

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2008

Jakub Eliáš

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**Analýza srážkoměrných údajů z různých lokalit ČR z
hlediska predikce útlumu deštěm.
(zhlediska radiokomunikačních spojů)**

Jakub Eliáš

Bakalářská práce

2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub ELIÁŠ**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**

Název tématu: **Analýza srážkoměrných údajů z různých lokalit ČR
zhlediska predixe útlumu deštěm (zhlediska
radiokomunikačních spojů)**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Přehled dosavadního zpracování tématu a možnosti dalšího vývoje. Přehled dostupných dat ke zpracování. Zpracování vybraných dešťoměrných dat ve způsobu vhodném pro predikci útlumu deštěm. Závěr a doporučení pro využití v praxi.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Fišer O., Řezáčová D.: Diurnal and Seasonal Variations of Water Vapour and Cloud Vapour Attenuation in Microwave Frequency Bands," Radio-engineering, Vol. 6, No. 3, 1997, str. 1-5
Fišer O.: On the Tipping-Bucket Rain Measurement Applied to Microwave Propagation (Theory and Actual Results), URSI F Open Symposium, Garmisch Partenkirchen, 12-15.2.2002, CD, str. 1-4
Fišer, O., Polonio, R, Vejvoda, J.: Diurnal Variation of Rain in Milano, Příspěvek publikovaný na 5th MCM (Vigo, Španělsko, 27.-29.5.1998) (CP51A12), 1-5

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Ondřej Fišer, CSc.
AV ČR, Ústav fyziky atmosféry

Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2009**



doc. Ing. Simeon Karamazov, Dr.

děkan



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2009

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 15. 5. 2009

Jakub Eliáš

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu této práce doc. Ing. Ondřeji Fišerovi, CSc., za podporu, jeho skvělé znalosti a zkušenosti, ochotu vysvětlit určité věci k tématu a poskytnutí materiálů k napsání této práce. Především také že si vymezil čas v jeho již tak nabytém programu.

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá popsáním a zpracováním srážkoměrných dat z různých míst v ČR a interpretaci jejich vlivu na přenos radiových vln.

Podrobněji v této práci popisují činnost srážkoměru, výstupní data, jejich zpracování v Matlabu a následné metody přepracování dat na útlum radiového přenosu.

Klíčová slova:

Srážkoměr, intenzita srážek, útlum srážkami.

Abstract:

This bachelor work is putting mind to describe and process the rainfall data from different places in area of the Czech Republic and interpretation the feedback of this data to radio data communication.

It's detailed describe of Raingauges are described in details, its output data, processing in the Matlab. A method of conversion of rain data to rain attenuation is following.

Keywords:

Rain gauge, rain rate, attenuation by rain.

Obsah:

1. Úvod	10
2. Pojmy	11
3. Srážkoměry	11
3.1. Druhy a popis funkce	12
3.2. Výstupní data srážkoměru	13
3.3. Ukázka srážkoměru	14
4. Metoda zpracování (Popis struktury dat)	15
5. Výsledky	17
5.1. Data ročně	18
5.2. Data měsíčně.....	21
6. Výpočet útlumu z intenzity srážek	27
6.1. Popis metody pro výpočet útlumu z intenzity srážek	27
6.2. Úprava vzorce výpočtu útlumu pro družicový spoj	30
6.3. Distribuční funkce útlumu.....	31
6.4. Pravděpodobnost srážek na území ČR.....	32
7. Praktický výpočet útlumu z intenzity srážek	34
8. Závěr	36

Seznam obrázků

Obr. 1 Ombrograf [5].....	12
Obr. 2 Princip srážkoměr [6].....	13
Obr. 3 Výstupní data ze srážkoměru	13
Obr. 4 Tělo srážkoměru [7].....	14
Obr. 5 Vnitřek srážkoměru (viz. Také Obr. 2) [7].....	14
Obr. 6 Stanoviště měření	15
Obr. 7 Upravená data	16
Obr. 8 Seznam dat z PHA-ÚFA	17
Obr. 9 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, rok 2008.....	19
Obr. 10 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, rok 2007.....	19
Obr. 11 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, rok 2006.....	20
Obr. 12 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, rok 2005.....	20
Obr. 13 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, červen 2008.....	22
Obr. 14 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, září 2008.....	23
Obr. 15 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, červenec 2007.....	24
Obr. 16 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, srpen 2007.....	25
Obr. 17 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, červen 2006.....	26
Obr. 18 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, srpen 2006.....	27
Obr. 19 Tvar dešťového jádra	28
Obr. 20 Družicový spoj s parametry pro určení srážkového útlumu.....	30
Obr. 21 Pravděpodobnost výskytu srážek pro Třeboň.....	34
Obr. 22 Dešťová kapka.....	34

Seznam Tabulek

Tab. 1 Zkratky stanic	16
Tab. 2 Tabulka dat pravděpodobnosti překročení intenzity srážek pro rok 2008 ze 4 měřících stanovišť.....	18
Tab. 3 Hodnoty intenzity srážek v Praze 2008.....	21
Tab. 4 Hodnoty intenzity srážek v Třeboni 2008.....	22
Tab. 5 Hodnoty intenzity srážek v Plošticích 2008.....	22
Tab. 6 Hodnoty intenzity srážek na hvězdárně 2008.....	22
Tab. 7 Hodnoty intenzity srážek v Praze 2007.....	23
Tab. 8 Hodnoty intenzity srážek v Třeboni 2007.....	23
Tab. 9 Hodnoty intenzity srážek v Plošticích 2007.....	24
Tab. 10 Hodnoty intenzity srážek na hvězdárně 2007.....	24
Tab. 11 Hodnoty intenzity srážek v Praze 2006.....	25
Tab. 12 Hodnoty intenzity srážek v Třeboni 2006.....	25
Tab. 13 Hodnoty intenzity srážek v Plošticích 2006.....	26
Tab. 14 Hodnoty intenzity srážek na hvězdárně 2006.....	26
Tab. 15 Konstanty pro přibližný výpočet útlumu deštěm.....	30

1. Úvod:

Déšť, jako překážka, kterou procházejí elektromagnetické vlny a dochází k útlumu, patří mezi hydrometeory. Ostatní hydrometeory; mlha, sníh. Z hydrometeorů se v Evropě nejvíce projevuje déšť. Zde je útlum způsoben absorpcí energie vodní kapkou a nežádoucím rozptylem. Samozřejmě závisí i na *dálce* radiového spoje, přenosovém *kmitočtu*, *polarizaci* a *klimatických podmínkách*.

Při plánování systémových parametrů radiových spojů je důležité znát, jak dlouho a jak silně bude signál vlivem deště utlumen (zeslaben nebo znehodnocen). U *analogových spojů* se jedná o maximální přípustný útlum a u *digitálních spojů* o požadovanou chybovost.

V případě problému, jímž se zabývá tato bakalářská práce, je třeba zohlednit útlum především v deštivých měsících. A jelikož tento průzkum omezíme pouze na území ČR (podobné i v Evropě), musíme předpokládat nejvyšší útlum v letních měsících. S útlumem počítáme pouze pro kmitočty nad 10GHz, jinak je zanedbatelný. Z dlouhodobých měření v daných lokalitách jsou vytvářeny statistiky útlumu deštěm pro denní období, jednotlivé měsíce i celoroční statistiky ~ *denní* a *sezónní* chod. Denní chod – kdy prší více (ráno, odpoledne, večer).

Dále se tedy budeme zabývat daty, které naměřily měř. stanice (srážkoměry) na určitých místech ČR (Praha, Hradec Králové - 2 stanice, Třeboň, Frahelž – okres Jindřichův Hradec), z důvodu predikce útlumu deštěm.

2. Pojmy

Úhrn srážek

Jedná se o veličinu, která značí, kolik naprší mm [3]. Úhrny jsou sbírané v jednominutových intervalech. V důsledku toho, zhodnotitelné výsledky mohou být ztraceny, protože metoda funguje na bázi průměrování. Udává se tedy v [mm] a značí se písmenem **H**.

Intenzita srážek

Značí se písmenem **R**. Je to vlastně derivace úhrnu srážek podle času:

$$R = \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad [\text{mm/h}] \quad (2.1)$$

Měrný tlum způsobený deštěm

Můžeme ho pro představu popsat vzorcem (2.2), ale je to pouze zjednodušené podání. Přesnější převod si ukážeme v kapitole *Výpočet útlumu z intenzity srážek*.

$$\alpha_R = a \cdot R^b \quad [\text{dB/km}] \quad (2.2)$$

Kde a , b jsou konstanty, které v sobě zahrnují vliv kmitočtu, polarizace a teploty.

3. Srážkoměry

Jak už nám název napovídá srážkoměr je přístroj používaný v meteorologii a hydrologii k měření srážkových úhrnů. Pojďme si popsat, jaké druhy se vyrábějí a jak a nač se používají.

3.1. Druhy a popis funkce

Ještě na chvílku odbočme a pojďme se pro zajímavost podívat na něco málo do historie. Ve Starověké Indii začali kolem roku 400 př.n.l. používat srážkoměry v podobě jednoduché mísy umístěné strategicky na polích, které obdělávali indiští rolníci. Tento standardizovaný srážkoměr poté ukazoval, jak je půda zavlažována. Údaje pak sloužily k výpočtu základu daně z půdy.

Jako první popíšeme, dá se říci nejjednodušší provedení, *Ombrometr*. Je tvořen válcem s nálevkou, kterou jsou padající srážky sváděny do nádoby uvnitř válce. Úhrn srážek se zjistí přelitím do kalibrovaného odměrného válce. Možno měřit i sněhové srážky. Sníh se zachytává do ombrometru bez nálevky a nechává roztát [4].

Ombrograf umožňuje měřit srážkové úhrny kontinuálně. Srážky stékají do nádoby s plovákem, na plovák je napojeno registrační zařízení, které zapisuje na otáčející se papír. Vytvořený záznam se nazývá ombrogram, jedná se o průběh celkového množství srážek v čase, z něho se dá odvodit intenzita srážky.



Obr. 1 Ombrograf [5]

Další srážkoměr nás bude zajímat nejvíce, jelikož je to právě ten typ, který je základem pro tuto práci.

Člunkový srážkoměr je automatický a přesnější než předchozí typy. Zachycená srážka je sváděna na dělený překlápěcí člunek. Po naplnění jeho jedné poloviny příslušným objemem vody (odpovídající úhrnu

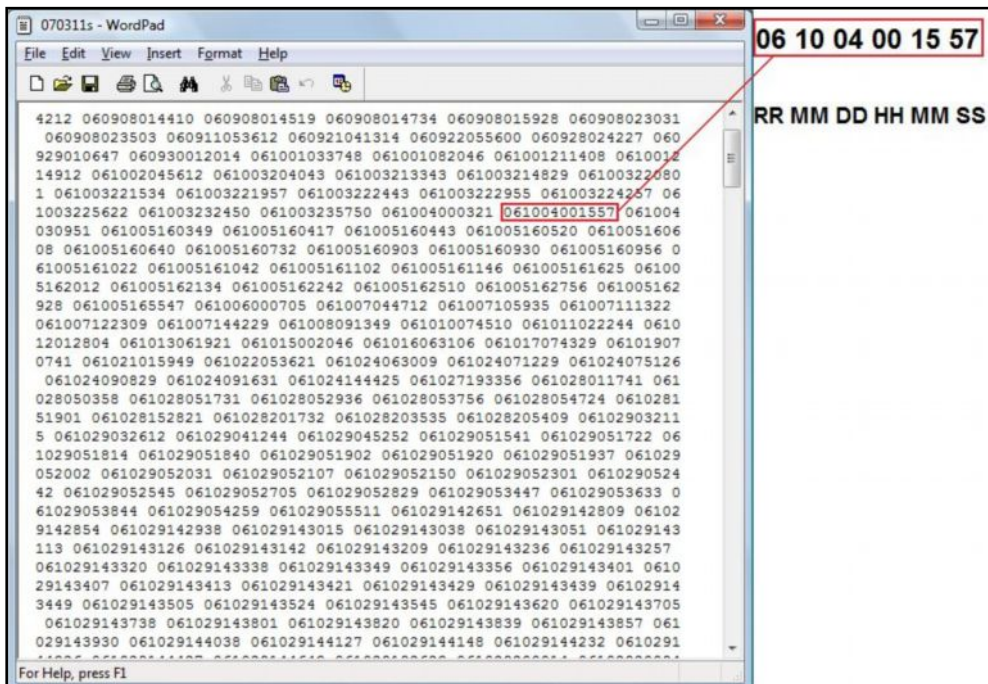
srážek např. 0,1 mm) se člunek překlopí, čímž z první poloviny vyteče voda a srážka začne stékat do druhé poloviny. Překlopení je zaznamenáno a jejich počet určuje celkový úhrn srážek. V našem případě používáme srážkoměry, kde překlopení znamená 0,1 mm a 0,2 mm srážek.



Obr. 2 Princip srážkoměru [6]

3.2. Výstupní data srážkoměru

Jak jsme si řekli v předchozí kapitole, data zpracovávaná v této bakalářské práci, jsou z člunkového srážkoměru. Ten po každém překlopení člunku, vyvolaném napršením určitého množství dešťové vody, uloží do paměti záznam v podobě přesného času překlopení.



Obr. 3 Výstupní data ze srážkoměru

Po zakončení měření (pozorování), většinou za jeden rok, se data převezmou k dalšímu zkoumání. Výstupní soubor ze srážkoměru je s příponou (.dat). Na Obr.1 jsou zobrazena data otevřená v aplikaci WordPad. Je to spousta čísel co bez bližšího vysvětlení nedávají moc smysl.

Každý blok čísel reprezentuje přesný čas jednoho překlopení, to značí, že napršelo 0,1mm (0,2mm) - záleží na typu srážkoměru. Čísla jsou ve formátu RokMěsícDenHodinaMinutaSekunda, jak je naznačeno na obrázku. S takto seřazenými daty se nedá efektivně pracovat, proto jsou dále převáděna.

3.3. Ukázka srážkoměru



Obr. 4 Tělo srážkoměru [7]



Obr. 5 Vnitřek srážkoměru
(viz. Také obr. 2) [7]

4. Metoda zpracování (Popis struktury dat)

Srážkoměrná data byla sbírána na 5 místech ČR. V Praze, přímo na ÚFA (Ústav fyziky atmosféry), v Hradci Králové (na hvězdárně a v části HK – Ploštice, stanice jsou od sebe vzdáleny 8km), v Třeboni a ve Frahelži (vzdálenost 18km). Z každé stanice jsem obdržel od svého vedoucího práce data za určitý počet let.



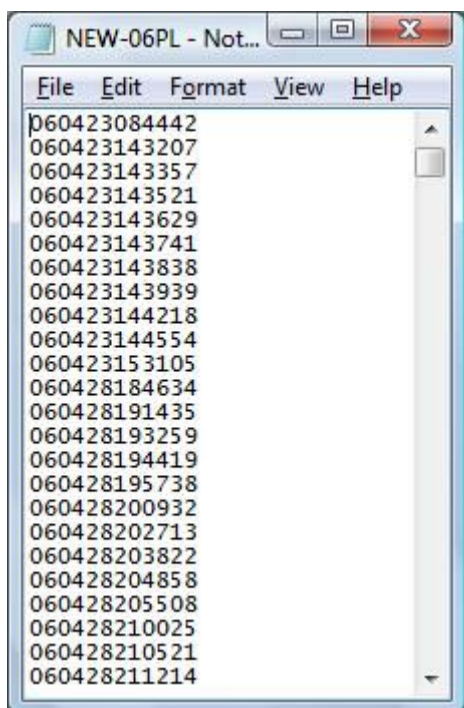
Obr. 6 Stanoviště měření

Údaje ze všech srážkoměrů (bloky čísel), byly převedeny do vhodného tvaru, viz Obr. 7. Soubor je nyní formátu (.txt).

Nyní je již každý časoměrný údaj na nové řádce, tzn. vhodně

upraveno pro další zpracování.

Z takto upravených údajů není problém vypočítat kolik mm srážek v oblasti napršelo. Protože víme, že jeden řádek znamená čas překlopení člunku srážkoměru, které se vykoná po napršení 0,1 mm (0,2mm) srážek.



Obr. 7 Upravená data

$$\text{Počet_překlopení} \times 0,1(0,2) = \text{Kolik(mm)}_srážek_napršelo$$

Dále jsem si seřadil a pojmenoval pro přehlednost nově vzniklé soubory dle jednoduchého klíče. NEW-XXNAME.txt , kde XX značí rok (08, 07, ... , 04) a NAME je název měřicí stanice.

Tab.1 Zkratky stanic

Název měřicí stanice	NAME
Praha - ÚFA	PHA
HK - Ploštice	PL
HK - hvězdárna	HK
Třeboň	TBN
Frahelž	FRA

Poté jsem udělal v exelu seznam všech dostupných údajů pro vytvoření statistiky dešťů v ČR ze všech 5 stanic. Na Obr. 8 je znázorněn seznam dat z Prahy-ÚFA.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Název souboru	První kapka	Poslední kapka	Napršelo [mm]	Poznámka		
3		NEW-08PHA	2.1.2008	25.12.2008	393,6			
4		NEW-07PHA	1.1.2007	31.12.2007	434,3			
5		NEW-06PHA	1.1.2006	31.12.2006	460,4			
6		NEW-05PHA	27.1.2005	31.12.2005	415,2			
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17		Srazkomer [mm]						
18		0,1		název stanice				

Obr. 8 Seznam dat z PHA-ÚFA

5. Výsledky

Přecházíme na část kdy z dat ze srážkoměrů, které byly vhodně zpracovány, vytvoříme pravděpodobnost překročení (exceedance propability) intenzity srážek, která by nám mohla kriticky utlumit signál (viz. kapitola *Výpočet útlumu z intenzity srážek*). Na převod (výpočet) jsem použil program napsaný v Matlabu, který přímo pro tento účel vytvořil doc. Ing. Ondřej Fišer, CSc., a prezentoval ho na konferenci ve Svatém Mořici (Švýcarsko).

Program zpracovává data (Obr. 7), upravuje dobu měření na sekundy od začátku roku, dále přímo zjišťuje intenzitu srážek podle četnosti překlopení člunku ve srážkoměru (v našem případě na každém řádku, jeden časový údaj). Jelikož mají tyto srážkoměry přesnost na 1 sekundu, může se stát, že při vysoké intenzitě deště máme více stejných údajů. Proti tomu je program také ošetřen, při takovém výskytu nám program označí tento údaj a může být následně odstraněn. Dále program vypočítává střední hodnotu intenzity srážek,

standardní odchylku a další hodnoty, o tom více v této kapitole v měsíčních statistikách.

Výsledkem programu je potom procentuální pravděpodobnost, že bude překročena určitá intenzita srážek. Tyto data jsem poté zkopíroval do exelu a vytvořil graf. Na každém následujícím grafu je na svislé ose *intenzita srážek R [mm/h]* a na vodorovné je pravděpodobnost výskytu intenzity srážek [%].

Data byla rozdělena do dvou částí – roční a měsíční statistiky.

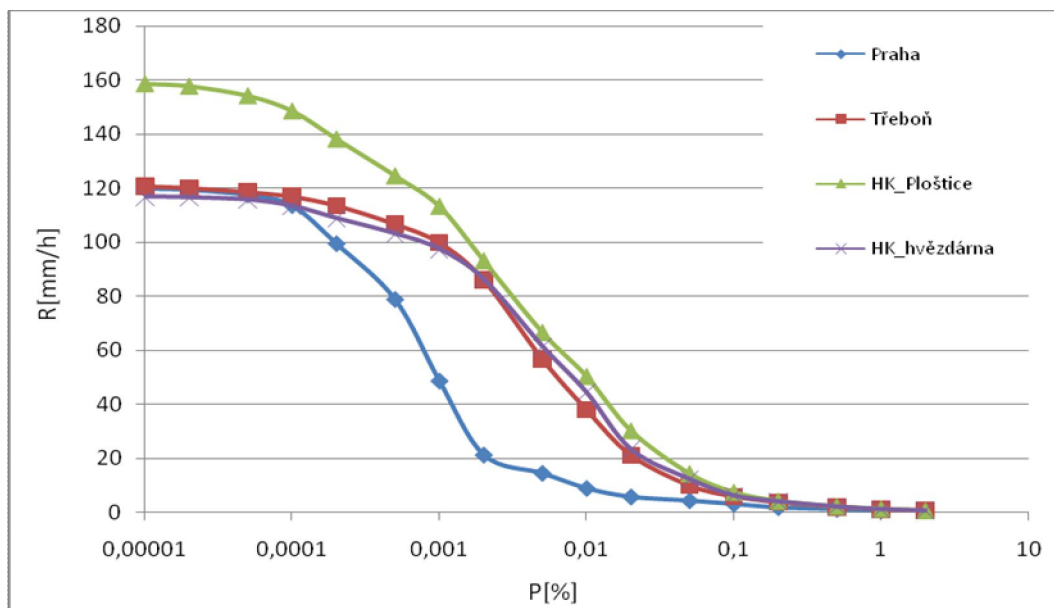
5.1. Data ročně

Roční data můžeme použít pro představu jak deštivý byl určitý rok. Jelikož se na všech místech neměřilo přesně stejnou dobu (většinou např. březen - listopad), mohou roční statistiky vycházet trochu zkresleně. Grafy z dat jsou vytvořené pro roky 2008-2005.

P [%]	R [mm/h]			
	Praha	Třeboň	HK_Ploštice	HK_hvězdárna
0,00001	120	120,81836	158,70901	116,77642
0,00002	119,5408	120,11099	157,78653	116,49571
0,00005	117,5816	118,63153	154,20315	115,64344
0,0001	113,61023	116,91923	148,60103	113,33952
0,0002	99,48224	113,56825	138,20728	108,79239
0,0005	78,80233	106,68407	124,57305	103,07671
0,001	48,58173	99,78916	113,2625	97,37141
0,002	21,18858	85,97309	93,12799	86,2205
0,005	14,38779	56,66996	66,59478	61,38707
0,01	8,80817	37,84297	50,26585	44,28974
0,02	5,64901	20,9809	30,11803	23,23528
0,05	4,22702	9,77546	14,27259	12,20705
0,1	3,01439	5,7527	7,33225	6,14003
0,2	1,71859	3,60575	4,09434	3,96659
0,5	1,06726	1,83388	2,0843	2,03273
1	0,51562	1,0175	1,16928	1,08025
2		0,45554	0,49581	0,47431

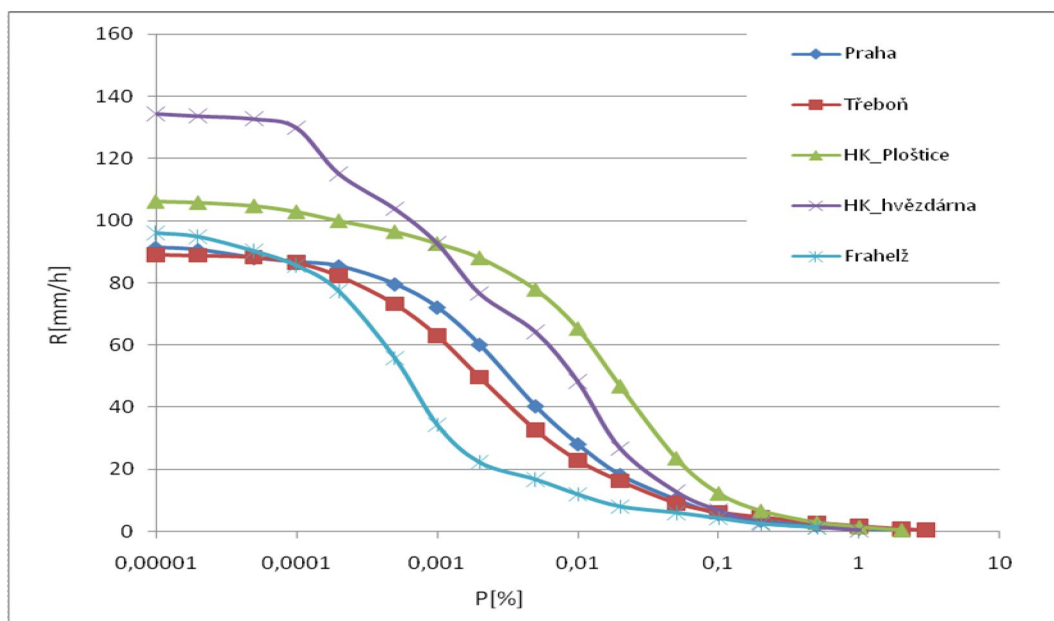
V Tab. 2 znázorňuji pro ukázkou data pro rok 2008, dále již pouze grafy.

Tab. 2 Tabulka dat pravděpodobnosti překročení intenzity srážek pro rok 2008 ze 4 měřících stanovišť



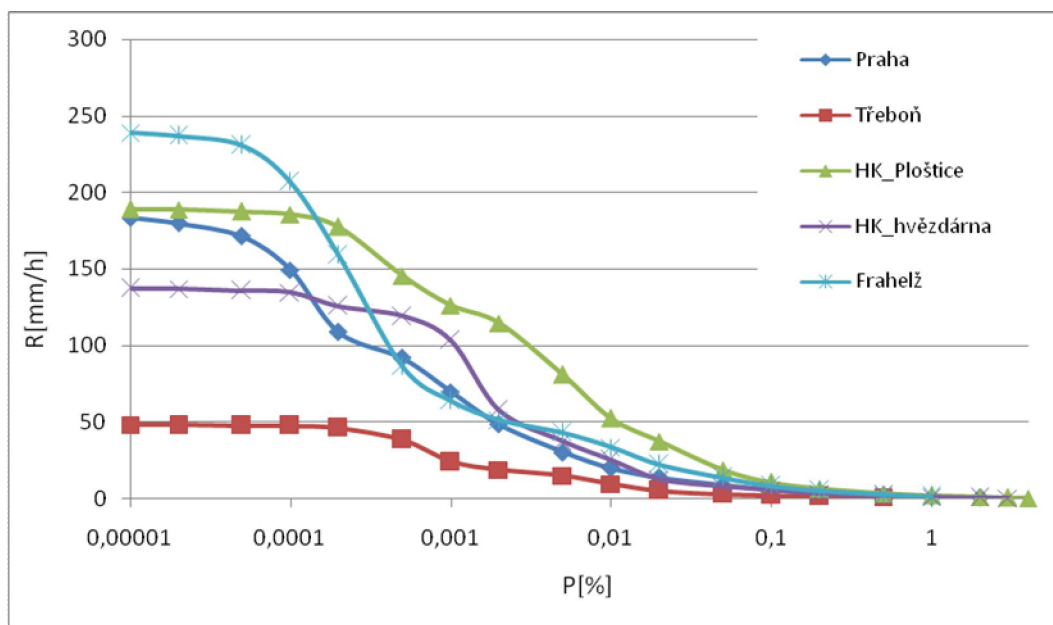
Obr. 9 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, rok 2008

Do roku 2007, přibyly data z měřicího stanoviště Frahelž.

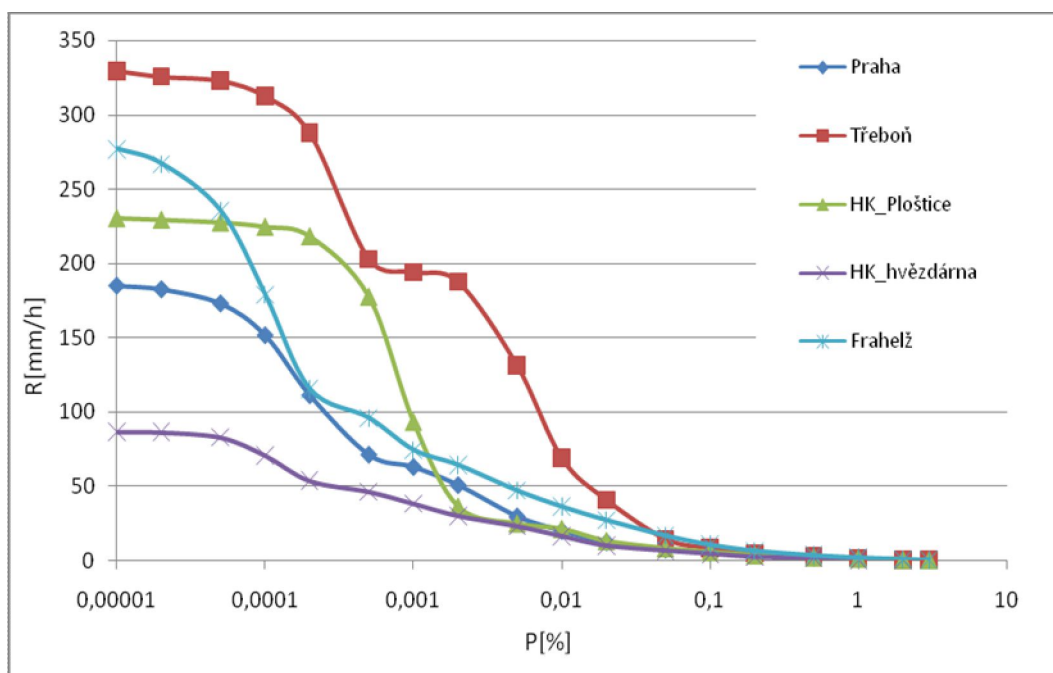


Obr. 10 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, rok 2007

Na následujícím grafu (2006) je vidět malá intenzita srážek v Třeboni, to je způsobeno tím, že data byla dostupná pouze září až listopad. Projevuje se tu absence deštivých měsíců (srpen).



Obr. 11 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, rok 2006



Obr. 12 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, rok 2005

5.2. Data měsíčně

Měsíční statistiky jsou v porovnání s ročními objektivnější, můžeme určit nejděštivější nebo nopak suché měsíce. Vytvořeno pro měsíce květen až září pro roky 2008, 2007 a 2006. K těmto statistikám jsem také vytvořil tabulky (pro každý měsíc v každém městě) s důležitými hodnotami:

Střední hodnota intenzity srážek <R>

Medián R.....Eliminuje extrémní hodnoty ve statistickém souboru.

Standardní odchylka.....Odmocnina z výběrového rozptylu.

$P_0=P(R>0,2\text{mm/h})$Pravděpodobnost, že intenzita srážek 0,2 mm/h bude překročena. Mez, kdy můžeme prohlásit jestli prší nebo ne.

Max R.....Maximální intenzita srážek v určitém období.

Jelikož měsíčních charakteristik je spousta (pro měsíce květen – září, 2008 - 2006), vybral jsem tedy grafy těch nejzajímavějších.

2008

Nejprve tabulky hodnot a poté na grafech porovnání deštivého června a září, kdy přišlo minimálně.

Tab. 3 Hodnoty intenzity srážek v Praze 2008

Praha 2008	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	1,45735	1,71359	2,23307	1,55854	0,81331
Medián R	0,70588	0,60606	0,32258	0,91371	0,61538
Standardní odchylka (R)	5	6,6	1,2	1,8	0,6
$P(R>0,2\text{ mm/h})$ [%]	3,87	2,43	6,43	5,65	7,73
Max R [mm/h]	108	120	25,9	21,9	5,6

Tab. 4 Hodnoty intenzity srážek v Třeboni 2008

Třeboň 2008	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	4,11457	5,40495	2,23307	2,31366	0,81331
Medián R	3,42857	1,30435	0,75	1,08761	0,61538
Standartní odchylka (R)	7,90	13,5	4,9	3,4	0,6
P(R>0,2 mm/h) [%]	3,21	2,65	3,05	4,25	7,73
Max R [mm/h]	81	121,5	61,5	43,8	5,6

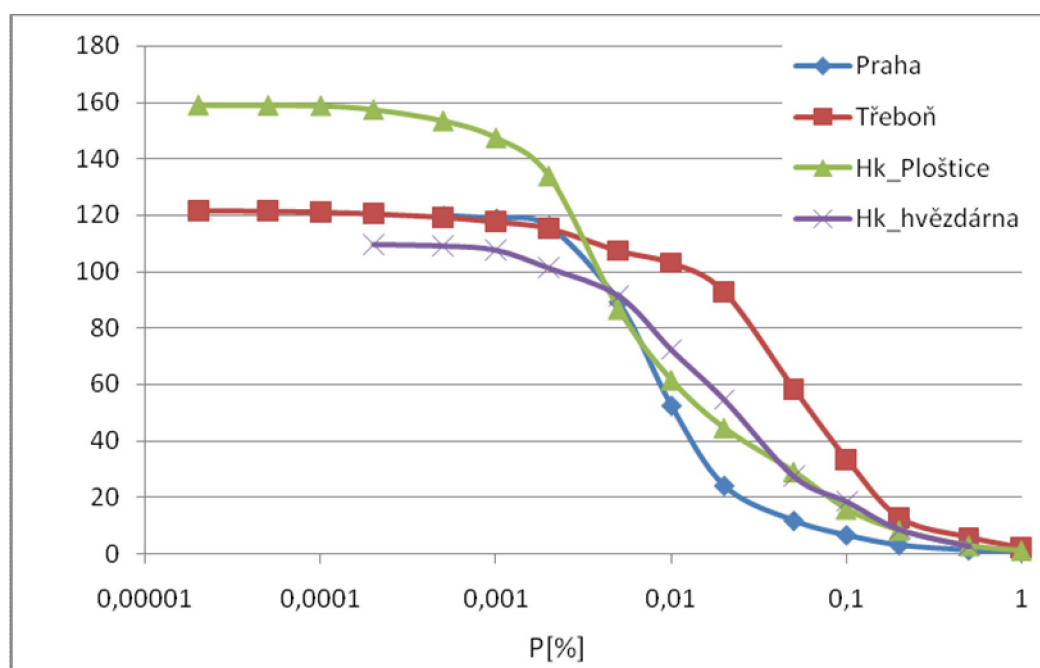
Tab. 5 Hodnoty intenzity srážek v Plošticích 2008

Hk_Ploštice 2008	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	1,8345	3,48715	2,40202	2,46264	0,79962
Medián R	0,73245	0,85308	0,86747	0,76512	0,56031
Standartní odchylka (R)	6,6	9,1	5	7,5	0,7
P(R>0,2 mm/h) [%]	4,53	2,22	4,87	3,4	3,02
Max R [mm/h]	128,6	159	75	79,2	4,6

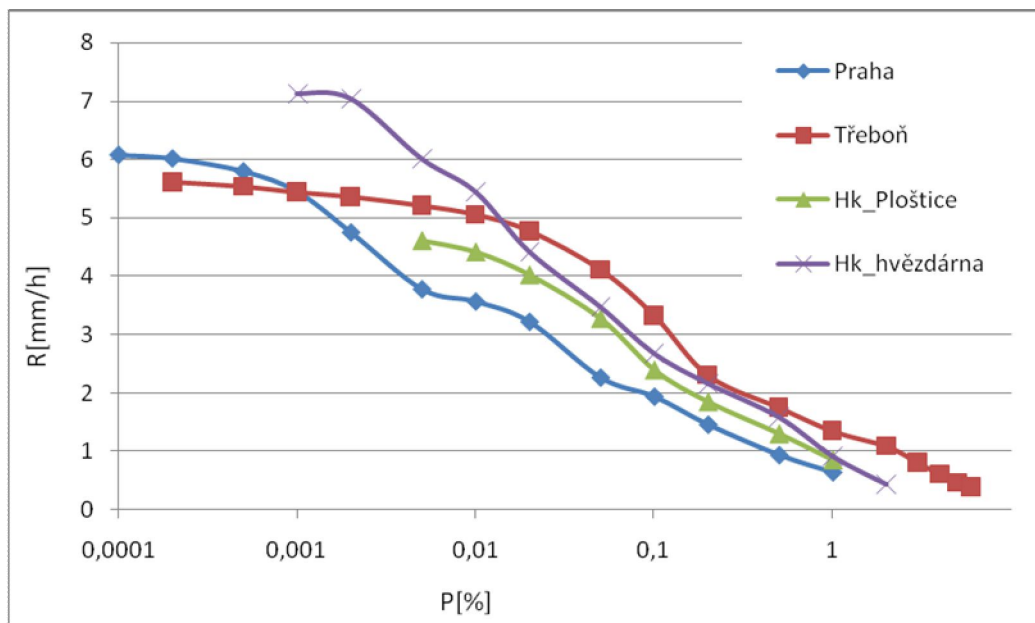
Tab. 6 Hodnoty intenzity srážek na hvězdárně 2008

Hk_hvězdárna 2008	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	1,51636	3,96537	2,46845	2,26482	0,77076
Medián R	0,89664	0,7362	0,86022	0,769	0,4918
Standartní odchylka (R)	2,7	9,9	6,4	7	0,8
P(R>0,2 mm/h) [%]	6,46	1,9	4,3	3,94	3,74
Max R [mm/h]	56,3	109,7	96	117	7,1

Grafy



Obr. 13 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, červen 2008



Obr. 14 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, září 2008

2007

Na grafech jsou znázorněny dva prázdninové měsíce (červenec, srpen). Narozdíl od dlouhodobé statistiky se moc neliší. červenec bývá dlouhodobě méně deštivější.

Tab. 7 Hodnoty intenzity srážek v Praze 2007

Praha 2007	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	1,41004	2,85681	2,74585	1,70924	1,73126
Medián R	0,85919	0,89109	1,20984	0,63158	1,21622
Standartní odchylka (R)	2,1	6,3	6,5	5,5	2,5
P(R>0,2 mm/h) [%]	4,73	2,94	3,03	3,24	6,05
Max R [mm/h]	26,2	82	91,5	62,6	37,2

Tab. 8 Hodnoty intenzity srážek v Třeboni 2007

Třeboň 2007	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	1,39743	2,10246	2,18813	1,74334	2,07038
Medián R	1,0084	1,18812	0,85106	0,78431	1,46939
Standartní odchylka (R)	1,6	3,2	4,5	4,5	2,7
P(R>0,2 mm/h) [%]	8,58	2,63	5,17	4,04	9,57
Max R [mm/h]	30	37	88,8	81,6	90

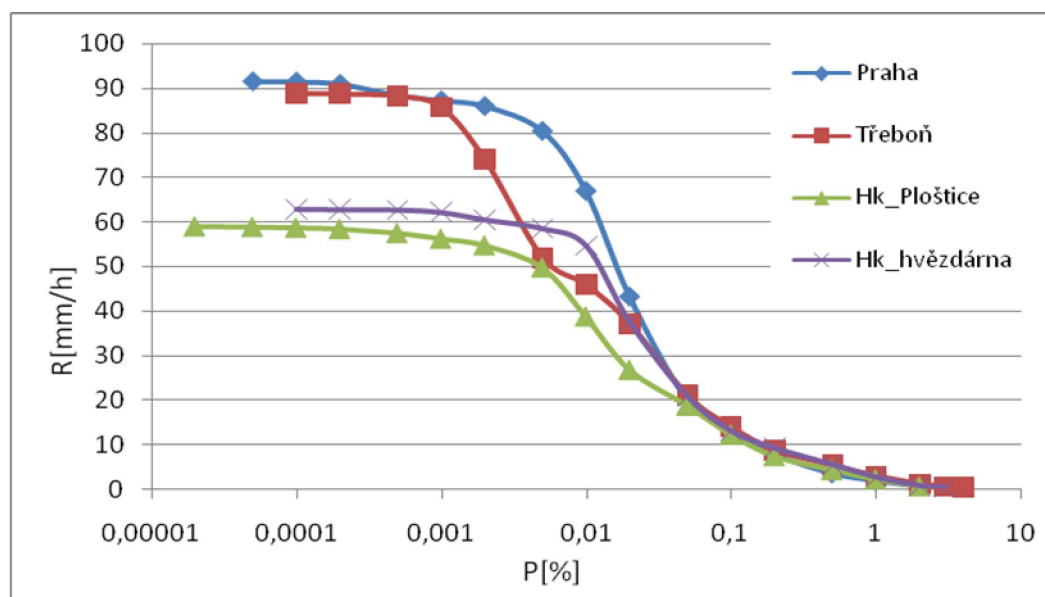
Tab. 9 Hodnoty intenzity srážek v Plošticích 2007

Hk_Ploštice 2007	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	1,86003	2,97029	2,17143	4,54909	1,85004
Medián R	0,70658	0,8933	0,78007	0,73922	1,05109
Standartní odchylka (R)	5,9	7,4	4,1	11,1	3,8
P(R>0,2 mm/h) [%]	6,55	3,4	3,99	2,21	4,15
Max R [mm/h]	106,5	93,3	59	98,7	73,7

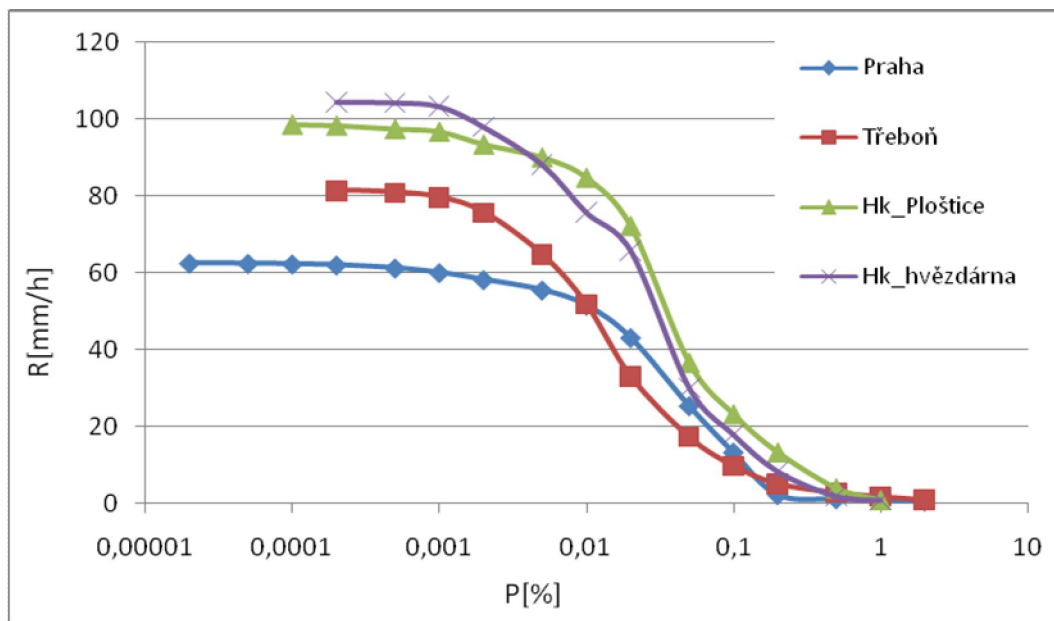
Tab. 10 Hodnoty intenzity srážek na hvězdárně 2007

Hk_hvězdárna 2007	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	2,30967	4,09538	2,28641	3,7139	1,5136
Medián R	0,89441	1,01695	0,67353	0,81633	0,76923
Standartní odchylka (R)	5,9	11,6	4,7	10,2	2,7
P(R>0,2 mm/h) [%]	5,79	3,87	4,62	2,02	4,74
Max R [mm/h]	108	134,4	63	104,6	53,5

Grafy



Obr. 15 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, červenec 2007



Obr. 16 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, srpen 2007

2006

V tomto roce je nahrazena Třeboň, blízkou Frahelží, protože, jak již bylo řečeno v ročních statistikách, z Třeboně jsem získal data pouze od září. Na grafech je zobrazen červen, kde intenzita srážek v určitých chvílích dosahla vysokých hodnot, a srpen.

Tab. 11 Hodnoty intenzity srážek v Praze 2006

Praha 2006	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	1,63327	1,3462	1,21743	2,01378	2,90763
Medián R	1,04651	0,46272	0,55814	0,84112	0,86917
Standartní odchylka (R)	3,1	3,3	1,8	5	5,9
P(R>0,2 mm/h) [%]	9,79	6,89	0,59	5,81	0,6
Max R [mm/h]	88,3	110,4	15,1	188	39

Tab. 12 Hodnoty intenzity srážek ve Frahelži 2006

Frahelž 2006	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	1,34596	3,18584	2,71105	1,53264	2,2372
Medián R	0,74074	1,34835	1,7866	0,92133	1,70213
Standartní odchylka (R)	2,8	6,3	4	3,3	2,2
P(R>0,2 mm/h) [%]	5,1	4,94	0,89	9,26	1,68
Max R [mm/h]	77,5	240,2	48	61,7	11,6

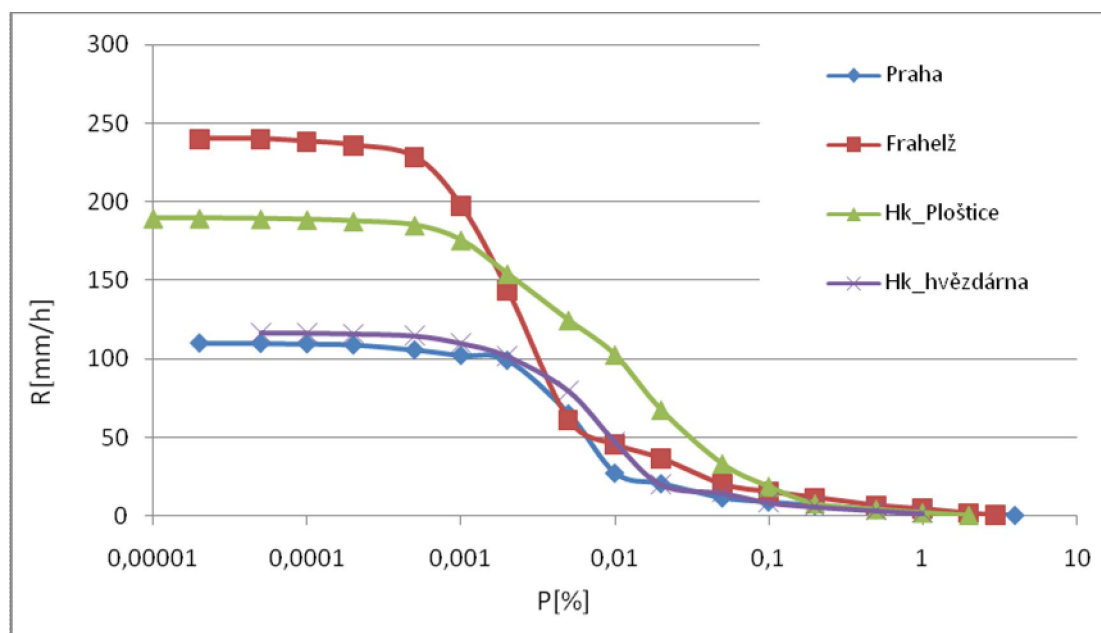
Tab. 13 Hodnoty intenzity srážek v Plošticích 2006

Hk_Ploštice 2006	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	1,63759	3,33101	3,98985	1,39647	1,32885
Medián R	0,67669	0,72801	0,39237	0,81633	1,38996
Standartní odchylka (R)	4,5	10,4	11,1	1,9	0,8
P(R>0,2 mm/h) [%]	4,74	3,14	0,91	11,81	2,84
Max R [mm/h]	84	189,6	114	36,6	3

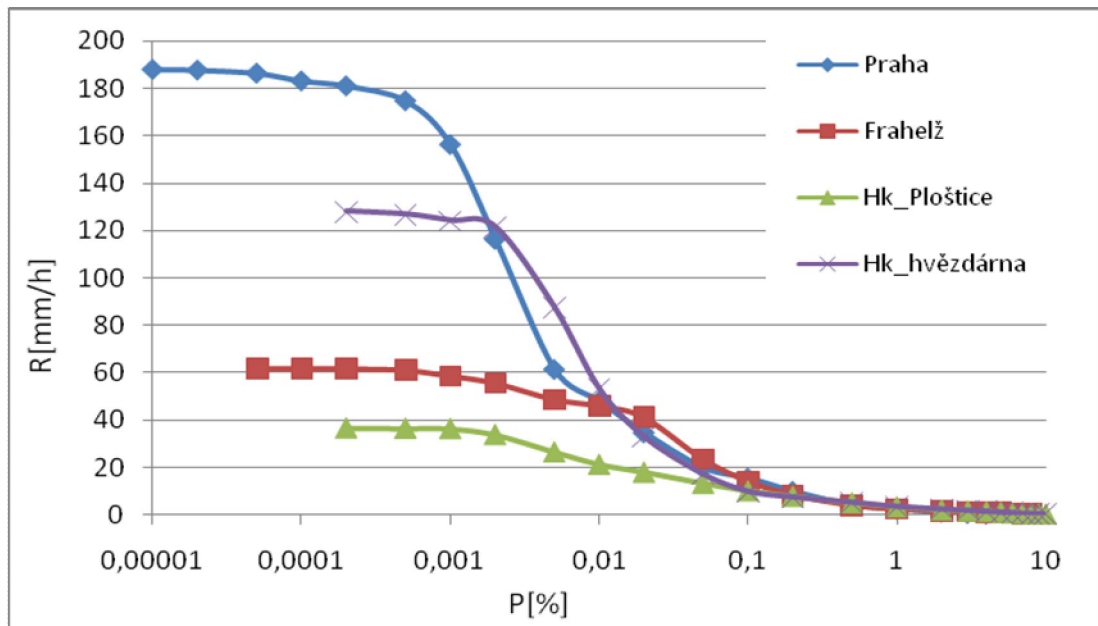
Tab. 14 Hodnoty intenzity srážek na hvězdárně 2006

Hk_hvězdárna 2006	květen	červen	červenec	srpen	září
Střední hodnota <R>	1,67201	2,41957	2,02089	1,51387	0,57302
Medián R	0,65574	1,04956	0,45397	0,83818	0,35946
Standartní odchylka (R)	5,5	5,7	3,3	3,4	0,6
P(R>0,2 mm/h) [%]	5,3	2,83	0,71	12,69	2,5
Max R [mm/h]	137,1	116,6	18,3	128	2,1

Grafy



Obr. 17 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, červen 2006



Obr. 18 Pravděpodobnost výskytu intenzity srážek, srpen 2006

6. Výpočet útlumu z intenzity srážek

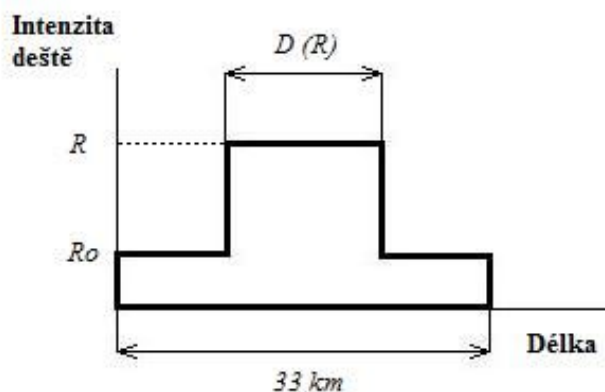
Pro výpočet útlumu z intenzity srážek byly odvozeny vzorce, se kterými vás nyní seznámím. Pro družicové spoje je si nutné také uvědomit, že prší jen do určité výšky. Ta se často modeluje *Výškovou nulovou izotermou*, která se mění s zeměpisnou šířkou, takže není stejná pro všechna místa na Zemi. Nad touto hranicí nás již déšť (i ostatní hydrometeory) při přenosu elektromagnetických vln netrápí [1] [2].

6.1. Popis metody pro výpočet útlumu z intenzity srážek

Assis-Einloft citace model převádí intenzitu srážek R na útlum deštěm při zadané *frekvenci* (útlum se projeví až na frekvenci 10GHz a vyšší – do této frekvence je útlum malý a lze ho zanedbat) a *polarizaci*. Jinými slovy útlum (v dB) dostaneme jako funkci nezávislé proměnné *Intenzita srážek* R na jedné straně a jako funkce parametrů (*frekvence, polarizace, optická délka*) na straně druhé.

I když model Assis-Einloft byl zamýšlen k výpočtu distribuční funkce útlumu deštěm, je tento princip vhodný k odhadnutí okamžitého útlumu, který používáme k porovnání současných útlumů pro výpočet zisku polohového výběrového příjmu (neboli prostorové diverzity).

Toto tvrzení bylo také prokázáno v modelu Hajný-Fišer (který také k výpočtu rozptylu deštěm používá Assis-Einloft model). Výsledky byly úspěšně porovnány s ITU-R metodou.



Obr. 19 Tvar dešťového jádra

Assis-Einloft model stanoví profil srážek v okolí přístupových bodů radiokomunikačních spojů. Profil se skládá ze dvou válcovitých částí (vnitřní, vnější). Stálé intenzity deště se vyskytují v obou z nich. Průměr D vnitřní části válcové dešťové buňky je

$$D = 2,2 \cdot \left(\frac{100}{R} \right)^{0,4} \quad [\text{km, mm/h}] \quad (6.1)$$

při soustředěnosti vnější válcové dešťové buňky v 33km. Tento rozměr (33 km) je určen na základě rozsáhlých a opakovaných

měření. Intenzita srážek ve vnitřní buňce je R (R je měřena srážkoměrem), zatímco intenzita srážek ve vnější buňce R_0 je

$$R_0 = 10 \cdot (1 - 10^{-0,0105 \cdot R}) \quad [\text{mm/h, mm/h}] \quad (6.2)$$

Útlum deštěm se pak snadno vypočítá jako součin *měrný dešťový útlum* α a délky oblasti deště, kde je intenzita srážek konstanta. Celkový útlum deštěm je tedy udáván tímto vzorcem

$$A(R) = \alpha(R) \cdot D(R) + \alpha(R_0) \cdot [L_m - D(R)] \quad [\text{dB}] \quad (6.3)$$

kde R je intenzita srážek (mm/h);

$L_m = \min \{33\text{km}, L\}$, menší délka z L nebo 33km;

L je délka spoje (km);

$\alpha_{(R)}$ je měrný dešťový útlum (dB/km),

$\alpha_{(R)} \approx a \cdot R^b$, kde a, b jsou konstanty, které jsou funkcí

frekvence, polarizace, publikované v tabulkách ITU-R, CCIR.

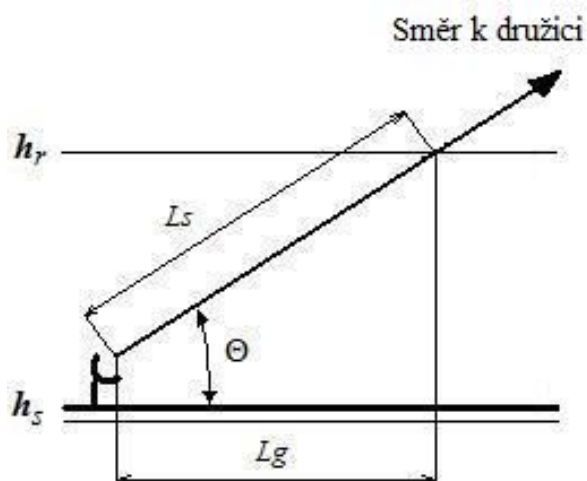
Poznámka: když $L < D_{(R)}$: $A_{(R)} = \alpha_{(R)} \cdot L$

Tab. 15 Konstanty pro přibližný výpočet útlumu deštěm

Kmitočet (GHz)	polarizace			
	horizontální		vertikální	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
10	0,0101	1,276	0,00887	1,264
12	0,0188	1,217	0,0168	1,200
15	0,0367	1,154	0,0335	1,128
20	0,0751	1,099	0,0691	1,065
25	0,124	1,061	0,113	1,030
30	0,187	1,021	0,167	1,000
35	0,263	0,979	0,233	0,963
40	0,35	0,939	0,310	0,929
45	0,442	0,903	0,393	0,897
50	0,536	0,873	0,479	0,868
60	0,707	0,826	0,642	0,824
70	0,851	0,793	0,784	0,793
80	0,975	0,769	0,906	0,769
90	1,06	0,753	0,999	0,754
100	1,12	0,743	1,060	0,744

Tento model aplikujeme na pozemní (terestriální) spoj. Ale lze také použít pro spoj satelitní.

6.2. Úprava vzorce výpočtu útlumu pro družicový spoj



Obr. 20 Družicový spoj s parametry pro určení srážkového útlumu

Zde je nutné si uvědomit, že satelitní spojení je také popsáno elevačním úhlem Θ a délkou spoje, kde je možnost útlumu deštěm, se zkracuje na hranici *výšky nulové izotermy* h_r (km), nad kterou již – směrem od Země – neprší, h_s (km) je nadmořská výška pozemské stanice. Pro zřehlednění vztahů můžeme zavést L_s na zem; $L_g = L_s \cdot \cos \Theta$. V případě satelitního spoje upravíme vzorec pro útlum (6.3) následovně:

$$A(R) = \alpha(R) \cdot \frac{D(R)}{\cos \Theta} + \alpha(R_0) \cdot \left[L_s - \frac{D(R)}{\sin \Theta} \right] \quad [\text{dB}] \quad (6.4)$$

$$\text{pro } L_g < 33 \text{ km} \quad L_s = \frac{h_r - h_s}{\sin \Theta} \quad [\text{km}] \quad (6.5)$$

$$\text{pro } L_g > 33 \text{ km} \quad L_s = \frac{33}{\cos \Theta} \quad [\text{km}] \quad (6.6)$$

6.3. Distribuční funkce útlumu

V predikci útlumu radiových spojů nás zejména zajímá pravděpodobnost, kolik času bude přšet více než je únosná hranice útlumu deštěm. Tyto údaje jsou pak důležité k propočtům parametrů na radiovém spoji (vysílací, přijímací výkon) a samozřejmě spolehlivosti. K tomu se přidává finanční faktor. Jelikož celý systém spoje není levná záležitost, nemůže si vysokou spolehlivost dovolit každý a jsou voleny kompromisy mezi spolehlivostí a možností ztráty dat. Státní družicové spoje (např. používané armádou) budou vyžadovat vysokou spolehlivost, kterou je stát schopen financovat,

protože malá ztráta dat (v minutách za rok) může mít za příčinu ztrátu lidských životů. Na druhé straně provozovatel TV je schopen tolerovat ztrátu dat, počítanou v hodinách za rok. Proto počítáme tzv. *doplňk distribuční funkce útlumu*.

Distribuční funkce (výťah z teorie)

Distribuční funkci náhodné veličiny X , značená $F(x)$, definujeme následovně: $F_{(x)} = P(X \leq x)$, pro všechna reálná x .

Je to tedy funkce, která každému reálnému číslu přiřazuje pravděpodobnost, že náhodná veličina X nabude hodnoty, která je menší nebo rovna tomuto číslu x .

V našem případě budeme pracovat s *doplňkem distribuční funkce*, který naopak určuje pravděpodobnost, že se vyskytne číslo větší:

pravděpodobnost překročení (Exceedance Propability)

$$F_{(x)} = P(X > x).$$

6.4 Pravděpodobnost srážek na území ČR

Z předchozích výzkumů byla shromážděna data a vznikly některé zajímavé údaje pro území ČR.

$R_{0,01} = 32$ [mm/h] Pravděpodobnost, že doba kdy intenzita srážek bude větší než 32 [mm/h] je 0,01% jednoho roku. Pro zajímavost toto odpovídá zhruba 53 minutám v roce.

Prahová hodnota intenzity srážek je 0,2 mm/h - pokud je intenzita menší než tato hodnota, bereme jako, že neprší.

Orientačně platí, že $P(R > 0,2 \text{ mm/h}) \sim 5\%$ (pravděpodobnost že intenzita srážek bude větší než 0,2 mm/h), tedy na území ČR 5% doby prší a 95% neprší.

7. Praktický výpočet útlumu z intenzity srážek

Pro tento výpočet si vybereme jeden údaj z našich výsledných

srpen 2008

P[%]	R[mm/h]
	Třeboň
0,00002	43,800
0,00005	43,740
0,0001	43,643
0,0002	43,525
0,0005	43,079
0,001	42,307
0,002	40,552
0,005	35,949
0,01	29,992
0,02	23,232
0,05	15,955
0,1	12,149
0,2	7,744
0,5	4,854
1	3,175
2	1,255
3	0,556

dat. Já jsem vybral údaj z Třeboňe ze srpna 2008; pravděpodobnost, že $R=29,992$ bude překročena je 0,01%. Můžeme tedy říci, že budeme počítat překročení útlum A s touto pravděpodobností $\sim A_{0,01}$.

Nyní si musíme určit přenosovou frekvenci spoje, např. $f=12\text{GHz}$, a délku spoje $L=8\text{km}$. Útlumy vypočítáme pro vertikální i horizontální polarizaci, abysme si názorně ukázali útlumový rozdíl.

Obr. 21 Pravděpodobnost výskytu srážek pro Třeboň

Různý utlum při horizontální nebo vertikální polarizaci

Díky tomu, že dešťová kapka má tvar (Obr.22), je na ní také různý útlum v horizontálním a vertikálním směru. Je zřejmé, že ve směru horizontálním je širší a tím pádem bude i větší útlum.



Obr. 22 Dešťová kapka

Vraťme se zpět k výpočtu útlumu. Nejprve si vypočítáme intenzitu deště ve vnější dešťové buňce R_0 ,

$$R_0 = 10 \cdot (1 - 10^{-0,0105 \cdot R}) = 10 \cdot (1 - 10^{-0,0105 \cdot 29,992}) = 9,993 \text{ [mm/h]}, \quad (7.1)$$

měrný útlum pro obě polarizace a frekvenci 12GHz pro R ,

$$\alpha_H(R) = a_H \cdot R^{b_H} = 0,0188 \cdot 29,992^{1,217} = 1,179 \text{ [dB/km]} \quad (7.2)$$

$$\alpha_V(R) = a_V \cdot R^{b_V} = 0,0168 \cdot 29,992^{1,200} = 0,995 \text{ [dB/km]}. \quad (7.3)$$

Dále vypočítáme vnitřní průměr válcové dešťové buňky,

$$D = 2,2 \cdot \left(\frac{100}{R}\right)^{0,4} = 2,2 \cdot \left(\frac{100}{29,992}\right)^{0,4} = 3,561 \text{ [km]}, \quad (7.4)$$

měrný útlum pro obě polarizace a frekvenci 12GHz pro R_0 ,

$$\alpha_H(R_0) = a_H \cdot R^{b_H} = 0,0188 \cdot 9,993^{1,217} = 0,3095 \text{ [dB/km]} \quad (7.5)$$

$$\alpha_V(R_0) = a_V \cdot R^{b_V} = 0,0168 \cdot 9,993^{1,200} = 0,266 \text{ [dB/km]}. \quad (7.6)$$

A nyní nám již nebrání nic vypočítat dešťový útlum pro obě polarizace, nejprve horizontální:

$$\begin{aligned} A_{0,01H} &= \alpha_H(R) \cdot D(R) + \alpha_H(R_0) \cdot [L - D(R)] = \\ &= 1,179 \cdot 3,561 + 0,3095 \cdot [8 - 3,561] = \underline{\underline{5,57}} \text{ [dB]}, \end{aligned} \quad (7.7)$$

a nyní vertikální:

$$\begin{aligned} A_{0,01V} &= \alpha_V(R) \cdot D(R) + \alpha_V(R_0) \cdot [L - D(R)] = \\ &= 0,995 \cdot 3,561 + 0,266 \cdot [8 - 3,561] = \underline{4,55} \text{ [dB]}. \end{aligned} \quad (7.8)$$

Podle očekávání nám tedy vyšel menší útlum deštěm vertikální polarizací. Rozdíl mezi útlumy je $\Delta A_{0,01} = 5,57 - 4,55 = 1,02$ [dB].

8. Závěr

Hlavním účelem této práce bylo vhodně upravit data ze srážkoměrů, jejich zpracování, porovnání, vytvoření grafů a seznámení s problematikou útlumu deštěm u radiových spojů. Všechny tyto body se podařilo splnit. Tato bakalářská práce přispěla dalšímu výzkumu v oblasti šíření elektromagnetických vln na území České republiky.

V bližším zkoumání výsledků za roky 2008, 2007, 2006, 2005 v oblasti srážek nad územím ČR, jsem dospěl k závěru, že se s malými odchylkami shodují s dlouhodobými statistickými údaji. Velice hezky je vidět, že srpen je nejdeštivějším měsícem v roce. Naopak z období květen – září je právě září jeden z nejsušších měsíců.

Z hlediska ztráty dat způsobené deštěm, ale musíme předpokládat největší útlumy při bouřkách, kdy intenzita srážek bývá nejvyšší.

Seznam použité literatury:

- [1] Assis M. S., Einloft C. M.: A simple method for estimating rain attenuation distribution," Conference URSI, p. 301, La Baule 1977
- [2] Hajny M., Mazanek M., Fiser O.: Bi-static Scattering Function - Radiation Pattern Calculation. COST Project 255, MC5 Meeting, Vigo, May 1998, CP51A09
- [3] Fiser O.: On the Tipping-Bucket Rain Measurement Applied to Microwave Propagation (Theory and Actual Results), URSI F Open Symposium, Garmisch Partenkirchen, 12-15.2.2002 (CD)
- [4] Wikipedie : Srážkoměr [online]. 2009 [cit. 2009-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Sr%C3%A1%C5%BEkom%C4%9B>>.
- [5]
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tipping_Bucket_Recorder.JPG, 5.5.2009
- [6]
<http://weather.about.com/od/weatherfaqs/a/RainGauges.htm>, 5.5.2009
- [7] <http://www.usbr.gov/pn/agrimet/precip.html>, 5.5.2009