

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Praha 2014

Matěj Krejčí

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
OBOR GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ANALÝZA A VIZUALIZACE SRÁŽKOVÝCH DAT
Z MIKROVLNNÝCH TELEKOMUNIKAČNÍCH SPOJŮ
POMOCÍ GIS

ANALYSIS AND VIZUALIZATION OF RAINFALLS 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

Zadávací 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 řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé. Studentovi, který při opakovaném zápisu bakalářskou práci neodevzdal v určeném termínu a tuto skutečnost řádně 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

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.

Abstract

Cílem této bakalářské práce je modelování dešťových srážek z dat mikrovlnných spojů telekomunikačních operátorů. Data ke zpracování jsou uloženy pomocí relační databáze PostgreSQL. K modelování srážek byl použit systém GRASS GIS Python API. Modul implementuje rekonstrukce dešťových srážek na základě uživatelské konfigurace. Další funkcionalitou je dávkové zpracování grafického výstupu srážek. Hlavní přínos modulu je v předzpracování dat pro hydrologické a meteorologické analýzy s využitím nástrojů GIS.

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

Abstract

TODO

Keywords: GIS, GRASS GIS, Python, PostgreSQL, precipitation, temporal analysis, interpolation

Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Analýza a vizualizace srážkových dat z mikrovlnných telekomunikačních spojů pomocí GIS“ jsem vypracoval samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály jsou uvedeny v seznamu zdrojů.

V Praze dne

.....

(podpis autora)

Poděkování

Tady bude podekovani

Obsah

Úvod	9
1 Měření dešťových srážek	11
1.1 Historie stručně	11
1.2 Současné nástroje na měření a odhad srážek	12
1.2.1 Srážkoměry	12
1.2.2 Meteorologický radar	15
1.3 Mikrovlnné spoje	17
1.3.1 Princip	17
1.3.2 Výpočet srážek	18
1.3.3 Chyby	18
1.4 Srovnání metod měření srážek	18
1.4.1 Chyby	20
1.4.2 Konzistence dat	20
1.4.3 Potenciál v hydrometeorologii	20
2 Interpolace srážek	20
3 GRASS GIS modul	20
3.1 Funkcionalita	20
3.2 Implementační nástroje	20
3.2.1 GRASS API	20
3.2.2 PostgreSQL	20
3.2.3 Psycpg?	20
3.3 Vstup	20
3.4 Výstup	20

4	Časoprostorové analýzy	20
4.1	Využitelnost	20
5	Závěr	20
6	Příloha	20
6.1	Dokumentace	20
6.2	Uživatelská příručka	20
	Závěr	20
	Seznam použitých zkratk	21
	Použité zdroje	22

Úvod

Enviromentální modelování se v posledních době rozšířilo ve velkém měřítku. Velkou částí k tomu přispěla dostupnost informačních technologií a s ním spojený zájem vědeckých pracovišť o tento obor. Již ze samotného názvu vyplývá, že enviromentální modelování se zabývá životním prostředím a jeho modelováním. Pod tento obor spadá nespočetné množství podoborů, které se především liší kladením rozdílných otázek. Specifikovat jednotnou definici pro enviromentálního modelování je pro jeho multidisciplinaritu velmi obtížné. Modelování přírodních procesů vzniklo v důsledku zájmu člověka o pochopení přírody. Studium a simulace přírodních jevů z oborů fyzikálních, matematických, biologických a chemických v dnešní době velmi usnadňuje člověku život a v některých regionech je člověk i přímo závislý na zprostředkovaných výsledcích, které jsou produktem enviromentálních modelů.

Modelování dešťových srážek je jednou z velkých disciplín z oboru enviromentálního modelování. Když se poohlédneme do první poloviny 19. století, tak právě meteorologie byla jednou z prvních disciplín, která definovala pojem enviromentální modelování, tak jak ho chápeme nyní. Modelování srážek na zemském povrchu se s vývojem klimatu stává v poslední době důležitým úkolem. Oproti rozvoji fyzikálně numerických modelů a to především díky stále se zvyšujícím výpočetním výkonům počítače, nebyl technologické pokrok ve sběru srážkových dat v posledních desetiletích takřka zaznamenán. Pracovníky meteorologických a hydrologických ústavů ve vývoji brzdí nedostatečně přesná a neaktuální srážková data, která jsou jedním z hlavních vstupů pro další modely. Studie z posledních let poukazují na možnost využití mikrovlnných(MV) spojů vysílačů telekomunikačních operátorů ke sběru srážkových dat. Tento zdroj je levnější a přesnější než sběr pomocí radaru.[1] Největší potenciál sběru přesných srážkových dat v reálném čase je ve vylepšení městských odtokových modelů. Pro efektivitu těchto modelů je sběr dat dostatečným rozlišení a v reálném čase nutností.

Hlavním cílem této práce je vyvinutí nástroje pro zpracování hrubých dat z MV vysílačů v prostředí GIS, čímž se zpřístupní nespočet dalších analýz pro vývoj tohoto poměrně mladého výzkumu. Téma práce bylo založeno na požadavcích zpracovatele projektu, který se zabývá problematikou odhadu srážek z MV zdrojů v rámci projektu TeleMAS v souvislosti s modelováním srážko-odtokových procesů v městských

povodích. Tento projekt je řešen v úzké vědecké spolupráci s ETH-Eawag a odborné spolupráci se společnostmi T-Mobile a Veolia ČR a nyní nově s Ericsson Research (Sweden).

1 Měření dešťových srážek

První část této kapitola má za cíl přiblížit čtenáři současné metody měření dešťových srážek. Liší se především v přesnostech, časové variabilitě a vhodnosti výstupu pro další využití. Tento úvod do problematiky měření srážek by měl napomoci k lepšímu pochopení výhod či nevýhod metody odhadu srážek pomocí MV, která bude v druhé části kapitoly představena a s těmito metodami porovnána. Nejdříve se ale podíváme trochu do historie.

1.1 Historie stručně

Podíváme-li se do historie a opomeneme nejasné zmínky měření srážek z období 100 n.l. v Palestině, dostaneme se k přelomu 14-15. století na území Korei za vlády krále Sejong.[4] První náznak vynalezení srážkoměru vzniklo z rozhodnutí, že místo výkopů v pudě pro kontrolu vlhkosti, bude efektivnější mít standardizovaný nástroj na měření deště. Oproti neznámým metodám měření se alespoň dochovaly zmínky o rozměrech a tvaru srážkoměru. Hlavním účelem měření bylo efektivnější rozhodování panovníka při určování výše daní z obdělávaných polí farmářů. S dalším mezníkem v historii vývoje srážkoměrů měl co do činění angličan Sir Christopher Wren v letech 1661.[6] Vynalezl srážkoměr, který fungoval na principu vážení kapaliny, čímž se velmi podobal současným standardům (jeden gram vody je ekvivalentem ke krychlovému centimetru objemu vody). První měření srážek v metrických jednotkách učinil pan Benjamin Franklin. Bylo tomu v letech 1790, kdy byl poprvé metrický systém definován a stejný rok se stal i panu Franklin osudný. Od té doby se principiálně srážkoměry nemění. Samozřejmostí je, že se v průběhu staletí dochází k jejich zpřesňování přesnosti měření, standardizaci a v posledních desetiletích především k automatizaci.

Mezníkem ve sběru srážkových dat se bezesporu stal radar. Jak již bylo zmíněné, že nic nevzniká bez vyšší motivace, v tomto případě to byl vojenský konflikt. Při druhé světové válce byl do provozu uveden první experimentální radar, který sloužil k metrologickému pozorování. Přesněji tomu bylo roku 1930 v USA. [2] Roku 1959 následovalo první vytvoření radarové sítě WRS-57 v USA. Postupem času se poté rozšířila metoda odhadu srážek radarem zcela globálně.

1.2 Současné nástroje na měření a odhad srážek

Dešťové srážky jsou definovány jako kondenzace vodní páry v kapalném nebo pevném stavu, které padají z oblohy či 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.[5]

1.2.1 Srážkoměry

Srážkoměr je přístroj používaný v meteorologii a hydrologii k měření srážkových úhrnů. Funkčností se srážkoměry dělí na dešťové a na srážkoměry, které měří i srážky pevného skupenství. Tyto srážky se přeměňují na ekvivalent vody a až poté se měří. Je zde důležité podotknout, že produktem srážkoměrů jsou bodové srážkoměrné data.

Ombrometr je jeden z nejjednodušších typů srážkoměru. Je tvořen válcem s nálevkou, která převádí padající srážky do nádoby uvnitř válce. Srážkový úhrn se změří přelitím obsahu nádoby do kalibrovaného odměrného válce. Pro zachycení sněhu se z ombrometu sundá nálevka a sníh se nechává roztát. Tyto srážkoměry se využívají velmi zřídka.

Výhody jsou zde pouze v jednoduchosti obsluhy bez nutnosti kalibrace a také i nejmenší náklady na pořízení.

Nevýhody jsou především nutnosti asistovaného měření. Dále pak také v nefunkčnosti přes zimní období, kdy srážkoměry zamrzají.

Ombrograf se skládá z nádoby s plovákem a registračního zařízení. Srážky stékají do nádoby s plovákem, na který je napojeno registrační zařízení, které zapisuje údaj na otáčející se roli papíru. Takto vytvořený záznam se nazývá ombrogram. Záznam popisuje průběh celkového množství srážek v čase, z něho se dá odvodit intenzita srážky. Podle doby otočky bubnu kolem své osy rozlišujeme přístroje s týdenním (buben s registrační páskou se otočí o jednu otočku asi za 168 hodin) a jednodenním (otočka asi 24 hodin) chodem.[8]

Výhody ombrografu jsou v možnosti kontinuálního sledování srážkových úhrnů.

Nevýhody těchto měřících stanic jsou v přesnosti. Údaje z nich získané jsou většinou méně přesné než ze základních přístrojů. Dalším faktorem je nutnost pravidelné obsluhy, která a spočívá v natažení hodinového stroje, výměny pásky a doplnění registračního inkoustu.

Člunkový srážkoměr je jeden s nejvíce používaných srážkoměrů současné doby.

Princip jeho funkčnosti je založen na překlápěcím člunku, jehož jedna polovina se po dosažení úhrnu srážek 0.1 mm překlopí, čímž se polovina vyprázdní a začne se naplňovat druhá polovina. Takto se cyklus opakuje. Stanice překlopení zaznamenává a z počtu pulsů za určitý čas se vypočítají srážkové úhrny. Některé typy těchto srážkoměrů jsou vybaveny vyhříváním a tudíž mohou měřit i tuhé srážky.

Výhody těchto srážkoměrů jsou bezesporu v automatizovaném běhu stanice, bez nutných krátkodobých obsluh.

Nevýhody člunkových srážkoměrů jsou při prudkých deštích, kdy mohou s nedostatečně rychlého překlápění člunku výsledné úhrny srážek být podhodnoceny.[7]

Váhový srážkoměr funguje na principu vážení kapaliny. Váhový srážkoměr se skládá z nádoby, která je postavena na váze. Srážkoměr do nádoby zachycuje kapalinu, která je vážena tenzometrickou váhou napojenou na řídicí elektronickou jednotku.

Výhody jsou v přesnosti měření a konstrukci srážkoměru. Tuhé srážky váhový srážkoměr zachytí a vyhodnotí bez prodlevy nutné pro jejich roztátí. Rovněž přesnost váhového srážkoměru není závislá na intenzitě srážek oproti srážkoměru s překlápěcím člunkem, kde přesnost se vzrůstající intenzitou klesá.

Nevýhody těchto zařízení jsou ve vyšší pořizovací ceny a díky složitosti mechanismu také vyššími náklady na údržbu.

Chyby při měření srážkoměrem

Měření srážek srážkoměry jsou ovlivněny mnoha faktory, které určují konečnou přesnost a spolehlivost tohoto typu měření.

Přístrojové chyby se přesněji odvíjejí od jednotlivých zařízení. Přesnost u Ombrografů se pohybuje okolo 0.2 mm do úhrnu srážek 20 mm za hodinu. Člunkové srážkoměry mají chybu měření 0.5 mm pro úhrn 20mm srážek za hodinu. Chyby se zvyšují s vyšší intenzitou srážek. Při srážkách 150 mm za hodinu je chyba větší než 3%. [5]

Proudění vzduchu je jedním z nejvíce nežádoucích vlivů, které nejvýznamněji ovlivňují přesnost měření. Zamezení tomuto vlivu je velice obtížné zabránit. V nejlepším případech by mělo být ve vodorovné poloze. Z toho plynou nároky na umístění přístroje. Minimalizovat nežádoucí proudění větru se řeší pomocí několika pravidel: umístění mimo strmá území a zastavěné lokality. Umístění zařízení co nejnižší k zemi. Umístění na trávník k zabránění vstupu odražejících se kapek.

Chyby ze smáčení jsou způsobeny nedostatečným hydrofobním povrchem nádob a v případě srážkoměru s člunky v neúplném vylití kapaliny při vyprazdňování. Dalším faktorem jsou přírodní vlivy, především zachycování nečistot, prachu, pavučin a dalších materiálů absorbujících kapalinu. Z toho se tvoří zbytkové vody, které tvoří další chyby.

Chyby z odpařování mají vyhřívané člunkové srážkoměry. Jsou způsobeny vypařováním vody s člunku což při malých srážkových úhrnech způsobuje značné chyby.

Sklápění člunku je hlavním problémem člunkových srážkoměru. Při velkých deštích vstupuje do voda do trychtýře i když je člunek ve stavu vylévání. To způsobuje odvádění vody která nebyla změřena.

1.2.2 Meteorologický radar

Radarová měření díky plošnému pokrytí a dobrému prostorovému i časovému rozlišení dat jsou vhodné pro synoptickou a leteckou meteorologii. Poskytují přehled v reálném čase o pohybu a struktuře srážkových systémů, umožňují velmi krátkodobou předpověď v řádech minut až hodin a z níž plynoucí varování před nebezpečnými meteorologickými jevy.[11]

Princip radaru je založen na dopplerovském jevu.[1] Vysílací zařízení generuje opakovaně v řádu mikrosekund krátké elektromagnetické pulsy, které jsou vysílány ve tvaru úzkého svazku do atmosféry. Elektromagnetická energie se v atmosféře odrazí jak od meteorologických objektů tak i objektů jiných (letadla, terén). Část elektromagnetické energie, která není pohlcena nebo odražena jiným směrem je detekována přijímačem radaru. Ze známé polohy antény, síly signálu a doby mezi jeho vysláním a přijetím se určí vzdálenost a poloha objektu, srážky. Pro meteorologické účely se využívá především dlouhých vlnových délek v rozsahu 1-10 cm, kterému odpovídá přibližně desetinásobek velikosti průměrných dešťových kapek nebo pevných částic. Kratších vlnových délek se využívá k zaznamenání menších částic jako je například mlha. Zde nastává problem v rychlém oslabení signálu.[9]

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.

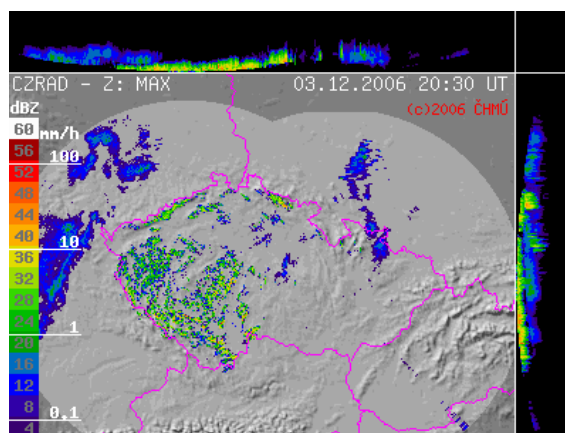
Rozsah meteorologického radaru bývá okolo 250 km. Hodnoty naměřené radarem mohou být použity pro odhad okamžitých intenzit srážek do vzdálenosti přibližně 150 km od radaru.[10]

Chyby radarových snímků

Nemeteorologické objekty které představují nejčastěji letadla. Ty způsobují na snímcích radaru izolované body ve větších výškách.

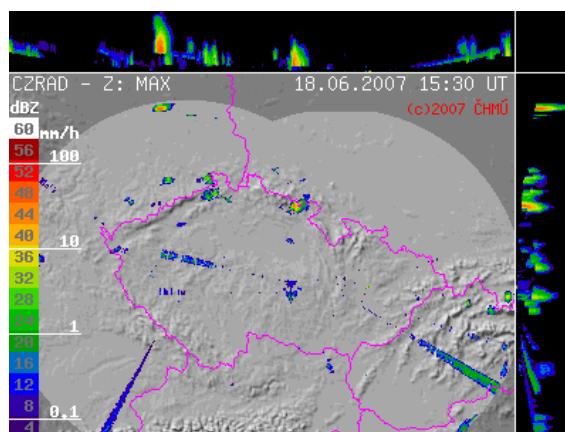
Ostře ohraničené buňky jsou důsledkem nestabilitou a vlastním šumem radaru.

Tato chyba tvoří občasné jednotlivé pixely s malou odrazivostí, případně soustředěné do tvaru paprsku.



Obrázek 1: Příklad ostře ohraničených buněk ¹

Rušení radaru jiným signálem na blízké frekvenci způsobují ostré radiální paprsky, případně spirály. Často tato rušení způsobují WiFi sítě.



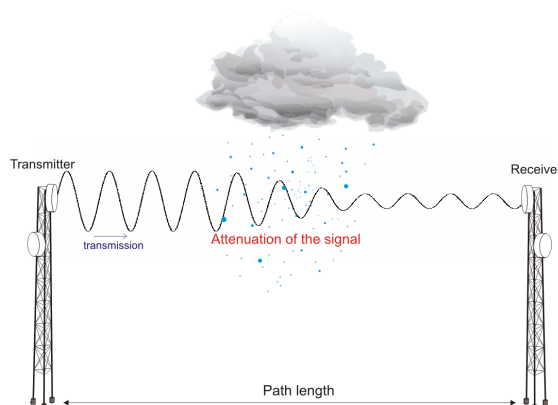
Obrázek 2: Příklad rušení radaru radiálními paprsky ²

¹<http://www.meteoradar.cz/obr/0612032030.gif>

²<http://www.meteoradar.cz/obr/0706181530.gif>

1.3 Mikrovlnné spoje

Mikrovlnné (MV) spoje 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.



Obrázek 3: Schématické znázornění útlumu MV dešťovými srážkami ¹

1.3.1 Princip

Mikrovlny jsou elektromagnetické vlny o vlnové délce v rozpětí od 1 mm do 1 m. Tomu odpovídá frekvence 0.3 GHz 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

¹http://lte.epfl.ch/files/content/sites/lte/files/Research/microwave_link.png

rozsahu jsou dešťové kapky. Jednotlivé spoje se vždy skládají ze dvou vysílačů. Vysílač neustále odesílá MV vlny, které jsou nositelem informace zajímavé především pro telekomunikace. Vedlejším produktem této komunikace je údaj o intenzitě signálu, jehož základní jednotkou je decibel[dB]. Zaznamenat hodnotu intenzity signálu odeslaného a druhým přijímačem přijatého je možné bez dalších hardware instalací či úprav. Pomocí fyzikálně-parametrického modelu dle doporučení ITU-R[12] lze vypočítat srážky.

1.3.2 Výpočet srážek

Vysílané intenzity signálu jednotlivých MV spojů mají konstantní

1.3.3 Chyby

Dešťové srážky se skládají z dešťových kapek, které nabývají mnoha variací velikosti a tvarů.

Hydrometeorological Application of Microwave Links: Measurement of Evaporation and Precipitation

1.4 Srovnání metod měření srážek

There is an urgent need for high-quality rainfall observations with high spatial and temporal resolutions. Weather radars are in principle suited for that purpose, but often need adjustment due to gross errors. In most cases only few rain gauge measurements are available to adjust the radar data in real-time. The estimation of rainfall using microwave links from commercial cellular telephone networks is a new source of information, which may provide a partial solution to this problem

1.4.1 Chyby

1.4.2 Konzistence dat

1.4.3 Potenciál v hydrometeorologii

2 Interpolace srážek

3 GRASS GIS modul

3.1 Funkcionalita

3.2 Implementační nástroje

3.2.1 GRASS API

3.2.2 PostgreSQL

3.2.3 Psycopg?

3.3 Vstup

3.4 Výstup

4 Časoprostorové analýzy

4.1 Využitelnost

5 Závěr

6 Příloha

6.1 Dokumentace

6.2 Uživatelská příručka

Závěr

Seznam použitých zkratek

GIS	Geographic Information System (Geografický informační systém)
GRASS	Geographical Resources Analysis Support System
GUI	Graphical User Interface (Grafické uživatelské rozhraní)
XML	Extensible Markup Language

Použité zdroje

- [1] RAGHAVAN, S. *Radar meteorology*. 31 Oct 2003. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003, 549 s. ISBN 14-020-1604-2.
- [2] SENE, Kevin. *Flash floods forecasting and warning*. 2013. Dordrecht: Springer, 2013. ISBN 978-940-0751-644.
- [3] GREEN, McLaughlin a Milton LOMASK. *Vanguard - A history: succes - AND AFTER* <http://history.nasa.gov/SP-4202/toc2.html>. [online]. [cit. 2014-04-03]. URL:<<http://history.nasa.gov/SP-4202/chap12.html>
- [4] STRANGEWAYS, Ian. *Precipitation: theory, measurement and distribution*. New York: Cambridge University Press, 2007, x, 290 p. ISBN 978-052-1851-176.
- [5] 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.
- [6] ASIT K. BISWAS Notes and Records of the Royal Society of London: The Automatic Rain-Gauge of Sir Christopher Wren UK: The Royal Society, 1967. ISSN 00359149.
- [7] SEVRUK, B. *Niederschlag als Wasserkreislauf-element. Theorie und Praxis der Niederschlagsmessung*. Zurich-Nitra: Eigenverlag ETH Zurich, 2004, 200 s, ISBN 80-969343-7-6.
- [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] DOVIAK, R. J.; D. S. Zrnic. *Doppler Radar and Weather Observations (2nd ed.)* (1993), San Diego CA: Academic Press, ISBN 0-12-221420-X.
- [10] 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.
- [11] 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

- [12] 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