

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Zpracování srážkových záznamů pro stanovení
podmínek radiokomunikačního přenosu

Langrová Alena

Bakalářská práce

2010

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Alena LANGROVÁ
Osobní číslo: D06612
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje
Studijní obor: Management, marketing a logistika ve spojih
Název tématu: Zpracování srážkových záznamů pro stanovení podmínek radiokomunikačního přenosu
Zadávající katedra: Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky

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

Úvod

1. Vliv srážek na radiokomunikační přenos
2. Analýza stávajícího stavu zpracování srážkových záznamů pro podmínky radiokomunikačního přenosu
3. Návrh na zlepšení postupu ve zpracování srážkových dat
4. Zhodnocení


Závěr

Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 40 - 50 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná
Seznam odborné literatury:
dle pokynů vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Ondřej Fišer, CSc.
AV ČR, Ústav fyziky atmosféry
Datum zadání bakalářské práce: 30. listopadu 2009
Termín odevzdání bakalářské práce: 31. května 2010


prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.


prof. Ing. Vlastimil Melichar, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. listopadu 2009

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny, data a informace, které jsem využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena 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 Černovicích dne 9. 8.2010

Alena Langrová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu Doc. Ondřeji Fišerovi, CSc, za trpělivost, pomoc a poskytnutí odborných rad při psaní této bakalářské práce a dále i ostatním pedagogickým pracovníkům. Mé další poděkování rodině, přátelům a spolužákům, kteří mne po celou dobu mého studia podporovali a povzbuzovali.

OBSAH

	Strana
Úvod	8
1 Vliv srážek na radiokomunikační přenos a definice důležitých veličin	9
1.1 Úhrn srážek	10
1.2 Intenzita srážek	10
1.3 Distribuční funkce intenzit srážek	11
1.4 Rozdělení intenzit dešťů	11
1.5 Distribuční funkce útlumu	14
2 Analýza stávajícího stavu zpracování srážkových záznamu pro podmínky radiokomunikačního přenosu	15
2.1 Zpracování dat z překlopných srážkoměrů “Tipping-bucket”	16
3 Výsledky zpracování intenzit srážek	20
3.1 Délka trvání srážek a period mezi nimi	24
3.2 Zobecnění průběhu distribuční funkce intenzit srážek	25
3.3 Dynamické vlastnosti průběhu intenzit srážek	26
4 Aplikace výsledků zpracování srážek	31
4.1 Měrný útlum deštěm	32
4.2 Celkový dráhový útlum deštěm	36
4.3 Predikce útlumu deštěm podle ITU-R	37
4.4 Metoda Assis – Einloft k predikci útlumu deštěm	39
5 Návrh na zlepšení postupu ve zpracování srážkových dat	43
Závěr	44
Použitá literatura	45
Seznam tabulek	46
Seznam obrázků	47

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá popisem a vyhodnocením srážkoměrných údajů pořizovaných Ústavem fyziky atmosféry AVČR za účelem predikce útlumu deštěm radiokomunikačních spojů.

Práce popisuje metodu zpracování původních dat člunkových srážkoměrů, zabývá se statistickým popisem důležitých parametrů chodu intenzit srážek a metodami, které využívají srážková data k predikci útlumu deštěm radiových spojů. Je připojen konkrétní výpočet útlumu deštěm.

Klíčová slova

Intenzita srážek, radioreléový spoj, člunkový srážkoměr, predikce útlum deštěm

Title

Rain data analysis to estimate conditions of radiocommunication transmission

Abstrakt

This bachelor work deals with description and analysis of rain rate data of the Institute of Atmospheric Physics of the Academy of Czech Republic. Data are especially collected for the purposes of rain attenuation prediction on radio-communication links.

Rough data processing of Tipping-Bucket rain gauges is described as well as the statistical description of important parameters and methods needed for rain attenuation prediction. An example of rain attenuation estimation is added.

Keywords

Rain Rate, Radiorelay link, Tipping-Bucket Rain Gauge, Rain Attenuation Prediction

Úvod

Děšť skládající se z dešťových kapek různých velikostí a rozličných tvarů, který vědecká entita nazývá hydrometeory. Pro chemika se jedná o sloučeninu vodíku kyslíku popřípadě i dalších částic. Pro člověka a přírodu kolem nás se jedná o životní součást, bez které by neexistoval život.

Pro fyzika je to jedna z možných překážek průchodu elektromagnetického vlnění. V této práci se budu zabývat průchodem elektromagnetického vlnění za určitých podmínek a dále tím, jak srážkové úhrny (děšť) ovlivňuje kvalitu přenosu elektromagnetického vlnění.

Samotný proces průchodu je závislý na mnoha faktorech jako např. délka radiového spojení, polarizace, kmitočet, územní a klimatické podmínky, výškové rozdíly v krajině atd.

V mé práci jsem vyhodnocovací prostor omezila na střední Evropu, konkrétně na území České republiky. Data zpracovávaná v této práci jsou převzata z 5 měřicích stanic na území republiky. K výzkumu je však k dispozici přes 100 měřicích stanic na našem území.

1 Vliv srážek na radiokomunikační přenos a definice důležitých veličin

S rychle postupujícím vývojem telekomunikačního oboru se neustále zvyšovala potřeba zkvalitňovat přenosy dat, informací atd. Z tohoto důvodu byly aplikovány rozličné metody, které se zabývaly vlivem srážkové činnosti na přenos radiového signálu.

Při plánování směrových spojů v mikrovlnné a v mm oblasti (ať už družicových nebo pozemských tj. radioreléových) se vychází ze statistického pojetí spolehlivosti spoje. Tedy v predikci útlumu radiových spojů nás zajímá pravděpodobnost, kolik času bude přšet více než indukovaný útlum deštěm přeroste únosnou hranici. (jedná se o takový utlum, kdyby spoj nebyl kvalitní případně by nefungoval vůbec). Tyto údaje jsou pak důležité k propočtům parametrů na radiovém spoji (vysílací výkon, šumové parametry přijímače, zisky antén apod.) a samozřejmě se tím sleduje zvýšení 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 nebo spíše jeho zákazníci jsou schopni tolerovat ztrátu dat, počítanou v hodinách za rok. Tato pravděpodobnost se vztahuje na 12 měsíců případně na tzv. nejhorší měsíc – jedná se o 30 dní po sobě jdoucích, které se z hlediska šíření jeví jako nejméně příznivé. V ČR se jedná ve většině případů o srpen.

1.1 Úhrn srážek:

Jedná se o veličinu, která značí, kolik naprší mm výšky vodního sloupce, udává se v [mm] a značí se písmenem H.

Úhrny jsou ve většině případů sbírané v jednominutových intervalech. Meteorologové ale pracují s intervaly mnohem většími, např. 12 nebo 24 hodinovými, z toho důvodu nejsou jejich výstupy vhodné pro odhad útlumu radiových vln v dešti. V důsledku toho zhodnotitelné výsledky mohou být ztraceny, protože metoda funguje na bázi průměrování.

1.2 Intenzita srážek

Obvyklá jednotka intenzity srážek je mm za hodinu (mm/h), není to tedy jednotka SI mezinárodní soustavy jednotek, ale v aplikačních oborech je tato jednotka natolik zažitá, že ji i v mé práci budu užívat. Také v aplikacích v oboru šíření radiových vln se ve vzorcích výpočtu útlumu deštěm dosazuje jednotka intenzity srážek v mm/h.

Značí se písmenem R. Je to vlastně derivace úhrnu srážek podle času a svým charakterem se blíží fyzikální veličině výkon:

$$R = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

(1)

kde:

H – úhrn srážek v mm

t- čas

Δ - delta - přírůstek

1.3 Distribuční funkce intenzit srážek

Je třeba upozornit, že při výpočtu spolehlivosti nepoužíváme distribuční funkci $F_{(x)}$ (distribuční funkci náhodné veličiny X , značená $F(x)$, definujeme následovně):

$$F_{(x)} = P(X \leq x),$$

(2)

kde:

P - pravděpodobnost

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

Pro šíření vln tedy se tradičně používá tzv. doplněk distribuční funkce útlumu F' (zajímá nás tedy, s jakou pravděpodobností bude určitý útlum překročen (Exceedance Propability))

$$F'_{(x)} = P(X > x) = 1 - F_{(x)}.$$

(3)

1.4 Rozdělení intenzit dešťů

Obecně se rozdělení dešťů dá provádět na základě univerzální křivky publikované v roce 1988 institucí CCIR, nyní ITU-R. Tato křivka rozděluje celý svět do 14 dešťových pásem – zón. Pro tyto pásma má CCIR k dispozici distribuční křivky okamžitých intenzit dešťů.

Území naší republiky bylo zařazeno do zóny H. Např. hladině překročení 0.01 procent v zóně H odpovídá intenzita srážek 32 mm/h. Detailní zpracování map, které by bylo vhodné pro předpovědi dešťových útlumů pro území ČR zpracoval v roce 1996 doc. Ondřej Fišer – vedoucí této práce. V roce 1958 publikoval pan Trupl studii zabývající se spíše distribucí intenzity dešťů [1].

Ústav fyziky a atmosféry Akademie věd České republiky provádí na základě modelů a vedení pana Fišera intenzivní výzkum dešťů a jeho intenzity. Toto měření provádí pomocí

přístrojů tzv. člunkových srážkoměrů (laicky řečeno překlopných dešťoměrů), jehož parametry citlivosti jsou výjimečné. Citlivost je 0,2 nebo i 0,1 mm na jedno překlopení člunku.

Pro aplikace v šíření elektromagnetických vln bývá výhodné nalézt analytickou aproximaci rozdělení intenzit dešťů. Nejčastěji se používá logaritmicko normální aproximace ve tvaru

$$P(R > R_i) = P_0 \left(1 - \Phi\left(\frac{\ln R_i - \mu}{\sigma}\right)\right) \quad [\%]$$

(4)

kde:

R – intenzita srážek

P – pravděpodobnost převýšení veličiny

P₀ – pravděpodobnost, že prší [v praxi P₀ = P(R > 0,2 mm/h)]

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad \text{je distribuční funkce normálního rozdělení}$$

(5)

μ - střední hodnota rozdělení ln R

σ - standardní odchylka rozdělení ln R

Hustota pravděpodobnosti lognormální distribuce má tvar :

$$p(R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma R} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln R - \mu}{\sigma}\right)^2}$$

(6)

Za předpokladu, že známe P₀, tj. pravděpodobnost, že prší (pro roční období platí přibližně v naší Zemi P₀ = 3%) lze po jednoduché úpravě použít lineární regresi k nalezení parametrů

μ a σ z následující řady rovnic:

$$\ln R_i = \mu + \sigma \Phi^{-1}\left(1 - \frac{P(R > R_i)}{P_0}\right) = \mu + \sigma C_i$$

(7)

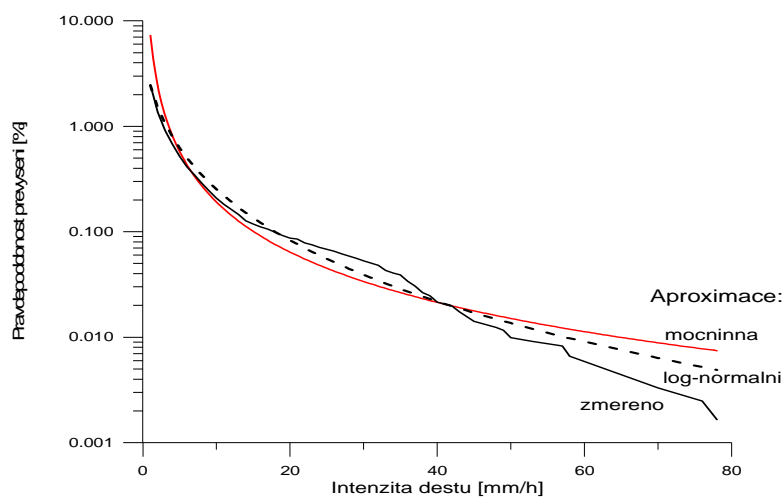
C_i závisí pouze na naměřených hodnotách. Grafickou závislostí $\ln R_i(C_i)$ pro různá i proložená přímkou umožní určit střední hodnotu a rozptyl nebo lze použít standardní program lineární regrese např. v Matlabu. Pokud P_o neznáme, lze aplikovat lineární regresi pro různé velikosti P_o v cyklu (např. pro P_o od 0.5 do 6 % a vybrat takovou hodnotu P_o , pro kterou je minimální RMSE (root mean square error) analytické aproximace. Tento postup byl na pracovišti bakalářské práce v ÚFA AVČR aplikován na uvedených datech z Hradce Králové za rok 1996. Potvrdila se očekávaná hodnota $P_o=4.9$ %.

Dále bylo nalezeno $\mu = -0.035$, $\sigma = 1.407$. Kromě lognormální aproximace je také uvedena mocninná aproximace (v některých případech může být přesnější) s konkrétními parametry:

$$P(R>R_i)=7.26R_i^{-1.58}$$

(8)

Na obr.1 je porovnání rozdělení intenzit srážek a jeho lognormální i mocninné aproximace za rok 1996. V tomto případě se obě aproximace celkem dobře shodují s naměřenou křivkou, o něco lepší je logaritmicke normální aproximace.



Obr.1 Rozdělení jednodominutových intenzit dešťů a jeho aproximace (Hradec Králové, léto 1996, převzato ze ročenky ÚFA)

1.5 Distribuční funkce útlumu

Pro výraz distribuční funkce jako lze též používat jako synonymum slova jako např. rozdělení útlumu deštěm nebo predikce útlumu deštěm nebo předpověď útlumu deštěm. Jako jedno z kritérií distribuce máme na mysli časovou distribuční funkci útlumu deštěm na dráze družicového spoje sloužící k návrhu parametrů spoje, které odpovídají požadované statistické spolehlivosti spoje. Jde o řadu dvojic, kterou tvoří číselné hodnoty útlumu a odpovídající pravděpodobnost převýšení (anglicky „exceedance probability“).

2 Analýza stávajícího stavu zpracování srážkových záznamu pro podmínky radiokomunikačního přenosu

Srážkoměrná data jsou sbírána nejméně na sto místech v České republice, data jsou odesílána do mezinárodní meteorologické instituce, která tato data zpracovává a následně vyhodnocuje a uveřejňuje.

Pro naši práci byla vybrána měření v 5 místech ČR (viz. obr.2) prováděná přímo pro účely výzkumu šíření radiových vln v atmosféře. V Praze, přímo na ÚFA (Ústav fyziky atmosféry), v Hradci Králové (na hvězdárně v HK a v části HK – Ploštice, stanice jsou od sebe vzdáleny 8km), v Třeboni a ve Frahelži (vzdálenost 18km). Stanoviště na hvězdárně budeme dále značit HK, stanici v Plošticích, zkratkou PL.



Obr. 2 Mapa umístění dešťových stanic (převzato z[2])

I nadále platí, že data meteorologů nejsou vzhledem k jejich dlouhému časovému intervalu pro naši práci vhodné. Právě proto bylo přistoupeno při vyhodnocování dat k jiné metodě, která spočívá v tom, že dané údaje zpracováváme a vyhodnocujeme zpravidla pro 1 minutové intervaly.

2.1 Zpracování dat z překlopných srážkoměrů “Tipping-bucket”

Srážkoměr je přístroj používaný v meteorologii a hydrologii sloužící k zaznamenávání úhrnu srážek za určitou časovou jednotku. Většinou se jedná o záznam úhrnu v desetinách mm za jednu minutu.



Obr. 3: Srážkoměr Metra

V České republice je nejrozšířenější ombrograf Metra (typ 501) tvořen plechovou válcovitou nádobou, na kterou je nasazena nálevka se záchytnou plochou 250 cm^2 ve výšce 1 m nad zemí. Její kuželovité dno přechází v trubičku, pod kterou je plováková komora, v níž se voda hromadí a se stoupající hladinou zdvihá plovák. Pohyb je přenášen skrz zapisující zařízení na otáčející se registrační buben se záznamovým papírem, který je otáčen hodinovým strojkem. Plováková komora je opatřena zařízením, která ji po naplnění vyprázdňují, plovák klesne. To se v záznamu projeví svislou čarou a záznam pokračuje od dolního okraje papíru. Záznam ombrografu se nazývá ombrogram .

Plovákové ombrografy existují také vyhřívané, ale u nás se neujaly. Proto je mnoho ombrografů používáno pro sledování srážkových úhrnů v letním období. Ze zimního období bývají data velmi necelistvá a neobjektivní.

Překlopné dešťoměry (v anglické literatuře označovány jako "Tipping-bucket") jsou často využívány pro svoji jednoduchost a kompaktnost. Jejich princip je následující: trychtýřem sbíraná dešťová voda stéká tryskou střídavě do dvou nádobek umístěných na vahadélku. Po napršení určitého úhrnu srážek (typicky $\Delta H=0.2$ mm popřípadě 0.1 mm) se vahadélko překlopí a voda z nádoby vyteče. Zároveň se pod trysku přehoupne druhá nádoba, která začne sbírat jímající dešťovou vodu. Čas překlopení je digitálně zaznamenán s přesností 0.1s (zahraníční dešťoměry) nebo s přesností 1s (české dešťoměry). Čas překlopení je zaznamenán obvykle v ASCII souboru ve tvar **yymmddhhmmsst**

(t je desetina vteřiny). Časový rozdíl mezi dvěma překlopeními Δt je nepřímo úměrný intenzitě srážek R , tedy $R = \Delta H / \Delta t$ [mm/h].

Největším problémem překlopných dešťoměrů je proměnný integrační čas. Ze záznamů nic nevíme o skutečném průběhu mezi dvěma překlopeními. Často se tento průběh linearizuje.

Na základě zjištění tohoto problému byly v ÚFA navrženy dvě metody, které dokáží standardizovat proměnný integrační čas na jednu minutu, viz [3]. Zjednodušujícím předpokladem je, že intenzita srážek mezi dvěma překlopeními je konstantní. Toto tvrzení u nižších intenzit srážek nemusí však úplně přesně platit. Tato tvrzení také vychází ze statistických údajů.

Pro běžné denní potřeby v nevědeckých oborech se používají metody, kdy se buďto počítá počet překlopení za každou kalendářní minutu nebo že se spočítá průměrná intenzita deště mezi dvěma překlopeními dešťoměru. Obě tyto metody nepovažujeme za nejpřesnější.

Proto jsem v bakalářské práci použila metodu vyvinutou v ÚFA, která vychází z linearizace závislosti $H(t)$ mezi dvěma překlopeními. Byly zkoušeny i jiné než lineární interpolace, např. křivkou splňující Laplaceovu rovnici, kdy v interpolačních bodech bylo splněno ($d^2H/dt^2=0$), dále interpolace polynomy různých stupňů apod.

Bylo zjištěno, že nelineární interpolace (brały v úvahu průběh $H(t)$ i vně interpolovaných bodů) sice obecně interpolují přesněji, ale jsou numericky nestabilní a vyžadují individuální kontrolu průběhu odborníkem, což při běžném objemu dat (měsíce, roky) je časově zvládnutelné jen velmi těžce i vzhledem k tomu, že dané výsledky jsou zpracovávány do statistických záznamů.

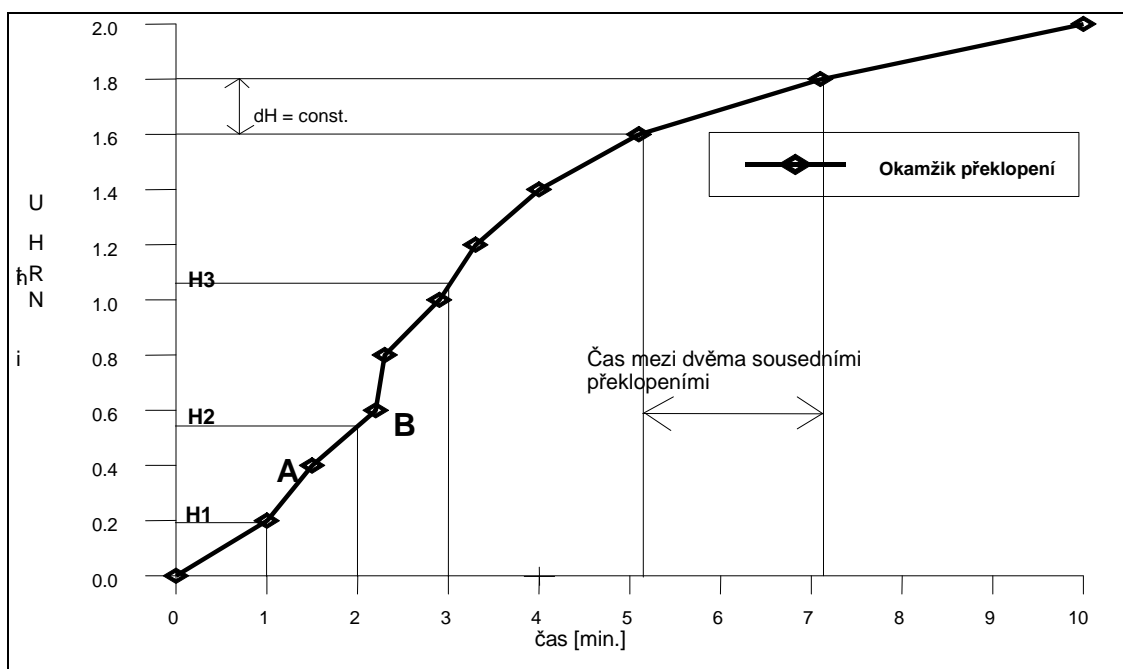
Je třeba si uvědomit, že v datech pořízených z překlopných dešťoměrů je uložen vlastně časový průběh úhrnu dešťů $H(t)$. Průměrnou x -minutovou intenzitu srážek pak

obdržíme ze vztahu
$$R = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

Na obr. 4 je uveden ilustrativní časový průběh záznamu úhrnu srážek. Přírůstek úhrnu je vždy konstantní (zde 0.2 mm) a čas mezi dvěma překlopeními je proměnný. Pro výpočty

standardní jednodominutové průměrné intenzity dešťů ($x=1\text{min}$) podle vzorce
$$R = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

je potřeba odečítat úhrn srážek H v jednodominutovém kroku na po úsecích linearizovaného průběhu $H(t)$, viz obr. 4.



Obr.4 Ilustrativní záznam úhrnu srážek (svislá osa) zaznamenaný překlopným dešťoměrem a ukázka odvození intenzity dešťů (srážek), převzato z [4].

V našem ilustrativním příkladě je $H(2)$ je úhrn srážek v čase $t=2$ min a byl interpolací stanoven na 0.543 mm, $H(1)=0.2$ mm. Průměrná jednominutová intenzita dešťů v čase $t=1.5$ min je pak

$$R_1(1.5) = 60 \frac{H(2) - H(1)}{1} = 20.6 \text{ mm/h}$$

(9)

3 Výsledky zpracování intenzit srážek

Ve výše zmiňovaných 5 místech v ČR, kde výsledky a výzkum provádí UFA AVČR mi byla zadána k bližšímu zpracování dvě místa. Jedná se konkrétně o srážkoměr umístěný v Hradci Králové na hvězdárně a v Hradci Králové v části Ploštice. Data jsem zpracovala za rok 2008 a 2009.

Informace o srážkoměrných místech:

Hradec Králové - Ploštice:

Počátek měření v roce 2008: 31.3. 2008

Konec měření v roce 2008: 31.10. 2008

Počátek měření v roce 2009: 22.4. 2009

Konec měření v roce 2009: 29.10.2009

Hradec Králové – Hvězdárna

Počátek měření v roce 2008: 2.4. 2008

Konec měření v roce 2008: 1.11.2008

Počátek měření v roce 2009: 17.4.2009

Konec měření v roce 2009: 2.11.2009

Tabulka č. 1: Shrnutí údajů charakterizujících několik ročních měření intenzit srážek v ČR

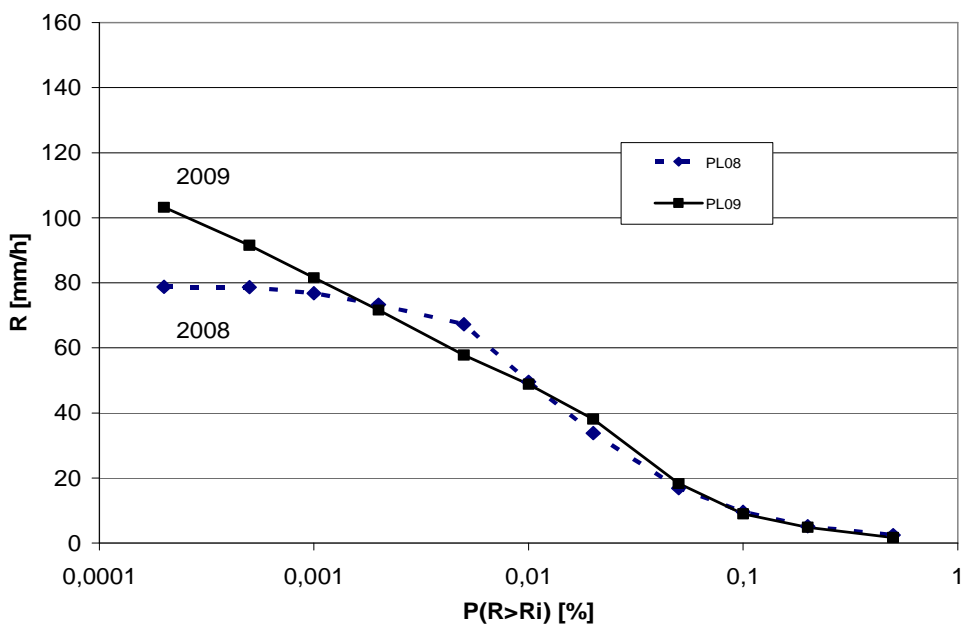
	Střední hodnota	Standardní odchylka.	Minimum	Maximum	Medián
	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
HK08	4.2	8.6	0	117	2.2
PL08	4.4	7.8	0	79.2	2.1
HK09	4.9	8.7	0	160	3
PL09	5.7	9.7	0	113.1	2.7

V tabulce číslo 1 jsou shrnuty údaje za několika měsíční výzkum (s výjimkou zimních měsíců). Maximální hodnota zjištěná vyhodnocením dat byla 160 mm/h a byla naměřena v roce 2009 na stanovišti Hradec Králové- Hvězdárna. Zajímavost je, že na stanici v Hradci Králové – Ploštice byla maximální intenzita srážek v témže roce nižší a to 113 mm/h.

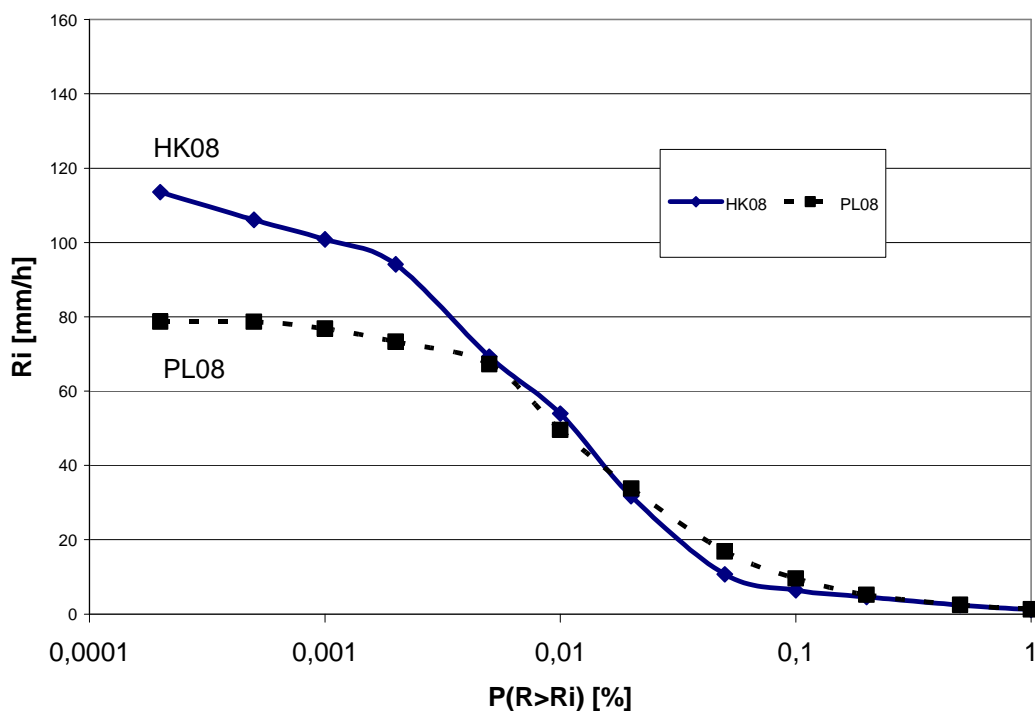
Dle očekávání je medián srážek vždy menší než střední hodnota srážek.

Standardní odchylka a střední hodnota jsou ve všech 4 oblastech téměř stejné.

Jako první jsem porovnávala srážkové úhrny za rok 2008 a 2009 v Hradci Králové – Plošticích. obr. 5 je v logaritmickém měřítku do stupnice 160 mm/h. V grafu je patrná drobná odchylka, kdy na hladině převýšení 0.001 procent byla větší o cca. 20 mm/h intenzita srážek než ve sledovaném období v roce 2008. Na základě grafického vyjádření je patrné, že až na počáteční minimální odchylku je srážková intenzita v obou sledovaných ročnících téměř totožná.

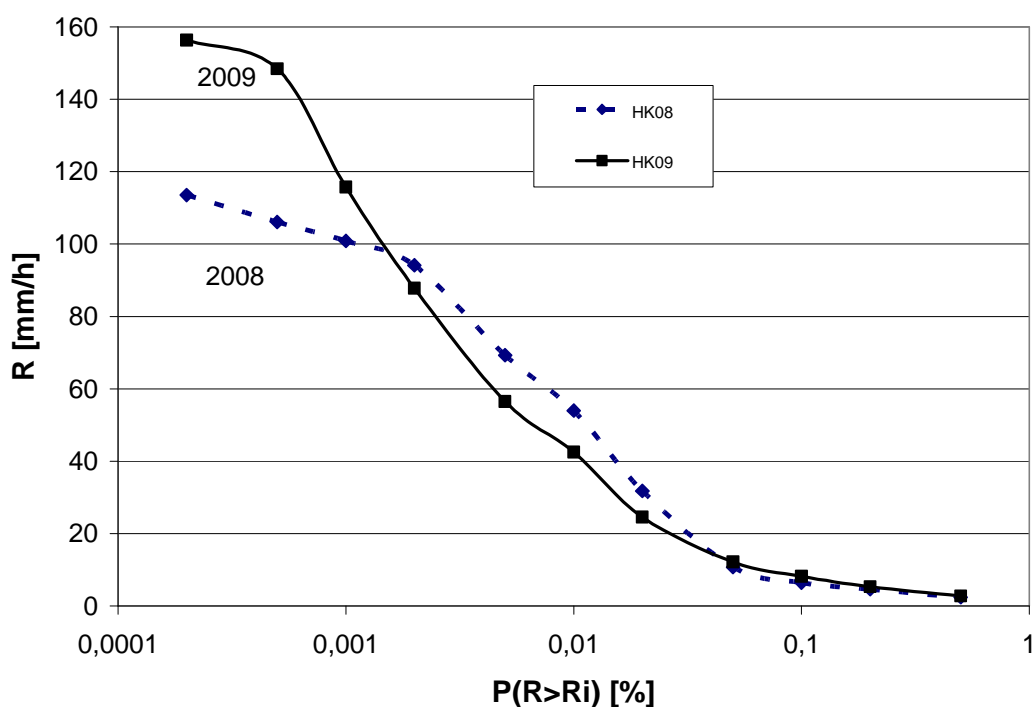


Obr. 5 Distribuční funkce intenzit srážek v HK Plošticích v letech 2008 a 2009



Obr. 6 Intenzita srážkové činnosti porovnání HK a HK Ploštice

Na druhém grafu číslo 6 je naopak porovnávána srážková intenzita za rok 2008 pro obě dvě měřicí místa, tj. jak pro Hradec Králové – hvězdárna tak i pro Hradec Králové Ploštice. Graf je opět v měřítku logaritmickém a se stupnicí maximálně do 160mm/h. Na grafu je patrné, že na hladině převýšení 0.001 procent je cca o 40 mm/h větší srážková intenzita v HK – hvězdárna než v HK – Ploštice, další průběh srážkové intenzity je opět téměř stejný.



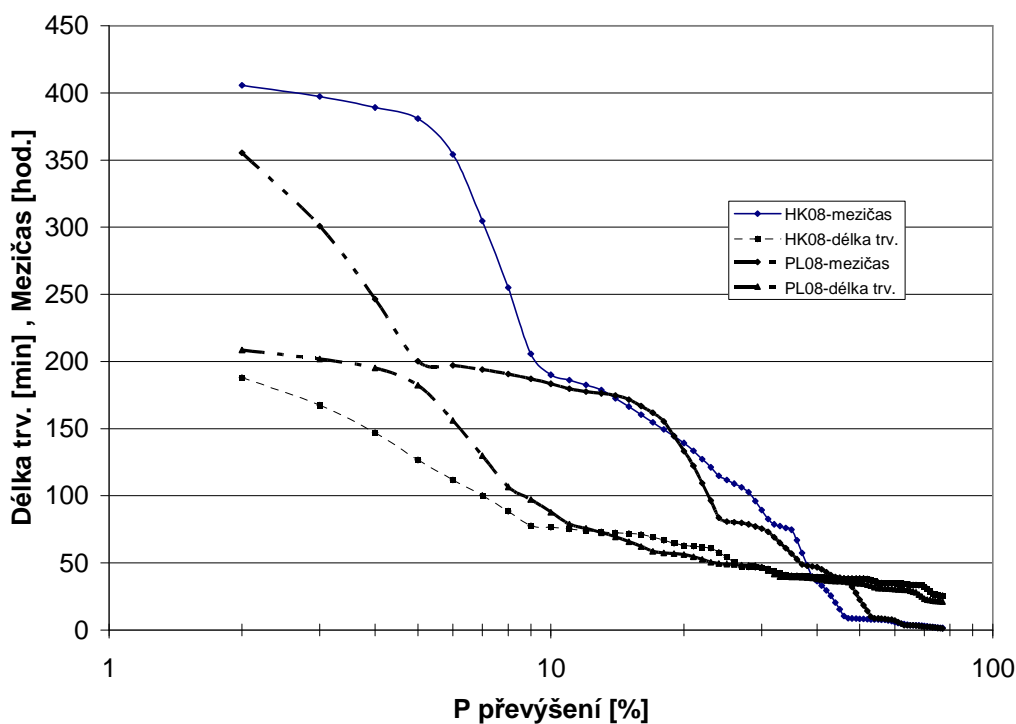
Obr. 7: Intenzita srážkové činnosti Hradec Králové

Ve třetím grafu č. 7 jsou porovnávány průběhy pouze za HK – hvězdárna za oba dva sledované roky 2008 a 2009. Graf je zobrazen v logaritmickém měřítku a se stupnicí maximálně dosahující 160 mm/h. Na grafu je viditelné, že rok 2009 je zhruba o 45 mm/h bohatší o srážkovou intenzitu než rok 2008 (na hladině převýšení 0.001 procent). Z grafů je na první pohled viditelný jeden velmi podstatný jev a to, že ač jsou obě dvě měřicí stanice v jednom městě ve vzdálenosti 8 km od sebe, je v grafu při porovnávání zjištěn rozdíl v intenzitě srážek - HK v roce 2008 na hladině převýšení 0.001 procent a to cca 120 mm/h, zatímco Ploštice v roce 2008 vykazovaly pouze 80 mm/h, v roce 2009 opět HK 160 mm/h a HK Ploštice 100mm/h vždy na hladině převýšení 0.001 procent. Zdá se tedy, že na hvězdárně (výše položené místo) je i více srážek.

3.1 Délka trvání srážek a period mezi nimi

Na grafu č. 8 se již nezabýváme intenzitou srážek, ale naopak časovou prodlevou od určité dešťové události tj. období, kdy začne pršet do další dešťové události tj. kdy začne pršet po druhé. Toto zobrazuje osa y, osa x nám zobrazuje procentuální pravděpodobnost překročení, které jsem spočítala z údajů zadaných ke zpracování od vedoucího práce.

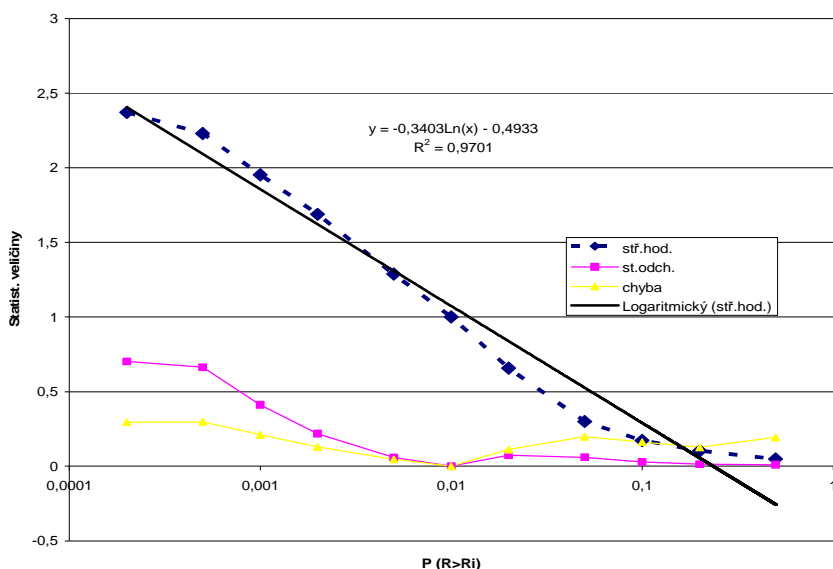
Z grafu je možno vyčíst několik zajímavých informací. V roce 2008 bylo v Hradci Králové



Obr. 8 Distribuční funkce časových úseků mezi srážkovými událostmi a délek trvání srážek

3.2 Zobecnění průběhu distribuční funkce intenzit srážek

V této podkapitole jsem se pokusila zobecnit průběh distribuce intenzit srážek v závislosti na jediném parametru, který je intenzita srážek na hladině převýšení 0.01 procent.



Obr. 9 Zobecněný průběh intenzity srážek spolu s jeho odchylkou od jednotlivých průběhů

Tabulka č. 2: Zobecněný průběh rozdělení intenzit srážek a standardní odchylka od jednotlivých průběhů

	stf.hod.	st.odch.	chyba
0,0002	2,3709681	0,70089124	0,2956139
0,0005	2,2294704	0,66329075	0,2975105
0,001	1,9527518	0,41087318	0,2104073
0,002	1,6884022	0,21810423	0,1291779
0,005	1,2882332	0,05881799	0,0456579
0,01	1	0	0
0,02	0,6571821	0,07341956	0,1117187
0,05	0,3003596	0,05949195	0,1980691
0,1	0,1727254	0,02786486	0,1613246
0,2	0,1038676	0,01313101	0,1264207
0,5	0,0487549	0,00944607	0,1937463

V grafu č.9 je zaznamenáno několik křivek, které se týkají zobecnění distribuční funkce intenzit srážek (podíl intenzity srážek na zvolené hladině převýšení ku intenzitě srážek na hladině převýšení 0,01 procent).

Hodnoty byly odvozeny z průměrů za naše sledovaná období v již zmiňovaných srážkoměrných stanicích. Zobecněná křivka má přibližně logaritmický průběh a našla jsem její přibližnou analytickou aproximaci :

$$R_x/R_{0,01} = -0,3403\ln(P) - 0,4933$$

(10)

kde:

R_x podíl intenzity srážek na zvolené hladině převýšení ku intenzitě srážek na hladině převýšení 0,01 procent

$R_{0,01}$ je intenzita srážek na hladině převýšení 0,01 procent

P je hladina převýšení v procentech

L_n je přirozený logaritmus

Křivka standardních odchylek ukazuje že přesnost zobecněné křivky roste spolu s rostoucí hladinou převýšení. Spodní graf ukazuje podíl standardní odchylky a střední hodnoty a vidím tedy, že relativní chyba poměrné křivky je relativně malá.

3.3 Dynamické vlastnosti průběhu intenzit srážek

V tabulce číslo 3 jsou zaznamenány údaje týkající se výběru nejintenzivnějších srážkových událostí z Hradce Králové z roku 2009. Tabulka zaznamenává detailně, jak dlouhá byla dešťová událost – tedy kolik minut trvala, jak velký časový úsek uběhl od záznamu počátku jedné dešťové události ke druhému počátku dešťové události, maximální intenzitu srážky, medián a další sledovatelné ukazatele. Jde o délku náběhu srážky, kdy intenzita srážky stoupá anebo alespoň neklesá. Délka trvání maxima intenzity srážek je pro účely této práce definována jako doba, po kterou doba intenzity srážek neklesla pod polovinu její maximální hodnoty a je vztažena k délce trvání celé srážkové události. Lze dokázat, že poloviční intenzita srážek způsobí zhruba útlum o 3 decibely nižší, než je útlum způsobený maximální hodnotou intenzity.

Tabulka č. 3: Hradec Králové – hvězdárna 2009. Výběr srážkových událostí a uvedení jejich charakteristických parametrů

	Délka trvání	R_{max}	% R_{max}	$\langle R \rangle$	STdR	Med_R	Doba náběhu srážky	Doba od konce předch. srážky
Událost	[min]	[mm/h]	-	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[min]	[h]
1	7.8	62.4	11.8	14.5	15.2	8.4	0.0	97.0
2	22.7	101.0	13.4	34.9	26.3	34.6	2.4	46.1
3	14.8	26.1	12.8	4.9	6.8	1.4	1.5	45.8
4	14.9	10.6	21.1	4.0	2.8	3.6	1.1	41.4
5	19.9	42.5	14.3	20.5	10.9	21.0	1.6	62.7
6	20.8	27.3	7.2	4.6	6.1	1.8	1.0	20.7
7	12.7	160.0	14.7	29.2	45.4	9.4	1.0	26.8
8	8.4	26.4	29.3	10.0	8.3	7.1	1.0	187.9
9	30.1	27.0	5.0	5.6	6.0	3.3	1.4	0.4
10	33.9	12.4	31.3	4.6	3.2	3.1	1.0	26.7
11	14.9	52.2	11.3	8.1	13.5	1.5	1.0	1.9
12	5.7	14.0	39.4	6.5	4.3	6.5	1.0	8.2
13	5.3	24.7	47.6	11.5	8.6	11.3	1.9	72.0
14	140.4	12.2	35.4	5.3	3.2	3.9	1.2	188.0
15	8.9	17.0	42.8	8.2	6.1	5.0	1.1	0.2
16	10.3	18.6	24.1	5.9	4.9	3.1	1.0	4.9
17	13.1	19.3	59.4	11.0	5.8	12.3	3.6	108.2

Tabulka č. 4: Hradec Králové – Ploštice 2009. Výběr srážkových událostí a uvedení jejich charakteristických parametrů

	Délka trvání	R _{max}	% R _{max}	<R>	STdR	Med_R	Doba náběhu srážky	Doba od konce předch. srážky
Událost	[min]	[mm/h]	-	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[min]	[h]
1	28.9	113.1	9.1	19.7	23.9	10.6	0.0	104.6
2	16.4	27.3	8.2	5.1	6.8	1.3	1.0	21.2
3	15.1	33.4	10.4	8.8	7.6	8.4	2.0	26.5
4	5.4	28.2	34.0	11.1	9.0	10.6	1.9	34.6
5	21.4	23.3	9.9	4.5	5.3	2.4	1.6	1.5
6	15.2	60.8	12.8	10.3	16.3	2.9	5.9	1.8
7	37.1	10.1	13.0	3.2	1.8	2.8	1.1	39.3
8	6.5	64.0	57.1	31.2	22.1	34.9	1.0	201.1
9	136.7	12.0	25.6	4.8	2.7	3.8	1.0	1.7
10	16.5	10.6	17.6	3.7	2.8	2.8	1.0	7.9
11	5.1	23.4	54.9	11.8	8.4	14.3	1.9	177.5
12	61.5	66.5	10.8	18.5	17.3	11.6	1.1	51.9
13	26.2	48.0	7.2	9.6	9.4	6.6	1.1	110.6
14	3.8	39.4	27.5	12.6	13.4	7.8	1.0	95.0
15	6.4	15.9	44.2	7.5	5.1	7.1	1.0	33.3
16	28.3	60.5	4.6	7.2	11.1	3.0	1.0	328.4

Tabulka č. 5: Hradec Králové – Ploštice 2008. Výběr srážkových událostí a uvedení jejich charakteristických parametrů

	Délka trvání	R_{max}	% R_{max}	$\langle R \rangle$	STdR	Med_R	Doba náběhu srážky	Doba od konce předch. srážky
Událost	[min]	[mm/h]	-	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[min]	[h]
1	210.4	42.0	5.2	5.8	7.3	2.7	0.0	190.5
2	190.5	20.7	6.0	4.2	3.6	3.0	1.0	7.6
3	36.4	11.6	33.0	5.0	3.1	4.5	2.5	22.6
4	22.8	39.2	13.2	8.5	10.0	3.1	1.0	81.1
5	16.3	58.4	15.3	15.5	14.4	8.8	1.0	2.1
6	14.2	35.0	34.6	13.6	9.3	12.6	1.0	0.6
7	55.9	75.0	3.7	13.1	13.9	8.8	1.5	122.6
8	9.8	26.5	21.3	8.6	7.4	6.0	1.0	37.9
9	36.6	19.6	4.7	3.9	3.9	2.7	1.0	2.5
10	14.7	43.3	13.8	15.5	10.1	16.1	1.0	61.3
11	21.1	11.9	5.1	1.7	1.9	1.1	1.0	174.1
12	29.9	12.7	13.6	3.6	3.0	2.1	1.0	79.6
13	21.3	79.2	58.5	44.0	28.2	54.6	1.4	0.5

Tabulka č. 6: Hradec Králové – hvězdárna 2008. Výběr srážkových událostí a uvedení jejich charakteristických parametrů

	Délka trvání	R_{max}	% R_{max}	$\langle R \rangle$	STdR	Med_R	Doba náběhu srážky	Doba od konce předch. srážky
Událost	[min]	[mm/h]	-	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[min]	[h]
1	33.8	97.3	2.8	7.7	13.1	3.8	0.0	192.8
2	192.3	96.0	2.4	6.6	12.8	3.4	1.0	7.5
3	39.3	65.3	7.0	10.7	12.8	5.0	1.0	104.1
4	14.4	66.0	14.9	18.4	17.7	14.8	3.4	2.3
5	60.8	10.9	19.4	4.0	2.8	2.5	1.0	0.2
6	40.0	22.1	7.0	5.1	4.3	4.0	2.6	7.8
7	4.8	14.6	58.3	7.5	5.1	10.2	1.0	406.8
8	12.6	22.1	20.5	6.8	5.6	4.6	2.1	1.6
9	17.6	30.0	13.8	5.5	8.5	2.0	1.2	79.4
10	24.1	117.0	22.7	33.8	34.4	15.6	2.3	0.3
11	34.9	11.3	13.1	5.2	2.4	5.5	1.0	0.4

Z předchozích výzkumů a běžného provozu dešťoměrů byla shromážděna data a jejich vyhodnocením vznikly některé velmi zajímavé údaje pro území ČR.

$R_{0,01} = 32$ [mm/h] Tento údaj udává pravděpodobnost, že doba kdy intenzita srážek bude větší než 32 [mm/h] je 0,01% jednoho roku. Pro upřesnění tento údaj odpovídá zhruba 53 minutám v roce.

Nejnižší možná též nazývána prahová hodnota intenzity srážek je 0,2 mm/h - pokud je intenzita menší než tato hodnota, bereme ji jako, že neprší.

Orientačně platí, že $P(R > 0,2 \text{ mm/h}) \sim 1 - 5\%$ (z čehož vyplývá pravděpodobnost, že intenzita srážek bude větší než 0,2 mm/h) s pravděpodobností třeba 5 procent, tj. po 438 hodin za rok. Dá se tedy zcela regulérně říci že na celém území republiky za kalendářní rok prší 5% času a 95% času neprší.

Veškeré výsledky je možno aplikovat v nepřeberném množství vědeckých i nevědeckých disciplínách a oborech. Kde a za jakých podmínek je možno dané výsledky a poznatky aplikovat se budu věnovat v následující části své práce.

4 Aplikace výsledků zpracování srážek

V předcházející kapitole jsem se zmínila, že veškeré poznatky je možno aplikovat do nepřeberného množství odvětví ať už na vědecké bázi či laické nebo chcete-li pouze uživatelské. Jedním z mnoha odvětví, kde se dají informace aplikovat je radioreléové spojení. Na otázku, co to je radioreléové spojení, odpovím nyní.

Jedná se o spoje určené pro směrový radiový přenos reálnou atmosférou a to televizní a rozhlasové modulace, telefonických hovorů, internetu a obecně jakýchkoli dat i v dopravě.

Tento druh spoje nabízí zpravidla konstantní přenosovou rychlost. Reálně se jedná o jednotky až stovky Mbit/s. Spoje na velké vzdálenosti (od 40 km výše) využívají pásem mezi 3,6 až 10,86 GHz, regionální a přístupové sítě využívají pásma 13, 15, 18, 23 a 38 GHz.



Obr. 10 Stojan s anténami radiového spoje



Obr.11 Detailní pohled na anténu

4.1 Měrný útlum deštěm

Pro využití poznatků o dešťových srážkách je třeba formulovat a zvládnout oblast měrného útlumu deštěm. Většina aspektů se v tomto oboru dá vyjádřit matematicky nebo statisticky jako např. okamžitý útlum.

Pro okamžitý měrný útlum α lze odvodit, viz např. [8]:

$$\alpha_{h,v} = 8.686 \cdot 10^3 \cdot \frac{2\pi}{k} \cdot \text{Im} \int \mathbf{f}_{h,v}(D) \cdot N(D) dD \quad [\text{dB/km}]$$

(11)

kde:

$\mathbf{f}_{h,v}$ je komplexní rozptylová funkce dešťové kapky, udávající vztah mezi dopadající a rozptýlenou elmag vlnou

D je efektivní průměr dešťové kapky [mm] ;

k je vlnové číslo [m^{-1}]

$N(D)$ je spektrum dešťových kapek (drop size distribution, DSD).

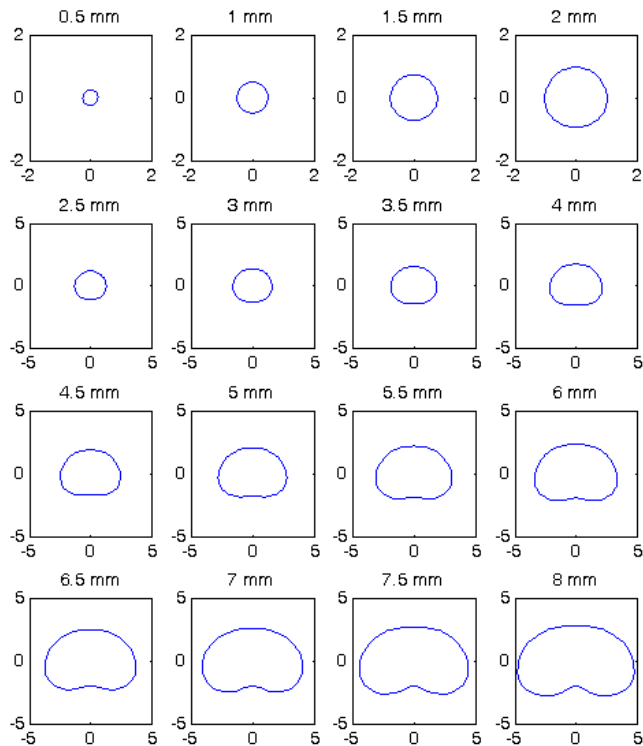
Výraz - součin $N(D) dD$ udává počet kapek o velikosti v intervalu D až $D + dD$ v jednotce objemu. Pro průměrné deště lze spektrum aproximovat Marshall-Palmerovým vztahem s parametrem intenzita deště

$$N(D, R) = 8000 \cdot e^{-\frac{4.1 \cdot D}{R^{0.21}}}$$

(12)

kde: R je intenzita srážek (rain rate, rain intensity) a to vždy v [mm/h]

Rozptylové funkce se obvykle tabelují pro kapky, u nichž hraje roli i tvar. Jejich tvar není kupodivu „kapkovitý,“ ale malé kapky jsou kulové, větší pak přebírají tvar zploštělého sféroidu (obr.12)



Obr. 12: Vyobrazení kapek různých velikostí o ekvivalentním průměru v intervalu 0,5 – 8 mm, na osách jsou uvedeny rozměry v mm

Pokud je známa intenzita srážek R a parametry radiového spoje (kmitočet, polarizace), lze z následujícího aproximativního vzorce jednoduše vypočítat tzv. měrný útlum (bodová veličina)

$$\alpha(R) = k \cdot R^\alpha \quad [\text{dB/km}]$$

(13)

kde:

R je intenzita srážek mm/h

α je měrný útlum deštěm

k , α jsou konstanty pro výpočet útlumu deštěm viz tab.7

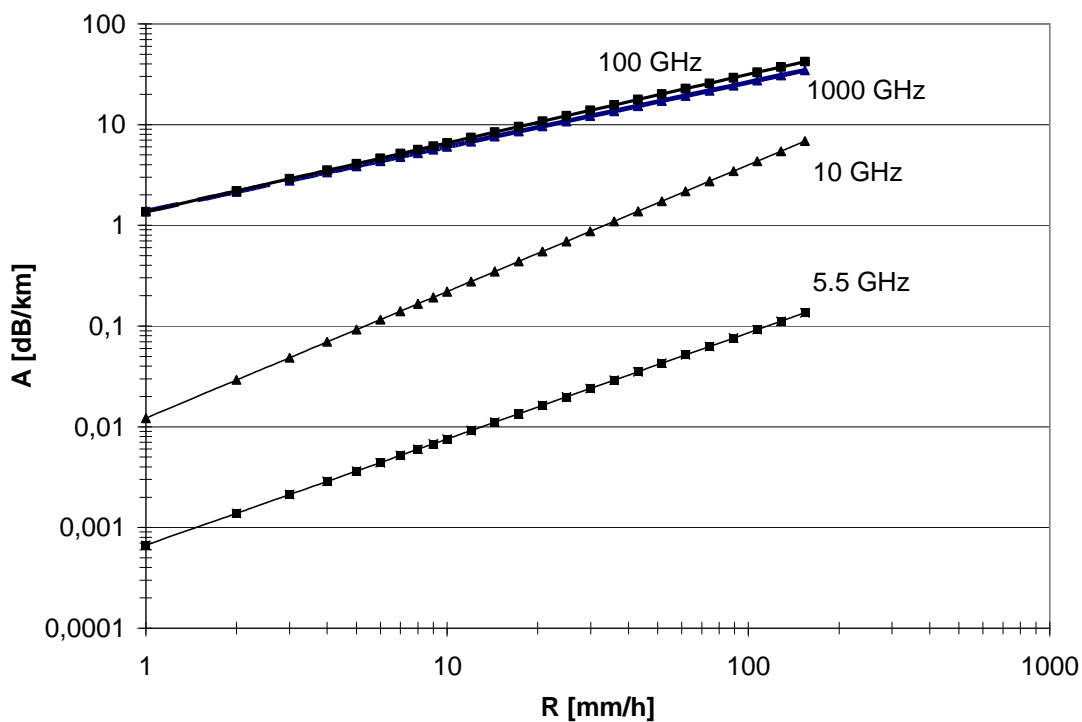
Parametry k a α se většinou používají z tabulek, publikují se v závislosti na kmitočtu a polarizaci. Výtah z tabulek ITU-R je uveden v tabulce č.7, při výběru kmitočtů jsem přihlédla jak k perspektivním kmitočtům od 100 do 1 000 GHz, tak k důležitým kmitočtům radarových pásem S (3 GHz), C (5.5 GHz) a X (10 GHz), které se běžně netabelují. Tabulky jsem vybrala z nedávného dokumentu ITU-R. Útlumy deštěm se však pro kmitočty do 5 GHz obvykle zanedbávají.

Tabulka č.7: Výtah z tabulek ITU-R

Frequency	k_H	α_H	k_V	α_V
3	0.0001390	1.2322	0.0001942	1.0688
5	0.0002162	1.6969	0.0002428	1.5317
5.5	0.0003909	1.6499	0.0003115	1.5882
8	0.004115	1.3905	0.003450	1.3797
10	0.01217	1.2571	0.01129	1.2156
11	0.01772	1.2140	0.01731	1.1617
12	0.02386	1.1825	0.02455	1.1216
15	0.04481	1.1233	0.05008	1.0440
20	0.09164	1.0568	0.09611	0.9847
22	0.1155	1.0329	0.1170	0.9700
25	0.1571	0.9991	0.1533	0.9491
30	0.2403	0.9485	0.2291	0.9129
35	0.3374	0.9047	0.3224	0.8761
40	0.4431	0.8673	0.4274	0.8421
50	0.6600	0.8084	0.6472	0.7871
60	0.8606	0.7656	0.8515	0.7486
70	1.0315	0.7345	1.0253	0.7215
80	1.1704	0.7115	1.1668	0.7021
100	1.3671	0.6815	1.3680	0.6765
120	1.4866	0.6640	1.4911	0.6609
150	1.5823	0.6494	1.5896	0.6466
200	1.6378	0.6382	1.6443	0.6343
300	1.6286	0.6296	1.6286	0.6262
400	1.5860	0.6262	1.5820	0.6256
500	1.5418	0.6253	1.5366	0.6272
600	1.5013	0.6262	1.4967	0.6293
700	1.4654	0.6284	1.4622	0.6315
800	1.4335	0.6315	1.4321	0.6334
900	1.4050	0.6353	1.4056	0.6351
1 000	1.3795	0.6396	1.3822	0.6365

Tabulka č. 7 konstanty pro určení útlumu deštěm dle vztahu $\alpha(R) = k \cdot R^\alpha$

Index h(v) značí horizontální (vertikální) polarizaci



Obr.13 Měrný útlum deštěm

Graf č. 13 se týká měrného útlumu deštěm podle ITU-R[5]. Graf ukazuje útlumy již pro kmitočty 100 i 1000 GHz. Je zajímavé, že útlum na 1000 GHz je menší, než na nižším kmitočtu 100 GHz.

4.2 Celkový dráhový útlum deštěm

Pokud určíme dráhovou integraci bodového útlumu, můžeme jednoduše spočítat okamžitý celkový útlum deštěm A:

$$A = \int_0^L \alpha(l) dl \quad [\text{dB}] \quad (14)$$

kde:

L je délka spoje [km]

A je útlum [dB]

α je měrný útlum deštěm [dB/km]

4.3 Predikce útlumu deštěm podle ITU-R

Početná třída předpovědních metod deterministicky přiřazuje prostorový průběh intenzity srážky k intenzitě ve středu srážkové oblasti. Toto je možné pouze pro statistické výpočty, kde se vlivem centrálního limitního teorému jednotlivé odchylky od modelu vyrovnají.

Použití těchto metod v praxi je velmi jednoduché: z vlastního měření či z publikací víme, že např. intenzita srážky 10 mm/h je ve vyšetřovaném místě překročena s pravděpodobností 0.1% a "náš" model přiřadí intenzitě srážky $R = 10$ mm/h její dráhový profil $R(l)$. Dráhovou integrací měrného útlumu deštěm α (o jednotce dB/km), jehož závislost na intenzitě srážky, ale i na dalších faktorech a podmínkách jako je kmitočet, polarizace, elevace spoje nelze zanedbat, poté co vezme v potaz i výše zmiňované faktory, obdržíme celkový atmosférický útlum družicového spoje, který je právě s 0.1% pravděpodobností překročen.

U této metody je třeba zdůraznit obrovskou praktickou výhodou: nemusím znát okamžitý, obtížně zjistitelný dráhový profil intenzity srážek, zcela dostačující je nám znalost rozdělení intenzity srážky v jediném bodě v oblasti směrového spoje. K usnadnění praktických výpočtů byla rozdělení intenzit srážek analyticky aproximována, pro různé územní celky více či méně přesně publikována (viz. již zmiňované rozdělení celého světa do 14 zón, přičemž naše území je zařazeno do zóny H.)

Organizace CCIR (nyní ITU-R) publikovala model [6], [7] pro předpověď útlumu deštěm.

Pro celkový útlum spoje $A_{0.01}$ překročený s pravděpodobností 0.01% uvádí zmíněný model výraz:

$$A_{0.01} = \gamma_{0.01} L_s r_{0.01} \quad [\text{dB}] \quad (15)$$

kde

$A_{0.01}$ je útlum celého spoje na hladině převýšení 0.01 procent

$\gamma_{0.01}$ je měrný útlum spoje na hladině převýšení 0.01 procent

L_s je délka dráhy celého spoje (viz níže)

$r_{0.01}$ je dráhový redukční faktor

Místo konstant a (b) se v tabulce 7 uvádí $k(\alpha)$.

Pro měrný útlum $\gamma_{0,01}$ pro hladinu překročení 0.01% (analogicky jako ve vztahu 15) a se stejnými konstantami jako v tab.7 platí:

$$\gamma_{0,01} = a(R_{0,01})^b \quad [\text{dB/km}]$$

(16)

L_s je délka spoje, v případě družicového spoje to je délka spoje ovlivněná deštěm, která se stanoví ze vztahu:

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin\theta} \quad [\text{km}]$$

(17)

kde

Θ je elevační úhel; uvedené vztahy platí pro $\Theta > 5^\circ$ [°]

h_s je nadmořská výška pozemské stanice [km]

h_r je horní hranice prostoru, kde mohou vzniknout dešťové srážky

Metoda uvádí následující hodnoty vyhovující pro statistické výpočty:

je-li $\omega < 36^\circ$, je $h_r = 4$ km,

je-li $\omega \geq 36^\circ$, potom $h_r = 4 - 0,075 \cdot (\omega - 36^\circ)$

kde ω [°] je zeměpisná šířka.

Redukční faktor na délku dráhy je definován vztahem

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + L_G/L_0} \quad (18)$$

kde

$L_0 = 35 \exp(-0.015 R_{0,01})$ je efektivní délka spoje, pokud však $R_{0,01} > 100$ mm/h, dosazuje se zde $R_{0,01} = 100$ mm/h.

L_G [km] je pomocná délka spoje. V případě družicového spoje to je průmět délky dráhy L_s ovlivněné deštěm na zemi:

$$L_G = L_s \cos\theta \quad [\text{km}]$$

V případě zemského spoje jde o skutečnou délku spoje a platí $L_G = L_s$.

Pro přepočítání na útlumovou hodnotu A_p na hladiny pravděpodobnosti $P = 0,001$ % až 1

% model uvádí:

$$\begin{aligned} A_p &= A_{0,01} \cdot 0,12 \cdot F_p \\ F_p &= P^{-(0,546+0,043 \cdot \log P)} \end{aligned} \quad (19,20) \quad ($$

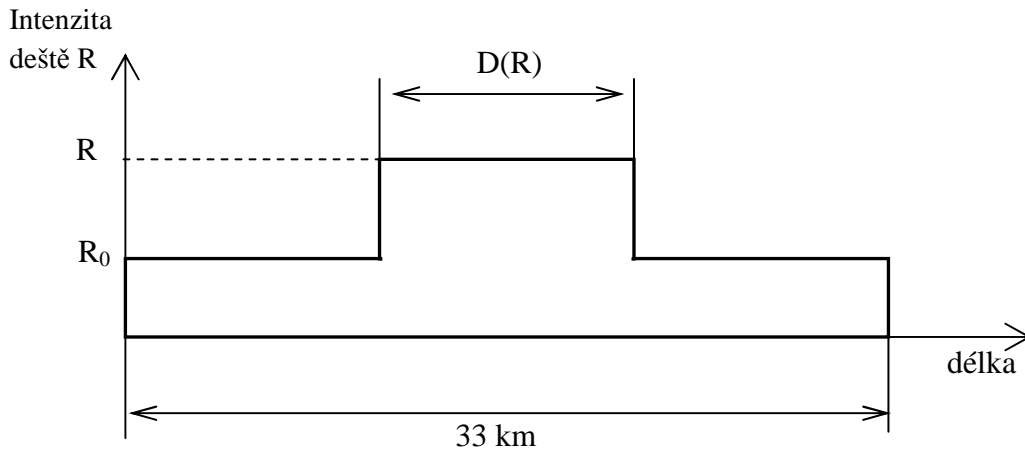
Zde je použit logaritmus dekadický

Předchozí informace se vztahují na model ITU-R, který byl mnohokrát ověřován s daty získanými měřeními na našem území, ale i s pomocí poskytnutých experimentálních dat a lze konstatovat, že ačkoliv se jedná o model velmi jednoduchý, jeho výsledky jsou poměrně přesné.

4.4 Metoda Assis – Einloft k predikci útlumu deštěm

Tato metoda je spíše založena na statistice a pravděpodobnosti. A spočívá v tom, že na základě statistiky odhaduje pravděpodobnost, kterou bude mikrovlnný spoj ovlivněn dešťovým jádrem. Při použití této metody se předpokládá pouze existence jednoho dešťového jádra na daném mikrovlnném spoji anebo nezávislost mezi jednotlivými srážkovými jádry.

Metoda dále předpokládá válcový tvar dešťového jádra o průměru $D(\mathbf{R})$ (km) o intenzitě srážek \mathbf{R} (mm/h) a zbytkové intenzitě srážek \mathbf{R}_0 (mm/h) ve zbytku oblasti o průměru 33 km. Tvar jádra ve zbytkové oblasti je na obr. 14.



Obr. 14 Tvar dešťového jádra

Velikost dešťového jádra vypočítáme dle vzorečku (viz níže), kde $D(\mathbf{R})$ (km) je průměr jádra, a \mathbf{R} (mm/h) je intenzita deště, kterou naměřil ombrograf. Zbytkovou intenzitu deště \mathbf{R}_0 (mm/h) nám udává vzoreček

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

$$\mathbf{R}_0 = 10 \cdot (1 - e^{-0,0105 \cdot \mathbf{R}}) \quad [\text{mm/h}]$$

(20,21)

Nyní již můžeme vypočítat útlum mikrovlnného spoje pomocí námi vypočítaných hodnot. Ty doplníme do vzorečku, kde $A(\mathbf{R})$ [dB] útlum mikrovlnného spoje vypočítáme pomocí hodnot $\alpha(\mathbf{R})$ [dB/km] a $\alpha(\mathbf{R}_0)$ [dB/km], které vypočítáme z níže uvedených vzorců, kam doplníme požadované hodnoty z tabulky č.7 pro námi požadovaný kmitočet. Délku mikrovlnného spoje označujeme l_s [km].

$$A(\mathbf{R}) = \alpha(\mathbf{R}) \cdot D(\mathbf{R}) + \alpha(\mathbf{R}_0) \cdot [l_s - D(\mathbf{R})] \quad [\text{dB}]$$

$$\alpha(\mathbf{R}) = k \cdot \mathbf{R}^\alpha \quad [\text{dB/km}]$$

$$\alpha(\mathbf{R}_0) = k \cdot \mathbf{R}_0^\alpha \quad [\text{dB/km}]$$

Zpracované výsledky (kapitola 3) intenzit srážek jsem použila pro modelování útlumu, pro výpočet útlumu jsem použila model ITU –R, který má jako vstupní hodnotu

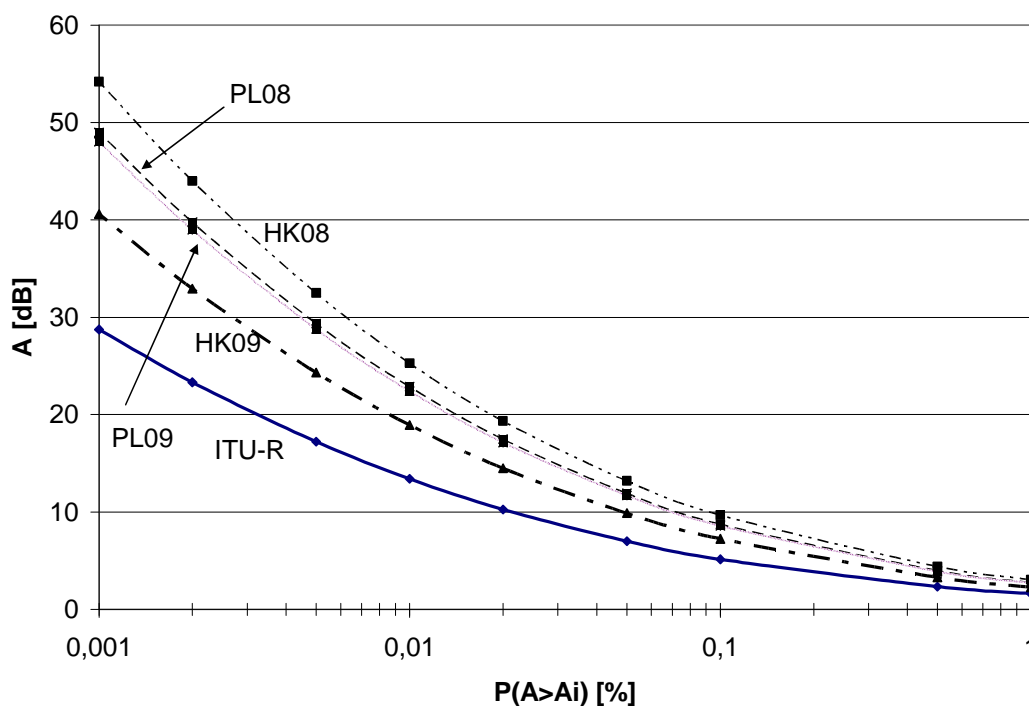
kromě kmitočtu a polarizace jediný údaj z oblasti distribuční funkce intenzit srážek – jedná se o velkou přednost tohoto modelu. Tímto údajem je intenzita srážek, která je překročena s pravděpodobností 0,01 procent za sledované období, zpravidla se jedná o sledované období jednoho roku nebo období nejhoršího měsíce.

Podle materiálu ITU-R je taková intenzita v ČR rovna 32 mm/h, v následující tabulce č.8 uvádím distribuční funkci útlumu deštěm pro tuto hodnotu dle ITU-R a dále pak pro hodnoty, které jsem pak sama zpracovala ze srážkoměrných dat v Hradci Králové.

Hypotetický spoj má tyto parametry:

Kmitočet 12 GHz

Délka spoje: 20 km



Obr.15: Distribuční funkce útlumu deštěm z konkrétních srážkoměrných údajů pro danou lokalitu a rok. Křivka ITU-R vychází z dešťových údajů publikovaných ITU-R.

Graf č.15 distribuční funkce teoreticky spočítaného útlumu deštěm pro hypotetický spoj o délce 20 km pracující na kmitočtu 12 GHz.

V tomto grafu číslo 15 je zaznamenám průběh útlumu deštěm, tyto informace dopočítáme z údajů o dešti.Tabulka nám udává, s jak vysokou pravděpodobností bude překročen útlum deštěm.Z tabulky dále vyčteme, že v roce 2008 přšlo v Hradci Králové – hvězdárna více než v Plošticích.

Tabulka č.8: Rozdělení intenzit srážek podle tur a na jednotlivých stanovištích

R0.01	32mm/h	54mm/h	42.5mm/h	49.6mm/h	48.8mm/h
P [%]	ITU-R	HK08	HK09	PL08	PL09
1	1,6121	3,0406	2,277	2,748	2,6942
0,5	2,3326	4,3997	3,2948	3,9763	3,8984
0,1	5,1331	9,6819	7,2504	8,7502	8,5787
0,05	6,9978	13,1989	9,8842	11,9287	11,695
0,02	10,2542	19,3409	14,4838	17,4797	17,1372
0,01	13,4086	25,2906	18,9393	22,8569	22,409
0,005	17,2215	32,4824	24,325	29,3566	28,7813
0,002	23,3233	43,9912	32,9436	39,7579	38,9789
0,001	28,7331	54,195	40,5849	48,9798	48,02

5 Návrh na zlepšení postupu ve zpracování srážkových dat

Ze své vlastní zkušenosti při práci na této bakalářské práci při zpracování dat bych jako první návrh na zlepšení postupu navrhovala zavedení elektronických záznamů o technických kontrolách na srážkoměrných přístrojích a spolu s tím zavedení postupu jak technickou kontrolu provádět.

Důvodem je zjištění, že surová data nejsou vhodná pro automatické zpracování, protože obsahují údaje o překlopení člunku i 5 krát za vteřinu. Toto zkreslení je způsobeno mechanickou údržbou – odstraněním nečistot ze sběrné nádoby, ale tak že tekutina není vylita mimo sběrnou nádobku, ale nechá se protéct sběrnou nádobkou. Zavedením elektronického záznamu o prováděných údržbách by se tomuto zkreslení předešlo.

Dalším poznatkem je nesourodost časů sběru dat, každá sběrná stanice začíná měření v jiném termínu. Myslím, že by bylo vhodné tento časový údaj sjednotit pro všechny stanice např. od 1.dubna každého roku a konec měření stanovit na 1.listopadu daného roku. Jde o to, že data jsou pak časově neucelená. Na druhou stranu je však potřeba říci, že tento problém je celosvětový vlivem časových pásem aj. Mým návrhem je sjednotit sběr dat podle jednoho časového ukazatele např. podle času, který udává poledník v anglickém Greenwichi jinak též nazývaný světový čas.

Vzhledem k množství nasbíraných dat, která jsou pak nutná s velkou časovou náročností zpracovávat mechanicky, poté automaticky v programovacím jazyku MATLAB navrhuji zasílat data se všech sběrných míst 1-2 týdně do centrálního střediska v UFA AV ČR (Ústav fyziky a atmosféry Akademie věd České Republiky), kde by se data vyhodnotila a dekadně se odesílala k dalšímu použití na mezinárodních projektech.

Domnívám se, že v dnešní době častých lokálních záplav většího či menšího rozsahu by bylo velmi vhodné zajistit potřebnou spolupráci mezi meteorology a hydrology, ale hlavně na tuto výzkumnou činnost zajistit potřebné finanční prostředky ve stabilní časovém horizontu.

Závěr

Na závěr bych ráda uvedla, že se mi podařilo dosáhnout zpracování unikátních datových souborů z profesionální srážkoměrné stanici v Hradci Králové - hvězdárna a amatérské srážkoměrné stanice taktéž v Hradci Králové – Ploštice.

Při zpracování, jak jsem již zmínila v kapitole Analýza, nebylo možné data zpracovat automaticky, bylo nutno je všechna opravit ručně. Teprve poté použít programovací jazyk Matlab.

Díky tomu jsem však mohla analyzovat snadněji problém a následně navrhnout řešení.

Zpracovala jsem základní charakteristiku časového chodu intenzit srážek, ověřila jsem, že výsledky středních hodnot jsou si ve sledovaných časových úsecích velmi podobné. Avšak průběhy jednotlivých srážkových událostí se od sebe velmi lišily.

V další práci jsem se věnovala dynamice srážek, poznatkem bylo, že hodnoty uvedené v tabulce jsou různorodé. Většina srážkových událostí trvala do 20 minut, šlo tedy nejčastěji o přeháňky. Přeháňky mají největší intenzitu srážek. Naopak dlouhodobé srážky nevykazují tak velké intenzity srážek, z meteorologického hlediska se jedná o trvalý déšť a popřípadě mrholení.

Délka srážek je v Hradci Králové - Ploštice větší než 200 minut s pravděpodobností 10 procent, na stanici hvězdárna je to pouze 75 minut.

Výpočty útlumu: v práci jsem uplatnila metodu ITU-R a druhou metodu Assis – Einloft jsem pouze popsala, ITU-R ukazuje distribuční funkci útlumu deštěm za všechny pozorovací stanice v průběhu dvou zpracovávaných let.

Útlumy jsou vypočteny z reálných měření, výsledky jsou vždy vyšší, než jak tyto informace předkládá ITU-R ve svých měřeních určených pro naši republiku. Dá se to vysvětlit tím, že ITU-R publikovala výsledky pro celý rok, kdežto já jsem zpracovávala data za rozšířené letní období, kde je srážková činnost obecně vyšší zejména v posledních letech.

Seznam použité literatury

[1]	TRUPL, J. <i>Intensita krátkodobých dešťů v povodí Labe, Odry a Moravy</i> . Zpráva VÚV. Praha: 1958.
[2]	ELIÁŠ, J. <i>Analýza srážkoměrných údajů z různých lokalit ČR z hlediska predikce útlumu deštěm: bakalářská práce</i> . Pardubice: Univerzita Pardubice, FEI, 2009.
[3]	FISER, O.; WILFERT, O. Novel processing of Tipping – bucket rain gauge records. <i>Atmospheric research</i> , 2009, volume 92, issue 3, pages: 283-288.
[4]	FIŠER, O. On the Tipping-Bucket Rain Measurement Applied to Microwave Propagation: Theory and Actual Results. <i>CD from URSI F Open Symposium</i> , Garmisch Partenkirchen, 12.-15.2.2002.
[5]	Rec. ITU-R P 838-3. <i>Specific attenuation model for rain for use in prediction methods</i> . Question ITU-R 201/3.
[6]	ITU-R. Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. <i>Propagation in Non Ionized Media</i> , Recommendation 618-7, Geneva, 2001.
[7]	<i>COST 255 Final Report</i> , ESA Publications Division, Noordwijk, The Netherlands, March 2002.
[8]	FIŠER, O. <i>Interakce elektromagnetického pole s dešťovým prostředím se zřetelem na predikci útlumu deštěm družicových spojů v pásmech nad 10 GHz : disertační práce</i> . Praha: CVUT, FEL, 1986.

Seznam tabulek

	strana
Tabulka č.1 - Shrnutí údajů charakterizujících několik ročních měření intenzit srážek v ČR	20
Tabulka č.2 - Zobecněný průběh rozdělení intenzit srážek a standardní odchylka od jednotlivých průběhů	25
Tabulka č.3 - Hradec Králové – hvězdárna 2009. Výběr srážkových událostí a uvedení jejich charakteristických parametrů	27
Tabulka č.4 - Hradec Králové – Ploštice 2009. Výběr srážkových událostí a uvedení jejich charakteristických parametrů	28
Tabulka č.5 - Hradec Králové – Ploštice 2008. Výběr srážkových událostí a uvedení jejich charakteristických parametrů	29
Tabulka č.6 - Hradec Králové – hvězdárna 2008. Výběr srážkových událostí a uvedení jejich charakteristických parametrů	30
Tabulka č.7 - Výtah z tabulek ITU-R	35
Tabulka č.8 - Rozdělení intenzit srážek podle ITU-R a na jednotlivých stanovištích	42

Seznam obrázků

	strana
Obrázek č.1 - Rozdělení jednominutových intenzit dešťů a jeho aproximace (Hradec Králové, léto 1996, převzato ze ročenky ÚFA)	13
Obrázek č.2 - Mapa umístění dešťových stanic	15
Obrázek č.3 - Srážkoměr Metra	16
Obrázek č.4 - Ilustrativní záznam úhrnu srážek (svislá osa) zaznamenaný překlopným dešťoměrem a ukázka odvození intenzity dešťů	18
Obrázek č.5 - Distribuční funkce intenzit srážek v HK Plošticích v letech 2008 a 2009	21
Obrázek č.6 - Intenzita srážkové činnosti porovnání HK a HK Ploštice	22
Obrázek č.7 - Intenzita srážkové činnosti Hradec Králové	23
Obrázek č.8 - Distribuční funkce časových úseků mezi srážkovými událostmi a délek trvání srážek	24
Obrázek č.9 - Zobecněný průběh intenzity srážek spolu s jeho odchylkou od jednotlivých průběhů	25
Obrázek č.10 - Stojan s anténami radiového spoje	31
Obrázek č.11 - Detailní pohled na anténu	31
Obrázek č.12 - Vyobrazení kapek různých velikostí o ekvivalentním průměru v intervalu 0,5 – 8 mm, na osách jsou uvedeny rozměry v mm	33
Obrázek č.13 - Měrný útlum deštěm	36
Obrázek č.14 - Tvar dešťového jádra	40
Obrázek č.15 - Distribuční funkce útlumu deštěm z konkrétních Srážkoměrných údajů pro danou lokalitu a rok. Křivka ITU-R vychází z dešťových údajů publikovaných ITU-R	41