových kódů se využívá systému *Subversion*. Instalaci lze spustit daným příkazem v terminálu.

```
$ sudo apt-get install subversion
```

Dalším krokem je stažení zdrojového kódu systému GRASS (zde vývojová verze – trunk):

```
$ svn checkout svn checkout https://svn.osgeo.org/grass/grass/trunk grass_trunk
```

GRASS GIS vyžaduje řadu externích knihoven. Ty je možné snadno nainstalovat pomocí balíčků:

²http://freegis.fsv.cvut.cz/gwiki/GRASS_GIS_-_Instalace_MS_Windows

```
$ sudo apt-get install flex bison libncurses5-dev zlib1g-dev libproj-dev \
    proj-data proj-bin libreadline6-dev libgdal1-dev libtiff4-dev mesa-common-dev \
    libglu1-mesa-dev tcl8.5-dev tk8.5-dev libfftw3-dev lesstif2-dev libxmu-dev \
    libcairo2-dev g++ wx-common python-wxgtk2.8 libwxgtk2.8-dev libxmu-headers \
    libavcodec-dev libavformat-dev libswscale-dev libpq-dev
```

Následující kroky se skládají z konfigurace, komplikace a instalace. Nejdříve se přesuneme do složky grass_trunk.

```
$ cd grass_trunk
```

Dalším krokem je konfigurace:

```
./configure --prefix=/usr/local \
    --with-gdal --with-proj --with-proj-share=/usr/share/proj --with-geos \
    --with-nls --with-readline --with-cxx --enable-largefile \
    --with-freetype --with-freetype-includes=/usr/include/freetype2 \
    --with-sqlite --with-python --with-wxwidgets --with-pthread --with-cairo \
    --with-postgres --with-postgres-includes=/usr/include/postgresql \
    --with-pthread --with-pthread-includes=/usr/include/pthread
```

Dále komplikace zdrojového kódu:

```
$ make
```

Posledním krokem je instalace:

```
$ sudo make install
```

Pro spuštění GRASS slouží příkaz v terminálu:

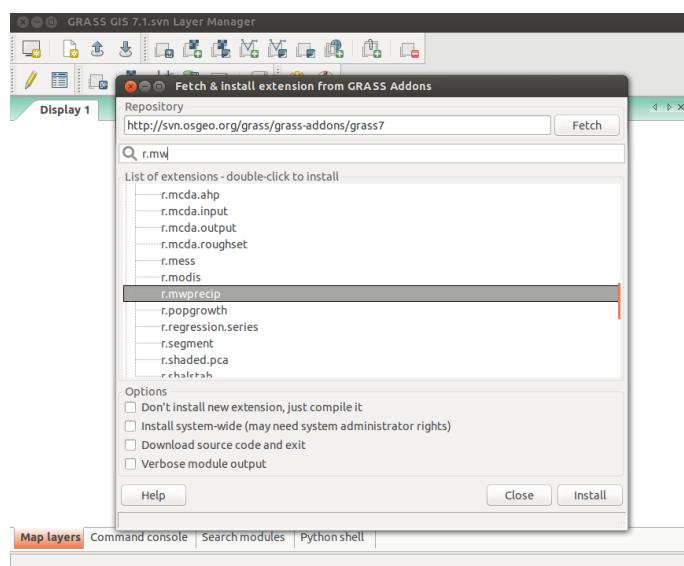
```
$ grass71
```

B Instalace modulů

Instalaci modulů z repozitáře GRASS Add-ons, kde jsou uloženy i moduly vzniklé v rámci této práce, lze stáhnout přímo z prostředí systému GRASS GIS.

B.1 Pomocí grafického rozhraní GRASS

V grafickém rozhraní GRASS je možné doinstalovat moduly pomocí volby: SETTINGS ⇒ ADDONS EXTENSIONS ⇒ INSTALL EXTENSIONS FROM ADDONS.



Obr. 17: Snímek okna modulu znázorňující volbu databáze

B.2 Z příkazové řádky GRASS

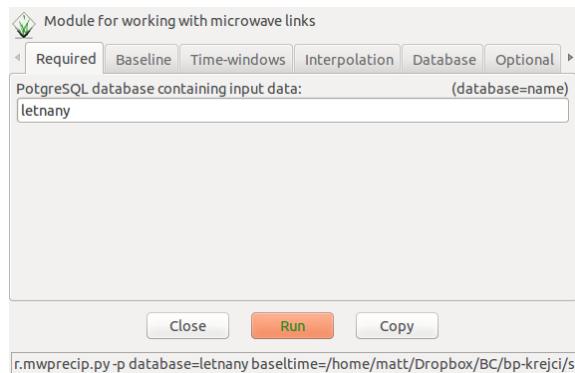
Stažení modulu *r.mwprecip* a *v.link.precip* je možno pomocí spuštění *g.extension* s následujícími parametry.

```
# Instalace modulů
$ g.extension extension=r.mwprecip
$ g.extension extension=v.link.precip
# Spuštění modulů
$ r.mwprecip
$ v.link.precip
```

C Ukázka konfigurace parametrů modulu

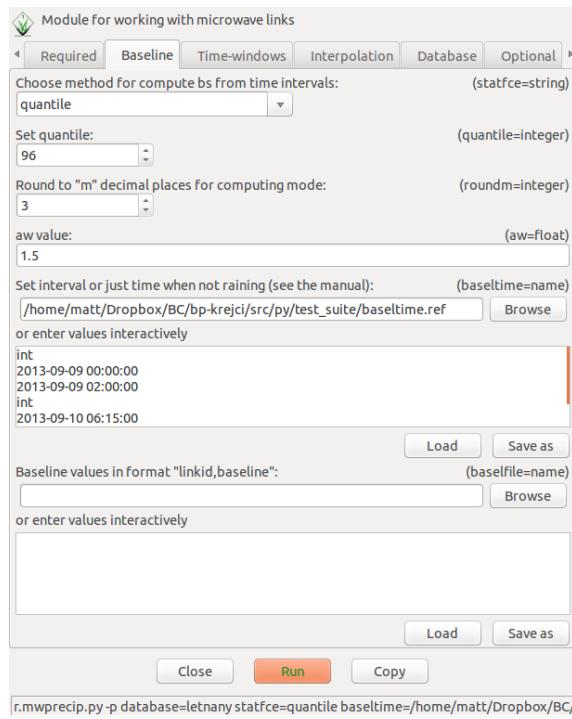
Pro názornost vytvořme následující zadání: Data jsou uložena v databázi *letnany*. Cílem zadání je vytvořit **rastry plošných interpolací** v časovém kroku 1 minuta. Tyto rastry nás zajímají pouze z **časového intervalu** od 2013-09-08 23:59:00 do 2013-09-09 23:59:00. Ze stejného období pro následující časoprostorové analýzy potřebujeme vytvořit „časová okna“ z časových řad srážkoměrů. Pro výpočet baseline známe časové intervaly nulových srážek (suchá období). Z těchto suchých období chceme určit baseline z horního 96 % **kvantilu** daných hodnot. Máme informaci o **rozbitých spojích** linkid= 63, 58 a 71. Jejich hodnoty pro odhadu plošných srážek chceme ignorovat. K plošným interpolacím využijeme metody IDW s exponentem 1.6 a počtem bodů zasahujícím do výpočtu 35. Vizualizaci rastru nastavíme vlastní **tabulkou barev**. Pro interpolaci chceme linie nahradit **rovnoměrně dvěma body**. Celý výpočet uložíme do **pracovního schematu ukazka**.

```
#nastavení přístupu k databázi.
database=letnany
```



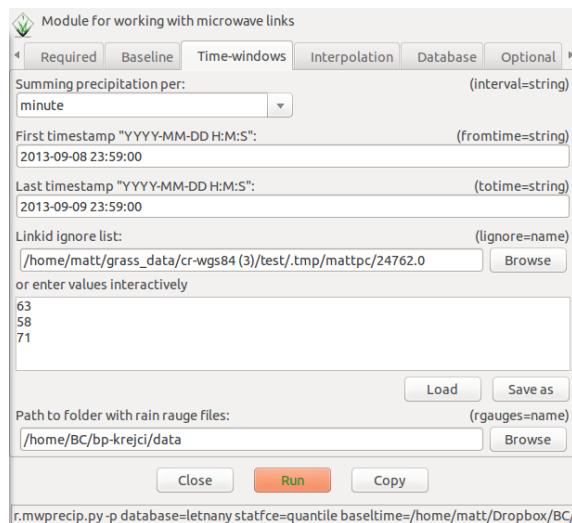
Obr. 18: Okno modulu pro povinnou konfiguraci

```
#volba kvantilu a suchého období - výpočet baseline
statfce=quantile quantile96 basetime= adresa/k/souboru
```



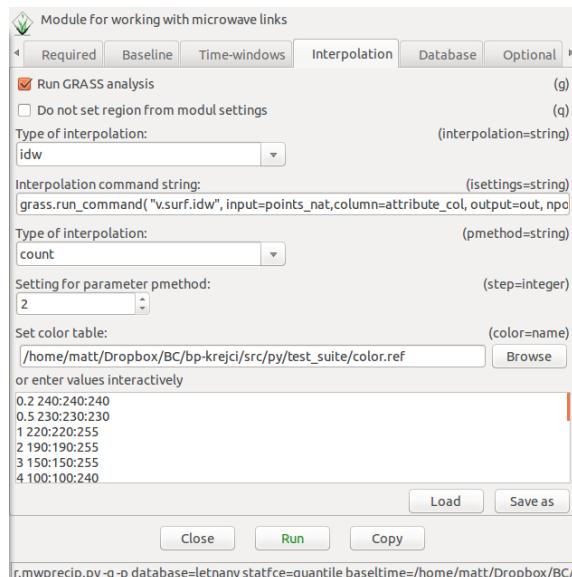
Obr. 19: Okno modulu pro konfiguraci určení baseline

```
#konfigurace časových oken pro interpolované rastry a srážkoměry
fromtime= 2013-09-08 23:59:00 totime= 2013-09-09 23:59:00 \
ignore=cesta/ignorovanespøje v rgauges=cesta/k/složce
```



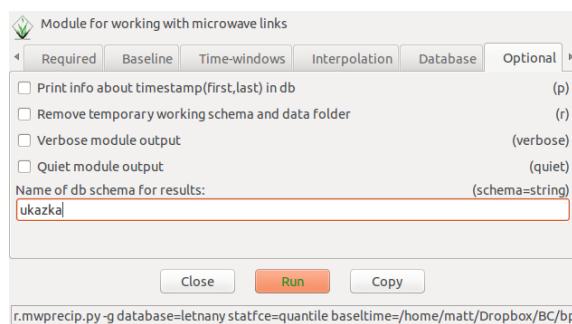
Obr. 20: Okno modulu pro konfiguraci vytvoření časových oken

```
#konfigurace plošných interpolací
isettings=grass.run_command( "v.surf.idw", input=points_nat, \
    column=attribute_col, output=out, npoints=35, power=1.8 )
pmethod=count step=2 color=cesta/k/tabulce/barevRGB \
-g
```



Obr. 21: Okno modulu pro konfiguraci plošných interpolací

```
#pojmenování pracovního schéma
schema=ukazka
```



Obr. 22: Okno pro nastavení pracovního schéma a doplňkových parametrů